

SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE VIVIENDA
Y URBANISMO REGIÓN DE VALPARAÍSO



Actualización Plan Regulador Comunal de Casablanca: “Adecuación Estudio de Diagnóstico y Proposición para modificar el Plan Regulador Comunal de Casablanca 1990”

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

Etapa IV: Proyecto
Correcciones

Junio 2017



NOMADE
CONSULTORES

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS PLAN REGULADOR COMUNAL CASABLANCA

Profesionales responsables:



Arturo Belmonte
Riesgo de inundación por tsunamis



Eleonora Muñoz
Riesgo de remociones en masa y
coordinación general



Alejandro Velis
Riesgo de inundación por aguas
continentales y riesgos de origen
antrópico

INDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION.....	6
1.1	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	6
1.2	DEFINICIONES RELEVANTES.....	6
1.3	CONTEXTO JURÍDICO E INFORMACIÓN BASE	7
1.4	ALCANCES Y LIMITACIONES	8
2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	10
2.1	LA COMUNA.....	10
2.2	GEOMORFOLOGÍA	11
2.3	HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA.....	14
2.4	GEOLOGÍA.....	17
2.5	SUELOS	23
2.6	CLIMA	28
2.7	VEGETACIÓN.....	30
2.8	MINERÍA.....	31
3.	AMENAZAS CONSIDERADAS.....	33
3.1	REMOCIONES EN MASA.....	33
3.1.1.	Definición y tipos de remociones en masa.....	33
3.1.2.	Factores condicionantes y desencadenantes.....	36
3.2	VOLCANISMO.....	39
3.3	SISMOS	39
3.3.1	Sismos y fuentes sismogénicas.....	40
3.3.2	Antecedentes Sísmicos en la región de Valparaíso	43
3.4	FALLAS GEOLÓGICAS	46
3.5	TSUNAMIS.....	50
3.5.1	Metodología Modelamiento de Tsunami	53
3.5.2	Áreas de riesgo de inundación por Tsunami	55
3.6	INUNDACIONES	57
3.7	RIESGOS ANTRÓPICOS.....	60
3.7.1	Infraestructura energética.....	60
3.7.2	Poliductos	62
3.7.3	Incendios forestales.....	62
4.	RIESGOS NATURALES EN LA COMUNA DE CASABLANCA.....	64
4.1	RIESGO POR REMOCIONES EN MASA.....	64
4.1.1.	Tipo de remociones en masa en la comuna y factores condicionantes identificados	64
4.1.2.	Antecedentes de remociones a escala comunal e intercomunal.....	69
4.1.3.	Metodología utilizada	72
4.1.4.	Remociones en masa – Paso Hondo	74
4.1.5.	Remociones en masa – La Playa.....	79
4.1.6.	Remociones en masa – Lo Vásquez.....	82
4.1.7.	Remociones en masa – La Viñilla	85
4.1.8.	Remociones en masa – Maitenes.....	87
4.1.9.	Remociones en masa – Lagunillas.....	90
4.1.10.	Remociones en masa – Casablanca	93
4.1.11.	Remociones en masa – Las Dichas.....	96
4.1.12.	Remociones en masa – Quintay.....	98
4.2	VOLCANISMO.....	104
4.3	SISMOS	104
4.4	FALLAS GEOLÓGICAS	104
4.5	INUNDACION POR DESBORDE DE CAUCES NATURALES	104
4.5.1.	Casablanca.....	106
4.5.2.	Quintay.....	108

4.5.3.	La Vinilla	110
4.5.4.	Lo Vasquez	111
4.5.5.	La Playa.....	113
4.5.6.	Paso Hondo	114
4.5.7.	Las Dichas	116
4.5.8.	Maitenes	117
4.5.9.	Lagunillas.....	119
4.6	ÁREAS DE INUNDACION POR TSUNAMI	121
4.6.1.	El sitio de estudio y sus características sismogénicas	122
4.6.2.	Terremotos históricos	123
4.6.3.	Modelos de deslizamiento homogéneo y heterogéneo	125
5.	CONCLUSIONES.....	134
6.	REFERENCIAS.....	135

INDICE DE FIGURAS

Figura n° 1:	Ubicación y límites de la comuna de Casablanca - V región	10
Figura n° 2:	Principales centros poblados comuna de Casablanca	11
Figura n° 3:	Unidades geomorfológicas V región	12
Figura n° 4:	Modelo de elevación digital (SIG) comuna de Casablanca	13
Figura n° 5:	Modelo de pendientes (SIG) comuna de Casablanca	13
Figura n° 6:	Principales quebradas y cuencas de la comuna de Casablanca	14
Figura n° 7:	Principales quebradas y cuencas de la comuna de Casablanca	15
Figura n° 8:	Geología comuna de Casablanca (basada en Gana et al. 1996)	18
Figura n° 9:	Principales quebradas y cuencas de la comuna de Casablanca	19
Figura n° 10:	Fallas y lineamientos estructurales principales	22
Figura n° 11:	Transición suelo – roca y horizontes de suelo	24
Figura n° 12:	Precipitaciones anuales período 2004 – 2013 estaciones V región	29
Figura n° 13:	Distribución de la vegetación en la comuna de Casablanca	31
Figura n° 14:	Ubicación de yacimientos en Casablanca	32
Figura n° 15:	Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas	34
Figura n° 16:	Remociones en Masa de tipo Deslizamientos	35
Figura n° 17:	Remociones en Masa de tipo Flujo	35
Figura n° 18:	Sismicidad histórica entre 1900 y 2010	40
Figura n° 19:	Esquema de subducción de Chile mostrando fuentes sismogénicas.....	41
Figura n° 20:	Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto ..	43
Figura n° 21:	Zonificación sísmica comuna de Casablanca	44
Figura n° 22:	Mapa de aceleraciones máximas del terremoto del 3 de marzo de 1985	44
Figura n° 23:	Fallas potencialmente activas entre los 33° y 33°45´S.....	47
Figura n° 24:	Fallas potencialmente activas entre comuna de Casablanca con rumbo EW.....	48
Figura n° 25:	Fallas potencialmente activas entre comuna de Casablanca con rumbo NW	48
Figura n° 26:	Fallas potencialmente activas entre comuna de Casablanca con rumbo NE.....	50
Figura n° 27:	Esquema muestra la zona de activación sismogénica inter-placa y consecuente generación de tsunami. .	51
Figura n° 28:	Parámetros sísmicos a considerar para la generación de tsunami.....	51
Figura n° 29:	Niveles y Nomenclatura de Inundación por tsunami a través de una sección.	56
Figura n° 30:	Centrales Termoeléctricas Casablanca y Tipahue.....	61
Figura n° 31:	Central Termoeléctrica Quintay.....	61
Figura n° 32:	Alta tensión en Casablanca	61
Figura n° 33:	Alta tensión en Quintay	61
Figura n° 34:	Gasoducto Sector la Vinilla	62
Figura n° 35:	Susceptibilidad de remociones en masa V región (1:250.000)	70
Figura n° 36:	Áreas de riesgos por pendientes – PREMVAL	71
Figura n° 37:	Modelo de pendientes Paso Hondo.....	75

Figura n° 38: Detalle modelo de pendientes Paso Hondo y vista con relieve del área	76
Figura n° 39: Detalle modelo de pendientes Paso Hondo y vista con relieve del área	76
Figura n° 40: Índice de susceptibilidad unidades Paso Hondo.....	77
Figura n° 41: Áreas de riesgo por remociones en masa Paso Hondo.....	78
Figura n° 42: Modelo de pendientes sector La Playa	79
Figura n° 43: Vista (google_earth) de La Playa indicando principales quebradas.....	80
Figura n° 44: Índice de susceptibilidad unidades La Playa	81
Figura n° 45: Áreas de riesgo por remociones en masa La Playa	81
Figura n° 46: Vista de Lo Vásquez indicando principales quebradas	82
Figura n° 47: Modelo de pendientes sector Lo Vásquez	83
Figura n° 48: Índice de susceptibilidad unidades Lo Vásquez	83
Figura n° 49: Áreas de riesgo por remoción en masa Lo Vásquez	84
Figura n° 50: Modelo de elevación digital La Viñilla	85
Figura n° 51: Índice de susceptibilidad unidades La Viñilla.....	86
Figura n° 52: Áreas de riesgo por remoción en masa La Viñilla	87
Figura n° 53: Vista de relieve sector Maitenes a partir de imagen Google_earth	88
Figura n° 54: Índice de susceptibilidad unidades Maitenes	89
Figura n° 55: Áreas de riesgo por remoción en masa Maitenes	90
Figura n° 56: Vista del relieve sector Lagunillas	91
Figura n° 57: Índice de susceptibilidad unidades Lagunillas	92
Figura n° 58: Áreas de riesgo por remoción en masa Lagunillas.....	92
Figura n° 59: Vista del relieve sector Casablanca	93
Figura n° 60: Modelo de elevación digital sector Sur Casablanca.....	93
Figura n° 61: Índice de susceptibilidad Casablanca.....	95
Figura n° 62: Áreas de riesgos por remoción en masa Casablanca	95
Figura n° 63: Modelo de pendientes Las Dichas	96
Figura n° 64: Índice de susceptibilidad unidades Las Dichas	97
Figura n° 65: Áreas de riesgos por remoción en masa Las Dichas	98
Figura n° 66: Vista relieve de Quintay.....	99
Figura n° 67: Modelo de pendientes Quintay	100
Figura n° 68: Índices de susceptibilidad Quintay	103
Figura n° 69: Áreas de riesgo por remociones en masa Quintay	103
Figura n° 70: Áreas de Inundación (PREMVAL)	105
Figura n° 71: Área de inundación PREMVAL localidad de Casablanca	106
Figura n° 72: Áreas de inundación Casablanca	107
Figura n° 73: Área de inundación PREMVAL localidad de Quintay	108
Figura n° 74: Áreas de inundación Quintay.....	109
Figura n° 75: Área de inundación PREMVAL localidad de La Vinilla.....	110
Figura n° 76: Áreas de inundación La Vinilla	111
Figura n° 77: Área de inundación PREMVAL localidad de Lo Vásquez	111
Figura n° 78: Áreas de inundación Lo Vásquez	112
Figura n° 79: Área de inundación PREMVAL localidad de La Playa	113
Figura n° 80: Áreas de inundación La Playa	114
Figura n° 81: Área de inundación PREMVAL localidad de La Paso Hondo	114
Figura n° 82: Áreas de inundación Paso Hondo	115
Figura n° 83: Área de inundación PREMVAL localidad de Las Dichas	116
Figura n° 84: Áreas de inundación Las Dichas.....	117
Figura n° 85: Área de inundación PREMVAL localidad de Maitenes	117
Figura n° 86: Áreas de inundación Maitenes	118
Figura n° 87: Área de inundación PREMVAL localidad de Lagunillas	119
Figura n° 88: Áreas de inundación Lagunilla	120
Figura n° 89: Fotos Google Quintay y Región.....	121
Figura n° 90: Referencia de largos de ruptura de terremotos históricos en la región central de Chile.....	124

Figura n° 91: Grilla utilizada para modelo de ruptura	127
Figura n° 92: Modelo de ruptura con un pulso y M=8.6.	127
Figura n° 93: Modelo de ruptura con dos pulsos y M=8.7.	127
Figura n° 94: Mallas anidadas utilizadas en las modelaciones numéricas de tsunami	128
Figura n° 95: Deformación inicial de la superficie libre del mar para los tres eventos modelados	129
Figura n° 96: Inundación por tsunami en Quintay para el Evento 1.	129
Figura n° 97: Inundación por tsunami en Quintay para el Evento 2.	130
Figura n° 98: Inundación por tsunami en Quintay para el Evento 3. a) Altura de inundación. b) Profundidad de inundación	130
Figura n° 99: Mareogramas sintéticos (Variación del nivel del mar) para cada evento simulado obtenidos frente a la playa de Quintay (Punto M).	131
Figura n° 100: Mapas de tiempos de arribo para los tres eventos simulados	132
Figura n° 101: Mapas de tiempos de arribo para los tres eventos simulados. Las flechas indican la dirección de la corriente.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción del grado de meteorización	20
Tabla 2 Precipitaciones máximas en 24 hrs - Estación de Casablanca	29
Tabla 3: Faenas Mineras Casablanca.....	32
Tabla 4: Escala de grados de tsunami según Wiegel (1970)	52
Tabla 5: Magnitudes de tsunami.....	52
Tabla 6: Alturas de Flujo según Beyer y Aranguiz (2010).	56
Tabla 7: Alturas de Flujo según Beyer y Aranguiz (2010).	58
Tabla 8: Rangos de pendientes a partir de “umbral geomorfológico”	71
Tabla 9: Factores máximos considerados en caídas de rocas	73
Tabla 10: Factores máximos considerados en deslizamientos superficiales de suelo	73
Tabla 11: Factores máximos considerados en flujos.....	73
Tabla 12: Cuencas aportantes Estero Casablanca, Sector Casablanca.....	107
Tabla 13: Caudales Máximos instantáneos de Diseño (m ³ /s)	107
Tabla 14: Cuencas aportantes Estero El Jote, Sector Quintay.....	109
Tabla 15: Cuencas aportantes Estero lo Orozco, Sector La Playa	113
Tabla 16: Cuencas aportantes Estero Casablanca, Sector Las Dichas	116
Tabla 17: Cuencas aportantes Estero Lagunillas, Sector Lagunillas	119
Tabla 18: Parámetros sismológicos para eventos comparables con terremotos de 1985 y 1730 en Chile.	126

1. INTRODUCCION

En el contexto de la Licitación Pública Estudio: “Actualización del Plan Regulador Comunal de Casablanca”, se presenta a continuación los resultados del estudio de riesgos naturales de la comuna, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica.

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general de este trabajo es ajustar y/o delimitar las áreas de riesgos (de acuerdo a lo señalado por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones) que han de ser incorporadas en la modificación del Plan Regulador Comunal de Casablanca.

1.2 DEFINICIONES RELEVANTES

El planeta tierra es un sistema dinámico en permanente cambio debido a una serie de procesos geológicos generados tanto en su interior como en superficie. Algunos de estos cambios son repentinos y violentos (como un terremoto, la erupción de un volcán o una avalancha de roca) y en su ocurrencia en muchas ocasiones generan daño y devastación en poblaciones. Con la explosión demográfica a nivel mundial estos fenómenos han adquirido mayor importancia, especialmente por la ocupación de terrenos escarpados, la construcción de grandes ciudades con complejas obras de ingeniería y eventos meteorológicos extremos. La tendencia mundial actual es que estos fenómenos naturales sean considerados dentro de la planificación del territorio o que sean incluidos como una variable más a analizar dentro de obras de ingeniería.

El mayor conocimiento adquirido en estas temáticas a nivel nacional e internacional, así como la difusión de eventos (prensa, internet, comunicaciones satelitales, registro por parte de personas de eventos) van de la mano con establecer y unificar terminologías. Dentro de este contexto, se fijarán algunos términos y definiciones que permitirán entender el desarrollo de las distintas etapas del estudio. Se entiende por **desastre natural**, toda destrucción parcial o total, permanente o transitoria de un ecosistema y que sucede cuando se desencadena una amenaza o fuerza destructiva (Vargas, 2002), es decir, hace referencia a un evento ya acaecido. Mientras que se define como **riesgo (R)** al conjunto de amenazas potenciales que pueden generar daño a personas y sus bienes. Esta definición, hace referencia por una parte al fenómeno propiamente tal (la amenaza potencial), y por otra, al nivel de daño que puede generar (González de Vallejo et al., 2002). Un correcto enfoque de un estudio de riesgos y la aplicación de medidas preventivas y correctivas, permitiría reducir los daños o evitar la ocurrencia de un desastre natural.

En el estudio de la amenaza potencial, resulta fundamental determinar el **peligro o peligrosidad (P)**, y está directamente relacionado con determinar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en un área y tiempo determinado (González de Vallejo et al., 2002). Específicamente, determinar el tipo de fenómeno, área que abarcará, probabilidad de ocurrencia, período de retorno, magnitud, velocidad, capacidad de control y predicción, entre otros aspectos resulta fundamental para cuantificar las amenazas que pueden afectar un sector, y que en general es abordado por profesionales ligados a las ciencias de la tierra (geólogos, geógrafos físicos, geofísicos e ingenieros geólogos). Este es un tema complejo, pues requiere bases de datos y registro de variables que no siempre están disponibles, o suelen ser son estudios de larga duración y mayor costo.

Un concepto muy utilizado en la determinación de niveles de amenaza en la población, es la **susceptibilidad (S)**, que dice relación con la posibilidad que una zona se vea afectada por un determinado proceso expresada en grados cualitativos y relativos (González de Vallejo et al., 2002), y que dependerá de los factores que controlan o condicionan su ocurrencia (intrínsecos a los propios materiales o externos). Este concepto es fundamental en el presente trabajo, pues en general los estudios de amenazas naturales a escala comunal abordan la temática desde esta perspectiva. La susceptibilidad se puede estimar considerando el inventario de los fenómenos registrados en una zona y la superposición de los factores que los condicionan, no considerando la variable temporal ni el cálculo de la probabilidad

de ocurrencia, sino que mediante una sumatoria de factores favorables a la generación del fenómeno (González de Vallejo et al., 2002).

La otra arista en la definición de riesgo, es la referida al daño o a quienes afectará la ocurrencia de algún fenómeno. En este caso, se considera la **vulnerabilidad (V)**, entendida como el grado de pérdidas y el nivel de preparación que presentan los asentamientos (UNDRO 1979, en Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial, SUBDERE 2011). Según la Organización de Naciones Unidas (ONU), la vulnerabilidad se estima como la capacidad de respuesta de las construcciones humanas a la activación de una amenaza o bien, se puede estimar el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos como consecuencia de un fenómeno de intensidad determinada.

En este sentido, hay autores que proponen que la vulnerabilidad está determinada por el tipo de sociedad a la que pertenecemos y por las condiciones estructurales de esta. Es decir, sociedades con un nivel de desarrollo mayor tendrían menos elementos de vulnerabilidad social, mientras que sociedades que tienen niveles más bajos de desarrollo, estarían expuestas a mayores factores de vulnerabilidad social (Fuente: Curso en línea. Vulnerabilidades ante Desastres Socio-naturales. U abierta de la U. de Chile). Esto podría verse reflejado en el número de víctimas fatales de eventos sísmicos recientes. De acuerdo a información web, en el terremoto y tsunami de Japón 2011, un aproximado entre víctimas fatales confirmadas y personas desaparecidas de 19.000, mientras que el terremoto en Haití el año 2010, dejó un saldo de 316.000 víctimas fatales.

Determinar el grado de vulnerabilidad de una población es un tema complejo, pues depende de aspectos del medio construido, aspectos sociales, económicos, ideológicos, territoriales, entre otros. Según lo propuesto por la ONU (Ayala- Carcedo 1993) se debe considerar además en la evaluación de desastres naturales el grado de **exposición (E)** de los elementos a un determinado fenómeno (bienes materiales o personas), quedando representada la evaluación del riesgo con la siguiente expresión: $R = P \times V \times E$, de manera que para que haya riesgo deben conjugarse las tres componentes.

La forma de abordar esta temática en los Estudios de Riesgos para Planes Reguladores comunales en Chile, es variable, dependiendo de las condiciones de cada comuna, de los profesionales a cargo (geólogos o geógrafos), o de la fecha de realización, existiendo nuevas indicaciones gubernamentales (DDU) como respuesta ante eventos como Incendios Forestales, o los aluviones de Copiapó del 2015. Finalmente, hay que señalar que estos estudios no son retrospectivos. Es decir, la población que se encuentre emplazada con anterioridad en un área de riesgos, sólo tendrá limitaciones en caso de modificar o ampliar sus construcciones.

1.3 CONTEXTO JURÍDICO E INFORMACIÓN BASE

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su apartado 2.1.17 “Disposiciones complementarias” indica que en los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas, se denominarán “áreas de riesgo” o “zonas no edificables” según sea el caso de acuerdo a la siguiente descripción.

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. En el marco de este informe, “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un “peligro geológico”.

Las “zonas no edificables” corresponderán a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gaseoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente.

De acuerdo a la OGUC, las “áreas de riesgo” se determinarán en base a las siguientes características:

- 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.
- Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
- Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
- 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, cuando corresponda. Haciendo una agrupación de las amenazas naturales que generan la definición de zonas de riesgo según la OGUC, se reconocen procesos de Inundación; Remociones en Masa; Volcanismo y fallas geológicas. Además de lo anterior, las Normas Chilenas de construcción incorporan las variables sísmicas, considerando que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo (de la cual sólo se hará referencia en el presente estudio). Más adelante se presenta una descripción de las amenazas antes señaladas.

Como información base de la comuna, se utilizó el Estudio PRC Casablanca 2010; PRDUT (Plan Regional de Desarrollo Urbano y Territorial); PREMVAl (Plan Regional Metropolitano de Valparaíso); PLADECO Casablanca (2014 – 2017); Modelación Hidrogeológica Valle Del Estero Casablanca (2004); El Sismo del 3 de Marzo 1985 – Chile (Fac. Cs. Fís. y Mat., U. de Chile, Julio de 1986).

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

Para este trabajo, se realizó en una primera etapa una compilación de antecedentes y referencias bibliográficas referidas a la comuna, especialmente en términos de antecedentes históricos y características físicas (geomorfología, geología, hidrografía e hidrogeología, suelos, clima y vegetación). Una vez definida el tipo de amenazas geológicas presente, se define la forma en que estas serán abordadas en el estudio.

Para el estudio de remociones en masa, considerando que la información geológica del área de estudio está disponible a escala 1:100.000 y las curvas de nivel están cada 25 metros y la extensión de la comuna, la identificación de áreas susceptibles a escala comunal se realizó a escala 1:50.000, mientras que el análisis se concentró en los centros poblados (Casablanca, Quintay, Vinilla, Lo Vásquez, La Playa, Paso Hondo, Las Dichas, Maitenes, Lagunillas) a una escala 1:5.000. Por lo anterior, se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la planificación territorial. Para estudios con mayor nivel de detalle, se deberán hacer estudios específicos y a escala de ingeniería de detalle. Las zonas definidas como “Zonas de Riesgo” corresponderán a zonas con distintos niveles de susceptibilidad ante un determinado proceso, evaluada como la superposición de antecedentes, no determinándose niveles de peligrosidad o probabilidad de ocurrencia en el tiempo.

En el estudio de procesos de movilización de materiales, en este estudio, se aplicó una metodología que evalúa la susceptibilidad a partir de unidades discretas escala 1:5000 o menor, considerando además distintos procesos de remoción de masas.

Respecto de las inundaciones, los alcances y limitaciones tienen relación principalmente con dos factores. El primero es la escala de trabajo definida a escala urbana (1:5.000) con curvas de nivel cada 5 m, cuya diferencia entre cota es relevante para el análisis morfológico de los cauces. En segundo lugar, no existe medición de caudales en los principales cursos de agua de la comuna, por lo que la aproximación a las áreas de inundación se centra en el análisis de información existente, fotointerpretación de imágenes y métodos indirectos. Para estudios de mayor detalle se debería realizar una topografía de mayor detalle en los cauces en el área urbana.

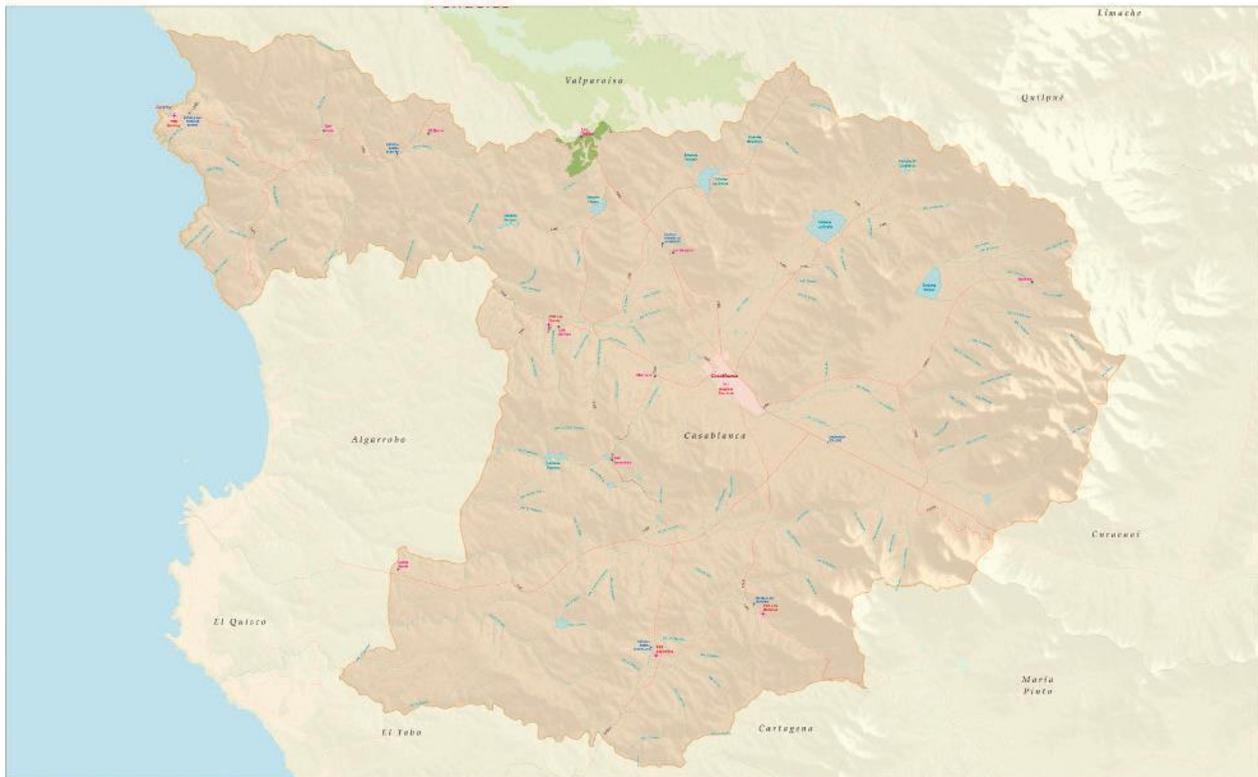
Para el estudio del riesgo de tsunamis, se considera como fuente esencialmente el “terremoto costero” (relacionados con la zona de subducción inter-placa). Este tipo de evento sísmico, generador potencialmente de tsunamis, depende de factores más bien tectónicos (que oceánicos). Para modelos homogéneos de deslizamiento co-sísmico, la fuente generadora consiste de “un solo gran golpe” que moviliza bloques de cientos de kilómetros de largo y ancho. Para modelos heterogéneos de deslizamiento co-sísmico, la fuente generadora se puede sub-dividir en superficies de hasta 10 km x 10 km. Desde la perspectiva del fenómeno de propagación de tsunamis, los modelos son completamente dependientes de la batimetría y topografía. Para estudios de esta envergadura, usualmente se intenta que la metodología se desarrolle usando 4 mallas anidadas de 2', 30", 6" y 1" (3600 m, 900 m, 180 m y 30m respectivamente). Es decir, dependiendo del alcance de las resoluciones batimétricas y topográficas disponibles para el estudio, se podrían establecer análisis a escalas de hasta 1:5000, lo que en realidad es necesario para efectos de determinar zonas de riesgo así como las zonas de evacuación y las zonas seguras. Estas mallas se ubican usualmente de tal forma que las menores están contenidas dentro de cada una de las mayores. Desde el punto de vista del escenario, se usa la vía determinística, es decir, simula numéricamente los peores casos posibles para así definir los límites de las zonas de inundación y proponer rutas de evacuación. El objetivo del modelo de tsunami – para Quintay- es obtener la profundidad o cota de inundación (altura de ola con respecto al nivel medio del mar en la línea de costa) y el alcance máximo (denominado “run-up”).

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 LA COMUNA

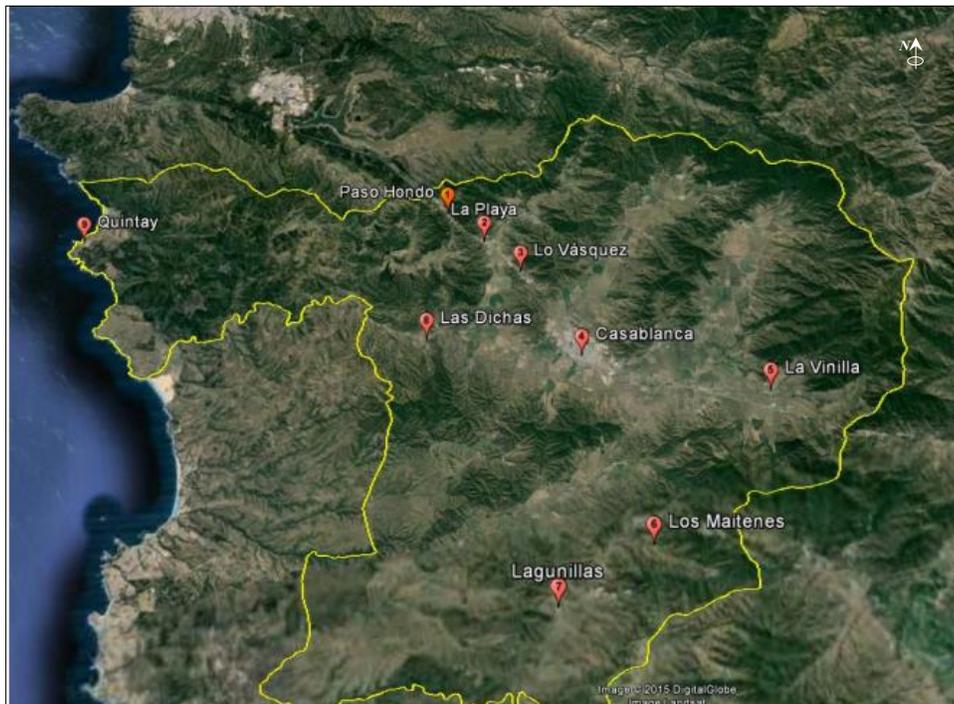
La comuna de Casablanca pertenece a la V región, específicamente a la provincia de Valparaíso. Limita al Norte por las comunas de Quilpué y Valparaíso, y al Sur por las comunas de El Tabo y Cartagena, al Oeste con el océano Pacífico, Algarrobo, El Quisco, y al este con la región Metropolitana, específicamente con los cordones montañosos de la cordillera de la Costa (ver Figura 1). La coordenadas referenciales de la comuna son 33°15' S y 71°30' W, y abarca una superficie total de 952,5 km². La Figura 2 muestra la ubicación de los centros poblados que forman parte del estudio.

Figura n° 1: Ubicación y límites de la comuna de Casablanca - V región



Fuente: Reportes Comunales 2012, Biblioteca del Congreso Nacional.

Figura n° 2: Principales centros poblados comuna de Casablanca



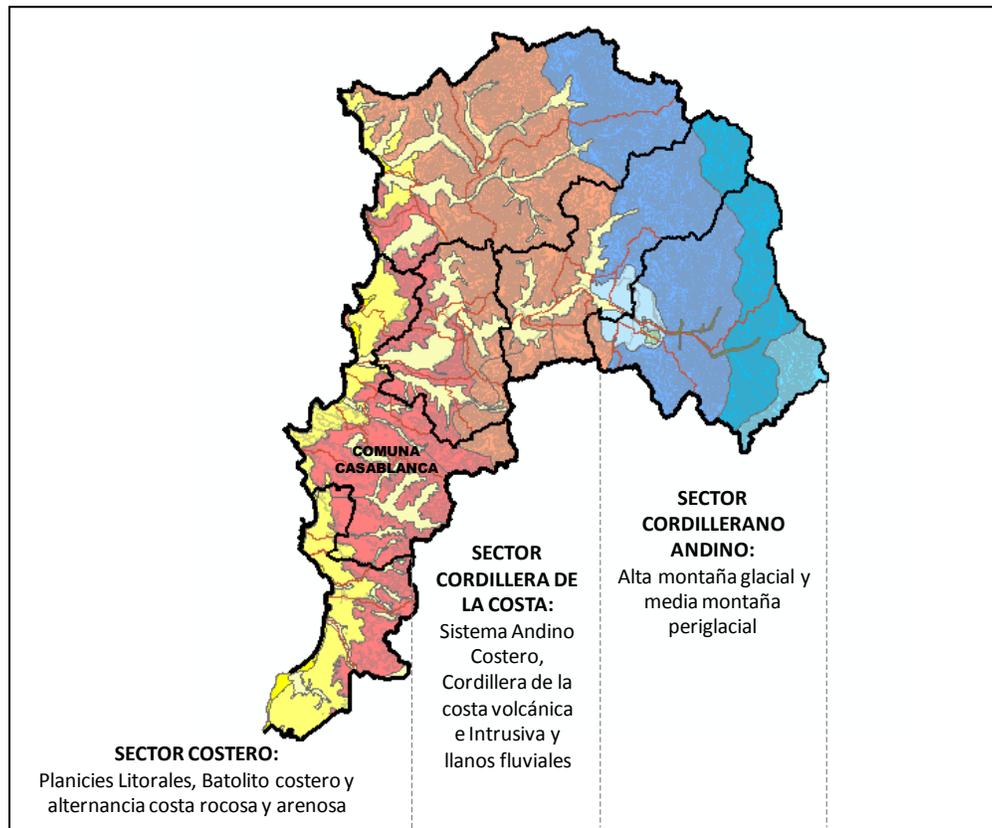
Fuente: Imagen intervenida de google_earth.

2.2 GEOMORFOLOGÍA

2.2.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Geomorfológicamente, la V región se caracteriza por presentar tres zonas en sentido longitudinal (ver Figura 3). De Este a Oeste se reconocen la franja oriental, con pendientes abruptas generadas por la presencia de macizo cordillerano andino (Cordillera de los Andes), mientras que el tercio central de la región se caracteriza por una mezcla proporcional de pendientes fuertes y pendientes suaves (las primeras asociadas a la Cordillera de la Costa y cordones transversales, y las segundas se generan en fondos de valles rellenos con depósitos aluviales provenientes de sectores altos). Hacia el Oeste, se presenta un relieve maduro y suave de formas llanas, caracterizado por alturas que escasamente superan los 400 metros sobre el nivel del mar (Álvarez, 1964) y que ha sido interpretado como terrazas de abrasión marina (Álvarez, 1964). Estas terrazas presentan bajas pendientes, exceptuando las zonas de acantilados erosionados y zonas de quebradas con pendientes más abruptas. La comuna de Casablanca, se emplaza en las unidades morfológicas del sector costero, y en parte la cordillera de la Costa (límite natural hacia el este de la comuna).

Figura n° 3: Unidades geomorfológicas V región



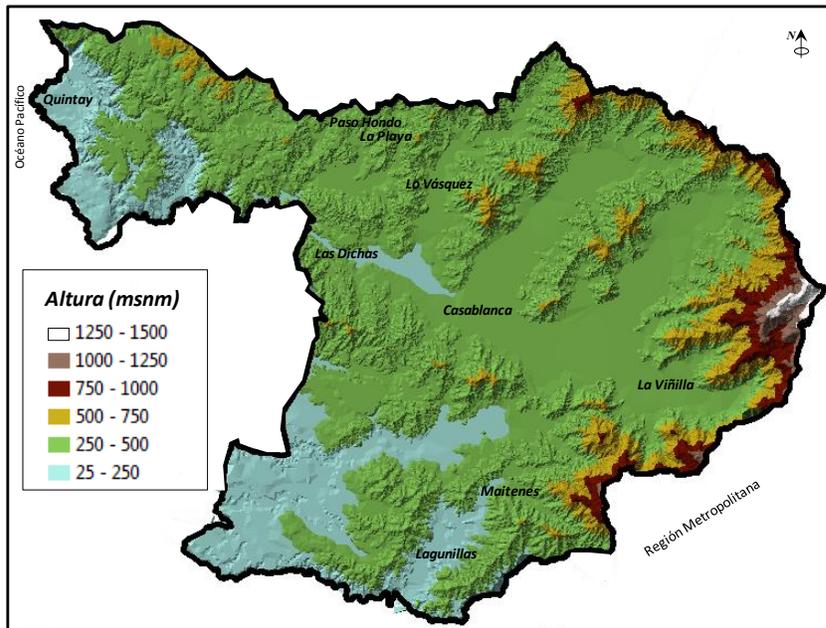
Fuente: MINVU V Región - PRDUT

2.2.2 GEOMORFOLOGÍA COMUNAL

La comuna de Casablanca se emplaza en las unidades geomorfológicas definidas como Planicies Litorales y Batolito Costero (esta última con predominancia), y su porción Este tiene como límite natural la cordillera de la Costa, la cual se manifiesta como un macizo relativamente abrupto, con pendientes superiores a 30°. En la comuna alcanza alturas máximas entre 1400 y 1500 m s.n.m. (ver Figuras 4 y 5, que muestran modelos de triangulación generados a partir de las bases topográficas comunales con curvas cada 25 m en SIG). Esta cordillera presenta una cadena de cerros relacionada con el último cordón transversal hacia el Este, donde se identifican cumbres importantes en la divisoria oriental de la hoya, tales como los cerros Montenegro (978 m s.n.m.), Palmilla (1116 m s.n.m.), La Bandera (1083 m s.n.m.), Marcilla (1114 m s.n.m.) y El Peumo (1090 m s.n.m.). La cumbre más alta corresponde al cerro Mauco de Viñilla de 1421m s.n.m. (Troncoso, 2006).

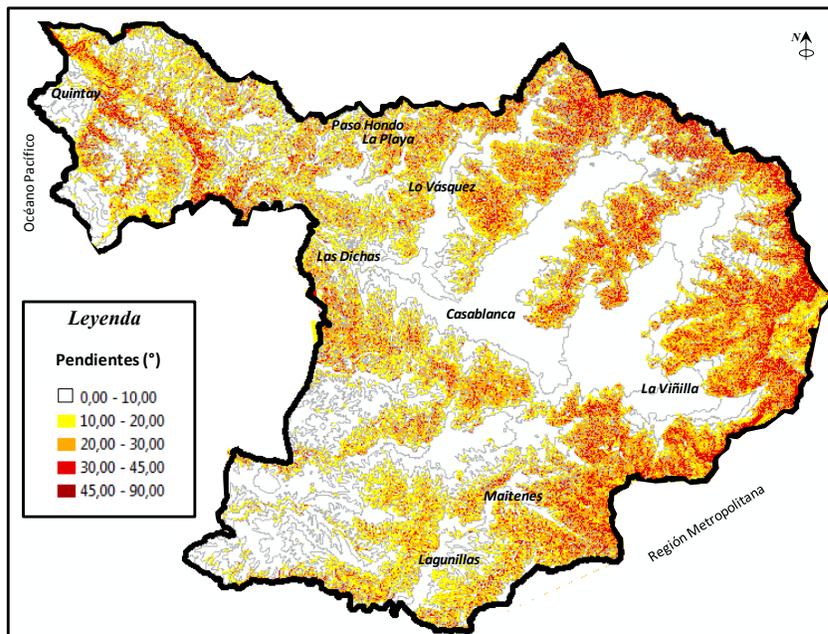
Las alturas van disminuyendo paulatinamente hacia el Oeste, hasta alcanzar cotas entre los 250 y 500 m s.n.m. (Figura 4), donde se emplazan la mayoría de los centros poblados. Esta unidad geomorfológica se caracteriza por pendientes suaves (<10°) correspondiente a rellenos de fondos de valles (Valle de Casablanca y tres prolongaciones hacia el Norte: Los Perales de Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco), los cuales se ven limitados por cordones montañosos de baja altura (<750 m s.n.m.), predominando alturas menores a 500 m s.n.m. Hacia el Oeste, la localidad de Quintay se emplaza en el sector costero, con cotas que no superan los 250 m s.n.m. hacia el Sur (unidad de planicies litorales y plata arenosa), aumentando las pendientes y alturas hacia el Norte (acantilado costero rocoso), con pendientes abruptas (Figura 5). La bahía de Quintay propiamente tal se emplaza de tal forma que se orienta predominantemente hacia el N-NW, de manera similar que a bahías mayores como lo es Valparaíso, o menores como lo es Algarrobo-Mirasol.

Figura n° 4: Modelo de elevación digital (SIG) comuna de Casablanca



Fuente: Elaboración propia

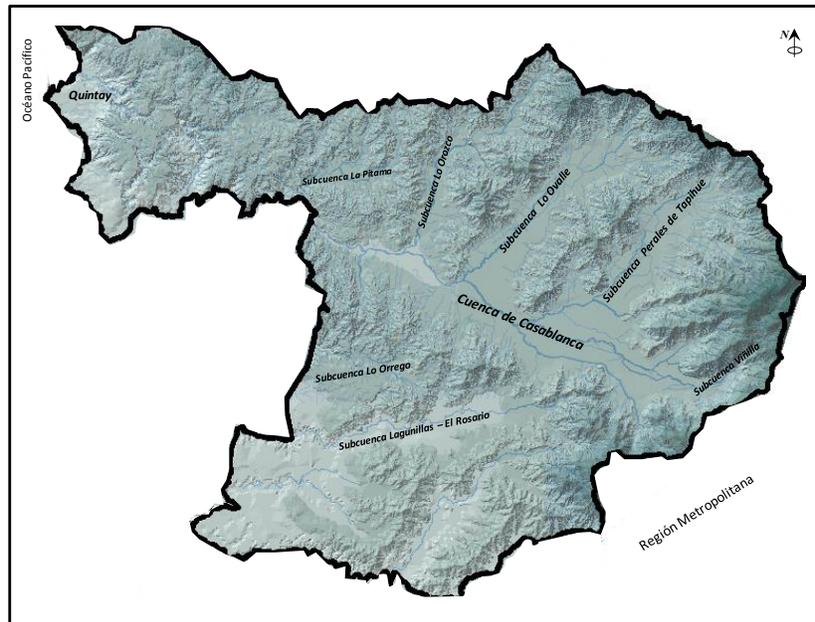
Figura n° 5: Modelo de pendientes (SIG) comuna de Casablanca



Fuente: Elaboración propia

Por lo general, las cuencas y cursos de agua de la comuna (y de la región) siguen líneas rectas o están delimitadas por marcados escarpes, por lo que se presumen que tienen control estructural (fallas y lineamientos). La comuna está dominada por una gran cuenca de Casablanca - Viñilla (con orientación general NW), y que correspondería a una depresión tectónica asimétrica, cuyo eje mayor se orienta de Sureste a Noroeste, con tres prolongaciones hacia el Noreste (Lo Orozco, Lo Ovalle y Perales de Tapihue), y otras subcuencas menores (Lo Orrego, Lagunillas, El Rosario), las que han sido rellenadas con material sedimentario de variada procedencia (Troncoso, 2006) y se muestran en la Figura 6.

Figura n° 6: Principales quebradas y cuencas de la comuna de Casablanca



Fuente: Elaboración propia, a partir de Troncoso (2006).

2.3 HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La cuenca de Casablanca se localiza en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, prolongándose hasta las planicies litorales. Tiene 623 km² de superficie y 44 Km de largo en su eje mayor. Se ubica entre las coordenadas 33°10' – 33°25' latitud Sur y 71°10' – 71°40' longitud Oeste (Troncoso, 2006). La cuenca aparece en la unidad geomorfológica cordillera de la Costa, así como en la unidad de Planicies Litorales, presentando además variaciones al interior del fondo de valle. El valle es recorrido por el estero Los Sauces-Casablanca, el cual es el colector del drenaje local y con sus derivaciones hacia el Norte tiene aproximadamente 50 km² de superficie. La cuenca de Casablanca se prolonga hacia el noreste y Norte con algunas subcuencas (La Viñilla, Los Perales de Tapihue, Lo Orozco, Lo Ovalle, Pitama) y hacia el Sur y Suroeste se conecta a través de pequeños umbrales topográficos, con tres subcuencas (Lo Orrego, Lagunillas y El Rosario).

El valle de La Viñilla (ver Figura 6), tiene una extensión de aproximadamente 12 Km en sentido Este-Oeste, con un ancho promedio de 2200m y una pendiente promedio de 0,6% (Troncoso, 2006). Está encerrada por un cordón de cerros casi rectilíneos y radiales, convergiendo hacia la cuenca de Casablanca.

El valle de Los Perales de Tapihue (Figura 6) también tiene 12 Km de longitud (dirección Noreste) y un ancho promedio de 2000m, con una pendiente uniforme de alrededor de 1,0%.

La subcuenca de Lo Ovalle tiene 14 Km en dirección Noreste y confluye a la ciudad de Casablanca. Tiene 2500m de ancho y una pendiente media de 0,7%. La subcuenca de Lo Orozco se inicia aguas arriba de Casablanca, variando su orientación de dirección Norte Sur a noreste, con una extensión longitudinal de 15 Km (aproximadamente) y una pendiente promedio de 0,9%. La subcuenca de La Pitama (Figura 6) da origen a un pequeño valle que confluye con el estero Casablanca por el Noroeste, a través de un estrecho desfiladero.

Por otra parte, las subcuencas de Lo Orrego y Lagunillas – El Rosario se encuentran al Sur de Casablanca, separadas por un cordón de cerros con rumbo Este-Oeste a Noroeste, con cotas que se acercan a los 750m s.n.m., y que representa la divisoria de aguas de la cuenca de Casablanca. La subcuenca de Lo Orrego desemboca al Norte de Algarrobo

(Cuenca San Jerónimo), mientras que la subcuenca Lagunilla – El Rosario, desemboca al Norte de El Tabo, en el sector de la laguna de Córdoba (Cuenca El Rosario).

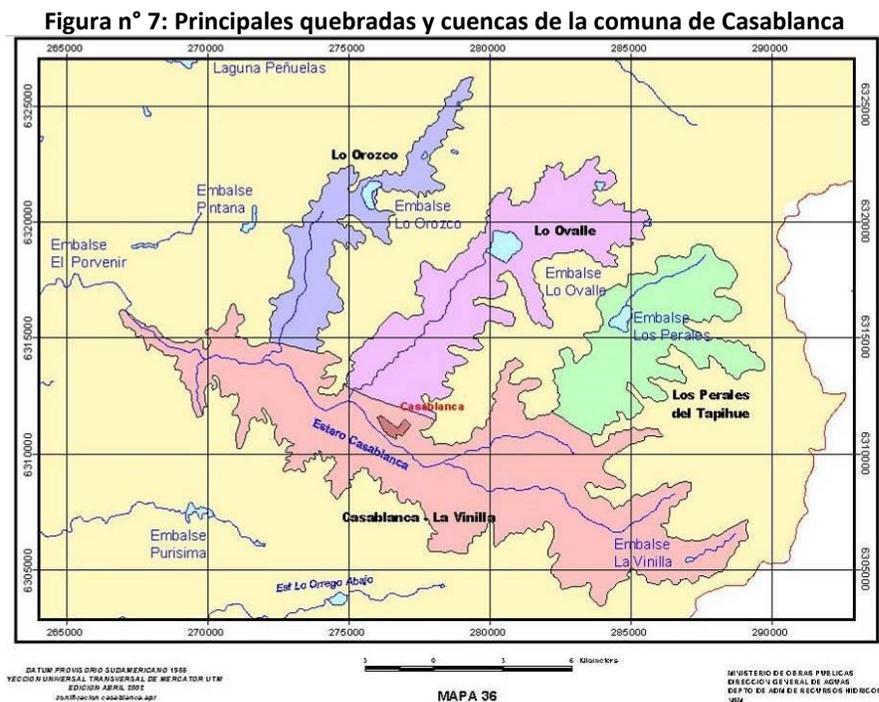
Escorrentía superficial en la comuna

El estero Casablanca se origina en las proximidades del cerro Mauco con el nombre de estero Mauco. A partir del tranque La Viñilla pasa a denominarse Casablanca. La dirección general del estero es aproximadamente ESE-WNW desde su nacimiento hasta la localidad de Las Dichas. Desde aquí describe un arco con un amplio radio de curvatura que apunta en dirección Sur. En el último tramo, el estero sigue un curso notoriamente irregular, con curvas muy cerradas

Resulta notable la orientación preferencial que han adquirido los valles tributarios del Casablanca a lo largo de su historia geológica. Todos ellos presentan una dirección general NE-SW desde sus cabeceras hasta la confluencia con el colector principal. La excepción la constituye el estero Pitama que presenta un curso sinuoso, como asimismo el estero Casablanca desde Las Dichas hasta Tunquén. La variabilidad del caudal de los esteros es apreciable tanto a escala anual como estacional.

Hidrogeología de la comuna

En el “Estudio Básico para la Modelación del Sistema de Aguas Subterráneas del Valle de Casablanca” (DGA, SIT N°2 - 1991), los perfiles estratigráficos de sus pozos muestran cuatro zonas bien diferenciadas en cuanto a sus características geológicas. Estas zonas corresponden a los cuatro valles que componen la cuenca, es decir, los valles Casablanca-La Viñilla, Los Perales del Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco.



Acuíferos

Las formaciones acuíferas corresponden a materiales permeables de espesor variable, con intercalaciones de estratos de baja permeabilidad ubicados a diferentes profundidades, los cuales le dan un carácter lenticular y heterogéneo al sistema de aguas subterráneas.

Estas formaciones acuíferas de la cuenca, subyacen en un estrato superficial arcilloso, de muy baja permeabilidad, con una potencia variable entre **5 y 10 m**. La presencia de esta capa impermeable en la superficie dificulta la infiltración de las aguas lluvias, la que en algunos casos se encuentra compuesta por arcillas y limos, y en otros por mezclas de arcilla y arena en distintas proporciones, aunque siempre se muestra con un amplio predominio de arcillas¹.

La presencia de este estrato superficial arcilloso explica el claro predominio de napas confinadas a lo largo y ancho de los cuatro valles de la cuenca, observándose la existencia de napas libres sólo en los sectores de recarga de estas formaciones acuíferas (en los conos de deyección de las quebradas laterales) y en algunos otros puntos aislados.

La zona hidrogeológica más relevante de la cuenca de Casablanca se ubica aguas arriba de la localidad de Las Dichas, donde se desarrollan los valles de La Viñilla-Casablanca, Los Perales de Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco. En términos globales, las características más significativas de los rellenos sedimentarios de estos valles quedan definidas por la ubicación a diferentes profundidades de las formaciones acuíferas, como asimismo por la naturaleza lenticular y heterogeneidad areal de dichos materiales.

Acuífero Casablanca – La Viñilla

Esta zona es la de mayor importancia hidrogeológica, por presentar una mayor extensión que el resto, una mayor potencia del relleno (mayor a 150 m) y una buena permeabilidad de sus estratos. La profundidad de la roca fundamental en esta zona presenta un descenso paulatino desde el sector de La Viñilla, donde se aprecian valores de la potencia del relleno del orden de los 150 m, descendiendo hacia el sector de Las Dichas, donde se aprecian valores no superiores a los 30 m. En el sector de Casablanca se observan profundidades del orden de los **60 m** de la roca fundamental. En el sector alto del valle los estratos permeables son numerosos, caracterizados por el predominio de gravas y arenas gruesas, con intercalaciones de material impermeables y semipermeables. Además, se aprecia la presencia de una capa superficial de arcilla, lo que explica un predominio de napas confinadas en la zona. Este predominio de las napas confinadas se aprecia en los perfiles estratigráficos de la zona².

Según los perfiles estratigráficos de esta zona, las napas existentes se ubican en el segundo y cuarto estrato, aguas abajo de Casablanca, en el sector de Santa Rosa, el estrato superficial de arcilla desaparece en forma parcial, dando paso a un predominio de un estrato arenoso, lo que implica que la napa más cercana a la superficie se torne en una napa semiconfinada. La potencia del relleno se presenta con valores de 40 a 50 m.

Acuífero Los Perales

El valle de Los Perales del Tapihue presenta características similares al valle de Casablanca-La Viñilla. El valle presenta gran extensión y potencia de relleno, lo que favorece la presencia de napas subterráneas. Presenta un estrato superficial de arcilla, un gran número de estratos permeables, de espesor entre los 5 a 10 m, compuestos principalmente por arenas gruesas y finas y algo de grava. Aguas abajo del embalse Los Perales se encuentra el mayor espesor del relleno, la cual supera los 70 m.

El sistema acuífero de este valle es una recarga natural del valle Casablanca-La Viñilla

¹ Modelación Hidrogeológica Valle Del Estero Casablanca, DGA 2004

² Modelación Hidrogeológica Valle Del Estero Casablanca, DGA 2004

Acuífero en lo Orozco

El valle de Lo Orozco presenta características muy pobres respecto de la capacidad acuífera. El valle es de reducida extensión, muy angosto y de potencia del relleno muy baja, siendo en algunos sectores inferior a los 30 m. Los estratos permeables no superan los 40 m de profundidad, con espesores bastante variables a lo largo del valle, desde los 2 a los 20 m, y son constituidos por arenas finas y gruesas y grava. Existe la presencia de una napa en toda la zona.

Acuífero en Lo Ovalle

El valle Lo Ovalle presenta pocas cualidades acuíferas, teniendo poca potencia del relleno, poca extensión y baja permeabilidad en sus estratos más permeables. En la zona baja, específicamente en el sector de Loma Larga, se observa una potencia del relleno del orden de los 80 m, lo que favorece la existencia de acuíferos en esta zona. Sin embargo la parte alta presenta potencias no superiores a los 50 m, lo que disminuye sus cualidades acuíferas.

2.4 GEOLOGÍA

La información geológica de la región, y en particular de la comuna de Casablanca, se obtuvo a partir de una descripción basada en publicaciones anteriores (Corvalán y Munizaga, 1972; Gana et al., 1996.; Sabaj, 2008; Toro, 2007) complementada con visitas a terreno realizadas a las zonas pobladas de la comuna de Casablanca.

Desde la perspectiva geotectónica (macro-escala), esta región se ubica sobre una parte del segmento asociado a la subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana. A lo largo de este segmento (31.5°S-35°S) la Placa de Nazca desciende bajo el continente sudamericano con un ángulo de 14° a 25° aproximadamente y a una velocidad relativa de cerca de entre 66 y 70 mm/año. A escala regional, la Cordillera de la Costa y sectores costeros están constituidos geológicamente por un basamento de rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico y Mesozoico, mostrando varios niveles de terrazas de abrasión subhorizontales, y cubiertas por sedimentos poco consolidados de origen marino y continental (Cenozoicos) y sedimentos cuaternarios de origen fluvial, aluvial, eólico y marino. Las rocas de la Cordillera de la Costa (Cretácico) se encuentran afectadas por fallas con rumbo NW y NE.

Las unidades geológicas condicionan la existencia de una diversa gama de materiales con distinto comportamiento geotécnico y mecánico, que involucra desde unidades de rocas rígidas (intrusivas y metamórficas), unidades de rocas meteorizadas y amaicilladas, arenas y depósitos semi consolidados a no consolidados, y unidades afectadas por la presencia de fallas geológicas. A continuación se presenta una descripción general de las unidades presentes en la comuna de Casablanca, descritas de más vieja a más joven, basándose en las publicaciones indicadas anteriormente y mostradas en la Figura 8.

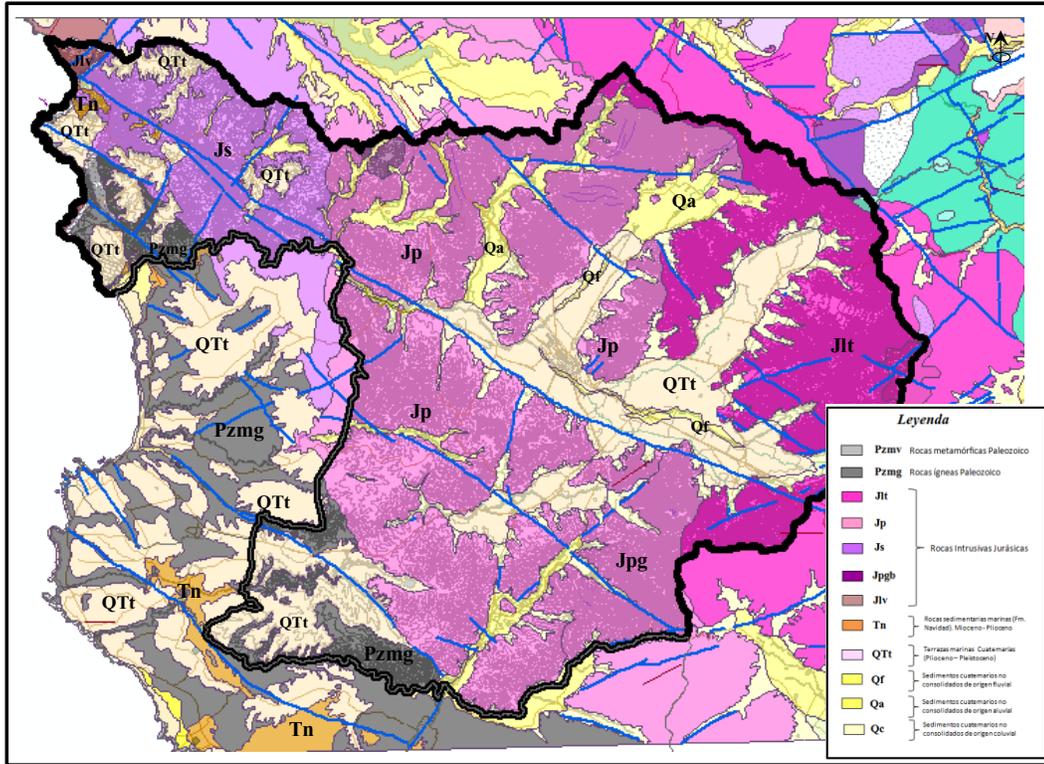
Complejo Metamórfico Valparaíso (Pzmv). Esta unidad del paleozoico superior, corresponde a rocas metamórficas foliadas, y aflora como enclaves de longitud inferior a 2 km dentro de los complejos intrusivos de la zona costera. En la comuna, esta unidad aflora como enclaves en la costa de Quintay, con dimensiones que no superan los 1500 metros en su máxima longitud. A escala comunal su aparición es despreciable y no se reconoce en los mapas. Sin embargo, su presencia en Quintay (a escala de las localidades urbanas de estudio), es mencionable por ser el único lugar de la comuna donde aflora (Figura 8).

Rocas intrusivas del Paleozoico (Pzmg). Esta unidad se presenta con rocas textura de grano grueso a medio y colores variables de gris medio a verdoso. Presentan además alteración regular a intensa y además está intruidas por diques básicos foliados y por plutones del Jurásico.

En la región esta unidad forma parte del basamento paleozoico, y se manifiesta como una gran franja longitudinal alineada de Noroeste a Suroeste (alcanzando hasta 38 kilómetros, y ancho máximo de 16 kilómetros) formando parte morfológicamente de las terrazas de abrasión marina cubiertas por sedimentos poco consolidados más jóvenes. También aparece como afloramientos aislados en Valparaíso y Viña del Mar.

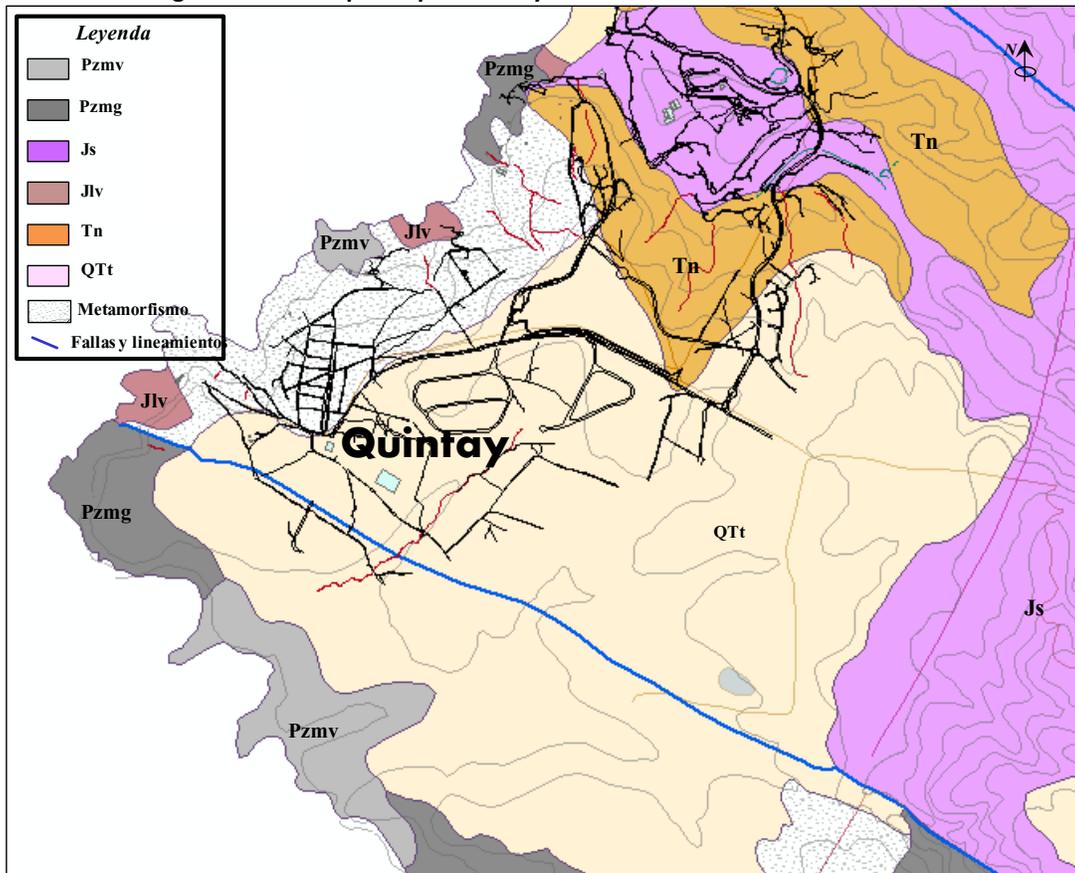
En la comuna de Casablanca, esta unidad se manifiesta al Sur de Quintay y en la parte Sur de la comuna, al Oeste de Lagunillas.

Figura n° 8: Geología comuna de Casablanca (basada en Gana et al. 1996)



Fuente: Elaboración a partir de Gana, et al. (2006).

Figura n° 9: Principales quebradas y cuencas de la comuna de Casablanca



Fuente: Elaboración a partir de Gana, et al., 1996.

Rocas intrusivas (Jurásico). La mayor parte de la V región central y Norte está constituida por extensos afloramientos de rocas plutónicas de edad cercana a los 160 Ma (millones de años atrás). Estos incluyen una serie de cuerpos de litología variable entre (gabros y leucogranitos) que muestran una distribución zonada en sentido Oeste-Este, y corresponden a las unidades Lliu-Lliu (**Jll, Jlg**), Limache (**Jlg, Jlt**), Peñuelas (**Jpgb, Jpg, Jp**), Sauce (**Js**) y Laguna Verde (**Jlv**) (Gana et al., 1996).

En la comuna de Casablanca, las unidades presentes son: Js; Jlt; Jlv; Jpgb. Estas rocas son en su mayoría de composición básica a intermedia, de colores grises, con abundante contenido de cuarzo y feldespato, y en parte foliadas (origen magmático y también tectónico). Afloran principalmente en la costa de Valparaíso y Viña del Mar, y en la parte Sur Oeste de la comuna de Casablanca, en los cerros al Norte y Oeste de Quintay, en la cordillera de la Costa, y en las cabeceras de las cuencas de Casablanca, La Viñilla y Perales de Tapihue. La unidad Jlv intruye a rocas del Paleozoico, originando zonas bandeadas y de enclaves magmáticos observables en Quintay (Gana et al., 1996). Ver Figura 9.

Las rocas intrusivas descritas, que cubren la mayor parte de la comuna de Casablanca, se comportan de un modo similar desde el punto de vista geotécnico (propiedades mecánicas y de resistencia de las rocas), independiente de la unidad o litología específica. Estas unidades se encuentran fuertemente afectadas por procesos de meteorización, producto de la exposición de estas rocas a factores de intemperie (clima, acción del agua, gravedad, acción orgánica, etc.), la que afecta directamente las propiedades mecánicas de las rocas, puesto que con el paso del tiempo, aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso (González de Vallejo, et al. 2002). Los distintos grados de meteorización de las rocas, depende de factores propios del material (como la composición mineral o el grado de fracturamientos) y de cambios ambientales y atmosféricos (clima, presencia de cobertura vegetal, humedad, composición química de las aguas, cambios de temperatura, etc.).

La descomposición de rocas intrusivas, da como producto materiales residuales de tipo **maicillo** con colores rojizos, presencia de arcillas y óxidos de hierro, que son frecuentes en el área de estudio. Más adelante en la descripción de suelos de la comuna, se presentan fotografías. Según Toro (2007), en laboratorio se ha determinado que la resistencia de estas rocas intrusivas meteorizadas decrece en forma considerable al encontrarse en estado de saturación en comparación a la condición de no saturada, que puede darse por expansión o hinchamiento de algunas arcillas en contacto con el agua.

El grado de meteorización se puede determinar a partir de la siguiente Tabla.

Tabla 1 Descripción del grado de meteorización

Grado	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Se debe determinar el grado de cambio en la coloración, y si afecta a uno o varios minerales
Desintegrada	La roca se ha desintegrado al estado de un suelo, manteniendo su fábrica original. La roca es friable (pero los granos minerales no están descompuestos)
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, donde algunos o todos los minerales están descompuestos

Fuente: González de Vallejo et al. 2002

Existen estudios regionales que han caracterizado estas unidades amaicilladas (Álvarez, 1964; Toro, 2007). Según estos, la profundidad que puede alcanzar este horizonte hasta llegar a la roca sana puede ser de hasta 30 metros, variando, en forma gradual de mayor nivel de descomposición hasta llegar a la roca fresca.

En la comuna, se reconocen unidades con los distintos grados de meteorización descritos, distribuidos según condiciones climáticas y morfológicas del relieve. Para el análisis de riesgos por procesos de remociones en masa, será importante considerar la presencia de unidades con altos y bajos niveles de meteorización, considerando para el análisis procesos en suelos y en roca.

La erosión de aguas no encausadas (aguas lluvias principalmente) en estas rocas, generan profundas erosiones, llegando a formar surcos en el terreno, y en el caso extremo **cárcavas** (Ver Fotografías 1 y 2, sector Quintay). Estos procesos generan geometrías irregulares en laderas naturales y cortes artificiales, sumado a una pérdida en la resistencia de los materiales, favorece las condiciones para la generación de procesos de tipo remoción en masa.

Fotografías n° 1 y 2: Niveles de rocas intrusivas amaicilladas con fuerte erosión (cárcavas)



Fuente: Obtención propia

Rocas sedimentarias marinas semi consolidadas Terciarias. Formación Navidad (Tn). Esta unidad asignada al Mioceno-Plioceno, entre 23 y 2,5 Ma (Darwin, 1846 en Gana et al., 1996) corresponde una secuencia sedimentaria marina fosilífera, medianamente consolidada. Las unidades de roca las componen limolitas, areniscas arcillosas, areniscas de grano muy fino a muy grueso, bancos de conglomerados, areniscas muy finas grises, bancos de coquinas y calizas. Presenta fuertes variaciones verticales y laterales de facies, y se dispone en contacto depositacional sobre granitoides paleozoicos (Pzmg) y cubierta a su vez por sedimentos eólicos, aluviales y suelos cuaternarios.

Presenta disposición general subhorizontal y posee una potencia máxima estimada en el área, de 170 m. Los estratos superiores engranan con depósitos continentales de la unidad TQpa. Aparece en afloramientos puntuales en las quebradas principales, dispuesta sobre el basamento. En la comuna de Casablanca se reconocen afloramientos puntuales en la quebrada que desemboca en Quintay.

Terrazas de abrasión cuaternarias (QTt). Esta unidad se reconoce asociada a las terrazas de erosión marina asignadas al Plioceno – Pleistoceno (entre 5 y 0,02 Ma), dispuesta sobre intrusivos Paleozoicos y Jurásicos. Dentro de esta unidad se incluyen terrazas de abrasión sin cubierta sedimentaria (sector de Quintay), terrazas cubiertas por arenas cuarzosas (posiblemente marinas) y terrazas con cubierta aluvial. En la comuna de Casablanca se dispone en el entorno a las quebradas principales (Casablanca, La Viñilla, Tapihue, Lo Ovalle y El Rosario).

Depósitos Aluviales (Qa). Unidad de sedimentos no consolidados de origen aluvial ubicados en zonas de llanuras, compuestos por gravas, arenas y limos. En la comuna se reconoce en las cabeceras de las subcuencas de Lo Ovalle y Lo Orozco.

Depósitos Fluviales actuales Holoceno (Qf). Sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos. Predominan facies de relleno de canal con base erosiva, constituidas por gravas clastosoportadas, compuestas por bolones redondeados a bien redondeados de baja esfericidad, en parte imbricados; lentes de arenas con estratificación plana-horizonta y cruzada y escasos limos finamente laminados.

Depósitos coluviales Holoceno (Qc). Sedimentos no consolidados, ubicados en las cabeceras de las quebradas, o en pequeñas y afluentes de las quebradas principales de la comuna. Comprenden principalmente depósitos gravitacionales correspondientes a flujos en masa, matriz-soportados, de muy mala selección granulométrica, que pueden incluir desde bloques hasta arcillas, interdigitados con lentes de arenas y gravas generados por pequeños cursos de agua, permanentes o esporádicos. Estos sedimentos provienen de la alteración y meteorización de materiales in situ y que se trasportan por la ladera por gravedad, agua, hielo deshielo. La presencia de agua, puede aumentar la presión de poros y disminuir la resistencia del material, por lo que es importante considerarlos en el análisis de los procesos de remociones en masa.

En términos de estructuras geológicas, de acuerdo a la información disponible, la comuna se encuentra afectada por fallas y lineamientos principalmente de orientación NW (Álvarez, 1964; Gana et al., 1996; Sabaj, 2008) y algunos con orientación NE (Gana et al., 2000 en Sabaj, 2008). Los lineamientos, NW además de controlar la mayoría de las grandes quebradas en la región (Álvarez, 1964), han sido interpretados como fallas que han sufrido dislocaciones tectónicas en el cuaternario (Álvarez, 1964; Castro y Brignardello, 1997) dada la dificultad que se presenta correlacionar los niveles aterrizados a un lado y al otro de cada quebrada.

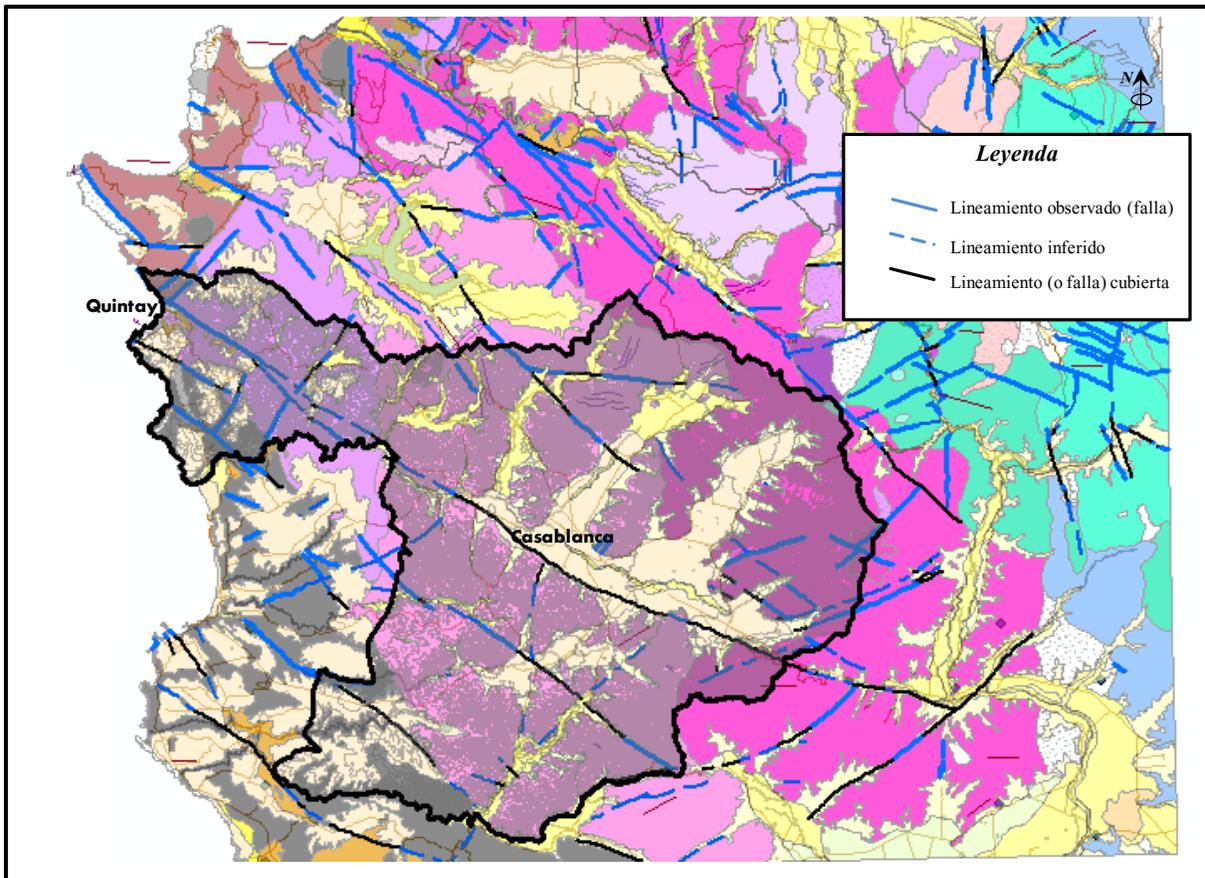
El principal rasgo estructural de la comuna de Casablanca corresponde a una estructura que comienza al Norte de Quintay y se extiende de manera discontinua por más de 47 km con orientación promedio N55°W (Gana, et al. 2006 en Sabaj, 2008), y mostrado en la Figura a continuación (falla Valparaíso – Curacaví).

Esta estructura se compone de dos trazas. La primera corresponde al sector **Noroeste**, y corta a rocas intrusivas jurásicas (Js). Tiene 17,3 km de largo y orientación N50°W. Sólo 7 km de su traza han sido observados (el resto se determinó mediante fotolineamientos) y no se ha podido determinar su mecanismo (Sabaj, 2008). Esta estructura pertenecería al sistema de fallas del Marga-Marga (Figuroa et al., 1997) que sigue el trazado general del valle en

dirección Sureste-Noroeste, con rumbo N 40° W y N 60° W y una longitud de 50 Km. Se hace mención a esta estructura y los estudios recopilados, por sus posibles implicancias en el peligro sísmico de la comuna.

La segunda traza de esta estructura (Sureste) corta a los intrusivos jurásicos (Jp y Jlt) y corresponde a un lineamiento sinuoso de 30,5 km de largo y orientación general N60°W (Sabaj, 2008). El 70% de la traza se encuentra cubierta por terrazas de abrasión marina de edad Plioceno (?) - Pleistoceno (QTt) y por sedimentos holocenos fluviales (Qf) y coluviales (Qc). Este tramo se encuentra desplazado unos 700 m al Sur del tramo anterior, donde se observa una curvatura en el cauce del estero Casablanca (Figura a continuación). Cuando se describan los tipos de amenazas, se profundizará con información de fallas geológicas en la comuna de Casablanca.

Figura n° 10: Fallas y lineamientos estructurales principales



Fuente: Elaboración a partir de Gana, et al., 1996.

Fotografía n° 3: Rasgos estructurales del límite Norte de Quintay



Fuente: Obtención propia

2.5 SUELOS

Los suelos, junto con el agua, cubren gran parte de la superficie terrestre de nuestro planeta, y su presencia es fundamental. Los suelos son una mezcla de materia mineral, materia orgánica, aire y agua, y se originan por la descomposición y desagregación de rocas en superficie. Cuando el producto de la descomposición de las rocas permanece en el lugar de origen se les llama **suelos residuales**. Cuando esto no ocurre, se les llama **suelos transportados**.

Como se mencionó anteriormente, el actuar de agentes ambientales, genera desagregación de la roca, en un proceso llamado meteorización. Este proceso genera distintos horizontes de roca meteorizada o “suelo”, según se muestra en la Figura a continuación (Horizonte A: descomposición de materia orgánica; Horizonte B: zona de acumulación de arcillas y óxidos de hierro; Horizonte C: capa inferior del suelo, sobre la roca sólida no meteorizada. Se compone de trozos de rocas sueltas, ligeramente meteorizados; Horizonte D: Roca madre).

Dependiendo de factores ambientales (clima, vegetación, relieve, entre otros) y características propias de los materiales (dureza, presencia de grietas y fracturas, etc.), se generaran o no los distintos horizontes, y con potencias variables.

Figura n° 11: Transición suelo – roca y horizontes de suelo



Fuente: Imagen de <http://www.efn.uncor.edu>. Fotografía obtención propia

Desde el punto de vista geotécnico, la transición suelo – roca no es un tema fácil. Por un lado, el desarrollo y espesor de los distintos Horizontes puede ser muy variable, cambiando drásticamente las propiedades mecánicas y resistentes de estos materiales. También se dan casos de rocas en un estado avanzado de descomposición que tendrá un comportamiento tipo suelo. O a la inversa. Un suelo muy compactado y resistente, que finalmente se comportará como roca.

Un criterio ampliamente utilizado en ingeniería geológica para establecer los límites de la transición suelo duro – roca blanda, es el valor de la resistencia a la compresión simple (o esfuerzo máximo que soporta una pieza del material antes de romperse la ser sometida a carga), y está relacionado con la dureza (según la escala del IRSM, 1981). Una roca muy blanda o extremadamente blanda, se desgrana con golpes de martillo o con cortaplumas de bolsillo, hasta hundir la uña del dedo pulgar.

Los suelos residuales de la comuna de Casablanca, incluyen desde afloramientos rocosos (Roca Madre), así como por rocas meteorizadas en proceso inicial de meteorización, variando a suelo en formación junto a fragmentos de roca madre hasta materiales de tipo maicillo.

También existen suelos transportados, compuestos por sedimentos variados y suelos profundos a ligeramente profundos ricos en materia orgánica, especialmente asociado a los valles de Casablanca.

Fotografías n° 4 y 5: Transición roca – suelos (maicillo) comuna de Casablanca.



Fuente: Obtención propia

Fotografías n° 6 y 7: Transición roca – suelos (maicillo) comuna de Casablanca.



Fuente: Obtención propia

Como se muestra en las fotografías anteriores, la transición roca – suelo presenta profundidades variables a menor escala. Esto quiere decir, que es posible encontrar afloramientos de roca intrusiva fresca (Roca madre) junto a afloramientos de roca con altos niveles de meteorización (suelo residual de tipo maicillo) muy cercanos entre sí. La Fotografía a continuación es un claro ejemplo de lo descrito anteriormente.

El comportamiento que presentan estos materiales en procesos de movilización de material de laderas (remociones en masa, analizadas más adelante) es muy diferente entre sí, por lo que sería recomendable considerar ambos casos.

Fotografías n° 8: Transición roca – suelos (maicillo) comuna de Casablanca.



Fuente: Obtención propia

Los suelos transportados en la comuna de Casablanca, se concentran en los fondos de valles, donde el espesor de la capa con mayor contenido orgánico aumenta. Las formaciones superficiales se componen de un sustrato de rodados (clastos) de granulometría diferente, principalmente arenas y arcillas, con una capa de suelo orgánico en su horizonte superior. Los suelos han derivado de sedimentos graníticos que forman el material de relleno, por lo tanto tienen características parecidas en toda la llanura.

El suelo es un recurso natural renovable, se comporta como un cuerpo dinámico, que evoluciona en el tiempo y que se encuentra en equilibrio con el sistema ecológico al cual pertenece (Pauta para el estudio de Suelos – SAG 2011).

La Capacidad de Uso de Suelos, en su concepto más amplio, representa la habilidad de los suelos para ejecutar funciones (intrínsecas o extrínsecas) que le permita funcionar como un sistema abierto viviente, dentro de los límites del ecosistema al que pertenecen y del uso dado y, así sostener la producción biológica y la vida de los organismos que de él se sustentan. La estructura del suelo es fundamental para determinar los procedimientos y cuidados de mantención que deben ser aplicados a los cultivos, con tal de optimizar este recurso, considerando factores, como la textura del suelo, pedregosidad, pH, profundidad y drenaje.

De acuerdo a las clasificaciones de los suelos en función de la capacidad de uso (Pauta para el estudio de Suelos – SAG 2011), en la comuna de Casablanca predominan los suelos de clase III, II y I en las llanuras (citados de acuerdo a su importancia comunal).

Los materiales que cubren las laderas de pie de monte colindantes a los valles han derivado directamente de la granodiorita basal, son arenosos, con proporciones variables de arcillas y estructura en bloques angulares. En general, presentan tonalidades rojizas o amarillentas bajo el horizonte humificado que es gris. La base consiste en alteritas muy lixiviadas con tonos muy claros y en algunos sectores se observa una concentración de arcillas rojas inmediatamente bajo el horizonte B. Constituyen un sustrato que, por su acentuada inclinación, está constantemente expuestos a la erosión, primeramente laminar y cuando la situación se agrava se producen disecciones lineales que llevan a la formación de cárcavas. Sólo en aquellos sectores que conservan el tapiz vegetal es posible observar una mayor resistencia a los procesos erosivos. Estos suelos de pie de monte son principalmente de clase IV y VI, y constituyen actualmente el área de expansión de las plantaciones viníferas (Fuente: Memoria Explicativa PRC Casablanca, Julio 2010).

De acuerdo a su capacidad de uso, a comuna de Casablanca posee la siguiente distribución de suelos (según Memoria Explicativa PRC Casablanca, 2010):

- Suelos Capacidad I: Son tierras excelentes sin limitaciones de uso, planas o con pendientes bajas, fértiles, de buena textura y permeabilidad, no erosionables. Pueden ser de riego o de secano. Su uso primario está destinado a frutales y cultivos. La comuna posee 467,1 Há, lo que equivale al 0,43% de la superficie comunal. Se localizan en el valle mismo del estero Casablanca.

- Suelos Capacidad II: Son tierras buenas con ligera limitación de uso. Planas o ligeramente inclinadas en cuyo caso pueden estar expuestas a la erosión. Pueden ser de riego o de secano. Su uso primario está destinado a los cultivos, frutales y cultivos forrajeros. La comuna posee 1290,6 Há de suelo clase II, lo que equivale al 1,19% de la comuna. Se localizan en la parte más amplia del valle del estero Casablanca y están representados por las series Las Rosas (LRR) de origen aluvial, Santa Rita de Casablanca (RCB) y Santa Rosa de Casablanca (SRC), estas dos últimas series, son suelos profundos de origen coluvio-aluvial. Las series mencionadas entran territorialmente en asociación con las series de suelos más representativas de capacidad III, tanto en los sectores de Casablanca-La Viñilla como en Lo Ovalle y Lo Orozco.

- Suelos Capacidad III: Son tierras de origen aluvial, moderadamente profundas con limitaciones moderadas de productividad. Son planas, ligeramente inclinadas y con pendientes moderadas a suaves. Pueden presentar un cierto grado de susceptibilidad a la erosión, requieren de fertilizantes, poseen una profundidad ligera a moderadamente profunda, pueden ser suelos de riego o de secano. Su uso prioritario lo constituyen los cultivos de temporada, cultivos forrajeros, praderas y viñas. La comuna tiene 10.681,4 Há de este suelo, lo que equivale al 9,89 % del total comunal. Se distribuyen de manera importante en los valles de Lo Orozco, Lo Ovalle, Los Perales de Tapihue y Casablanca-La Viñilla. Están representado principalmente por la series de Casablanca (CSB), Tapihue (TAP) cuyo pedón ha sido definido en la ex Hacienda La Viñilla, y Santa Amalia de Casablanca (SAC).

- Suelos Capacidad IV: Son tierras regulares con limitación para cultivos, son de escasa profundidad, excesiva pedregosidad, baja fertilidad, textura arenosa o arcillosa. Pueden ser de riego o de secano. Su uso primario es en praderas, cultivos y plantaciones forestales, hoy constituye un espacio importante en el desarrollo de la vitivinicultura de la comuna. A nivel comunal llega a 12.467,6 Há, que corresponden al 11,54% del total comunal. Las series más representativas son Lo Vásquez (LVZ), suelos rico en cuarzo de amplio desarrollo en zonas de laderas con erosión fuerte y la serie Bochinche (BOC), formada por sedimentos graníticos y muy representativa en el área de Tunquén.

- Suelos Clase V: Son tierras ganaderas. Suelos planos o ligeramente inclinados, potencialmente cultivables. Sus problemas pueden ser de drenaje, inundaciones frecuentes, pedregosidad excesiva. En la comuna existen 83,7 Há, que equivalen al 0,08% comunal por lo que son poco representativas

- Suelos Clase VI: Son tierras principalmente de vocación forestal con limitaciones importantes producto de su mayor pendiente y riesgo de erosión. En aquellos sectores de mejor exposición y con técnicas de riego, permiten el desarrollo de frutales. La comuna posee 13.486,7 Há, que corresponden al 12,49% de la superficie total.

- Suelos Clase VII: Son tierras forestales con limitaciones mayores, en ellas se acentúan las características que imposibilitan su uso en cultivos. Su uso ganadero es restringido. A escala comunal existen 68.798 Há de este suelo, que equivalen al 63,69%. Éstos corresponden al mayor porcentaje a escala comunal, y son suelos sin importancia agrícola. Este hecho se traduce en una limitante para el desarrollo agropecuario de la comuna, junto a la carencia de agua. Están ocupadas principalmente por plantaciones forestales y nativo. Los suelos de clase VI y VII están representados por la series Lo Vásquez y Bochinche, tienen mayores pendientes y están fuertemente erosionados.

- Suelos Clase VIII: Son tierras no aptas para pastoreo ni cultivo forestal. Presenta serias limitaciones de uso debido a la topografía, clima, etc. La comuna posee 747,2 Há, que equivalen al 0,69% de la superficie comunal. Son suelos mayormente denudados o con sustrato rocoso expuesto en superficie.

2.6 CLIMA

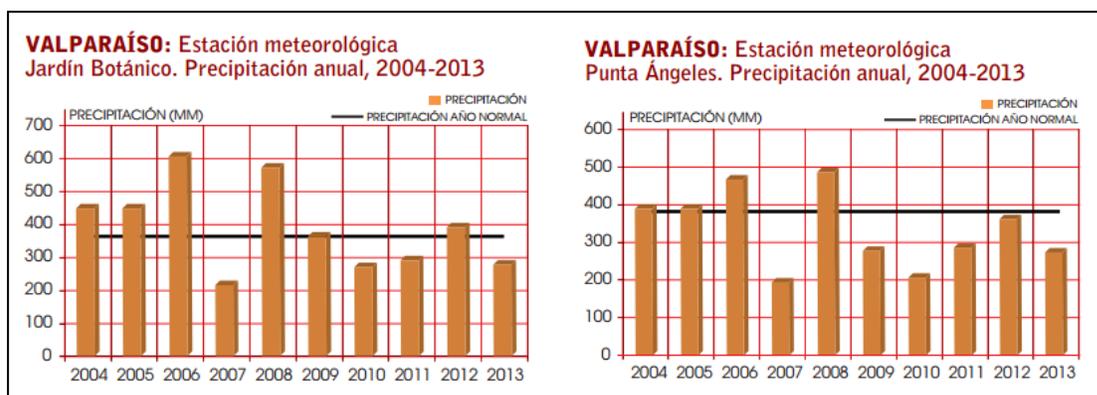
La Comuna de Casablanca, presenta un clima templado - cálido (tipo mediterráneo) con lluvias invernales, estación seca prolongada (8 a 7 meses) y gran nubosidad, especialmente en la costa (Troncoso, 2006). Este clima está fuertemente influenciado por el océano Pacífico, que en estas latitudes es particularmente frío debido a la presencia de la corriente de Humboldt. Este fenómeno enfría la capa baja de la atmósfera originando abundantes nublados bajos y neblinas que penetran varios de kilómetros hacia el interior; la alta nubosidad reduce el número de días despejados a menos de 180. La aridez climática se ve considerablemente atenuada por la alta humedad relativa que reduce la amplitud térmica, la evapotranspiración y el déficit hídrico.

En la comuna las temperaturas medias mensuales son del orden de los 17,8°C en el mes de enero y de 9,1°C en el mes de agosto, los que representan comparativamente con la cuenca de Santiago 3,5° C menos en verano y entre 1,0°C y 1,5° C más, para el mes más frío, con amplitudes anuales del orden de los 8,5° C a 9,0° C (Fuente: Memoria Explicativa PRC Casablanca, Julio 2010). Las variaciones locales están determinadas por la cercanía al mar o por los cordones montañosos que circundan el valle de Casablanca. Los cerros que encierran la comuna por el lado costero (con alturas cercanas a los 500m s.n.m.) así como los cerros de la cordillera de la Costa, generan que la cuenca de Casablanca esté en cierta forma encerrada, generando un recalentamiento térmico del valle de Casablanca por efecto del desplazamiento y compresión de las masas de aire.

La distribución anual de las precipitaciones muestra un predominio de éstas durante los meses junio y julio, en donde se concentran entre el 60 a 70% de las lluvias de origen frontal. Cada 15 a 20 años los meses de mayo y agosto pueden concentrar la mayor cantidad de lluvias, mientras que entre Septiembre y Abril se presenta un déficit de precipitaciones, situación que es atenuada por la constante nubosidad y las lloviznas locales. En la costa, la humedad atmosférica alcanza valores medio de 82%. El promedio para una serie de 50 años alcanza a 320,6 mm/año, sin embargo hay años en que se sobrepasa el promedio anual (ejemplo, años 1941, 1953, 1965, 1972, 1982, 1987, 1997, 2002, 2006, 2008). Fuente: Memoria Explicativa PRC Casablanca, Julio 2010.

La Figura a continuación, muestra valores precipitaciones anuales en dos estaciones de la V región, entre los años 2004 y 2013, donde se aprecian los años en que se ha excedido la media, así como años con déficit.

Figura n° 12: Precipitaciones anuales período 2004 – 2013 estaciones V región



Fuente: Informe Anual 2014 – Medio Ambiente. INE

De acuerdo a la información recopilada en la Dirección General de Aguas (DGA), el registro de precipitaciones máximas en 24 hrs. para la Estación de Casablanca, correspondiente al Periodo 1986 -2015 (29 años de registro) se obtienen en promedio del periodo 65 mm x 24 hrs, este promedio es superado en 12 ocasiones (41%), correspondiendo en general a los periodos en los cuales se han registrados inundaciones en la comuna.

Tabla 2 Precipitaciones máximas en 24 hrs - Estación de Casablanca

AÑO	FECHA	PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HS. (mm)
1986	20/04	47.00
1987	11/08	92.60
1988	18/08	39.50
1989	25/07	82.50
1990	16/07	54.00
1991	18/06	69.00
1992	05/05	124.00
1993	03/06	46.50
1994	23/05	51.00
1995	04/07	38.60
1996	06/07	59.00
1997	16/08	90.00
1998	05/06	21.90
1999	07/09	35.00
2000	09/09	109.00
2001	29/07	104.00
2002	24/05	138.50
2003	20/05	90.60
2004	12/11	45.50

2005	03/05	52.00
2006	07/06	84.80
2007	08/08	31.50
2008	15/08	94.60
2009	14/08	68.50
2010	17/06	51.10
2011	18/06	49.50
2012	26/05	50.00
2013	27/05	60.00
2014	11/06	56.00
2015	16/03	5.00

Fuente: DGA 2015

Finalmente, los vientos en la comuna se ven originados en el anticiclón del Pacífico Sur, durante la estación cálida proceden del Sur y SurOeste y en los meses invernales son del norOeste. Durante el día tienen dirección Oeste-este y en la noche sucede lo contrario; ello se debe a la formación de un centro de bajas presiones hacia el NW de la cuenca, situación que se invierte en la noche (Fuente: Memoria Explicativa PRC Casablanca, Julio 2010).

2.7 VEGETACIÓN

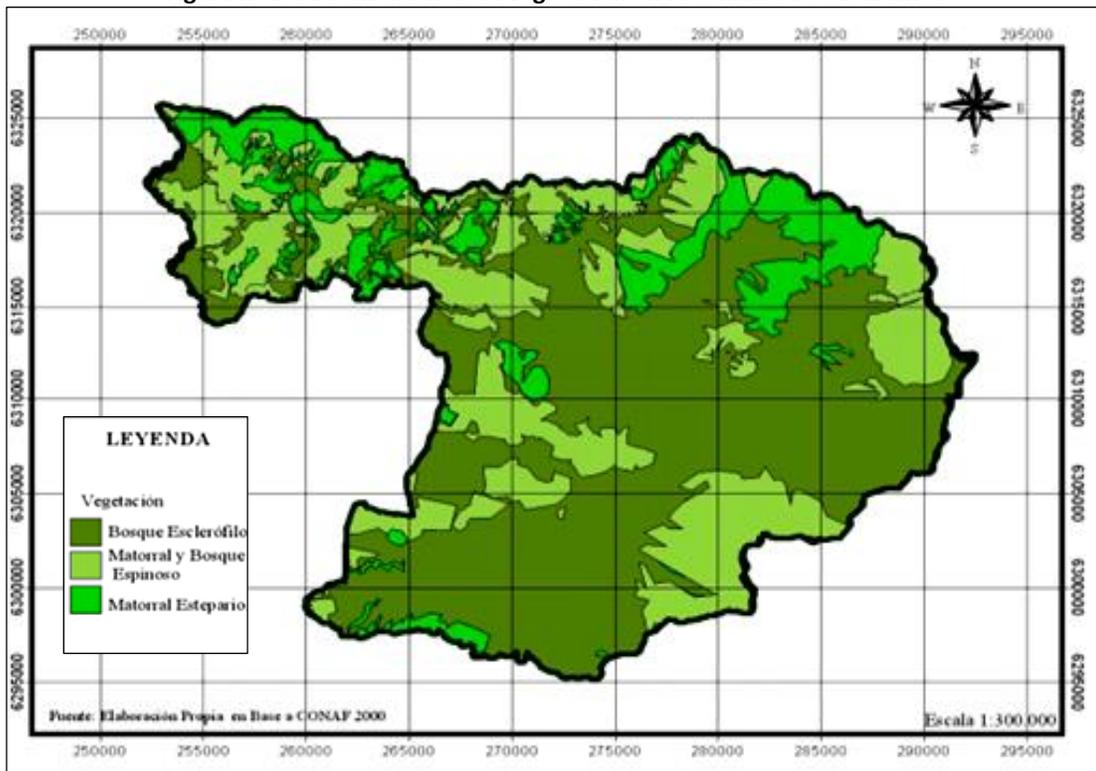
La comuna de Casablanca se encuentra localizada en la región biogeográfica del Matorral y del Bosque Esclerófilo, debido a que presenta en sus características morfológicas y climáticas factores determinantes en esta categoría. Dentro de esta región de ambientes vegetacionales, es posible identificar además una serie de subregiones, dentro de las cuales se identifican las siguientes (Troncoso, 2006):

- Sub – Región del Matorral Estepario
- Sub – Región del Matorral y del Bosque Espinoso
- Sub – Región del Bosque Esclerófilo

Existe una cobertura vegetal en que dominan los arbustos altos y árboles, correspondiente, a menudo, a un estado de regeneración del monte bajo de las especies arbóreas esclerófilas y, en algunos casos, laurifolias. Se extiende generalmente por las laderas de ambas cordilleras, destacando una composición variable de acuerdo con el patrón de exposición a la radiación solar. Su composición florística es muy variada y rica, contando entre sus elementos a numerosas especies de tipo laurifolio relictual y, en el estrato herbáceo, a una alta proporción de especies introducidas.

Hacia la costa, el Bosque Esclerófilo está muy alterado, mostrando la presencia de diferentes estados regenerativos. Se distribuye en sectores costeros montañosos y en las laderas occidentales de la Cordillera de la Costa, lo que corresponde en la zona central del país, a condiciones ambientales muy favorables. Dentro de esta ubicación se encuentran las localidades de Tunquén y Quintay, además de aquellas localidades interiores como Pitama, Las Dichas, San Jerónimo, Valle Hermoso y lo Orozco, entre otras. En algunas localidades se encuentran relictos de un antiguo bosque laurifolio, hoy desaparecido. La Figura a continuación muestra la distribución de la vegetación en la comuna, basándose en el trabajo de Troncoso, 2006.

Figura n° 13: Distribución de la vegetación en la comuna de Casablanca



Fuente: Troncoso, 2006.

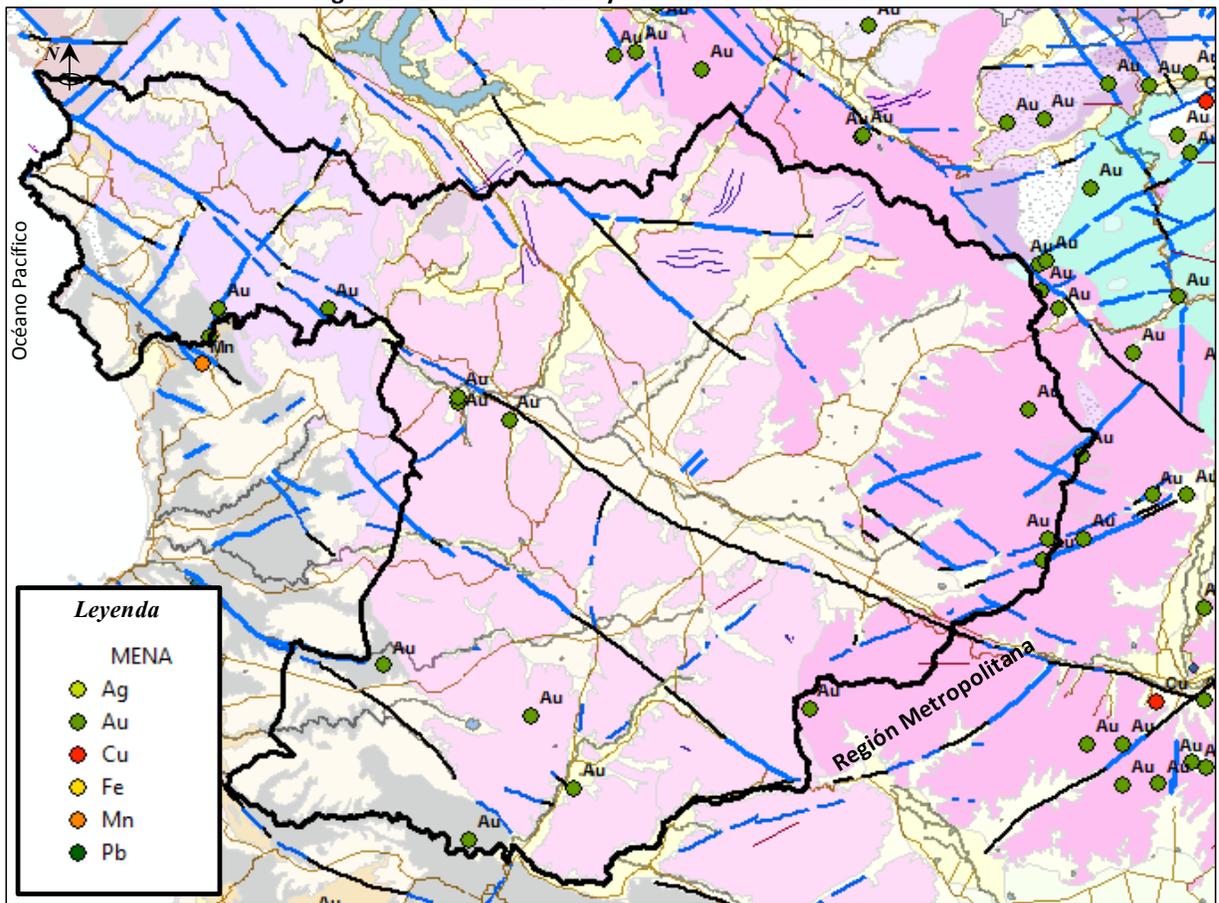
2.8 MINERÍA

La actividad minera de la comuna data de la época de la conquista la que se caracterizó por la explotación de placeres auríferos del Estero Casablanca. Según el Mapa Geológico Valparaíso – Curacaví (Gana, et al. 1996). En la comuna existen varios yacimientos, especialmente de Oro, mostrados en la Figura 14.

En tanto, el Atlas de Faenas Mineras (regiones de Valparaíso, del Libertador General Bernardo O’Higgins y Metropolitana de Santiago), del año 2012, indica la presencia de 7 instalaciones mineras, todas ellas en estado irregular, con mena principalmente de cuarzo (ver Tabla 3). Dentro del proceso de extracción de minerales de la tierra, es frecuente que se generen productos asociados y que son propios del proceso de explotación. Estos depósitos (por lo general de materiales que no son de interés económico) están asociados al mineral de interés, y suelen ser rocas y minerales si ley económica (material estéril), y materiales procesados física y químicamente (material de relaves).

En ocasiones (especialmente con grandes sismos), estos depósitos fallan (como por ejemplo, la rotura del Tranque El Cobre, cerca de Nogales (La Calera) en año 1965, causando daño a la población. Si bien no se dispone de antecedentes ni emplazamiento de estos depósitos en la Comuna, y quedan fuera de las zonas urbanas de análisis, su sola presencia se debe considerar como potencial una amenaza (riesgo de origen antrópico).

Figura n° 14: Ubicación de yacimientos en Casablanca



Fuente: Gana et al., 2006.

Tabla 3: Faenas Mineras Casablanca

NOMBRE FAENA	TIPO DE MINERÍA	MENA	ESTADO
Mina Anita (1 a 54) (Sociedad Legal Minera Anita Uno de Casablanca)	Subterránea	Sulfuro Aurífero	Irregular
Mina San Ramón (Tránsito Segundo Zamora Cortes)	Rajo Abierto	Cuarzo	Irregular
Mina San Ramón (Soc. Minera Casablanca)	Rajo Abierto	Cuarzo	Irregular
Minera Pacífico Casablanca Ltda. (Minera Pacífico Ltda.)	Planta Molienda	Feldespató Potásico	Irregular
Mina Alfa (Quintay). (Minera Quintay Ltda.)	Rajo Abierto	Cuarzo	Irregular
Mina Alfa (Quintay). (Minera Quintay Ltda.)	Rajo Abierto	Feldespató Potásico	Irregular
Planta Quintay (Dante Zúñiga Hernández)	Planta Chancado	Cuarzo	Irregular

Fuente: Sernageomin, 2012.

3. AMENAZAS CONSIDERADAS

A partir de los antecedentes expuestos, se detallan a continuación el tipo de amenazas según lo exigido por la OGUC (2.1.17). En el caso que la potencial amenaza no se haya manifestado en la comuna, se presenta una breve descripción a partir de los antecedentes. En el caso que la amenaza se haya manifestado en la comuna, se realiza en primer lugar un diagnóstico en la Comuna, a partir del cual se define una estrategia de análisis y definir “áreas de riesgo” dentro del PRC.

La metodología para estudiar las distintas amenazas identificadas es variable para cada tipo, en ocasiones pudiendo establecerse una zonificación superponiendo antecedentes o una modelación según lo requiera cada caso. Es importante señalar dada la distinta naturaleza y manifestación de los peligros, no todos podrán ser zonificables o presentadas de manera cartográfica. En los casos que sea factible definir zonas, se describirá en detalle la metodología utilizada para definir las.

3.1 REMOCIONES EN MASA

3.1.1 Definición y tipos de remociones en masa

Los procesos que involucran la movilización de materiales (suelo, rocas o ambos) en laderas por efectos de la gravedad se denominan genéricamente **remociones en masa** (Cruden, 1991). Constituyen un conjunto de amenazas que resultan ser frecuentes en la naturaleza y que en algunas ocasiones generan gran daño a la población.

Para incorporar las remociones en masa en la planificación del territorio, es fundamental diferenciarlas y caracterizarlas (por su tipo, velocidad del movimiento, material afectado). Esto permitiría orientar medidas correctivas adecuadas, o dimensionar su real impacto en la población.

La clasificación de los distintos fenómenos de remoción en masa se basa por un lado en el **tipo de movimiento** que presentan, y por otro lado, en la **naturaleza de los materiales** involucrados. Los movimientos más frecuentes son de tipo deslizamientos (superficiales y profundos), desprendimientos, volcamientos, mecanismos tipo flujo y extensiones laterales. Mientras que la naturaleza de los materiales afectados puede ser muy variable entre rocas y suelo o combinación de ambos, incluyendo en ocasiones fragmentos material orgánico, troncos de árboles e incluso escombros y basura.

Las clasificaciones más recientes (Hungry, 2014) dan cuenta de una gran cantidad de materiales diferenciables entre sí por sus propiedades geológicas y comportamiento geotécnico (diferenciando entre rocas, detritos, suelos, regolito y otros). Dentro de las características de cada tipo de remoción en masa, es importante considerar si presentan o no control de estructuras geológicas, el mecanismo de falla que predomina y las velocidades a las que ocurren. Existen remociones en masa extremadamente rápidas (5 m/s según la clasificación de Cruden y Varnes, 1996), como por ejemplo caídas de rocas, hasta movimientos extremadamente lentos (velocidad típica de 16 mm/año según la clasificación de Cruden y Varnes, 1996), como por ejemplo fenómenos de reptación.□

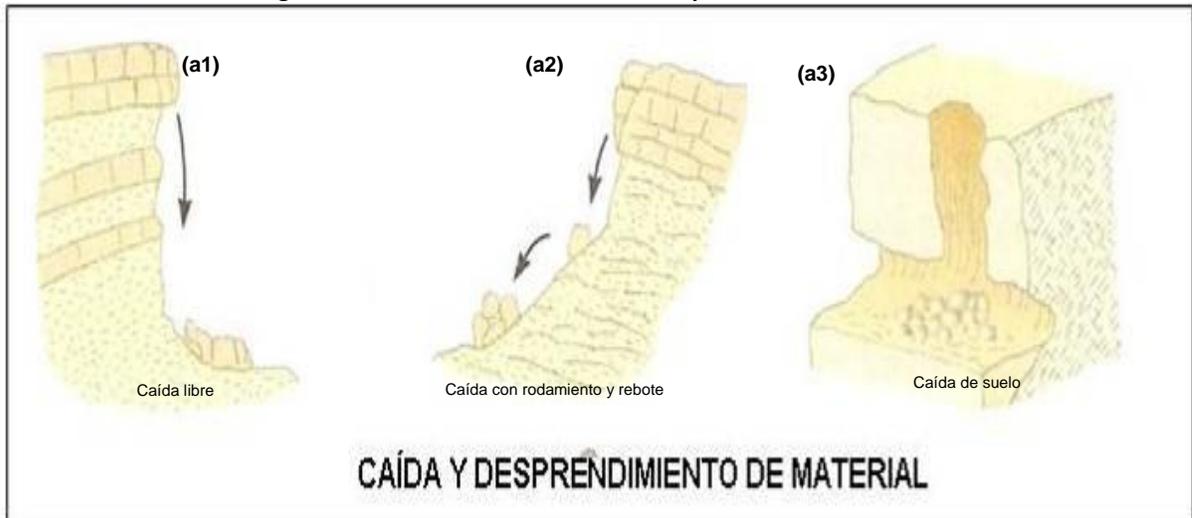
La velocidad de una remoción en masa junto al volumen del material movilizado, condicionan en gran medida la capacidad de control que existe sobre el proceso mediante obras de contención o medidas de mitigación.

Dentro de las remociones en masa más comunes en la zona central de Chile para sectores no montañosos, se reconocen **desprendimientos** de material (rocas, suelos o mezclas, incluyendo en algunos casos vegetación), **deslizamientos** (ya sea de roca o material disgregado) y los mecanismos de tipo **flujo** (barro y detritos). En los sectores montañosos y de la cordillera de Los Andes, se incluyen avalanchas de roca, lahares y flujos asociados a volcanismo.

Las **caídas o desprendimientos** de bloques de roca o masas de roca son eventos muy rápidos (González de Vallejo et al., 2002) en los cuales el material movilizado se separa del macizo rocoso que lo contiene, viéndose favorecidos por la existencia de planos de debilidad y por laderas con geometrías irregulares. El material desprendido podrá alcanzar el pie del talud mediante caída libre o una combinación de ellas. La trayectoria del material, dependerá principalmente de la forma del bloque y del ángulo de pendiente del talud (Lara, 2007). Ver Figura a continuación.

La trayectoria del material, dependerá principalmente de la forma del bloque y del ángulo de pendiente del talud (Lara, 2007).

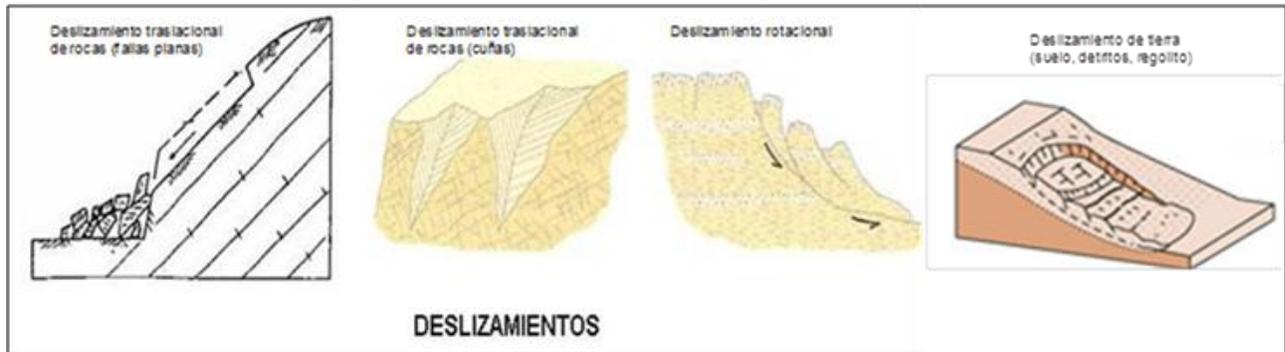
Figura n° 15: Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los **deslizamientos** corresponden a movimientos de masas ladera abajo que ocurren a través de una o más superficies de cizalle predefinidas, ya sean discontinuidades del **macizo rocoso** o a partir de las condiciones de resistencia de los **suelos** que definirán su fallamiento. Los movimientos más comunes que presentan los deslizamientos, son de tipo traslacionales y rotacionales (Varnes, 1978). Los primeros, tienen lugar en superficies preexistentes más o menos planas (por ejemplo diaclasas, fallas o planos de estratificación), siendo los más comunes tipo cuñas y fallas planas. En el caso de los deslizamientos de tipo rotacionales, la superficie de rotura puede ser superficial o profunda definida por superficies curvas y cóncavas. Los materiales en que ocurren, van desde bloques de roca (tipo fallas planas o cuñas), o en materiales homogéneos de baja calidad geotécnica (como arenas, suelos, rocas muy meteorizadas, regolito, coluvios y rellenos artificiales, como botaderos de material estéril, lastre en minería, rípios de lixiviación y material de empréstito). En el caso de los deslizamientos en roca, suelen ser eventos rápidos y repentinos. Los deslizamientos (rotacionales o traslacionales) de materiales menos consolidados, suelen presentar grietas en la zona de escarpe o generación, previo a su movimiento, pero su velocidad es variable (lentos a muy rápidos) y dependiendo de las condiciones, pueden ser el inicio de otro tipo de remociones en masa más masivas (Hungr, 2014). Ver Figura a continuación.

Figura n° 16: Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

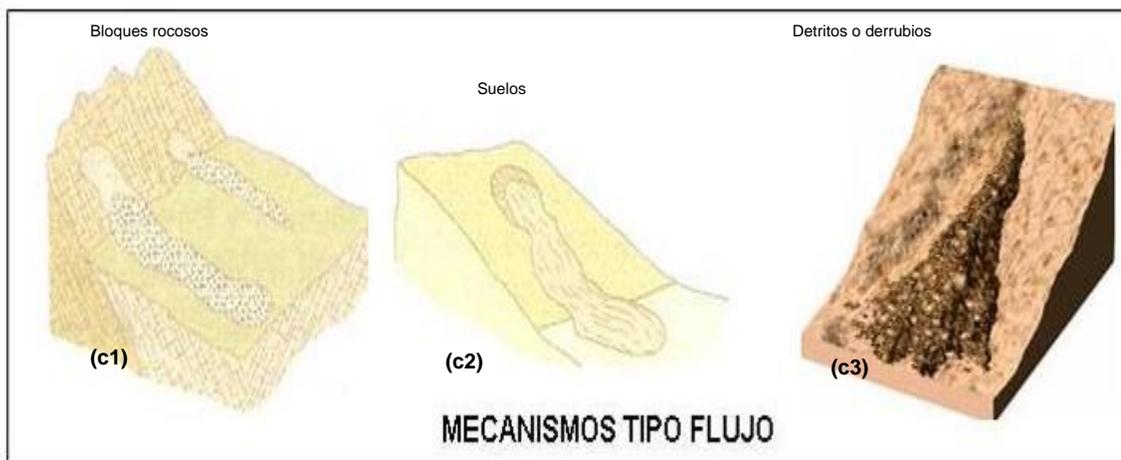


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los **flujos** corresponden a movimientos continuos en que el material es arrastrado y se encuentra saturado en agua (Varnes, 1978). En Chile comúnmente se les llama aluviones. Existen distintas clasificaciones para los flujos, basadas en el tipo de material movilizado (barro, detritos o fragmentos rocosos) y en la proporción de líquido y sólido que presenten (Figura 17). Los eventos más comunes en Chile Central son los flujos de barro y detritos, y cuya ocurrencia dependerá por un lado de existencia de material disponible (generalmente disgregado) que pueda ser arrastrado ladera abajo, y la presencia de algún agente (comúnmente agua) que lo ponga en movimiento.

En general estos mecanismos son poco profundos en comparación con el área que pueden abarcar, y pueden tener lugar en laderas con pendientes incluso menores a 10° (González de Vallejo et al., 2002). Su transporte tiende en un principio a ser dominado por las altas pendientes y luego a canalizarse por cauces preexistentes, mediante el cual el fluido va perdiendo velocidad y energía a medida que avanza por sobre la topografía.

Figura n° 17: Remociones en Masa de tipo Flujo



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

3.1.2 Factores condicionantes y desencadenantes

En el medio físico, existen algunos factores que favorecen las condiciones que se presente movilización de materiales. Estos se conocen como **Factores Condicionantes** y están relacionados con la naturaleza, estructura y composición del terreno (González de Vallejo et al., 2002). Por ejemplo, pendientes y topografía abrupta de un terreno, tipo y calidad de los materiales, presencia o ausencia de vegetación, presencia de agua, existencia de intervención antrópica, entre otros.

De la misma forma, existen factores que modifican la estabilidad preexistente del terreno, como construcciones, caminos, cortes, sismos y lluvias intensas, que desencadenan o gatillan la ocurrencia de un evento (González de Vallejo et al., 2002) y son conocidos como **Factores Desencadenantes**.

A continuación se describen los **Factores Condicionantes** más comunes para distintos tipos de remociones en masa, se consideran los siguientes (basados en trabajos de Hauser, 1993; González de Vallejo et al., 2002; Lara, 2007; Muñoz, 2013)

- **Geología y geotecnia.** Las características geológicas de un sector, son usualmente descritas a partir de los tipos de materiales presentes (distintas litologías, sedimentos y coberturas de suelo), por la disposición que presentan (estratificación, contactos, presencia de fallas y sistemas de diaclasas). Sin embargo, para estudiar las remociones en masa no sólo es importante conocer la composición y tipo de masa sensible a ser movilizada, sino que también como se espera que se comporte en términos mecánicos y resistentes. Es importante considerar el grado de alteración y meteorización de los macizos rocosos, así como caracterizar su fábrica estructural (tipo, disposición y condición de las discontinuidades), y estimar u obtener valores de la resistencia de la roca intacta, del macizo y de sus discontinuidades. También es importante describir el comportamiento de los materiales ante la presencia de agua (porosidad, permeabilidad, humedad, densidad de los materiales que lo componen).
- **Geomorfología.** Las condiciones geomorfológicas de un área estarán gobernadas por los distintos procesos que modelan la superficie, y pueden ser descritas en términos de rangos de pendientes, topografía presente, a altura de las laderas y la forma que presentan (laderas regulares o irregulares, con pendiente positiva o negativa). De esta forma, topografías escarpadas, con altas pendientes, propiciarán la generación de varios tipos de remociones en masa (como flujos, deslizamientos y caídas), influidos por la acción gravitatoria. **Los rangos críticos de pendientes para cada tipo de remoción en masa son variables.**

Hauser (1993) señala que pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas serían favorables para el desarrollo de flujos o aluviones, mientras que Sauret (1987) en Sepúlveda (1998) señala que aluviones podrían generarse en pendientes menores (que no sobrepasen los 15°). Laderas en roca con pendientes mayores a 35° serían susceptibles a que se generen deslizamientos, y en un caso sísmico, esta pendiente podría ser sólo mayor que 15° (Keefer, 1984). En el caso de caídas de rocas, podrían generarse ante un sismo a partir de un macizo rocoso fracturado, meteorizado, y poco resistentes, en zonas donde los taludes son mayores o iguales a 40° (Keefer, 1984). En algunos tipos de remoción en masa, donde es relevante el espesor de suelo y cobertura vegetal, se consideran además aspectos geográficos del área, como por ejemplo orientación con respecto al Norte lo que puede finalmente influir por ejemplo en el grado de humedad de la ladera y exposición al sol.

- **Clima y vegetación.** Las condiciones climáticas influyen directamente en el grado de meteorización y erosión que tendrá un área, especialmente al verse expuesta a precipitaciones, viento, cambios de temperatura y radiación solar. Por ejemplo, la meteorización física y química de los materiales (que es más intensa en climas húmedos), genera mayores espesores de suelo y horizontes orgánicos, y traerá como consecuencia la pérdida de resistencia de los materiales. No obstante, un clima húmedo propiciará la presencia de cobertura vegetal, que además de reducir la erosión, puede en algunos casos ser una barrera natural de contención de material movilizado por remociones en masa. Otro ejemplo es el caso de las precipitaciones, que pueden ser incluidas como condicionantes dentro de la variable climática, pero que también actúan como desencadenante de algunos

procesos. Para evaluar cómo el clima y la vegetación condicionan la ocurrencia de remociones en masa, se hace necesario además conocer las características particulares del área a evaluar y los fenómenos asociados.

- **Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas.** El agua, tanto en superficie como por debajo de ella, condiciona en forma directa e indirecta la generación de remociones. La forma y distribución de sistemas de drenaje en superficie, así características de caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por un lado, genera presiones intersticiales lo que reduce la resistencia, aumenta los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno y genera fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002) y reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas.
- **Intervención antrópica.** El hombre genera de forma planificada o no, modificaciones en el medio. La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, obras de minería, etc., en muchas ocasiones deja las laderas más susceptibles a la ocurrencia de eventos producto de diseños mal concebidos, con ángulos mayores a los que es capaz de resistir en forma natural los materiales, o que no consideran el control estructural que tendrá un talud de forma natural. En algunas ocasiones, el resultado son geometrías de laderas irregulares o con pendientes negativas que finalmente causarán desestabilización. Sin embargo, también existen obras antrópicas robustas, que disminuirán la susceptibilidad ante remociones en masa, y esa consideración será incluida y abordada en el presente trabajo. Cabe señalar, que al igual que las precipitaciones, la intervención antrópica en algunos casos resulta el agente desencadenante de un evento.

A diferencia de los factores condicionantes, los **Factores Desencadenantes** corresponden a agentes activos y pueden ser considerados como factores externos que provocan o gatillan inestabilidades (González de Vallejo et al., 2002). En la mayoría de los casos, son varias causas las que finalmente contribuyen al movimiento de una ladera, aunque con frecuencia se atribuyen a sismos o precipitaciones intensas, sin embargo, deben existir las condiciones predeterminadas para su ocurrencia.

Dentro de los factores desencadenantes, los más comunes se citan:

- **Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas.** Las precipitaciones y aportes de agua cambia las condiciones hidrológicas en los terrenos produciendo: variación en las presiones intersticiales; cambios en el peso del terreno; cambios en los niveles de saturación; pérdida de resistencia de los materiales; aumento en la erosión de las laderas; socavamiento de terrenos. Según González de Vallejo et al. (2002), el desencadenamiento de remociones en masa por causas meteorológicas y climáticas está relacionado fundamentalmente con el **volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones**, lo que implica considerar la respuesta del terreno ante lluvias intensas durante horas o días, su respuesta estacional y en ciclos de sequía.

Las precipitaciones cortas e intensas serían más proclives a generar eventos superficiales, mientras que remociones más profundas serían provocadas por eventos distribuidos en largo periodo de tiempo (Aleotti, 2004 y Kim et al., 2004, en Lara, 2007). En este sentido, la cantidad de lluvias necesarias para que se desencadenen remociones en masa, dependerá del tipo y condición de los terrenos y su ubicación geográfica. En general, distintas zonas necesitarán lluvias de intensidad y/o duración distinta para que se generen remociones, existiendo así un umbral de precipitaciones característico de cada lugar (Lara, 2007). Para determinar los umbrales característicos de cada zona, se quiere contar con bases de datos idealmente continuas de precipitaciones o con alta frecuencia que permitan la realización de análisis estadísticos para la zona de estudio (situación que no siempre ocurre) e incluir dentro del análisis la ocurrencia de fenómenos climáticos como por ejemplo el fenómeno de El Niño en el cual existe una tendencia al exceso de precipitaciones (inviernos con mayor días con lluvia y con precipitaciones de intensidades mayores) y de los niveles de caudales líquidos de escorrentía (García, 2000 en Lara, 2007).

Existen numerosos estudios, antecedentes históricos e información de prensa que dan cuenta de eventos de tipo flujo en la zona precordillerana y cordillerana de la zona Central de Chile. Hauser (1985) plantea una evidente

relación entre la generación de aluviones en la zona central con precipitaciones anormalmente intensas (más de **60 mm/24 horas** en períodos invernales). Precipitaciones de intensidad media en periodos prolongados de tiempo pueden ser consideradas como factores desencadenantes de flujos (Padilla, 2006). Eventos de precipitaciones anormales llevan consigo también, un aumento de la escorrentía superficial que incrementa la erosión del suelo suelto, elemento importante en la generación de flujos. Es importante señalar la ocurrencia de flujos en áreas urbanas donde el material movilizado se satura en agua por causas humanas (ruptura de cañerías, entre otros).

- **Sismos.** Los terremotos pueden provocar movimientos de todo tipo en las laderas, dependiendo de sus características y de parámetros sísmicos, como magnitud y distancia a la fuente (González de Vallejo et al., 2002). Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad (Lara 2007). Según González de Vallejo et al. (2002), los desprendimientos de bloques, deslizamientos, flujos y avalanchas de roca son las remociones en masa más frecuentes producto de un fenómeno sísmico, mientras Keefer (1984) señala que corresponderían a caídas de rocas, deslizamientos desagregados de suelos en laderas con pendientes mayores a 15° y deslizamientos de roca en laderas con pendientes mayores a 40°, y en forma secundaria, derrumbes en suelo, deslizamientos en bloques de suelo y avalanchas de tierra, estableciendo magnitudes mínimas aproximadas para la generación de cierto tipo de fenómenos de remociones en masa, en base a observaciones de eventos generados. Por ejemplo, para sismos con magnitud menor o igual a 5,3 se establece en 50 kilómetros la máxima distancia desde el foco y zonas con ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos disgregados (Keefer, 1984). De la misma forma, se establece en 10 kilómetros la máxima distancia entre el foco de un sismo con magnitud cercana a 5,5 y zonas con flujos de detritos y deslizamientos masivos. Cabe señalar que estas condiciones no contemplan amplificaciones locales o efectos de sitio que pudiese desencadenar remociones en masa.
- **Intervención antrópica.** El hombre, como ente modificador del medio, genera una serie de cambios que en algunos casos son el principal desencadenante de remociones en masa. Los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas producto de la impermeabilización artificial de los suelos o el desvío de cauces sin las correctas medidas paliativas, pueden generar cambios en las propiedades de los materiales y variaciones en el nivel freático. Por otro lado, la obstrucción de cauces con basura y escombros puede aumentar el material a movilizar durante un aluvión, o bien, la mala mantención de redes de alcantarillado y agua potable, pueden desencadenar aluviones (por ejemplo el aluvión en el Cerro el Litre (Valparaíso) el año 2009). La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, entre otros, sin un análisis geotécnico adecuado, puede ocasionar desestabilización, así como el poco mantenimiento de sistemas de contención, o bien la limpieza de laderas sin la guía de un especialista.

En el último tiempo se han desarrollado en el mundo una serie de metodologías, utilizando diferentes herramientas, que buscan evaluar los procesos de generación de remociones en masa. Estos fenómenos han adquirido gran importancia dentro de los eventos naturales, principalmente asociados a los cambios climáticos que se han experimentado a nivel mundial o la ocupación de terrenos escarpados. De manera general, estas metodologías tienen la característica de ser aplicables en zonas limitadas de estudio de acuerdo a sus características geológicas, geotécnicas, geomorfológicas, climáticas, entre otras (Lara, 2007). Suele ser frecuente determinar la **susceptibilidad** a la ocurrencia de remociones en masa, mediante una sumatoria de factores favorables a la generación del fenómeno. Otros autores (en Lara, 2007) señalan que la experiencia en terreno y la generación de mapas de parámetros índices sobrepuestos son la base para la determinación cualitativa de susceptibilidades y peligros geológicos.

La International Association of Engineering Geology (IAEG) y la Guía para la Zonificación de Amenazas de remociones en masa del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA, 2007), proponen guías para la evaluación de la susceptibilidad por remociones en masa. En general los diferentes autores describen este procedimiento en etapas, que son bastante estándar, y es de consenso general que el procedimiento debe ser interactivo durante su aplicación. Las etapas comúnmente utilizadas son:

- Definir los términos de referencia, objetivos de la investigación, definición de la escala de trabajo, requerimientos legales o de la institución que solicita el estudio, etc.

- Recopilación de información base del área de estudio (mapas topográficos, informes geológicos, estudios anteriores, entre otros), y de ser posible, incluir el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales de distintos períodos de tiempo.
- Construcción de mapas temáticos preliminares o línea base. En esta etapa se debe establecer el marco geomorfológico de cada lugar, identificando las características físicas del área, los tipos de materiales que se pueden esperar, y los procesos geomorfológicos esperables.
- Realizar un catastro o Inventario de movimientos en masa, idealmente que incluya el tipo de movimiento en masa, la magnitud, tiempo de ocurrencia o de su reactivación y datos similares. Esta información debe ser validada con visitas a terreno.
- Trabajo en Terreno. Las visitas a terreno deben estar orientadas por un lado a validar la información geológica y geomorfológica del área (unidades morfológicas, tipos de suelos y de rocas), y por otro lado identificar los procesos y depósitos de remoción en masa ocurridos con anterioridad o que se esperan en la zona de estudio.
- Etapa de análisis y entrega de resultados. Una vez compilada toda la información citada en las etapas anteriores, se realizan análisis (cualitativos, descriptivos o cuantitativos) que permitan esta etapa es elaborar la zonificación de las áreas susceptibles a ser afectadas por procesos de remoción en masa. Es fundamental en esta etapa, definir los factores condicionantes claves en la generación de remociones, y que corresponden principalmente a la pendiente, litología, las características de afloramientos rocosos, las observaciones de terreno y la existencia de fenómenos de remoción en masa existentes en las proximidades, más condiciones particulares del sector a estudiar (por ejemplo, zonas de intensa alteración u otras).

Esta guía metodológica fue utilizada para ajustar y/o delimitar las áreas de riesgos de las localidades pobladas en la comuna de Casablanca, y cuyos resultados se presentan en el siguiente capítulo.

3.2 VOLCANISMO

En la región comprendida entre los 27° y 33° de latitud Sur no hay evidencias de actividad volcánica desde el Mioceno, lo cual además coincide con un cambio de ángulo de la placa de Nazca que subducta bajo Sudamérica (www.sociedadgeologica.cl), lo cual ha significado que algunos científicos asocien este cambio de ángulo con la ausencia de volcanismo (franja conocida como “subducción plana o flat-slab”, con un ángulo de subducción cercano a los 10°). Este cambio de ángulo tendría efecto en cómo los factores (temperatura, presión y fluidos) se relacionan para generarla fusión de roca, y también el cambio en los esfuerzos que podrían no permitir su ascenso. De acuerdo a la información geológica, a partir de los 33° de latitud Sur vuelve a aparecer volcanes activos. En este caso, con los volcanes Tupungato, Tupungatito, San José y Maipo, que se encuentran en el macizo cordillerano de Los Andes, en la región Metropolitana. A-priori se puede decir que la comuna de Casablanca se encuentra lo suficientemente alejada de estos macizos volcánicos como para establecer que algún evento de este tipo revista un riesgo para la comuna. Sin embargo, la afección de la ciudad de Santiago, por ejemplo, en caso de un evento volcánico en la Región Metropolitana, tendría consecuencias que de una u otra forma podría alcanzar características de catástrofe en toda la región de Valparaíso, incluida obviamente la comuna de Casablanca.

3.3 SISMOS

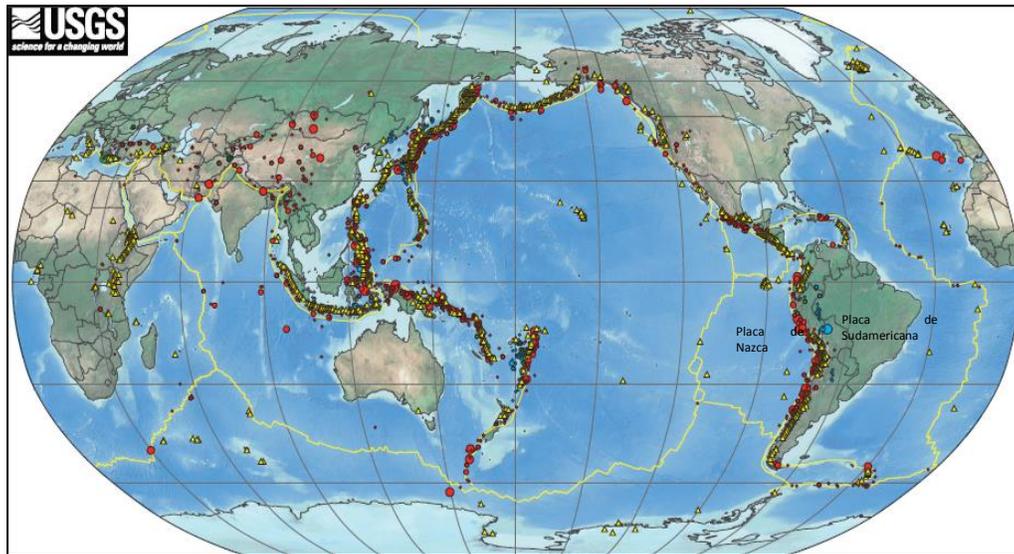
Si bien la OGUC (en su apartado 2.1.17) no menciona los sismos dentro de las amenazas que generen zonas de construcción condicionada, es sabido que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, y que estos fenómenos son considerados dentro de la planificación territorial a través de estudios específicos de Microzonificación Sísmica y en las Normas Chilenas de Construcción.

Como los sismos son clasificados como una amenaza de origen geológico, se presenta a continuación una breve introducción teórica respecto a los sismos y algunos antecedentes del área de estudio.

3.3.1 Sismos y fuentes sismogénicas

El movimiento de placas tectónicas es la responsable de la gran mayoría de sismos en el planeta (Leyton et al., 2010). Estos corresponden a una ruptura violenta generada por la acumulación y posterior liberación de energía acumulada por el movimiento de placas tectónicas, superando la resistencia de las rocas. Como se muestra en la Figura a continuación, se puede destacar la relación que existe entre algunos límites de placas tectónicas y la sismicidad histórica en el planeta (entre 1900 y 2010. Fuente USGS). De la figura se puede observar que el borde occidental de Sudamérica se caracteriza por una banda de sismicidad angosta y particularmente muy activa. Esta región es conocida como la zona de subducción del tipo “Chilena” – esto es esencialmente subducción de bajo ángulo con respecto al tipo “Marianas” -asociada a la fosa Perú-Chile.

Figura n° 18: Sismicidad histórica entre 1900 y 2010



Fuente: National Earthquake Information Center – NEIC from USGS

La subducción de la Placa de Nazca bajo la placa Sudamericana ocurre según un plano inclinado hacia el Este con inclinación que varía entre los 15° y 30° respecto a la horizontal con un fuerte grado de acoplamiento (Madariaga, 1998) denominado zona o plano de Wadati – Benioff. La velocidad relativa de subducción entre ambas placas es del orden de 6 a 7 cm/año³ (según Khazaradze y Klotz, 2003), lo que es considerado una alta velocidad de convergencia. Además, la placa de Nazca es una placa oceánica “joven”. Estas dos características permiten una rápida acumulación de esfuerzos consecuencia del contacto entre ambas placas dando lugar a la alta sismicidad que caracteriza a Chile y Perú (Ruiz y Saragoni, 2005). El empuje de la placa de Nazca en dirección al Este se vería favorecida por su composición y su edad. Una placa oceánica, de 35 millones de años en la zona central, es comparativamente más densa que la placa continental, por lo que tendería a introducirse por debajo la corteza continental menos densa de la placa Sudamericana.

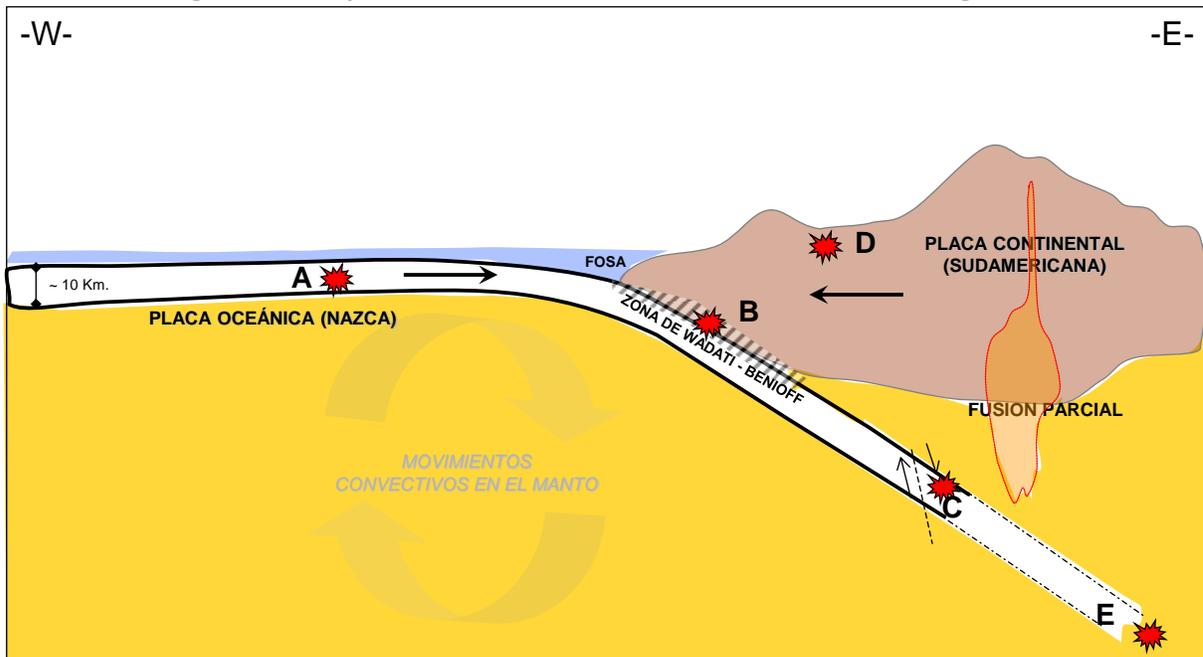
Por otra parte, el ángulo de subducción de la placa de Nazca no sería único en el margen Pacífico de Chile. Barazangi e Isacks, 1976 (en Madariaga, 1998) demostraron que la zona de subducción de Nazca se divide en cinco segmentos de Norte a Sur, de longitud variable, y que poseerían ángulos de subducción muy diferentes. Entre los 15° y 27° de lat. Sur, el ángulo de subducción oscilaría entre los 25° y 30° de inclinación (Norte Grande de Chile), mientras que los 27° y 33° lat. Sur, la Placa de Nazca descendería con un ángulo de 12° a 18° aproximadamente. En la zona de los valles transversales, entre los 27° y 33° lat. Sur, la placa de Nazca parece pegarse bajo el continente sudamericano y

³ Velocidad variable según distintos autores. 6.6 cm/año (Kendrick et al., 2003); 8.4 cm/año (DeMets et al., 1990); 8 cm/año (DeMets et al., 1994).

descendería bajo la Cordillera de los Andes y Argentina con un ángulo de solo unos 10° . Finalmente, en la región del Valle Central, a partir de 33° lat. Sur, el ángulo nuevamente estaría cercano a los 30° de inclinación.

Perfiles transversales al margen de Chile (disponibles en el Centro Sismológico Nacional, www.sismologia.cl), permiten observar que la sismicidad se concentra principalmente entre los 5 y 200 kilómetros de profundidad (en la zona de Wadati - Benioff), lo que además permite deducir el ángulo de subducción en las distintas zonas. La liberación de tensiones y deformaciones a lo largo del plano de Benioff, generan lo que se conoce como **sismos interplaca** (Madariaga, 1998) o sismos en la zona de Wadati - Benioff (tipo B de Figura 19), y serían los más comunes en Chile. El mecanismo de generación de este tipo de sismos, estaría asociado a las rugosidades que existen en ambos materiales generan zonas “trabadas o enganchadas”, las cuales se ven superadas por las resistencias de los materiales a deformaciones liberando energía (destrabándose). Este tipo de sismos se reconocen desde la fosa hasta unos 50 a 60 kilómetros de profundidad (Tichelaar y Ruff, 1993; Leyton et al., 2010; Belmonte, 1997).

Figura n° 19: Esquema de subducción de Chile mostrando fuentes sismogénicas



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la sismicidad en el margen de Chile no sólo existe en el contacto entre ambas placas tectónicas. Debido a los esfuerzos a que están sometidas la placas de Nazca y Sudamericana producto del movimiento convergente, también existen sismos en el interior mismo de las placas conocidos como **sismos intraplaca** (tipo A, C, D y E de Figura 19).

Los mecanismos de liberación de energía en los distintos tipos de sismos son complejos. En el caso de los sismos tipo A (sismos intraplaca oceánica), los materiales de la placa de Nazca (más jóvenes) se flexionan y doblan previamente al proceso de subducción, lo que genera campos extensionales (de estiramiento) los cuales reaccionan producto del choque de las placas, generando reacciones de liberación de energía de tipo “carga – descarga”. Esta fuente sismogénica también es conocida como “outer rise” pues ocurren a distancias mayores a 150 kilómetros de la costa (Leyton et al., 2010).

En el caso de los **sismos intraplaca** tipo C (también denominados sismos de profundidades intermedias) el mecanismo tiende a ser de tipo fracturamiento (en general tensional y en algunos casos compresional) debido a la flexión de la placa subductante. En otras palabras, se dobla y quiebra por su propio peso (ver Figura 19). Esta actividad sísmica se

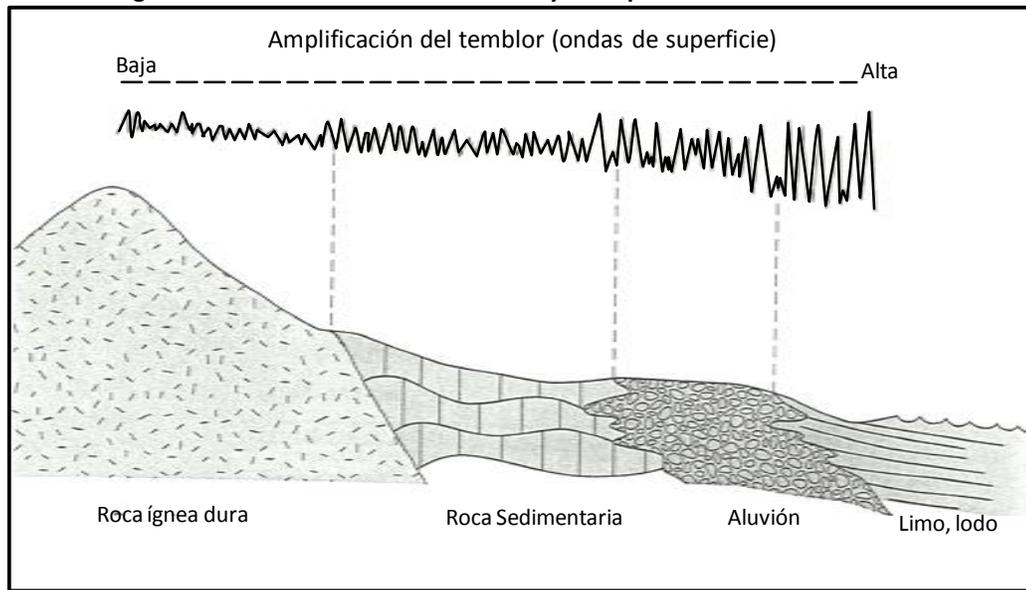
ha observado desde los 50 kilómetros hasta los 200 kilómetros de profundidad (Leyton et al., 2010), existiendo también registros de sismos intraplaca profundos (tipo E) en la zona Norte del Chile (alrededor de los 22° Lat. Sur), entre 500 y 600 km de profundidad bajo la Argentina (Madariaga, 1998).

La sismicidad en la parte superior de la placa Sudamericana a baja profundidad (menos de 30 kilómetros) se conoce como **sismos corticales** (tipo D de Figura 19). Estos sismos serían producto del esfuerzo inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve (es decir, la placa continental, más antigua se deforma producto de las presiones que ejerce la placa oceánica). Esta acumulación de energía se libera en general asociada a fallas superficiales que pueden tener movimientos normales, inversos y de rumbo, que responden a campos de esfuerzos compresivos o extensivos.

Para el estudio de los sismos como un tipo de peligro de origen geológico, es necesario considerar, por un lado, aspectos relacionados con el fenómeno propiamente tal así como sus efectos secundarios. Dentro de los parámetros propios del sismo, se considera su *magnitud* (relacionada con el tamaño del sismo), el *largo de la zona de ruptura* (entendida como el área que abarca la zona en que la placa se rompe), el *período de retorno* (años que transcurren entre dos eventos de similares características en un área determinada), *aceleraciones máximas* alcanzadas y la *intensidad* de un sismo, que corresponde a una escala cualitativa que describe la percepción subjetiva de las personas ante un sismo en un lugar específico y dependerá de los tipos de suelos y daños registrados. Se sabe que la naturaleza de los materiales locales y la estructura geológica influyen en gran medida en el movimiento del suelo durante un sismo (Keller et al., 2004). Se ha observado que las condiciones locales, como tipo de suelos, topografía, profundidad del nivel freático, entre otras, pueden suponer respuestas sísmicas diferentes dentro de un entorno geográfico considerado (González de Vallejo et al., 2002) y se denomina “efecto de sitio” o “efectos locales”. De esta forma, para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde se encuentra ubicado el observador, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto generándose más daño en algunos sectores que en otros (cuyo parámetro y variable de medición y ajuste es la aceleración del suelo, y se reconoce internacionalmente – pues es proporcional – como la Intensidad (Escala Mercalli)). Esta variable depende fuertemente del sitio y/o estructura, por tanto, constituye una variable cuantificable de la “vulnerabilidad” del entorno. Una asociación del tipo de suelo respecto de la información que emerge la geología y geografía, se realizará a través de la descripción del tipo de suelo que entrega la NCh 433 of.96.

En términos geológicos es posible hacer una diferenciación general de los suelos de fundación basada en su nivel de compactación y nivel de consolidación (Keller et al., 2004), pudiendo hacerse una relación general con algunos materiales geológicos (Figura 20). Hay que destacar que un estudio de peligro sísmico incluye muchas aristas que no están dentro del alcance del presente estudio, sin embargo, se presentan los antecedentes recopilados a partir de estudios anteriores.

Figura n° 20: Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



Fuente: Modificada de Keller and Blodgett, 2004.

3.3.2 Antecedentes Sísmicos en la región de Valparaíso

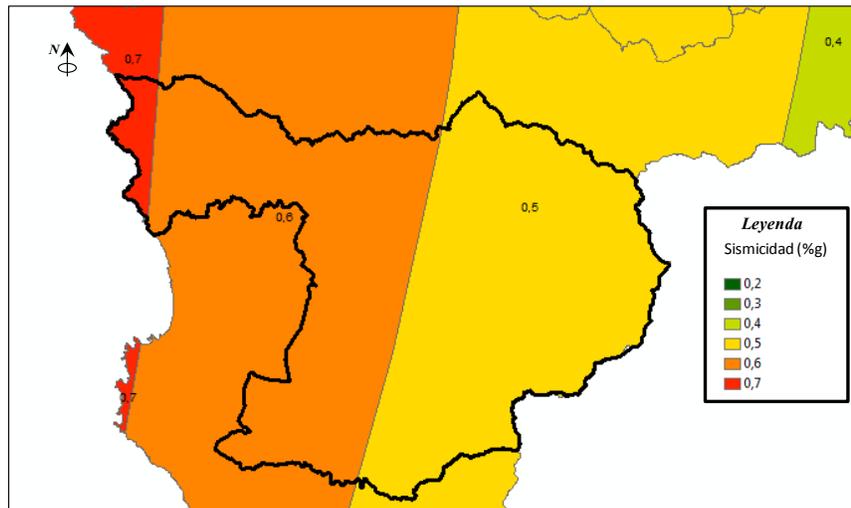
Existen numerosos ejemplos de sismos que han provocado significativos daños socioeconómicos en la región central de Chile (PROT, 2013). El 3 de marzo de 1985 un sismo de $M_w=8.0$ afectó la región, con hipocentro a 17 km de profundidad, y epicentro ubicado frente a Quintay-Algarrobo (también fuentes indican epicentro cercano a Laguna Verde en la Región de Valparaíso), dejó 177 víctimas fatales y más de mil millones de dólares en pérdidas (El Mercurio 2010). El sismo de mayor magnitud registrado en las últimas tres décadas en Chile central ocurrió en febrero de 2010 cerca de Cobquecura, en la Región del Maule. Este evento tuvo su epicentro en el mar y registró una magnitud $M_w=8.8$, registrándose cuantiosos daños a consecuencia directa de este terremoto y el posterior tsunami. También se cita el reciente evento del 16 de septiembre de 2015, con $M_w=8.4$ y epicentro en Coquimbo (a 42 kilómetros de Canela Baja).

La zonificación sísmica de un territorio por lo general se presenta en valores de PGA (Peak Ground Acceleration o aceleración horizontal máxima), la cual a su vez se expresa en un porcentaje de la aceleración de gravedad (% g). Existen muchos estudios en los cuales se ha determinado la peligrosidad sísmica para Chile. Como ejemplo, la Norma Chilena NCh433 de 1996 presenta una zonificación desarrollada a partir de un análisis histórico-determinístico, se definen tres zonas sísmicas presentes en el país, definidas de acuerdo a la cercanía con región de subducción, con valores de aceleración máxima efectiva del suelo de 0.2g para la zona cordillerana, 0.3g para la zona central, y 0.4g para la zona 3 costera, donde se ubica la comuna de Casablanca. La modificación a la NCh 433 posterior al sismo del 2010 (D.S. 61), señala un ajuste a las zonas por condición de suelos.

De acuerdo a los resultados del PROT Valparaíso la comuna de Casablanca abarcaría aceleraciones entre los 0.5g y 0.7g según la Figura 21. A modo de comparación, las isosistas⁴ asociadas al terremoto del 3 de marzo de 1985 se muestran en la Figura 22.

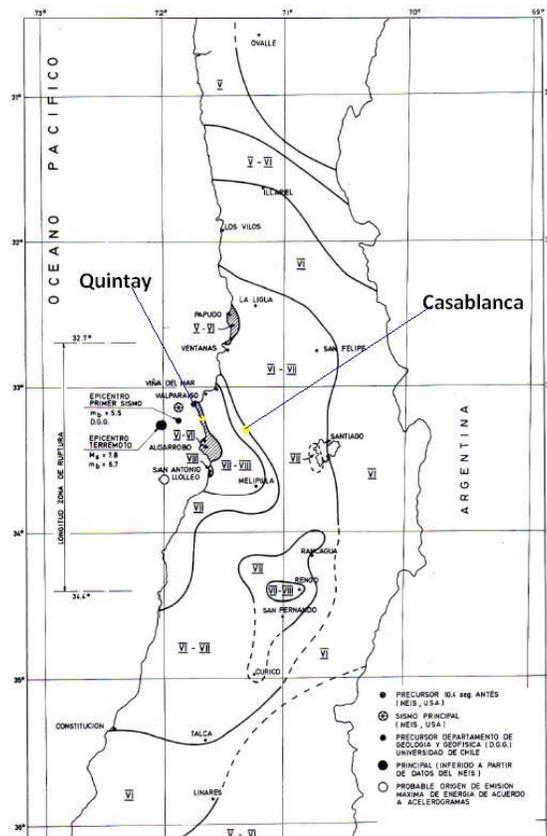
⁴ Isosistas: Curvas de igual intensidad en escala de Mercalli.

Figura n° 21: Zonificación sísmica comuna de Casablanca



Fuente: PROT, 2012.

Figura n° 22: Mapa de aceleraciones máximas del terremoto del 3 de marzo de 1985



Fuente: Saragoni, Gonzalez y Fresard, U de Chile (1986).

En la Figura 22 se puede observar que para un sismo de magnitud $M_w=8.0$ (longitud estimada a la izquierda), con epicentro indicado, la intensidad alcanza el VII-VIII en la localidad de Casablanca y VI a VII en Quintay. Estos valores de intensidad se correlacionan con aceleraciones máximas del orden de 0.6g a 0.7g, como se midieron en localidades como San Antonio, Quillota y Melipilla. Aunque no hay datos para Casablanca, se estima que de este orden debieron ocurrir las aceleraciones máximas, cuya característica común en todas estas localidades además de su amplitud máxima fue su sentido N-S. Cabe destacar que en la localidad de Quintay, ubicada aproximadamente a unos 30 km de la fuente hipocentral, las aceleraciones máximas medidas alcanzaron sólo valores de 0.203g en la componente N-S. Este bajo valor, para una condición tan desfavorable, evidencia por una parte la variabilidad (ya mencionada) que existe en la intensidad con que un terremoto puede golpear en un sitio determinado respecto de sitios aledaños y las condiciones propias dadas (distancia hipocentral y magnitud). Por otro lado, muestra el efecto que tendría esencialmente la geología intrusiva, metamórfica, y metasedimentaria paleozoica en las aceleraciones; dicho de otro modo, muestra el efecto amplificador que las formaciones sedimentarias marinas y los depósitos sedimentarios-volcánicos - que cubren los valles- tienen sobre las aceleraciones con que el sismo golpea cada lugar. Conceptualmente esto se correlaciona bien con el modelo conceptual propuesto por Keller et al. (2004), asociado a que las unidades geológicas sedimentarias (Cuaternarias) presentes en la comuna presenten un mayor grado de amplificación sísmica (especialmente en depósitos fluviales y aluviales saturados, depósitos de remociones en masa y abanicos).

Desde el punto de vista del presente estudio, la condición anterior es sólo posible de estudiar a través de la toma de mediciones y prospección de los sitios de interés, cuando el análisis ocurre como prevención y en un periodo inter-sísmico, como es el actual. Cuando ocurre el terremoto, en esencia, este evento corresponde a un “dato duro” con el cual sólo cabe evaluar si lo pronosticado – desde la perspectiva del presente estudio – se ajusta a lo observado.

En este sentido, se puede indicar que el terremoto del 3 de marzo de 1985 no concentra la atención de los daños en la comuna de Casablanca (en comparación a sitios como San Antonio, Melipilla, Santiago Antiguco, entre muchos otros). Según Monge & Cassis, U de Chile (1986), en Casablanca la atención de las observaciones se las llevó un conjunto de silos industriales, los que presentaron serios daños en sus bases y techumbres. También se observaron daños menores en presas como La Vinilla (mencionada como localizada en Plancheta de Casablanca), con grietas asociadas de espesores menores a 30 cm y profundidad de no más de 1 metro. Biskupovic (1994) realiza un análisis de los daños en la comuna, concluyendo intensidades entre 7 y 7.75 para las localidades (Casablanca el valor más alto), haciendo referencia a posibles efectos locales debido a las características aluviales y fluviales de los suelos en el entorno a los grandes valles.

El terremoto del Maule 2010, vinculado a la zona sismogénica inter-placa Centro- Sur de Chile, no está asociado a un daño masivo en la comuna de Casablanca⁵, en particular en Casablanca y Quintay. Sin embargo, su lejanía respecto de la zona epicentral así como del límite Norte de ruptura – ubicado aproximadamente “a la altura” del puerto de San Antonio – no constituye una condición de potencial destructivo máximo, como sí lo son los terremotos de la zona central de Chile.

⁵ Referenciar en informe final según visita a terreno.

3.4 FALLAS GEOLÓGICAS

Según lo indicado en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su apartado 2.1.17 se deben incluir zonas con peligro de ser afectadas por “fallas geológicas”, no especificándose de qué forma deben ser consideradas. Dentro de los efectos que pueden generar los sismos, está la rotura de la superficie del terreno por desplazamientos de fallas activas (González de Vallejo et al., 2002) o deformaciones superficiales inducidas por fallas inactivas que generarán un comportamiento distinto en la zona por la cual atraviesan (Galdames y Saragoni, 2002).

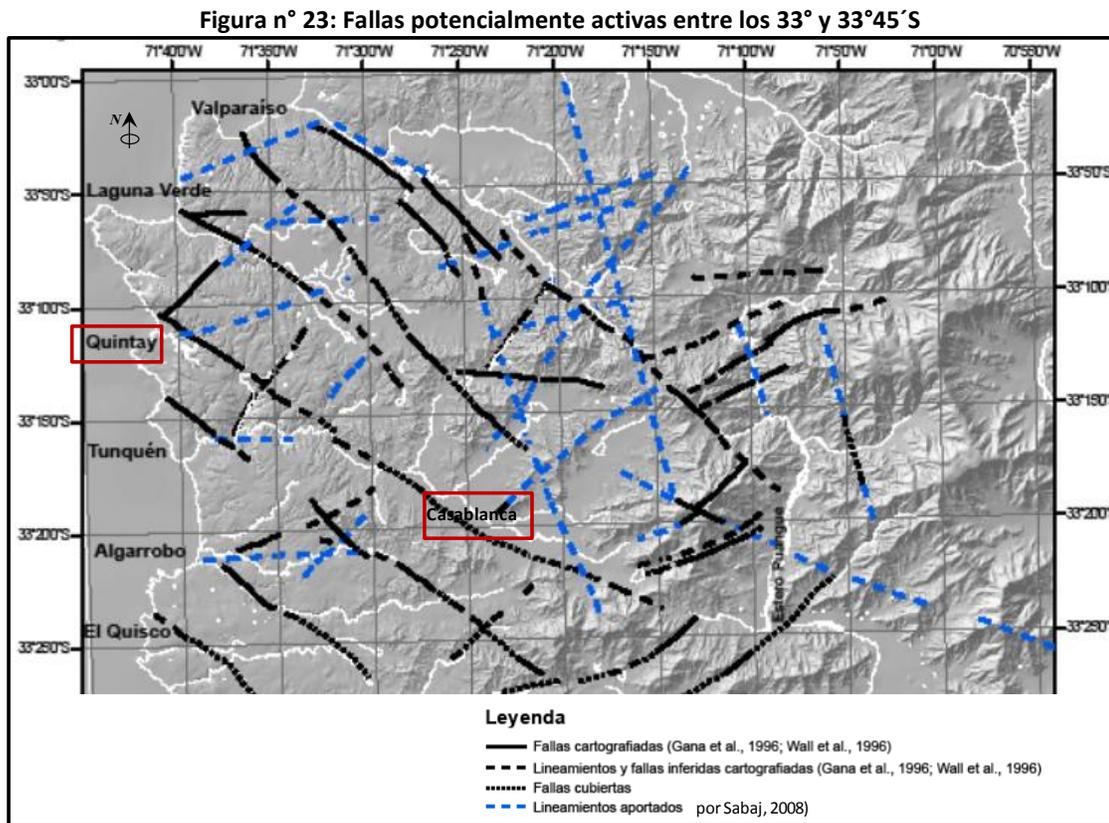
La presencia de fallas geológicas a lo largo del territorio nacional es frecuente, por lo tanto algunas zonas urbanas se encuentran emplazadas sobre o en el entorno a estas estructuras. La presencia de una falla geológica permite suponer una serie de posibles consecuencias, como por ejemplo un cambio en las unidades geológicas, presencia de zonas de cizalle o macizos rocosos con menor calidad geotécnica, en algunos casos posible actividad sísmica asociada a fallas activas (Muñoz, 2013), o reactivación de fallas producto de grandes sismos (Farías et al., 2011).

Los límites para definir si una falla es activa pueden ser variables, por ejemplo en función de las condiciones tectónicas, o a partir de las leyes específicas de cada país, o en función de la vida útil y niveles de seguridad de un proyecto específico. En términos geológicos una falla activa es aquella falla que ha presentado movimiento durante el régimen tectónico actual (Sabaj, 2008), mientras que en ingeniería geológica, una falla activa es la que ha presentado movimiento en los últimos 10.000 años (Holoceno). Según Kerr et al. (2003), una falla activa es aquella que ha presentado movimiento repetidamente en el pasado y su historia indica que podría presentarlo nuevamente. En Chile existe escasa información de la génesis y actividad sísmica de cortical (Barrientos et al., 2004) o asociada a fallas, existiendo algunos casos emblemáticos como el sismo de Aysén del año 2007, con una Magnitud Mw 6,2 (Sepúlveda y Serey, 2009). No obstante la carencia de información acerca de sismos superficiales en Chile, existen zonas de reconocida actividad sísmica de tipo superficial como la zona cordillerana de Chile Central y el Altiplano (Barrientos y Kausel, 1993).

Una interrogante que aparece después de cada sismo importante, es si existe movimiento de fallas (in)activas durante grandes terremotos, como por ejemplo, el sismo de Antofagasta de 1995 (Delouis et al., 1997) – respecto de Falla de Atacama - o el evento de 1985 con respecto a la falla Marga-Marga (Galdames y Saragoni, 2002; Muñoz et al., 2010), o con el sismo Mw 8.8 del 27 de Febrero de 2010. En este último evento, como pocas veces antes (en función de la instrumentación instalada en los últimos 15 años) se reconocieron desplazamientos co-sísmicos y deformación en superficie (Arriagada et al., 2011). También se pudo constatar la (re)activación de fallas geológicas al interior del continente manifestada de manera sísmica a través de 2 réplicas ocurridas en Pichilemu el 11 de marzo de 2010 (Farías et al., 2011), día del cambio de mando presidencial en Chile, en la ciudad de Valparaíso.

A partir de lo descrito anteriormente, independiente de si una falla se considera activa o inactiva, en su evaluación se debiesen incluir todos sus posibles efectos (especialmente en áreas urbanas) y de esta forma dar cumplimiento con la ley vigente en Chile que exige la consideración de áreas de riesgo por presencia de fallas geológicas (en el artículo 2.1.17 de la O.G.U.C.). Dentro de los posibles efectos, se deberían considerar desplazamientos y deformación durante un sismo, ya sea mediante la rotura de la superficie del terreno por desplazamientos de fallas activas (González de Vallejo et al., 2002) o mediante deformaciones inducidas por fallas inactivas que generarán un comportamiento distinto en la zona por la cual atraviesan (Galdames y Saragoni, 2002). Muñoz (2013) propone una metodología que permite determinar la susceptibilidad de respuesta sísmica de zonas aledañas a fallas mayores en áreas urbanas, entendida como zonas sensibles a presentar posibles deformaciones superficiales, rupturas superficiales o una mayor intensidad ante sismos. La metodología considera la ponderación de antecedentes (físicos, geológicos, daños históricos, estudios anteriores, entre otros) que orientarían la necesidad de estudios más profundos. Lo anterior no debe confundirse con el estudio de la peligrosidad sísmica que puede presentar una falla activa (asociada a sismicidad cortical), y que se estudia siguiendo las etapas típicas de un estudio de peligro sísmico (evaluando la sismicidad histórica, determinando la productividad sísmica de la falla, y estimando magnitudes máximas).

Sabaj (2008) presenta una identificación y caracterización de estructuras potencialmente activas en la cordillera de la costa entre los 33° y 33°45'S. La Figura 23 muestra una imagen del área de estudio con las estructuras y lineamientos, los cuales en algunas ocasiones atraviesan la comuna de Casablanca.

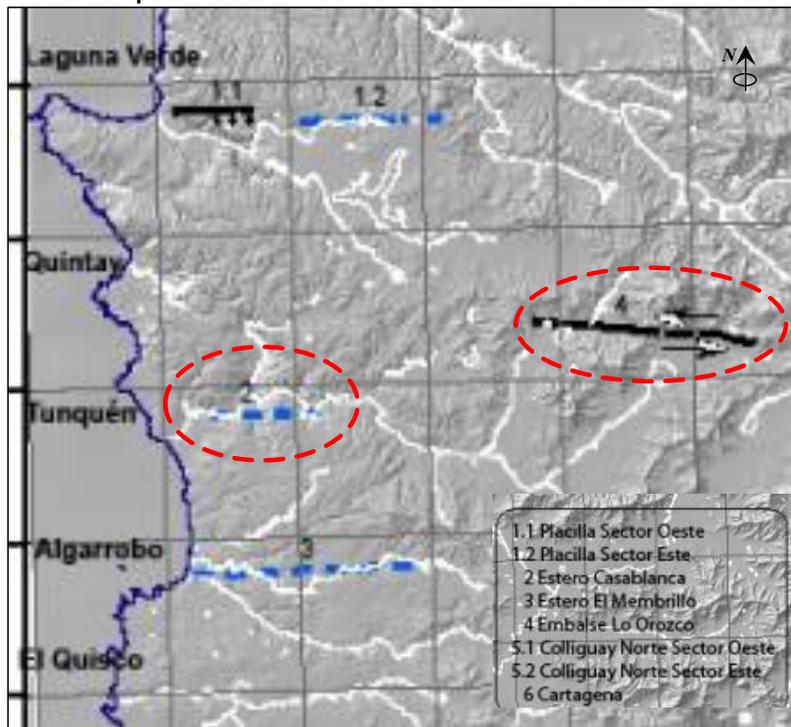


Fuente: Imagen obtenida del trabajo de Sabaj, 2008.

Según los antecedentes recopilados, la comuna de Casablanca se encuentra atravesada por una serie de fallas y lineamientos a escala regional, y que controlarían la mayoría de cursos y valles de la comuna (por ende, algunas de ellas cercanas o atravesando los centros poblados). A continuación se describen brevemente las estructuras que atraviesan la comuna según el trabajo de Sabaj (2008).

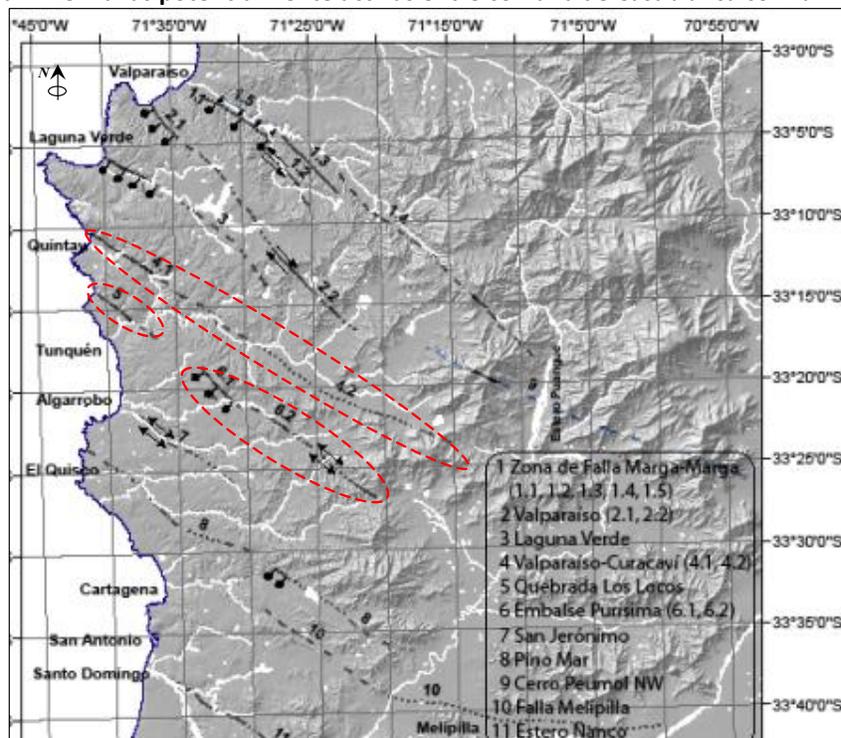
Entre las fallas con orientación EW, en la comuna se identifican las fallas Estero Casablanca y Embalse Lo Orozco (Figura 24). La primera se asocia a escarpes que controlan en estero homónimo, mientras que la segunda se reconoce como una falla reconocida en terreno con rumbo sinistral, una traza de más de 3 kilómetros y un ancho de hasta 200 metros, atravesando los sectores de Lo Orozco y El Carpintero.

Figura n° 24: Fallas potencialmente activas entre comuna de Casablanca con rumbo EW



Fuente: Imagen obtenida del trabajo de Sabaj, 2008.

Figura n° 25: Fallas potencialmente activas entre comuna de Casablanca con rumbo NW



Fuente: Imagen obtenida del trabajo de Sabaj, 2008

Dentro de las fallas NW descritas por Sabaj (Figura 25), en la comuna se reconocen las fallas Valparaíso y Laguna Verde (en su parte SE), Valparaíso – Curacaví (alineada con el valle de Casablanca), la falla Quebrada Los Locos, al Sur de Quintay, y el sistema de fallas Embalse Purísima.

La falla Valparaíso sector SE (sector Lago Peñuelas) correspondería a una falla de rumbo dextral que corta a rocas intrusivas jurásicas (Js), y que ha sido observada a lo largo de 27 km de manera discontinua debido a que se encuentra cubierta en varios sectores por sedimentos holocenos aluviales (Qa) y coluviales (Qc) en el sector del lago Peñuelas y en las cercanías de los esteros Orozco y Lo Ovalle. Su traza es sinuosa y su orientación general es N40°W. Si se proyecta hacia el SE; esta falla atravesaría el poblado de Lo Vásquez.

El trazo SE de la falla Laguna Verde, corresponde a una falla normal que corta a rocas jurásicas (Jlv, Js, Jp) cuya traza se extiende por 23,4 km de manera discontinua, debido a que se pierde en el Embalse de la Luz y bajo sedimentos aluviales holocenos (Qa). Su orientación N60°W, cambia bruscamente hacia el Sureste, donde alcanza un rumbo de N35°W. Ha sido observada a lo largo de casi 7 km cortando a rocas intrusivas jurásicas (Jlv y Js) en la quebrada del estero El Sauce. Esta falla atravesaría los centros poblados de Lo Ovalle y Lo Orozco en la comuna de Casablanca.

En el caso de la falla Valparaíso – Curacaví, como se mencionó en el capítulo anterior, corresponde a una estructura que comienza al Norte de Quintay y se extiende de manera discontinua por más de 47 km con orientación promedio N55°W, con su traza observada de manera parcial. La falla Quebrada Los Locos, es una estructura que corta a rocas intrusivas paleozoicas (Pzmg) de orientación N50°W y 8,5 km de largo. Ha sido observada a lo largo de 7 km, donde no se ha podido determinar su mecanismo. Hacia el Sur la traza cruza el estero Casablanca y se bifurca. En fotografías aéreas se observan marcados escarpes que se alinean coincidentes con la rama noreste de la traza, la que además pareciera estar afectando al nivel superior de las terrazas de la zona, aunque no es posible asegurar desplazamientos (Sabaj, 2008).

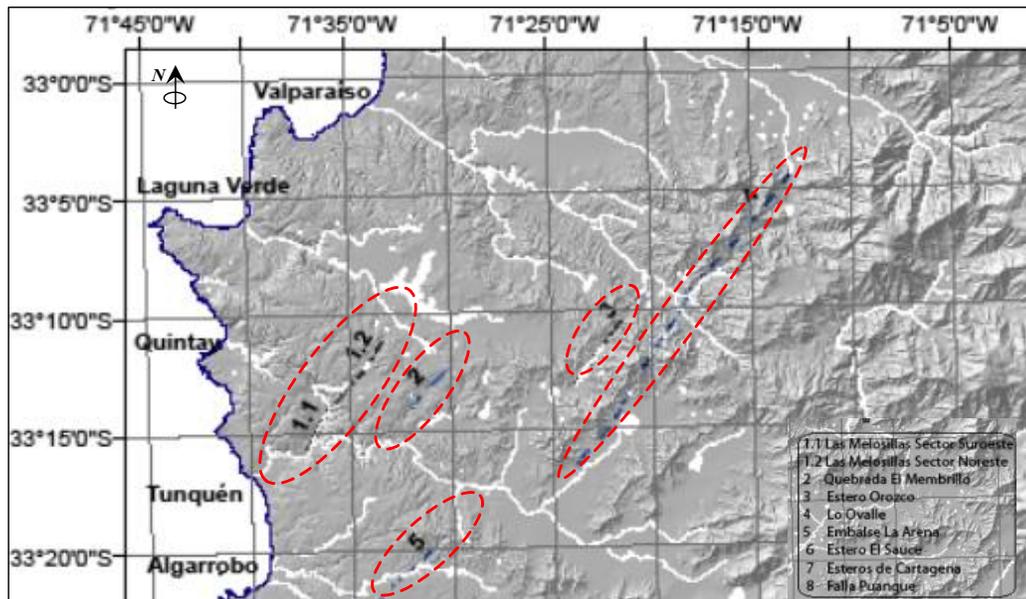
El sistema de fallas Embalse Purísima, corresponden a dos estructuras de orientación NW. La traza Norte corresponde a falla normal que corta a rocas intrusivas jurásicas (Js, Jp), y ha sido observada a lo largo de 6,8 km de manera discontinua, por encontrarse cubierta por sedimentos holocenos aluviales (Qa). Su orientación es N45°W y en fotografías aéreas se observan escarpes que se alinean coincidiendo con la traza cartografiada. La falla Sureste, es una estructura de traza sinuosa discontinua de 22,6 km de largo. Su orientación cambia desde N80°W hasta N50°W hacia el Sureste. Ha sido observada sólo a lo largo de 3 km al Norte del estero Lo Orrego y por otros 3 km en el sector cuesta Las Hormigas (Sabaj, 2008).

Dentro de las fallas NE descritas por Sabaj, en la comuna de Casablanca se reconocen las fallas Las Melosillas, El Membrillo, Estero Lo Orozco, Lo Ovalle y Embalse La Arena (Figura 26).

La falla Las Melosillas sector Sur Oeste, corta a rocas intrusivas paleozoicas (Pzmg) y jurásicas (Js), y se extiende con orientación N20°E por 3,7 km (siendo observada a lo largo de 3 km). Esta estructura controla el curso final del estero de Moteros, pequeño afluente del estero Casablanca. La estructura Las Melosillas sector Noreste, corta a rocas intrusivas jurásicas (Js), está cubierta por terrazas de abrasión marina (QTt) y por sedimentos holocenos aluviales (Qa). Se extiende a lo largo de 6 km con orientación N30°E y ha sido observada en diferentes sectores. Ninguna de estas estructuras pasa cerca de centros poblados.

Al Norte del estero Casablanca, se observa un lineamiento formado por escarpes en rocas que corresponde a la quebrada El Membrillo, controlado por una estructura homónima de 5,2 km con orientación N40°E, alejada de centros poblados de la comuna. En las cercanías del embalse Lo Orozco, se observa una estructura que corta a rocas intrusivas jurásicas (Jlt) y se encuentra cubierta por sedimentos aluviales, y disposición N35°E. Mientras que al Norte de Casablanca, en las cercanías del embalse Lo Ovalle, se observó un lineamiento de aproximadamente 28 km con orientación N30°E (Sabaj, 2008). Ambas estructuras se alinean con las cabeceras de los esteros homónimos, estando lejos de los centros poblados. Finalmente, al noreste de la quebrada del estero San Jerónimo, en las cercanías del embalse La Arena, se observa un lineamiento formado por escarpes en rocas correspondiente a un fotolineamiento discontinuo a lo largo de aproximadamente 8 km con orientación N40°E, no atravesando centros poblados.

Figura n° 26: Fallas potencialmente activas entre comuna de Casablanca con rumbo NE



Fuente: Imagen obtenida del trabajo de Sabaj, 2008

Sabaj (2008) realiza una primera aproximación al estudio de peligro sísmico cortical, sustentado en la existencia de numerosas fallas que coinciden fuertemente con la morfología que presenta el terreno y evidencias que podrían corresponder a zonas actuales de debilidad. Además, se basa en el registro de sismicidad con focos de profundidad menor a 30 km (del Servicio Sismológico Nacional) que se encuentran lejos del contacto entre las placas, por lo que se podrían asociar a actividad cortical. A partir de un modelo determinístico (en el que se analiza sólo el peor escenario, sin preocuparse de cuándo y con qué probabilidad esto pueda ocurrir), Sabaj determina niveles de peligro sísmico para las fallas descritas.

Sin embargo, por la escala de la información base utilizada para el estudio descrito (Mapa Geológico área Valparaíso – Curacaví, 1:100.000) no es posible sacar conclusiones específicas del real peligro sísmico de la comuna asociado a estructuras, ni menos a escala de los centros poblados. No obstante lo anterior, todas las construcciones deben regirse por las Normas Chilenas de Construcción en términos de parámetros sísmicos, y en caso de alguna obra de ingeniería compleja, se deberá validar la información geológica y realizar los estudios a la escala que el proyecto lo requiera (por ejemplo, faenas mineras, tranques de relave, instalaciones nucleares, represas, puentes, etc.).

3.5 TSUNAMIS

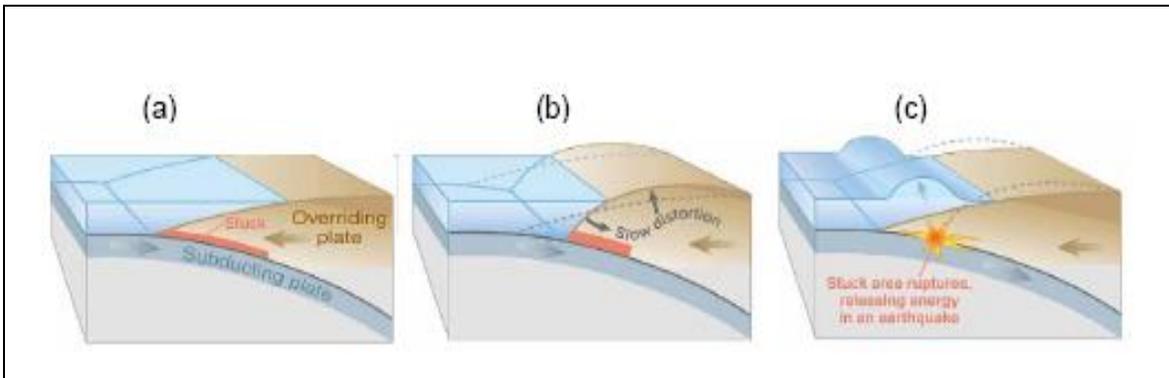
En la Figura 27 se muestra un esquema del mecanismo que explica, hoy en día, la fuente de un tsunami asociado a una zona de subducción. Se muestra la deformación de la corteza continental, en particular, la parte ubicada sobre el plano de subducción o plano de Wadati-Benioff, zona conocida como el prisma de acreción. Este tipo de mecanismo es el que explica la relación directa que tienen ciertos terremotos inter-placa con los respectivos tsunamis que lo preceden. Estos terremotos, a lo largo de Chile, se caracterizan por presentar magnitudes $M > 7.5$ aproximadamente.

Este fenómeno provoca, en el caso de zonas de subducción, súbitos cambios de posición a lo largo del contacto sismogénico inter-placa y por consiguiente, en ambos bloques, el continental y oceánico. Este último genera un desplazamiento del suelo oceánico, y por tanto, de la columna de agua que, en su expresión máxima, se ubica por arriba de la zona que comprende la fosa oceánica ($\sim 4-6$ km de prof.). En estricto rigor, para el caso de Quintay y la V Región de Valparaíso, toda la región comprendida entre la fosa oceánica y el borde costero, se levanta alcanzando variables alzamientos según varíe en estricto rigor el proceso de deformación o dislocación de la zona inter-placa.

Los parámetros que definen las condiciones iniciales para la propagación de un tsunami, o bien, las condiciones que definen la fuente tsunamigénica, son los siguientes:

- Ubicación Hipocentral.
- Ancho, largo, azimuth, manteo y ángulo de deslizamiento de plano de ruptura.
- Dislocación máxima.
- Mención a sub-fuentes.

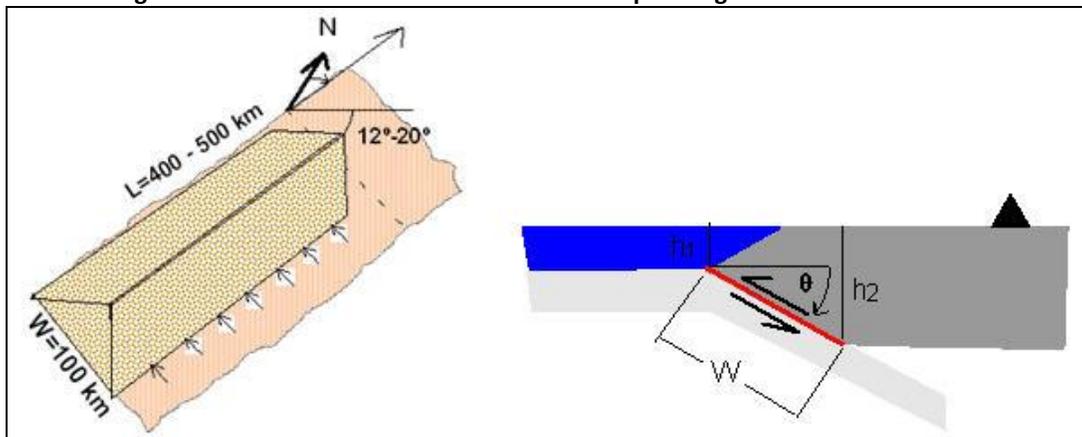
Figura n° 27: Esquema muestra la zona de activación sismogénica inter-placa y consecuente generación de tsunami.



Fuente: Imagen obtenida de PPT (Quezada, 2010, Geología, UDEC)

Los parámetros sísmicos para una zona determinada (bosquejados en la Figura 28) se pueden deducir a partir del análisis de mecanismos focales de grandes terremotos, como el Maule, 2010, o bien, mecanismos focales de sismos *thrust* interplaca, entendiendo que estos pueden representar bien a zonas sismogénicas. De estos mecanismos es posible estimar parámetros focales característicos de cada zona para representar cierto plano de ruptura (Belmonte y Comte, 1997).

Figura n° 28: Parámetros sísmicos a considerar para la generación de tsunami⁶.



Fuente: Elaboración propia.

⁶ A la izquierda se muestra un esquema global que se aproxima a las condiciones del contacto sismogénico interplaca a lo largo de Chile. A la derecha, una sección donde se especifican las profundidades h_1 y h_2 , frente sísmico y profundidad del contacto sismogénico respectivamente, y/o el ancho sísmogénico W .

Como se puede esperar, la magnitud e intensidad de un tsunami son proporcionales a la magnitud del sismo. Según los primeros estudios (Iida, 1963), los sismos que podrían originar tsunamis tendrían que tener una magnitud mayor a 7.5. En términos de la intensidad, la regla popular que vincula la alta probabilidad de ocurrencia de tsunamis en el borde costero con “la dificultad de mantenerse en pie durante la ocurrencia de un sismo”, parece ser válida según las experiencias que se pueden recoger de los terremotos del Maule 2010 y Valdivia 1960. Iida (1963) entregó una relación entre la magnitud de un terremoto, M , y la magnitud de un tsunami, m . A pesar de que este parámetro es altamente variable, entrega una estimación preliminar simple respecto de traducir en daño por tsunami una determinada magnitud de un terremoto tsunami-génico.

$$m = (2.61 \pm 0.22) M - (18.44 \pm 0.52)$$

Por otro lado diversos autores han creado escalas de grados de intensidad. Wiegel (1970) combina las escalas propuestas por otros autores resumiendo sus resultados en Tabla 4 que se presenta a continuación.

Tabla 4: Escala de grados de tsunami según Wiegel (1970)

Grado Tsunami (m)	Altura de Ola (metros)	Cota Máxima de Inundación (m)	Descripción de Daños
0	1-2	1-1.5	No produce daños.
1	2-5	2-3	Casas Inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5-10	4-6	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10-20	8-12	Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa.
4	>30	16-24	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera.

En general, la Tabla 4 entrega una primera aproximación acerca de valores que pueden ser considerados máximos y globales. Como se puede apreciar en la Tabla 5, al estimar valores de m para tsunamis, a partir de magnitudes sísmicas M , terremotos con magnitud mayor a 8.0 son potenciales generadores de alturas de ola considerables. El uso de modelos numéricos, sin embargo, deberían ajustar estas estimaciones al borde costero real bajo estudio.

Tabla 5: Magnitudes de tsunami

Magnitud Sísmica(M)	Grado Tsunami (m)
7.8	0-3
8.0	2-3
8.3	3
8.5	3-4
8.7	4

Para el caso de Chile, según sus antecedentes históricos y científicos, se puede indicar que para el rango de magnitudes $M7.5 - M8.0$, los tsunamis se han caracterizado por generar daños muy localizados y en general el desborde del mar

no ha alcanzado intensidades que perturben a la comunidad y la infraestructura costera. Sin embargo, para terremotos con magnitudes $M > 8.0$, en particular $M > 8.3$, los tsunamis han dañado seriamente el borde costero cobrando víctimas y dejando una estela gigantesca de destrucción. Los casos más emblemáticos son el terremoto de 1960 con epicentro en Valdivia ($M 9.5$) y el terremoto del Maule 2010 ($M 8.8$). El terremoto del 3 de marzo de 1985 también generó un evento de tsunami en lugares como Algarrobo y San Antonio, sin embargo, las alturas máximas no superaron los 2 metros, lo que usualmente implica que el mar no logra despegar del lecho de la playa para internarse tierra adentro. Usualmente son las embarcaciones pesqueras o deportivas las que más se pueden ver afectadas por un evento como éste. Respecto a la localidad de Quintay, no hay antecedentes claros respecto de los efectos del tsunami asociado a los terremotos de 1985 y 2010. Esta información se recabará en visita a terreno, cuyos resultados se presentarán en informe final.

3.5.1 Metodología Modelamiento de Tsunami

Los tsunamis suelen ser definidos como un “tren de olas progresivas gravitacionales largas, con longitudes de ondas del orden de cientos de kilómetros y alturas 6 o más órdenes de magnitud (centímetros) en agua profunda, que se forman en el océano o en una cuenca costera al ocurrir una perturbación impulsiva vertical de corta duración (segundos a pocos minutos) y gran extensión (centenas o más de kilómetros cuadrados) en su fondo o en su superficie libre” (Farreras, 1995). Lo anterior implica que una vez que son generados son prácticamente imperceptibles en el mar abierto, donde la altura de su superficie es menos de un metro, sin embargo al alcanzar la costa incrementan su altura generando efectos devastadores sobre la población y su infraestructura.

Según Lockridge (1991), los tsunamis se denominan:

- Locales: Si el lugar de detección o localización dista de una longitud de onda en agua profunda, de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo) o está dentro de ella.
- Remotos: (o tele - tsunamis) si ese lugar dista más de una longitud de una longitud de onda o está fuera de la zona de generación.
- Trans-pacíficos o destructivos a distancias causan destrucción en costas lejanas a través del océano Pacífico o a más de 1000 km de distancia de su origen.

(a) Definición de escenarios extremos:

Dado entonces un evento de magnitud máxima probable para las áreas de estudio, es posible plantear diferentes escenarios que finalmente permiten establecer ciertas condiciones iniciales de generación de tsunami. Los parámetros a determinar para calcular las condiciones iniciales son los asociados con el plano de ruptura y tamaño del sismo: Locación 3-D (hipocentro), Magnitud Momento (M_w), azimuth (az), manteo (dip), ángulo de deslizamiento (rake), largo (L), ancho (W) y deslizamiento interplaca (D). Estos parámetros se pueden deducir a través del conocimiento de las características sismo-tectónicas de la región así como de la relación existente entre la magnitud-momento del sismo, el momento sísmico y las variables área de ruptura y deslizamiento interplaca. Estas condiciones de generación de tsunami se traducen en una forma inicial de onda caracterizada por una ubicación de cierta altura de ola y periodo resultante.

Para el caso del presente estudio, se establecen 2 posibles vías de calibración del modelo: El tsunami del 27/F de 2010, que cuenta con registros de alturas (run-up), tiempos de llegada y dirección de propagación de las ondas del tsunami. A esto agrega el escenario asociado al terremoto del 3 de marzo de 1985.

Para el caso de Quintay, así como para cualquier sitio del borde costero de la V Región de Valparaíso, el escenario extremo a considerar será un evento de características similares a las que la historia entrega sobre el terremoto de

1730. Los estudios estiman que este evento pudo haber alcanzado una magnitud del orden de 8.7 a 9.0. Aunque no hay certeza respecto de ello, será este evento el utilizado como escenario de peligro potencial máximo.

(b) Elaboración de grillas topo-batimétricas:

Se generarán las grillas (anidadas) de diferente resolución espacial con el propósito de aplicar el modelo numérico. La grilla de menor resolución utilizará bases de datos internacionales (GEBCO, ETOPO-5), mientras que la de mayor resolución será creada utilizando a los datos batimétricos y topográficos recolectados durante el ejercicio del presente trabajo. Asumiendo que se podrá contar con grillas de mayor resolución (1''), estas serán procesadas y trabajadas a partir de una grilla original. Para las tres grillas externas se utilizaría la base de datos GEBCO y ETOPO5. Para la grilla menor - la 4ª - se espera que la fuente corresponda a la carta náutica SHOA. El trabajo implica, usualmente, reconstruir una grilla tipo para la modelación, la cual es ajustada a través de trabajo de digitalización requerido debido a posibles incongruencias respecto de otras cartas y de la batimetría razonablemente esperada.

(c) Aplicación del modelo numérico:

El cálculo numérico se realiza con el código de modelamiento de tsunamis TUNAMI-N desarrollado en la Universidad de Tohoku en Japón (Imamura et al. 2006). Este software ha sido utilizado debido a tres razones: (1) reconocimiento mundial en el uso de la modelación numérica de tsunamis basada en la experiencia acumulada del grupo de trabajo del prof. japonés Imamura, (2) uso y calibración del modelo publicados en revistas científicas relacionadas con el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010 en las localidades de Talcahuano, (3) el modelo de generación de tsunami se genera a partir de las ecuaciones de Okada y (4) el modelo de propagación utiliza cálculo usando de diferencias finitas, conservación de masa, ecuaciones de propagación de onda larga y borde móvil.

En este sentido, el software NEOWAVE 2.0 - el cual ha sido elaborado por científicos de la Universidad de Hawaii (Yamazaki et al., 2008; Yamazaki et al., 2010) y en Chile está siendo integrado a diversas instituciones a través del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) - ha presentado un conjunto de inconvenientes que no permiten establecer un resultado confiable, al menos a la fecha del presente reporte. En este contexto, la característica asociada a la evaluación teórica de una componente no lineal resta efecto ante no sólo los antecedentes relacionados con el modelo TUNAMI-N respecto de NEOWAVE, sino que también dado que en el presente reporte se ha efectuado una calibración del modelo con los antecedentes observados el 27 de febrero del año 2010 en las localidades de Sto. Domingo y Mostazal.

El objetivo de este modelo es obtener la profundidad o cota de inundación (altura de ola con respecto al nivel medio del mar en la línea de costa) y el alcance máximo (denominado "run-up"). La variable *run-up* es usada para estimar y construir cartas de inundación del área de estudio (objetivo 3).

En la aplicación del modelo de propagación de tsunami se consideran las siguientes variables y parámetros:

- a) las condiciones iniciales de generación de tsunami aplicadas para deformación estática y dinámica
- b) batimetría y topografía en región de interés plasmada en 3 niveles de grillas de tal forma que las menores están contenidas en las mayores. Es importante destacar que esta actividad requiere de datos batimétricos y topográficos de diferente resolución espacial, siendo las áreas costeras aquellas que requieren la mayor resolución.
- c) definición de los tamaños de celda en cada grilla
- d) constantes físicas del medio
- e) un periodo máximo de propagación e interacción con el entorno variable entre 6 y 12 horas.

Esta metodología se desarrolla usando 4 mallas anidadas de 2', 30'', 6'' y 1'', es decir cuenta con información local calificada - en las zonas con que se cuenta con información - como altamente elaborada al mismo nivel topográfico y

batimétrico. Desde el punto de vista del escenario, se usa la vía determinística, es decir, simula numéricamente los peores casos posibles para así definir los límites de las zonas de inundación y proponer rutas de evacuación.

(d) Validación de resultados:

Como se ha indicado, el análisis de resultados debiera considerar, en estricto rigor, una validación del modelo usado, cualquiera sea este. Para ello, ha sido necesario destinar recursos para estudiar los resultados del modelo para un evento conocido y ya ocurrido. En este caso, y dada la ocurrencia del terremoto y tsunami del Maule el pasado 27 de febrero de 2010, esta validación se hace utilizando la información de campo recogida post-tsunami en las diferentes localidades donde este azotó a la región.

3.5.2 Áreas de riesgo de inundación por Tsunami

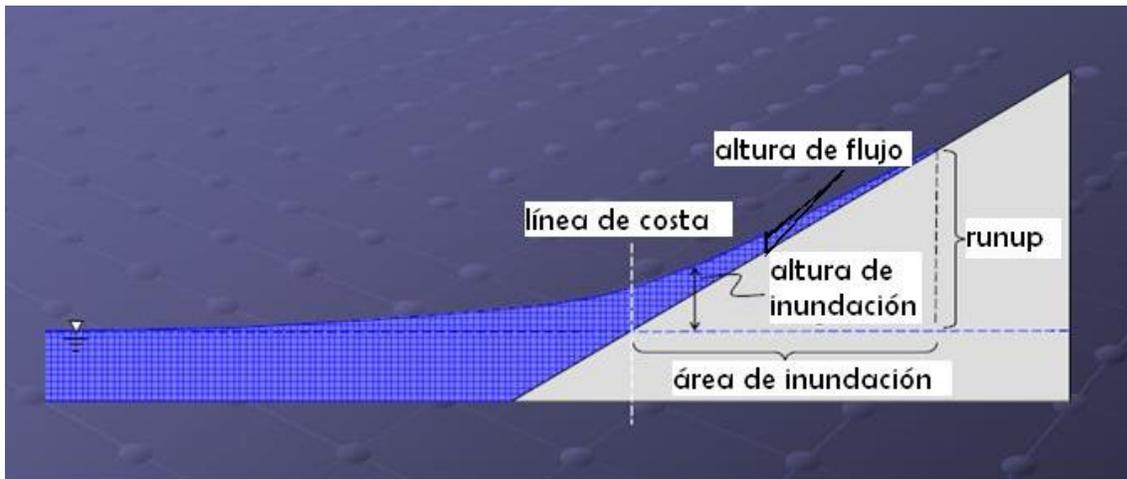
Según las observaciones que otros grupos de trabajo han realizado respecto de las consecuencias del tsunami 2010 (Aranguiz, 2010), ha sido posible consensuar criterios para describir los objetivos que un estudio de áreas de riesgo de inundación por tsunami - es decir, evaluación de la peligrosidad o amenaza por tsunami o maremoto - busca cumplir. Estos se pueden resumir como:

- Predecir o pronosticar su comportamiento en cuanto a la capacidad de destruir y/o causar daños.
- Identificar zonas de riesgo por tsunamis.

Se espera que los mapas de riesgo de inundación por tsunami permitan plantear medidas de mitigación de las zonas expuestas a la inundación por tsunami y al arribo de uno o varios frentes de tsunami, estableciendo criterios para los sistemas de alerta así como la identificación de vías de evacuación y zonas seguras para la población afectada.

El modelo establece un conjunto de variables ya enumeradas, siendo las de particular interés en esta sección los resultados finales. Estos son expuestos en dos fases según los escenarios considerados: (1) calibración y análisis usando el terremoto 2010, (2) pronóstico para terremotos de 1730, 1906 y 1985 siendo el primero el caso más desfavorable posible desde el punto de vista de la amenaza o peligro. Los resultados se presentan usando la nomenclatura que se especifica en la Figura 29. En esta se define la altura de flujo (Tabla 6) como la profundidad del flujo de agua en un punto a ser determinado por el modelo. En el presente reporte, se destaca la posición de las isolíneas de altura de flujo para 0 m, 0.5 m y 2 m, es decir, la curva de 0 m corresponde por definición a la línea que señala el *runup*. La línea de costa se considera aquella que determina el nivel medio del mar.

Figura n° 29: Niveles y Nomenclatura de Inundación por tsunami a través de una sección.



Fuente: Modificación propia desde Yamazaki et al. (2010).

Según Beyer y Aranguiz (2010), de acuerdo a observaciones post-tsunami 2010 en la región del Bio-Bio, ha sido posible asociar tres rangos de altura de flujo que justifican esta presentación (Tabla 6).

Tabla 6: Alturas de Flujo según Beyer y Aranguiz (2010).

Tipo	Descripción	Altura de Flujo (m)	Significado
1	Somero	0 a 0.5	No generan daño en viviendas, independiente de la materialidad.
2	Mediano	0.5 a 2.0	Viviendas de madera pueden ser medianamente afectadas, desprendimiento de muros y tabiques.
3	Profundo	> 2	Casas de un piso pueden ser levantadas y desplazadas de su posición original.

3.6 INUNDACIONES

Las inundaciones propiamente tales corresponden a una consecuencia derivada de otros procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado ello a condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificializados, colectores urbanos, entre otros.

Se trata del resultado del desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela de tiempo, y la capacidad de evacuación de los cauces o sistemas de drenaje o, en otras palabras, la oferta de cauce se ve superada por la demanda de cauce. Debe tenerse en cuenta, además, que dicha demanda no está compuesta sólo por agua, sino también por los sedimentos que esta transporta y arrastra, y cuya proporción respecto del volumen hídrico, sumado a las variaciones en la capacidad de carga del curso de agua, va a influir directamente en la ocurrencia de los desbordes.

Un hecho relevante es la recurrencia de las crecidas que presenta una cuenca fluvial dada respecto de otra. Ello está asociado, por una parte, a las características del régimen pluviométrico y térmico que registre el clima imperante y, por otra, a las características morfológicas que están presentes (alturas, forma, pendiente media, superficie), al desarrollo del sistema de drenaje (densidad, frecuencia y jerarquía de la red hídrica), y a la capacidad de retención hídrica de la cuenca, aspectos todos ellos que influyen en la torrencialidad, la velocidad de respuesta, el tiempo de concentración, y el volumen de los caudales.

Respecto de la carga sedimentaria y su relación con los desbordes, esto tiene como explicación el hecho que las variaciones de pendiente en el eje longitudinal de los cauces provocan modificaciones en la velocidad con que escurre el agua, lo que motiva la sedimentación o abandono local de la carga de sedimentos provocando consecuentemente una reducción de la sección transversal y, por lo tanto, de la capacidad de estos cauces para contener y evacuar las aguas.

En otros casos, cuando se trata de inundaciones o "salidas de madre" en condiciones de caudales "normales" (altas aguas medias), cuya causa suele encontrarse en la reducción de la sección de los colectores en forma artificial (angostamiento por urbanización, relleno por desechos), o natural (sedimentación progresiva o colmatación por arrastre de sedimentos), o accidental (eventos que provocan obstrucción parcial o total) como son los deslizamientos de tierra, los derrumbes, la caída de árboles, el derrumbe de puentes, etc.⁷

Metodología de análisis de inundaciones.

Variación de la lluvia en el área.

Las estaciones de medición registran lluvias puntuales que constituyen los datos básicos de partida para los cálculos de la precipitación para diseños. En realidad, más que información puntual se requiere conocer la precipitación media para un período de tiempo dado sobre el área de la cuenca, cuya superficie puede variar según el caso desde pocas hectáreas hasta miles de kilómetros cuadrados.

A medida que aumenta el área de la cuenca se produce una disminución de la intensidad media de la lluvia para una duración determinada. Ello se debe a que la intensidad máxima ocurre en el centro de la tormenta, y se va reduciendo hacia la periferia de la misma, por lo que resulta evidente que a medida que aumenta el área afectada por la precipitación, el valor promedio de la intensidad debe disminuir.

Coefficiente de escorrentía.

La relación entre la lámina que escurre (lluvia efectiva) y la que precipita, se denomina coeficiente de escorrentía.

⁷ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

$$C = \frac{LL_e}{LL}$$

Siendo:

- C : Coeficiente de escorrentía
 LL_e : Lluvia efectiva (mm)
 LL : Lluvia total precipitada (mm)

Existen varios métodos para determinar el coeficiente de escorrentía de una cuenca. En aquellas que disponen de mediciones pluviométricas y fluviométricas, es posible determinar dicho coeficiente como la relación entre el volumen de una cierta creciente y el volumen total de la precipitación que la originó.

En la práctica, la situación más común consiste en tratar con cuencas que no disponen de mediciones, por lo que el coeficiente de escorrentía debe ser determinado en base a la transposición de datos registrados en otras cuencas con características similares, que sí disponen de mediciones.

La Tabla 7 “Coeficiente C de Escorrentía” proporciona valores de C para diferentes condiciones de cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente del terreno de la cuenca. Este cuadro viene siendo ampliamente utilizado en varios países desde hace varias décadas, para la determinación de los caudales de diseño de diferentes obras hidráulicas.

Tabla 7: Alturas de Flujo según Beyer y Aranguiz (2010).

Cobertura vegetal	Tipo de suelos	Pendiente del terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		>50%	20%	5%	<1%	
Sin Vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques, vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Método racional.

El método racional es posiblemente el modelo más antiguo que relaciona la lluvia con la escorrentía, su origen se remonta al período de 1851 – 1889, según diferentes autores. En la actualidad es uno de los métodos más utilizados para el cálculo del caudal en cuencas pequeñas, debido a su sencillez.

El método da, en general, resultados conservadores (del lado de la seguridad), los cuales se tornan exagerados cuando se sobrepasa el área máxima de la cuenca recomendada para su aplicación (hasta 6000 km²).

La ecuación básica es la siguiente:

$$Q = CIA$$

Siendo:

- Q : Caudal pico de la creciente (l/s).
- C : Coeficiente de escurrimiento
- I : Intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración (mm).
- A : Área de la cuenca (Ha).

El tiempo de concentración (Tc en horas) es:

$$T_c = \left(\frac{11,9 \times L^3}{H} \right)^{0,385} \text{ (hrs.)}$$

Donde L es la longitud recorrida por una gota desde el punto más distante de la cuenca hasta el lugar de cálculo de crecida y H es la diferencia de cota entre ambos puntos.

La intensidad máxima (I) de la precipitación en el tiempo de concentración (Tc) será:

$$I = \frac{P}{\sqrt{T \times T_c}} \text{ mm}$$

Donde P : Precipitación máxima en 24 hrs (según registro de precipitaciones de la DGA).

Tc : Tiempo de concentración.

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de Aluvionales y de inundación

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición del cauce actual, corresponde al escurrimiento natural de las precipitaciones promedio, en dicho margen de inundación se concentra el flujo de las precipitaciones promedio. Las terrazas 1 y 2 se utilizan cuando cuando las precipitaciones promedio superan dicho parámetro (mayor a 60 mm en 24 hrs) siendo las primeras áreas de desborde por ser los sectores de cotas más bajas aledañas al cauce actual.

- **Delimitación de cuencas hidrográficas.**

Este análisis permite calcular la superficie de la cuenca, su pendiente promedio y forma como insumos para determinar su potencial caudal del curso principal de la cuenca.

3.7 RIESGOS ANTRÓPICOS

La OGUC en su artículo 2.1.17, en su séptimo inciso, define las características en función de las cuales se determinan “áreas de riesgo” incluyendo entre estas “zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana”, entendiéndose como elementos del medio físico construido, o actividades que representan un riesgo para la salud de la población, que va desde, el daño o menoscabo de ella hasta la pérdida de vidas, y que pueden afectar además, instalaciones o edificaciones. Dichos elementos, se encuentran asociados a diversos tipos de infraestructura y a algunas actividades donde eventualmente podrían suceder explosiones, incendios, o liberarse energías o emanaciones tóxicas, debido a los procesos o características intrínsecas a ella (Fuente: Modificación Plan Regulador Comunal de Zapallar. Estudio de Riesgos y Protección Ambiental Noviembre 2010).

Dentro de los elementos o actividades que pudiesen representar una fuente de riesgo para la población, se menciona algunos de estos agrupados por fuente:

- Infraestructura
 - Energética (tendido de línea de alta tensión).
 - Gasoductos, Oleoductos y Poliductos.
 - Transporte (vial, vía férrea, rodoviaria, aeródromos)

Para efectos del presente estudio (objetivos y alcances), estos riesgos antrópicos serán citados como antecedentes al desarrollo de la actualización del PRC Casablanca.

3.7.1 Infraestructura energética

Respecto de la infraestructura energética, se corroboro en la comuna la existencia de 3 termoeléctricas 2 de las cuales se localizan cercanas a la ciudad de Casablanca en una zona ZEU PM del PREMVAL y una cercana a Quintay (área rural). Estas centrales corresponden a: Central Tapihue (a gas natural), Central Casablanca (a petróleo) y Central Quintay (a petróleo). Figuras 30 y 31.

Figura n° 30: Centrales Termoeléctricas Casablanca y Tiphue

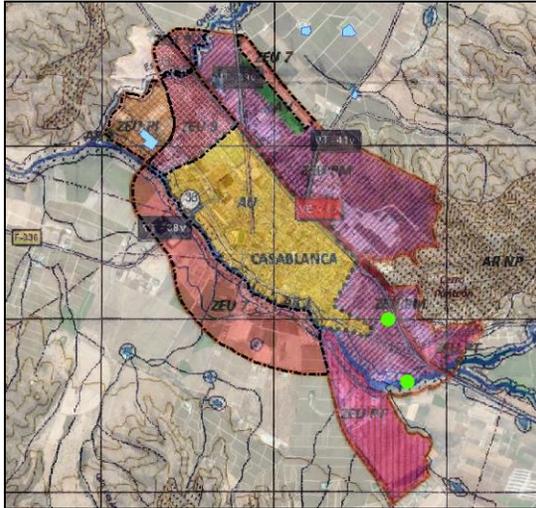
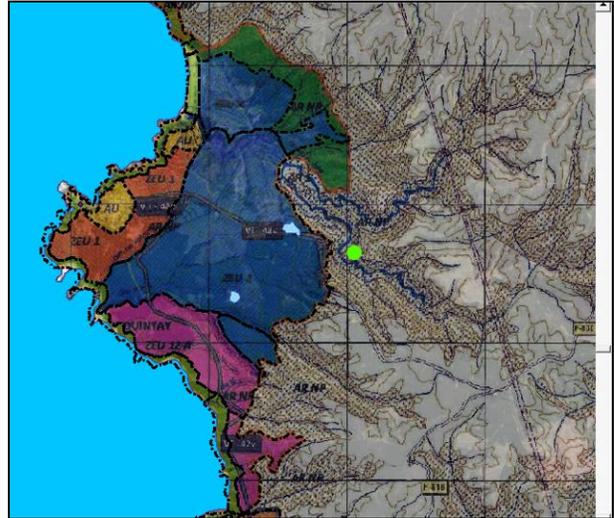


Figura n° 31: Central Termoeléctrica Quintay



Fuente: Elaboración propia en base a <http://ide.cl/>

El sistema interconectado central (SIC) cuenta con redes en la comuna de Casablanca, principalmente en su área rural. Respecto de las localidades en estudio, la localidad de Casablanca en su área de extensión urbana presenta una línea de alta tensión denominada “Laguna Verde - San Antonio” con tensión de 66 kv. La otra localidad que presenta en el borde de su área de influencia corresponde a Quintay donde se encuentra instalada la línea de alta tensión denominada “Laguna Verde - San Antonio” con una tensión de 66 kv como se puede observar en las siguientes figuras.

Figura n° 32: Alta tensión en Casablanca

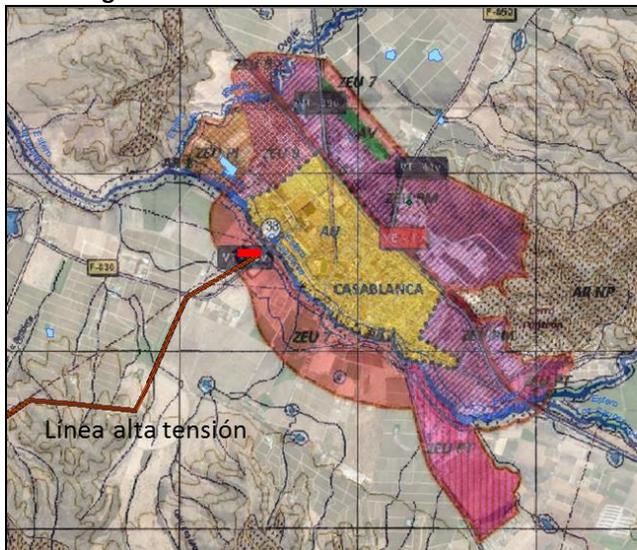
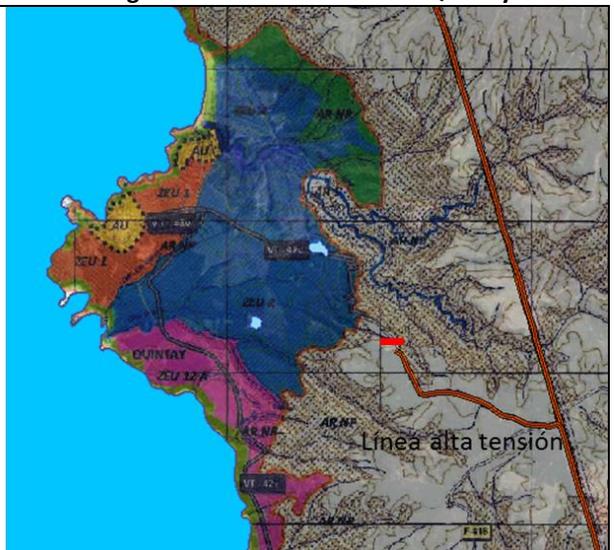


Figura n° 33: Alta tensión en Quintay



Fuente: Elaboración propia en base a ide.cl

3.7.2 Polductos

De acuerdo a la información recopilada, existe un gasoducto (de gas natural) denominado “24 pulgadas Ratonés – Quillota, que pasa sobre el área de extensión urbana ZEU 6 del PREMVAL, como se puede ver en la siguiente figura. En la misma infraestructura existe también un oleoducto denominado “Oleoducto Concon Maipu 16 Pulgadas” en el cual se transporta gasolinas y petróleo (Figura a continuación).

Figura n° 34: Gasoducto Sector la Vinilla



Fuente: Elaboración propia en base a ide.cl

3.7.3 Incendios forestales.

A raíz de los últimos incendios que han afectado a la población (como ejemplo de devastación se cita el incendio de abril de 2014 en Valparaíso), se promulgó en junio de 2014 la DDU 269 en materias de definición de áreas de riesgos por amenaza de incendio en los Instrumentos de Planificación Territorial. Es por esta razón, que serán mencionados y discutidos en el presente estudio, con énfasis al reconocimiento en la comuna de condiciones favorables para su ocurrencia. Sin embargo, no forma parte de los alcances del estudio entregar una zonificación.

Según CONAF, el riesgo de incendios forestales se define como la probabilidad que la población, dependiendo de su presencia y conducta, inicie un incendio forestal. Por su parte, el peligro de incendios forestales se identifica con las condiciones ambientales que permitirán que se inicie y propague el fuego ocasionado por alguien. La principal condición ambiental es la presencia de vegetación que pueda arder, o sea el combustible. Otras condiciones ambientales que determinan el peligro de incendios forestales son las condiciones meteorológicas y la topografía. Para determinar el grado de peligro de incendios forestales, se combinan factores ambientales (fijos y variables), que determinan la probabilidad de inicio incendios forestales y el posterior comportamiento del fuego. Entre los factores fijos, que no cambian o que lo hacen muy lentamente, están la topografía, es decir si el terreno es plano o con laderas de fuerte pendiente que favorecerá la propagación del fuego, y algunas características de la vegetación, por ejemplo la cantidad, el tamaño de vegetación y las especies vegetales presentes. Entre los factores variables, que sí se modifican en el tiempo, incluso a lo largo del día, están el tiempo atmosférico y el contenido de humedad de la vegetación.

Existen formas de determinar el grado de peligro de incendios forestales, definido como Índice de grado de peligro (IGP), mediante una fórmula que combina datos de temperatura del aire, de humedad del aire y de velocidad del viento. Se incorporan además el estado del contenido de humedad de la vegetación, desde la primavera hasta el otoño, y al efecto de las lluvias de los días anteriores. Los datos meteorológicos pueden ser los del momento, obteniéndose entonces el IGP actual. Pero también pueden ser del pronóstico meteorológico, con lo cual el IGP será el de las próximas horas. En general, el uso que se le da al IGP es de información al público, a través de los medios de comunicación e informaciones oficiales sobre el estado de alerta de incendios forestales.

La estimación del riesgo de incendios forestales (Julio, G. 1990) considera variables que condicionan el grado de peligro, ocurrencia de incendios anteriores (datos históricos) combinado con factores como densidad o distancia de la población. Es importante señalar que las variables meteorológicas que condicionan el grado de peligro, varían con el tiempo. Sin embargo, a partir de los antecedentes del medio es posible identificar características que le den mayor susceptibilidad, sin embargo una zonificación por áreas de riesgo de incendios es un tema complejo y no está dentro de los alcances del presente estudio.

La comuna de Casablanca ha sido afectada en ocasiones por incendios forestales (como ejemplo, los ocurridos en febrero de 2015) y presenta algunas condiciones favorables producto de la presencia de plantaciones forestales o bosque nativo en las laderas de los cerros o al interior de las localidades. Estos antecedentes serán complementados en una siguiente etapa, sin realizar una zonificación o definición específica de áreas de riesgo por incendios forestales.

4. RIESGOS NATURALES EN LA COMUNA DE CASABLANCA

Dentro de las amenazas descritas en el capítulo anterior, algunas de ellas están presentes en la comuna de Casablanca. A partir de la superposición de información y análisis de los antecedentes, se identifican áreas de riesgo (o zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de alguna amenaza), lo que permitirá actualizar y/o modificar el Plan Regulador Comunal, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica.

Es importante señalar que dados los alcances del presente estudio, así como la escala de trabajo (1:5.000 en centros poblados) y 1:50.000 a escala comunal, existirán peligros reconocidos que serán zonificables y otros no.

Como peligros **no zonificables**, se considerarán aquellos que requerirían estudios de mayor detalle para poder determinar su distribución, o que quedan fuera de los alcances definidos para el presente trabajo. Por el contrario, como **peligros zonificables** se incluirán aquellas amenazas en que se puede categorizar la susceptibilidad y por lo tanto determinar una categorización de la misma.

A medida que se realice una descripción de las amenazas identificadas para la comuna, se indicará si estos son o no zonificables, indicando los criterios utilizados y áreas susceptibles según corresponda.

4.1 RIESGO POR REMOCIONES EN MASA

4.1.1 Tipo de remociones en masa en la comuna y factores condicionantes identificados

La recopilación y análisis de los antecedentes, en conjunto a visitas a terreno realizadas a la comuna, permitieron identificar los siguientes procesos:

- Caídas de rocas y desprendimiento de suelos
- Deslizamiento de bloques de roca
- Flujos (detritos o barro)

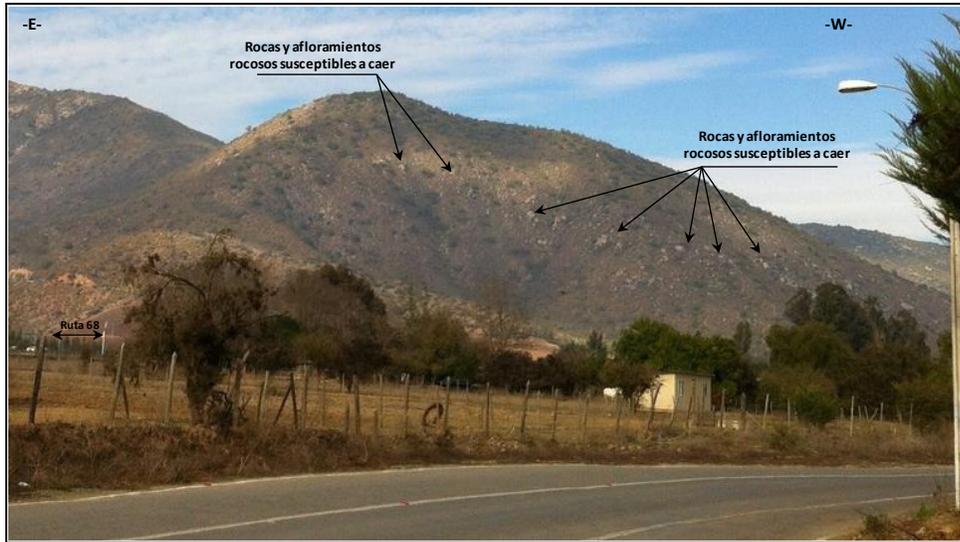
Caída de Rocas y desprendimiento de suelos

De acuerdo a los antecedentes recopilados en terreno, existen evidencias de caídas de rocas en la comuna, especialmente en laderas con afloramientos rocosos expuestos con altas pendientes y escasa vegetación (Fotografía 9), o taludes artificiales sin un diseño de ingeniería sustentable o con ángulos superiores a los que resiste la roca. Se debe recordar que la mayoría de los cordones montañosos de la comuna están conformados por rocas intrusivas, algunas con intensos niveles de meteorización, lo que genera un material (de tipo maicillo) con menor calidad geotécnica que la roca original (menos resistencia y cohesión), comportándose en ocasiones como suelo. Es frecuente ver en las laderas y taludes en maicillo, erosiones profundas por acción del agua (conocidas como cárcavas). La geometría de las cárcavas genera prismas de rocas que en ocasiones se hacen inestables y cae (ver Fotografía 10).

El fenómeno de caídas de rocas también se está presente en rocas rígidas con alto grado de diaclasamiento (favorecido por la acción de raíces), como se muestra en la Fotografía 11.

En el caso de los desprendimientos de suelos, estos se observan en sectores con intensa meteorización y presencia de materia orgánica. Si bien son eventos que involucran poco volumen de material, deben ser considerados por el impacto que puede tener en construcciones en la parte superior de los taludes (ver Fotografías 12 y 13 a modo de ejemplo).

Fotografía n° 9: Cordón montañoso con bloques de rocas susceptibles a caer – comuna de Casablanca



Fuente: Obtención propia. Fotografía con vista hacia el Sur, tomada desde el acceso al sector de La Viñilla

Fotografía n° 10: Erosiones acentuadas tipo cárcavas en taludes amaillados con potencial desprendimiento



Fuente: Obtención propia. Fotografía taludes de acceso a la localidad de Quintay

Fotografía n° 11: Macizo rocoso con altos niveles de fracturamientos y potencial caída de rocas



Fuente: Obtención propia. Fotografía taludes acantilado costero Quintay (sector Ex Ballenera)

Fotografías n° 12 y 13: Vista de sectores susceptibles al desprendimiento de suelos



Fuente: Obtención propia. Fotografías taludes sector Quintay

Deslizamientos de bloques de roca

Identificar deslizamientos en bloques de rocas dentro de la comuna no resulta fácil (especialmente por el acceso a los afloramientos). Sin embargo, la existencia de afloramientos rocosos, con fuertes pendientes y presencia de estructuras (diaclasas o fallas) permiten presumir la generación de este tipo de eventos en algunas laderas. Como ejemplo, la Fotografía 14 muestra un deslizamiento de tipo falla plana en la comuna de Casablanca. Además, la presencia de estructuras que atraviesa las rocas intrusivas, como vetas de cuarzo o diques, también generan planos de despegue para macizos competentes, donde la inestabilidad principal a ocurrir son las caídas de cuñas (ver Fotografía 15).

Fotografía n° 14: Vista de deslizamientos de roca en comuna de Casablanca



Fuente: Obtención propia. Fotografías taludes sector Quintay

Fotografía n° 15: Vista de deslizamientos de roca en taludes de Ruta 68



Fuente: Obtención propia. Fotografía de archivo (año 2010) sector Paso Hondo - Placilla

Deslizamientos superficiales de suelo

Un tipo de remoción en masa que se presenta con frecuencia en las laderas de la comuna, es el deslizamiento superficial de capas de suelo residual (regolito, gravas, arenas, detritos) denominados “Gravel/sand/debris slide” según las clasificaciones más recientes (Hung, 2014).

La meteorización de las rocas intrusivas que predominan en los cerros, favorece las condiciones para que el material que sea movilizado ladera abajo como deslizamientos de suelo. Estos eventos por lo general suelen involucrar un bajo volumen de material, y se ven favorecidos por la presencia de erosiones acentuadas o zonas intervenidas (cortes artificiales). De acuerdo al levantamiento realizado en terreno, estos eventos se asocian a bajos niveles de daño, sin embargo deben ser considerados dentro de la planificación territorial, considerando la dinámica del paisaje (reflejada en la disgregación de taludes artificiales) y que en la permanente variación en la profundidad de los niveles de meteorización. Las Fotografías 16 y 17 muestran evidencias del proceso descrito en laderas de la comuna.

Además, el transporte y arrastre de material, se hace evidente depositado en las calles, como polvo en suspensión y como sedimentos que colmatan los sistemas de evacuación de aguas o que reducen el ancho de las calles.

Fotografías n° 16 y 17: Vista de deslizamientos superficiales de suelo en laderas de la comuna de Casablanca, entorno a Paso Hondo



Fuente: Obtención propia.

Flujos

En ocasiones, precipitaciones intensas pueden generar la saturación y movilización de materiales acumulados en quebradas (materiales como suelos, detritos y rocas), especialmente cuando se superan los umbrales de precipitaciones en que el material se satura y pierde su resistencia (para la zona central de Chile, se ha estimado en 60mm/24hrs. Hauser, 1990). Esa condición, se ve favorecida cuando las quebradas tienen pendientes mayores a 15°, o presentan canales angostos y estrechos. En los flujos, también se debe considerar el tipo y espesor del suelo y cobertura vegetal, lo que en ocasiones favorece la retención del material grueso ante flujos. Estas características se relacionan con aspectos geográficos del área, como por ejemplo orientación con respecto al Norte, el grado de humedad de la ladera y exposición al sol.

En el caso de la comuna de Casablanca, la presencia de material disgregado en quebradas sumado a zonas donde la cobertura vegetal es pobre o ausente, favorece la generación de flujos. Si bien no se cuenta con antecedentes históricos que den cuenta de estos eventos, dadas las condiciones descritas se podrían esperar flujos y escurrimientos de material en todos los sistemas de pequeños conos basales asociados a las vertientes y quebradas menores, por lo que la expansión hacia esos sectores debe ser evaluada con estudios de mayor detalle y más adelante se muestra un análisis a una escala 1:5.000 para los centros poblados de la comuna.

4.1.2 Antecedentes de remociones a escala comunal e intercomunal

A escala regional, existe una zonificación por susceptibilidad de remociones en masa a escala 1:250.000 (Sernageomin, 2004), basado en la superposición de factores condicionantes, y cuyos resultados para la comuna de Casablanca se muestran en la Figura 35, y se describen a continuación:

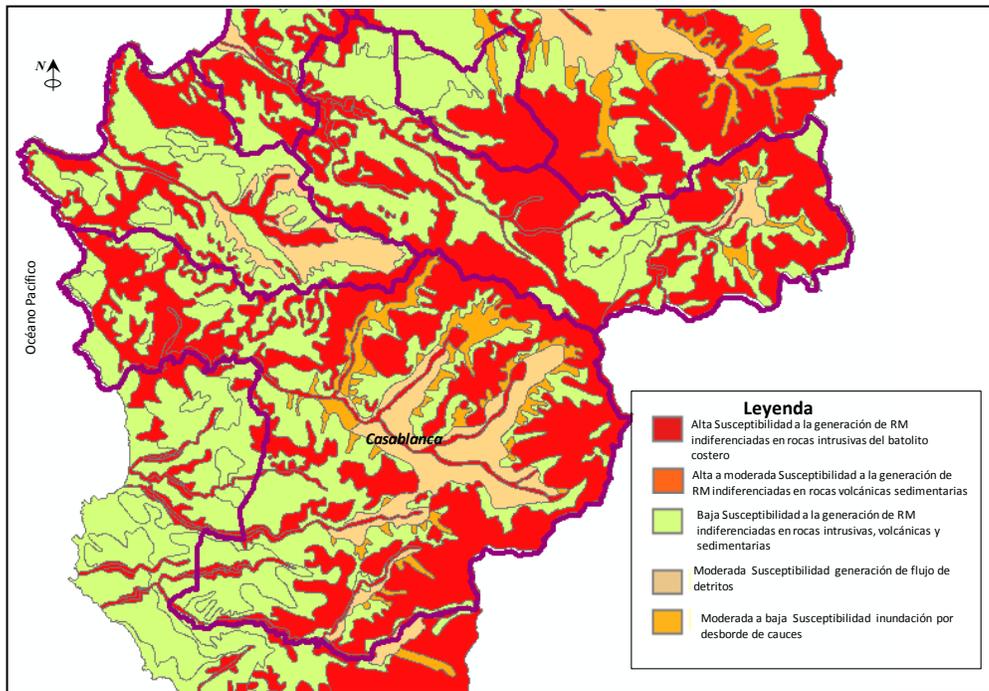
Zonas con alta susceptibilidad a generación de remociones en masa (indiferenciadas), asociadas a rocas intrusivas del Batolito de la Costa (con edades desde el Paleozoico al Jurásico) y que se encuentran muy erosionadas y meteorizadas, con la consiguiente formación de potentes suelos residuales tipo maicillo. Dentro de esta categoría, se considera rocas sedimentarias semiconsolidadas con edades desde el Mioceno al Cuaternario que incluyen depósitos marinos y depósitos continentales, aluvionales, morrénicos y eólicos con distintos grados de cohesión dependiendo en parte de su litología y grado de consolidación. Los principales problemas susceptibles de generarse en estas áreas son deslizamientos, flujos de detritos y caídas de rocas. Zonas de fuertes pendientes o zonas con intervención antrópica sin medidas adecuadas de contención puede gatillar fenómenos de remoción en masa. Estas zonas se identifican con el color rojo en la Figura 35, y se asocian principalmente a los sectores montañosos de la cordillera de la Costa, y cordones de cerro dentro de la comuna.

Zonas con alta a moderada susceptibilidad, en rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias con edades desde el Jurásico al Terciario. Estas rocas presentan mayor cohesión que las anteriores, y pueden existir características geológicas y estructurales locales que pueden favorecer la generación de fenómenos de remociones en masa. En el Mapa 1:250.000 de Sernageomin, estas zonas se reconocen hacia el este de la región, especialmente en el macizo cordillerano andino, no estando mayormente presente en la comuna de Casablanca.

Zonas con baja susceptibilidad de remoción en masa, que corresponden a áreas en las cuales predominan los mismos tipos litológicos y rango de edades de las rocas descritas para susceptibilidad alta y alta a moderada, sin embargo, la baja pendiente y menor grado de meteorización permiten una caracterización de baja susceptibilidad. En la comuna esta zona se asocia a rocas intrusivas con pendientes menores y zonas de terrazas de abrasión (Figura 35).

Zonas con moderada susceptibilidad a la generación de flujos (color magenta de Figura 35) especialmente en la cabecera de las cuencas de Tapihue, Lo Ovalle y Casablanca.

Figura n° 35: Susceptibilidad de remociones en masa V región (1:250.000)



Fuente: Imagen obtenida del Geología para Ordenamiento Territorial de la V región de Valparaíso escala 1:250.000. Sernageomin, 2004.

La Figura 36 muestra un modelo de pendientes de la comuna generado a partir de la triangulación (en SIG) de curvas cada 25 metros, en el cual la subdivisión de rangos de pendientes se realiza a partir de los antecedentes teóricos de generación de remociones en masa. Los rangos definidos se basan en los antecedentes de pendientes mínimas para la generación de remociones (Keefer, 1984; Hauser, 1993; González de Vallejo, 2003) y en la clasificación de pendientes de MARSH (1978, en MOPT 1992), que señala que todos los terrenos cuya pendiente supere los 15° constituyen en una barrera topográfica natural para el poblamiento. Según los antecedentes teóricos, bastarían pendientes de 15° para la generación de flujos, favorecidos por la presencia de quebradas angostas y estrechas (Hauser, 1993), mientras que Keefer (1984) señala que pendientes mayores o iguales a 35° son suficientes para la generación de deslizamientos y mayores o iguales a 40° para caídas de rocas (ante un sismo, estos valores pueden cambiar). Los terrenos con pendientes menores a 15°, presentaría baja a nula susceptibilidad a la generación caída de rocas. El avance de los bloques ladera abajo depende de muchos factores (propiedades de a cobertura, forma y tamaño de los bloques, pendientes, etc.). En general estos tienden a acumularse en sectores de menor pendiente (menores a 15°) y en quebradas profundas estrechas, formando parte de un material que podría ser movilizado como un flujo.

En el Estudio de Riesgos de PREMVAL (Junio, 2013), se realiza la definición de áreas de riesgo por remociones en masa (definidas como AR NP – Área de Riesgo en Terreno en Pendiente), obtenidas a partir de la ponderación de condicionantes (pendientes, exposición solar, vegetación y características geológicas y geomorfológicas de área). La clasificación considerada en el PREMVAL para los rangos de pendientes asociadas a distintos procesos, se muestra en la Tabla a continuación.

Tabla 8: Rangos de pendientes a partir de “umbral geomorfológico”

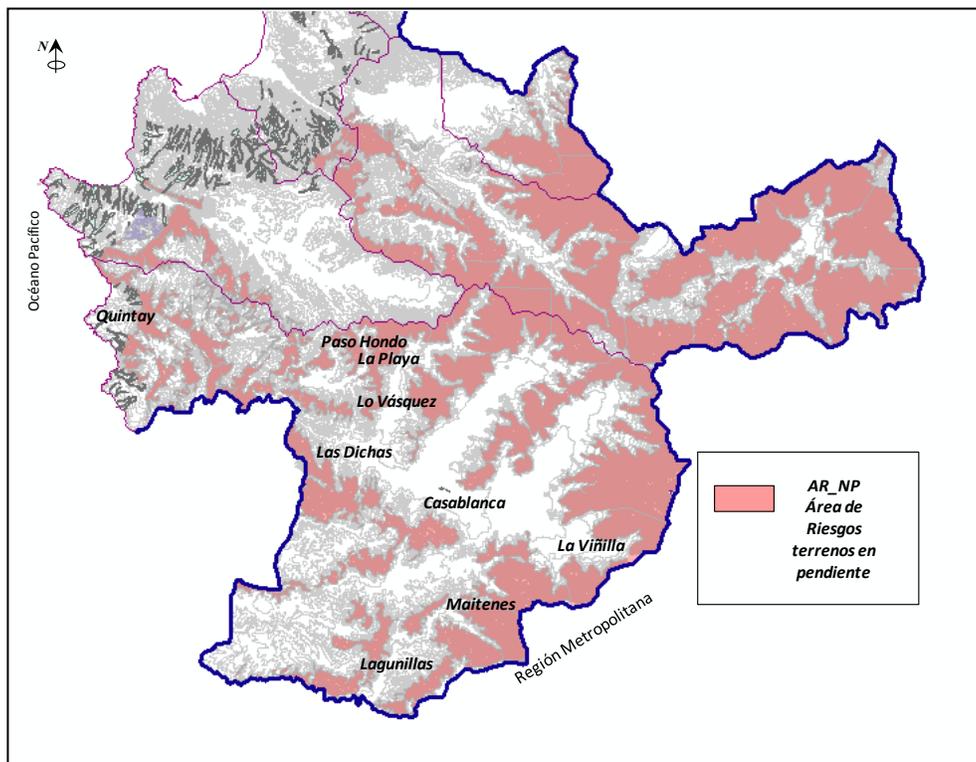
PENDIENTES (° y %)	CONCEPTO	UMBRAL GEOMORFOLÓGICO
0 – 2 0 – 4.5	Horizontal	Erosión Nula a Leve
2 – 5 4.5 - 11	Pendiente Suave	Erosión débil, difusa, Sheet-wash, inicio de regueras, soliflucción fría
5 – 10 11 - 22	Pendiente Moderada	Erosión moderada a fuerte; inicio de erosión lineal, Rill-wash o desarrollo 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	Coluionamiento; Soliflucción intensa; inicio de derrubiación
45 >100	Muy Escarpada a Acantilada	Desprendimientos y derrumbes; corredores de derrubios frecuentes

Fuente: PREMVAL, 2013

La pendiente topográfica es la variable de mayor ponderación en el estudio, y se define a partir 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°).

La Figura 36 a continuación muestra los resultados obtenidos, a partir de los cuales se puede concluir que en la comuna de Casablanca, aparecen dominando los sectores oriental y central de la comuna, apareciendo de manera más localizada en el entorno urbano, lo que concuerda con la descripción geomorfológica y geológica de la comuna.

Figura n° 36: Áreas de riesgos por pendientes – PREMVAL



Fuente: Generada a partir de PREMVAL 2013

Estas áreas serán ajustadas a escala 1:5.000 mediante un análisis de susceptibilidad de remociones en masa en las localidades de interés del presente estudio (definidas por el mandante).

4.1.3 Metodología utilizada

Existen distintas metodologías que permiten evaluar la susceptibilidad de remociones en masa. Independiente de la metodología que se utilice, es fundamental validar los resultados obtenidos. En particular, en el presente trabajo utiliza la metodología para evaluar susceptibilidad de remociones en masa en áreas urbanas propuesta por Muñoz (2013), que a su vez se basa en ajustes de la metodología propuesta por Lara (2007).

La metodología utilizada en el presente trabajo, fue diseñada para permite incorporar aquellas remociones en masa que ocurren en áreas urbanas, las cuales suelen ser frecuentes dadas las características geomorfológicas de Chile Central, y que si bien en general involucran poco volumen de material, tienen un alto impacto en la dinámica de ciudades y centros urbanos.

Se basa en determinar índices de susceptibilidad de remociones en masa en áreas urbanas a través de la ponderación de factores condicionantes. Los tipos de remociones consideradas por esta metodología son caídas de roca, flujos y deslizamientos de suelo, excepto en Quintay donde además se incluyen deslizamientos traslacionales de roca, esto, por poseer mayor cantidad de afloramientos rocosos afectados por estructuras, y contar con evidencias de este tipo de mecanismo.

Para su aplicación, es necesaria la subdivisión del área de estudio en unidades de análisis basándose por un lado en rasgos geomorfológicos y geológicos – geotécnicos, y por otro lado, en criterios urbanos. Con los primeros aspectos, se divide el sector en unidades con valores similares de pendiente, altura, orientación con respecto al sol u otra característica geomorfológica particular, considerando además parámetros geológicos – geotécnicos que agrupen unidades con un comportamiento geotécnico similar.

Como el área de trabajo estará dentro de zonas urbanas, es importante incluir en la definición de unidades criterios urbanos, como lo son límites entre sectores, ejes viales y calles, además de zonas intervenidas antrópicamente. En el Anexo 1, se describe en detalle la metodología empleada. Las Tablas a continuación muestran los factores condicionantes considerados con su respectiva ponderación, y que permiten evaluar susceptibilidad para caídas de rocas, deslizamientos superficiales de suelo y flujos.

Posteriormente se presentan los resultados del análisis de susceptibilidad de remociones en masa para los centros poblados de la comuna de Casablanca y que son el foco del presente informe.

De las Tablas se puede determinar el índice de susceptibilidad (IS) como:

$$IS_{\text{caídas_rocas}} = (F1 + F2 + F3 + F4 + F5) \times F6$$

$$IS_{\text{desliz_sue}} = (F1 + F2 + F3 + F4 + F5) \times F6$$

$$IS_{\text{flujo}} = (F1 + F2 + F3 + F4 + F5) \times F6$$

Tabla 9: Factores máximos considerados en caídas de rocas

FACTOR	% máx.	DESGLOSE DE FACTORES	% máx.
GEOMORFOLOGIA (F1)	35	Pendiente Promedio de la unidad	15
		Altura máxima de la unidad	10
		Forma	10
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA (F2)	20	Características Geológicas - Geotécnicas de la unidad	15
		Cercanía a una falla mayor y/o zona de cizalle	5
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA (F3)	25	Presencia de Desestabilización/ Estabilización artificial. Se evalúa la condición de la unidad respecto al mecanismo analizado	25
ANTECEDENTES (F4)	10	Caídas de rocas reconocidas en la ladera	10
CLIMA Y VEGETACIÓN (F5)	10	Condición de Humedad en la ladera	5
		Presencia Vegetación	5

Fuente: Muñoz, 2013.

Tabla 10: Factores máximos considerados en deslizamientos superficiales de suelo

FACTOR	% máx.	DESGLOSE DE FACTORES	% máx.
GEOMORFOLOGIA (F1)	35	Pendiente Promedio de la Ladera	15
		Altura máxima de la unidad	5
		Exposición al Sol	10
		Forma	5
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA (F2)	25	Características Geológicas - Geotécnicas	15
		Cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle	10
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA (F3)	10	Presencia de Desestabilización/ Estabilización artificial. Se evalúa la condición de la unidad respecto al mecanismo analizado	10
ANTECEDENTES (F4)	10	Deslizamientos de suelos declarados	10
CLIMA Y VEGETACIÓN (F5)	20	Condición de Humedad en la ladera	10
		Presencia Vegetación	10

Fuente: Muñoz, 2013.

Tabla 11: Factores máximos considerados en flujos

FACTOR	% máx.	DESGLOSE DE FACTORES	% máx.
GEOMORFOLOGÍA (F1)	35	Pendiente del canal de drenaje	20
		Encajamiento del canal de drenaje	15
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA (F2)	30	Condición de Humedad y saturación en la ladera	10
		Carácter. Geológicas - Geotécnicas	15
		Cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle	5
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA (F3)	10	Presencia de escombros o obstrucción del canal en forma artificial	10
ANTECEDENTES (F4)	15	Aluviones declarados en la cuenca hidrográfica	15
VEGETACIÓN (F5)	10	Características y rol de la vegetación	10

Fuente: Muñoz, 2013.

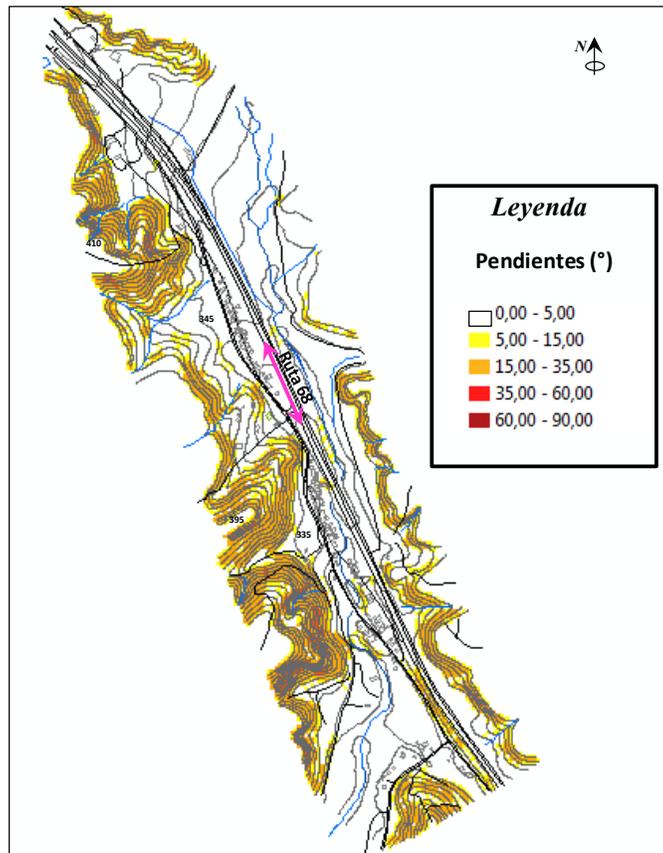
Con la aplicación de la metodología descrita, se obtienen valores de IS (índice de susceptibilidad) para cada unidad y tipo de remoción evaluada. Los rangos de susceptibilidad definidos para proyección son: 0-24 baja; 25-49 moderada; 50-74 alta; 75-100 muy alta. Como la metodología se usará en áreas urbanas, es importante no sólo considerar la posibilidad de amenaza, sino que el potencial daño (vulnerabilidad). Como la dinámica de centros urbanos el variable, como “áreas de riesgo” se considerarán las áreas con índice de susceptibilidad crítico (IS > 50).

4.1.4 Remociones en masa – Paso Hondo

Paso Hondo es un centro poblado que se emplaza en el costado Oeste de la ruta 68, rodeado de cerros de baja a moderada altura, y cotas entre los 330m s.n.m. (sector llano entorno a la carretera) y máximas de 475m s.n.m. (ver Figura 37, que muestra un modelo de pendientes de Paso Hondo generado a partir de la base topográfica de la localidad, con curvas cada 5 metros). Se puede concluir que las laderas en gran parte del trazado tienen pendientes entre 15° y 35°, con pequeños valles con bajas pendientes que confluyen hacia la zona poblada. En algunas laderas incluso se alcanzan pendientes cercanas a los 60°. Los cerros están compuestos por rocas intrusivas meteorizadas, que evidencian y tono rojizo producto de niveles amaillados, con cobertura vegetal que va incluye bosques de pinos y matorrales densos en zonas profundas y quebradas, a matorrales con menor densidad en laderas (ver Fotografías a continuación).

Es importante destacar que las curvas cada 5 metros (escala 1:5000) no abarcan el cordón de cerros al oeste de Paso Hondo, por lo que el análisis se complementa con curvas cada 25 metros a escala comunal. Es importante señalar que en el PREMVAL se definen áreas de riesgo en los cerros aledaños a Paso Hondo que requieren ser ajustadas por un tema de escala.

Figura n° 37: Modelo de pendientes Paso Hondo



Fuente: Elaboración propia.

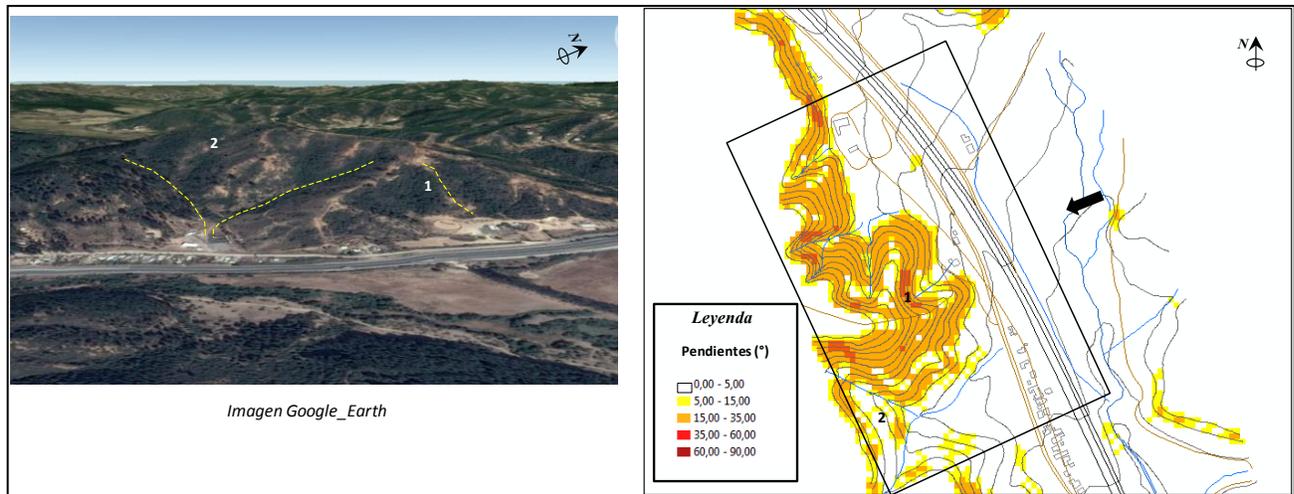
Fotografías n° 18, 19, 20 y 21: Vista de cordón de cerros sector Paso Hondo



Fuente: Obtención propia

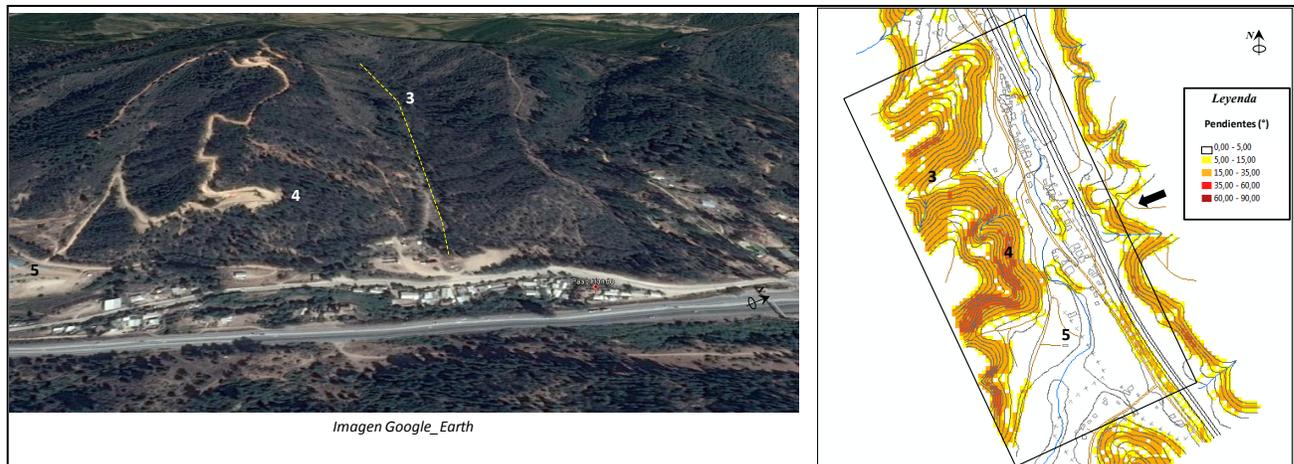
Las Figuras 38 y 39 muestran con mayor detalle las pendientes en la zona poblada de Paso Hondo, y una vista obtenida de Google_earth que permite una visión general del entorno.

Figura n° 38: Detalle modelo de pendientes Paso Hondo y vista con relieve del área



Fuente: Obtención propia

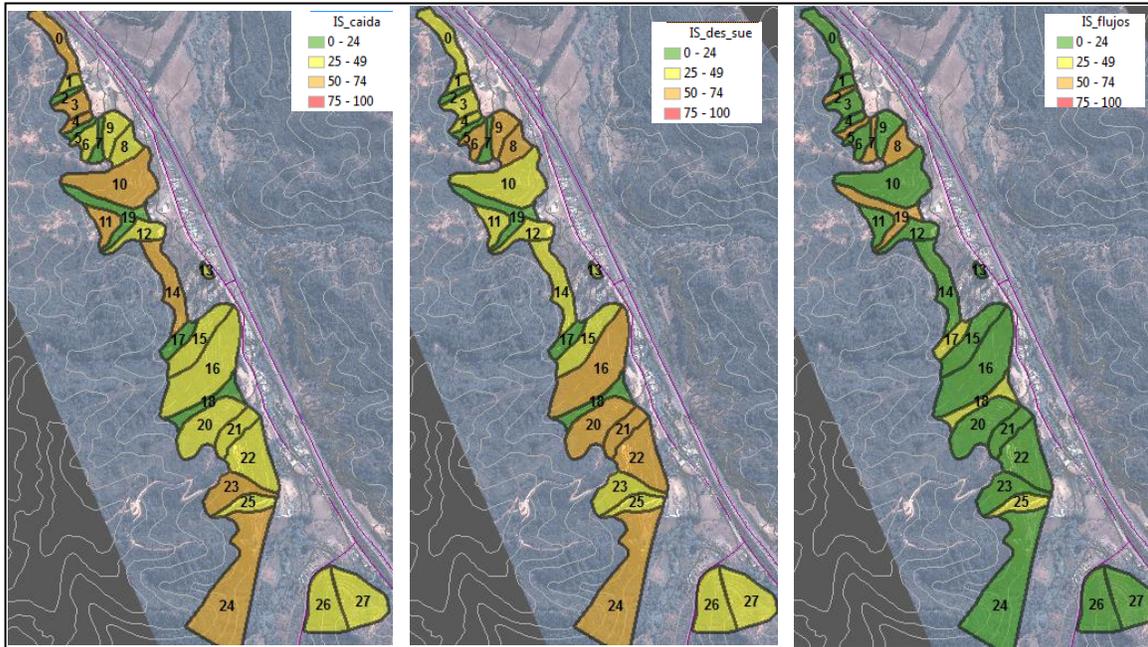
Figura n° 39: Detalle modelo de pendientes Paso Hondo y vista con relieve del área



Fuente: Obtención propia

Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa, se definieron 28 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología. Los tipos de remociones en masa evaluadas, son caídas de rocas, deslizamientos de suelos y flujos. La Figura 40 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción.

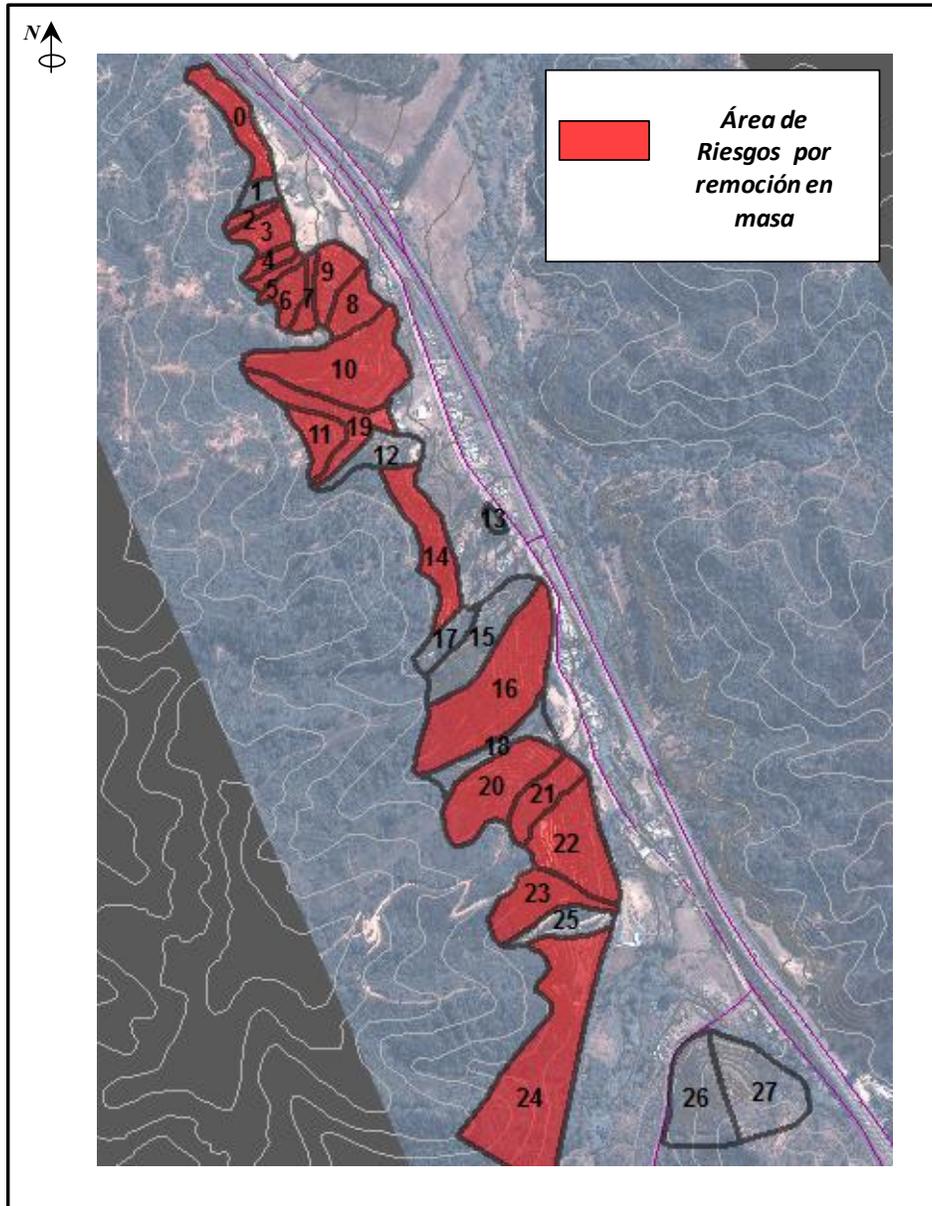
Figura n° 40: Índice de susceptibilidad unidades Paso Hondo



Fuente: Elaboración propia

La Figura 41 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad de Paso Hondo, y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas, y/o deslizamientos de suelos y/o flujos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 41: Áreas de riesgo por remociones en masa Paso Hondo



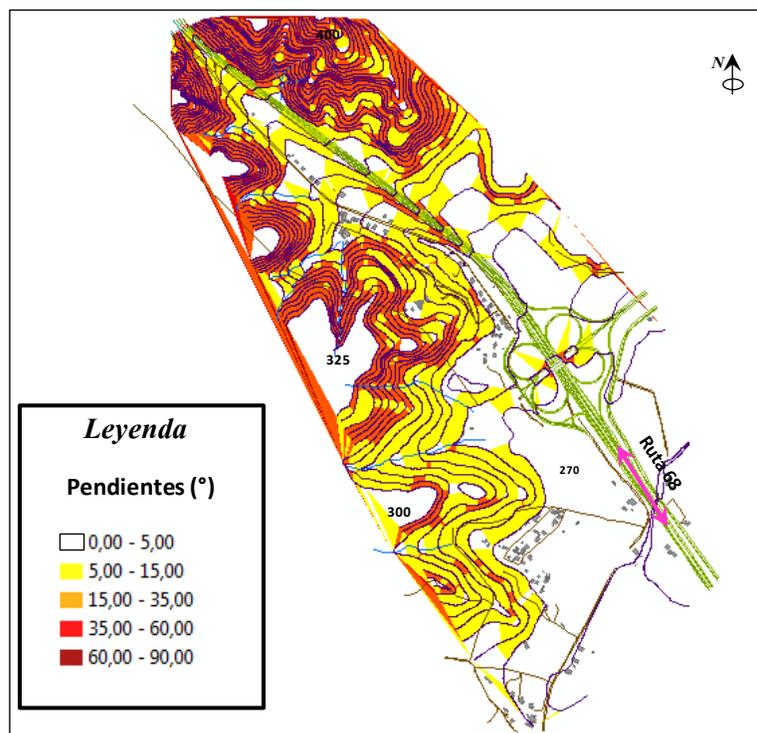
Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Remociones en masa – La Playa

La Playa es un centro poblado que se emplaza en el costado Oeste de la ruta 68, al Suroeste de Paso Hondo por la Ruta 68. La localidad se encuentra rodeada por cerros de suave lomaje, con alturas que aumentan gradualmente hasta 100 metros por sobre el nivel base de la localidad.

Las Figura 42 muestra un modelo de pendientes generado en SIG (a partir de la triangulación de curvas cada 5 metros), a partir de lo cual se puede concluir que las laderas en gran parte del trazado tienen pendientes entre 15° y 35°, con presencia de quebradas que fluyen al valle principal, cortas y estrechas, con pendientes por sobre los 15° en las partes altas, y generando abanicos de depositación entre 5° y 15°. También se reconocen algunas laderas puntuales con pendientes entre 35° y 60°. Los cerros están compuestos por rocas intrusivas con distintos niveles de meteorización, que evidencian y tono rojizo producto de niveles amaicillados, con cobertura vegetal parcial (especialmente aquellas con orientación Sur) y algunos sectores con afloramientos rocosos descubiertos. También se reconoce mayor densidad en la vegetación en las zonas profundas y quebradas (ver Figura 43). Las Fotografías 22 y 23 muestran de fondo los cerros que rodean La Playa.

Figura n° 42: Modelo de pendientes sector La Playa



Fuente: Elaboración propia

Figura n° 43: Vista (google_earth) de La Playa indicando principales quebradas



Fuente: Elaboración propia a partir de imagen Google_earth

Fotografías n° 22 y 23: Vista sector La Playa y cordones montañosos de fondo



Fuente: Obtención propia

Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa, se definieron 25 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología utilizada en el presente estudio). Los tipos de remociones en masa evaluadas, son caídas de rocas, deslizamientos de suelos y flujos. La Figura 44 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción.

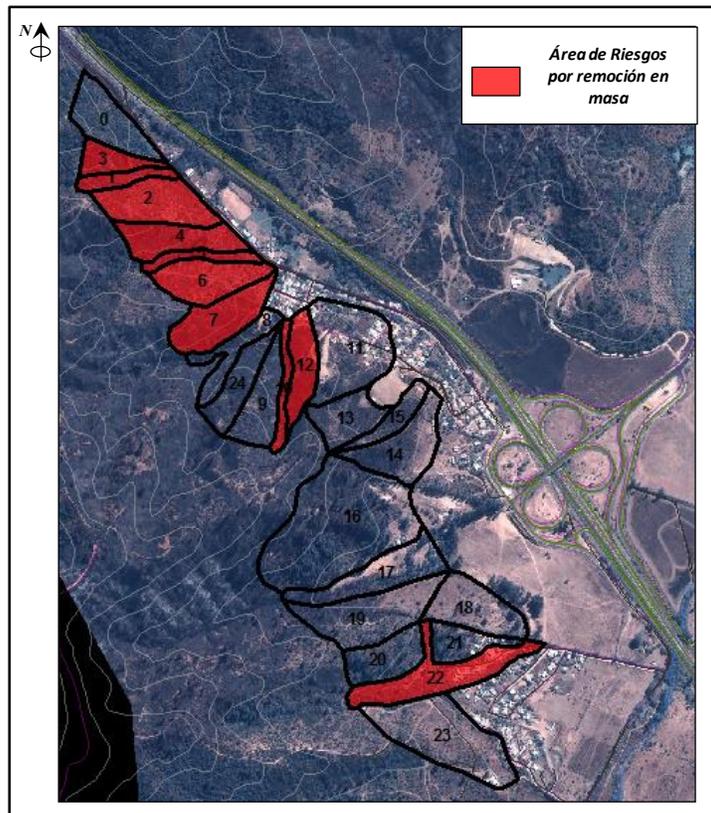
Figura n° 44: Índice de susceptibilidad unidades La Playa



Fuente: Elaboración propia

La Figura 45 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad de La Playa, y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas, y/o deslizamientos de suelos y/o flujos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 45: Áreas de riesgo por remociones en masa La Playa

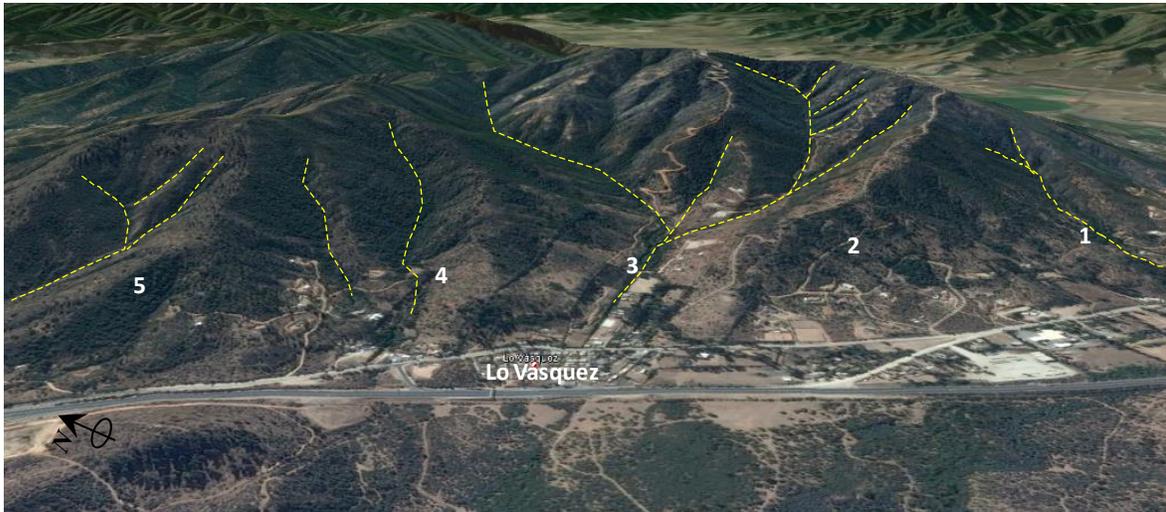


Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Remociones en masa – Lo Vásquez

La localidad de Lo Vásquez, se emplaza a los pies de un cordón de cerros al Este de la Ruta 68, que se elevan hasta los 700 m s.n.m., y alturas sobre los 300 metros desde el nivel base de la localidad. El cordón de cerros se compone de rocas intrusivas con distintos niveles de meteorización, y presenta una serie de quebradas y pequeñas cuencas que drenan hacia la localidad, dejando además laderas con pendientes entre los 15° y 35°, superando los 60° en algunos sectores puntuales. En la imagen de la Figura 46, se destacan los principales rasgos geomorfológicos de la localidad.

Figura n° 46: Vista de Lo Vásquez indicando principales quebradas

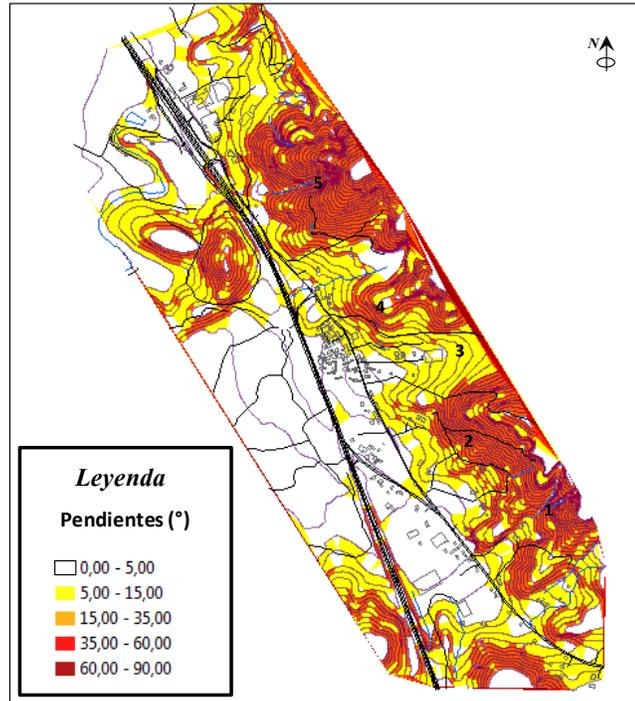


Fuente: Elaboración propia a partir de imagen Google_earth

El valle generado por una cuenca (destacada con el número 3 en la Figura 46) tiene su origen en las cabeceras de los cerros de mayor altura (fuera del área de estudio), mientras que en el entorno directo a la localidad, se reconocen pequeñas quebradas con una geometría recta que desembocan hacia Lo Vásquez.

Por lo tanto, para analizar el riesgo por remociones en masa, se consideraron curvas de nivel locales (cada 5 metros) y curvas comunales cada 25 metros. Es importante destacar que en el PREMVAL, el cordón de cerros que rodea Lo Vásquez se encuentra en condición de riesgos por pendientes. Esta información debería ser complementada con los resultados del presente trabajo. La Figura 47 muestra un modelo de pendientes generado en SIG a partir de la triangulación de curvas de nivel cada 5 metros.

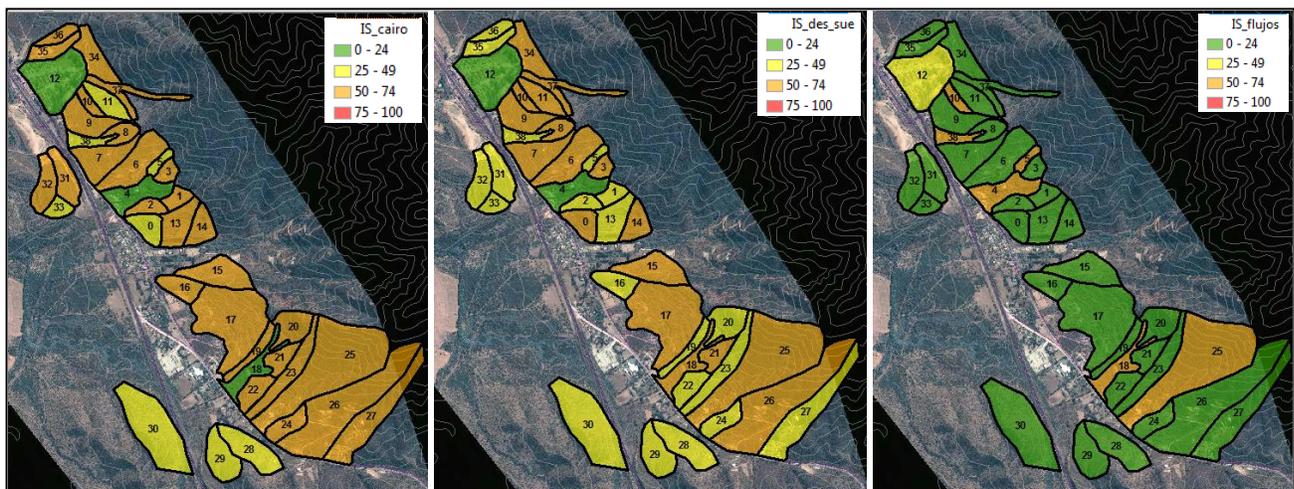
Figura n° 47: Modelo de pendientes sector Lo Vásquez



Fuente: Elaboración propia

Las Fotografías 24 y 25, se muestran las los cerros que rodean la localidad. Se destaca en general, que evidencias de caídas de rocas se encuentran en cortes artificiales, asociadas a caminos, sectores de extracción de maicillo. Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa en Lo Vásquez, se definieron 39 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología utilizada en el presente estudio). Los tipos de remociones en masa evaluadas, fueron caídas de rocas, deslizamientos de suelos y flujos. La Figura 48 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción.

Figura n° 48: Índice de susceptibilidad unidades Lo Vásquez



Fuente: Elaboración propia

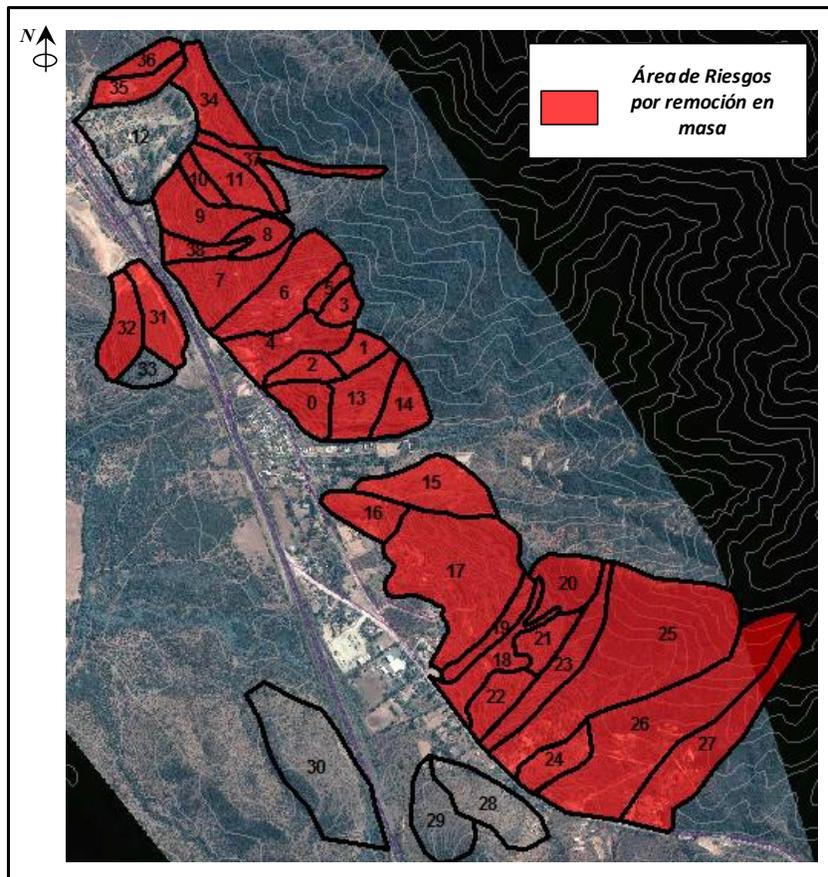
Fotografías n° 24 y 25: Vista sector Lo Vásquez



Fuente: Obtención propia

La Figura 49 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad de Lo Vásquez, y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas, y/o deslizamientos de suelos y/o flujos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 49: Áreas de riesgo por remoción en masa Lo Vásquez



Fuente: Elaboración propia

4.1.7 Remociones en masa – La Viñilla

La localidad de La Viñilla se ubica al Sureste de Casablanca, siguiendo la Ruta 68 en dirección a Santiago. Se emplaza en un valle generado por la sub cuenca La Viñilla, que drena hacia el valle de Casablanca. El sector poblado se ubica en un sector plano (con pendientes menores a 5°), con cotas medias de 323m s.n.m., limitado hacia el norte por cerros de alturas 500m s.n.m. que son parte del límite de la cueca.

Según el PREMVAL, estos cerros se encuentran dentro de las áreas definidas con riesgos por pendientes. La Figura 50 muestra un modelo de elevación digital (generado en SIG) generado a partir de curvas topográficas cada 25 metros de la comuna, y curvas cada 5 metros del entorno directo a la localidad, que abarcan sólo una porción menor de estos cerros.

Figura n° 50: Modelo de elevación digital La Viñilla



Fuente: Elaboración propia

Al igual que en las localidades anteriormente descritas, los cerros se componen de rocas intrusivas con distintos niveles y horizontes de meteorización. Los valles se encuentran rellenos por depósitos aluviales y coluviales. Las Fotografías 26 y 27 muestran los cerros inmediatamente al norte de La Viñilla, donde es posible apreciar laderas con alto ángulo y geometrías irregulares asociadas a intervención antrópica, lo que influye directamente en procesos de remoción en masa.

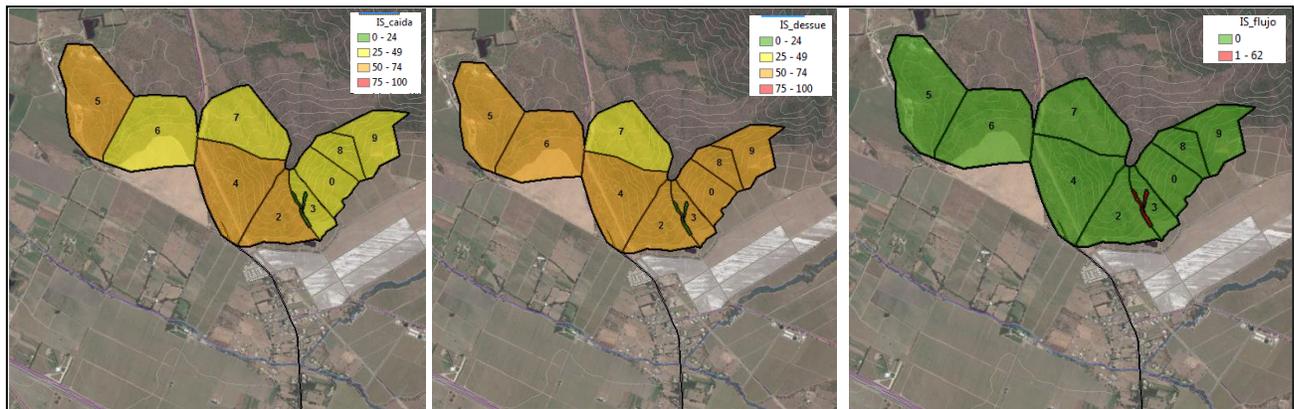
Fotografías n° 26 y 27: Laderas cerros al norte de La Viñilla



Fuente: Obtención propia

Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa en La Viñilla, se definieron 10 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología utilizada en el presente estudio). Los tipos de remociones en masa evaluadas, fueron caídas de rocas, deslizamientos de suelos y flujos. La Figura 51 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción.

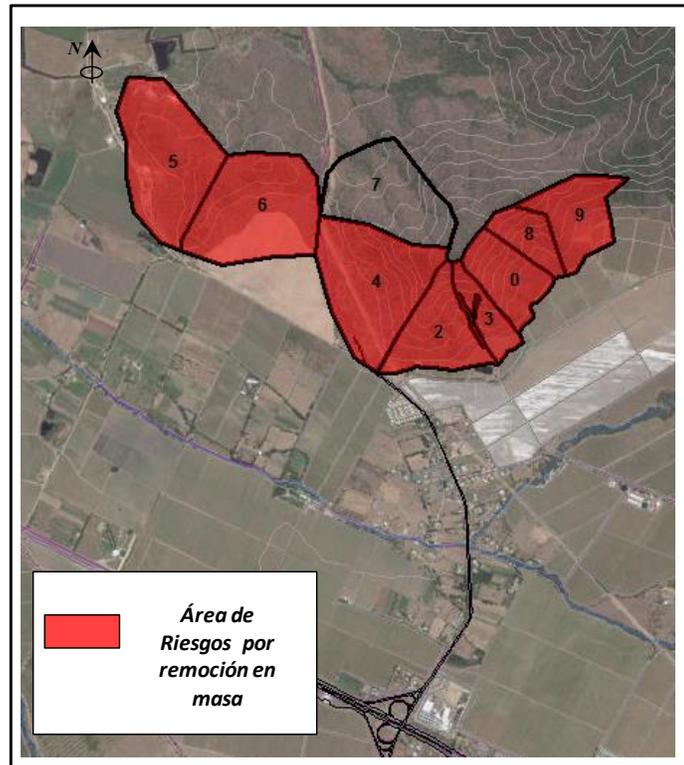
Figura n° 51: Índice de susceptibilidad unidades La Viñilla



Fuente: Elaboración propia

La Figura 52 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad de La Viñilla, que deben ser agregadas a las áreas definidas por el PREMVAL y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas, y/o deslizamientos de suelos y/o flujos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 52: Áreas de riesgo por remoción en masa La Viñilla



Fuente: Elaboración propia

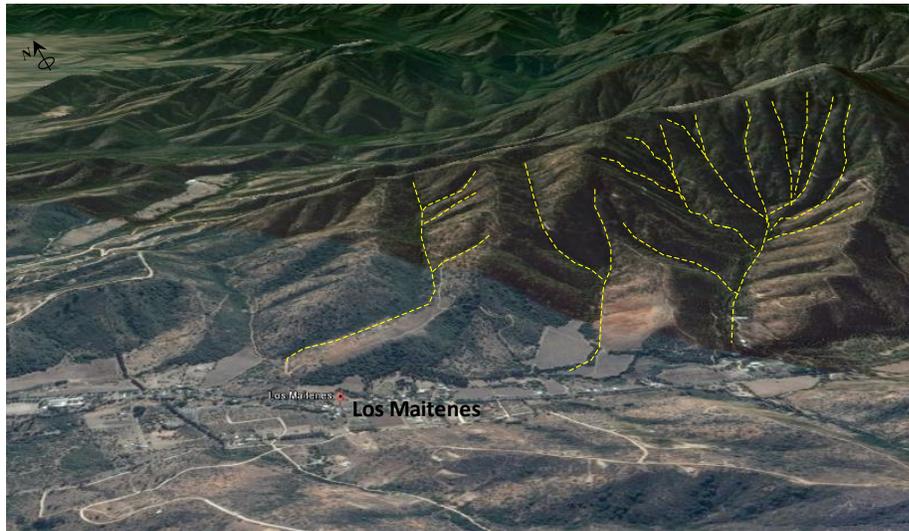
4.1.8 Remociones en masa – Maitenes

El sector de Los Maitenes se ubica al Sur de Casablanca, en un valle cuya sub cuenca con dirección NW, y que drena hacia el Oeste (hacia el sector de Algarrobo), y se encuentra a su vez alimentada por una serie de quebradas y sub cuencas menores.

La localidad se encuentra rodeada por cerros a ambos lados del valle, compuestos por rocas intrusivas con distintos niveles de meteorización, y depósitos coluviales que rellenan las quebradas y el valle.

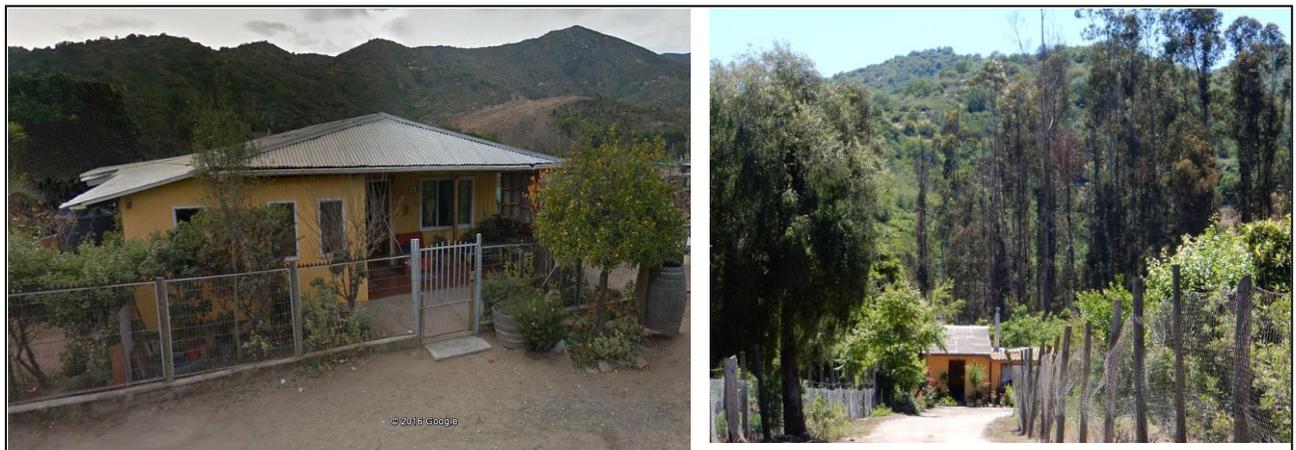
El área poblada posee baja pendiente ($<5^\circ$), con cotas medias de 265 a 270m s.n.m. Hacia Noreste de la zona poblada, los cerros tienen mayores alturas, mayor cobertura vegetal y mayores pendientes (como se observa en la Figura 53). En las Fotografías 28 y 29 se muestran estos cerros vistos desde la localidad poblada.

Figura n° 53: Vista de relieve sector Maitenes a partir de imagen Google_earth



Fuente: Imagen Google_earth intervenida

Fotografías n° 28 y 29: Vista de cerros al Noreste de Maitenes



Fuente: Foto 28 Google_earth; Foto 29 obtención propia

Los cerros que rodean la localidad de los Maitenes por el Suroeste, presentan alturas menores y menor cobertura vegetal (ver Fotografías 30 y 31).

Los cerros del entorno directo a la localidad tienen pendientes entre 15° y 35°, aumentando hacia las cabeceras.

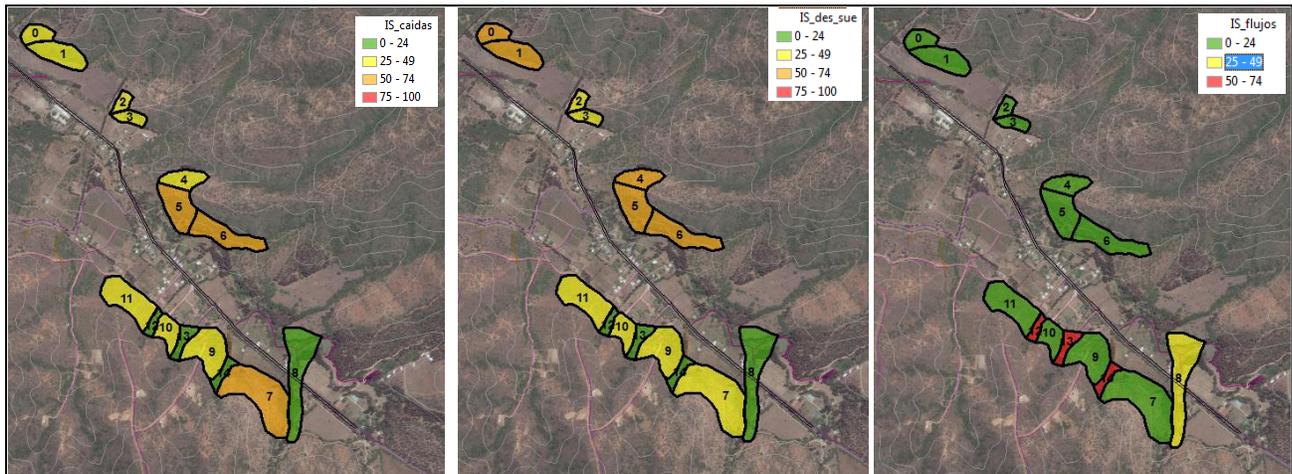
Fotografías n° 30 y 31: Vista de cerros al Suroeste de Maitenes



Fuente: Foto 30 Google_earth; Foto 31 obtención propia

Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa en Maitenes, se definieron 15 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología utilizada en el presente estudio). Los tipos de remociones en masa evaluadas, fueron caídas de rocas, deslizamientos de suelos y flujos. La Figura 51 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción

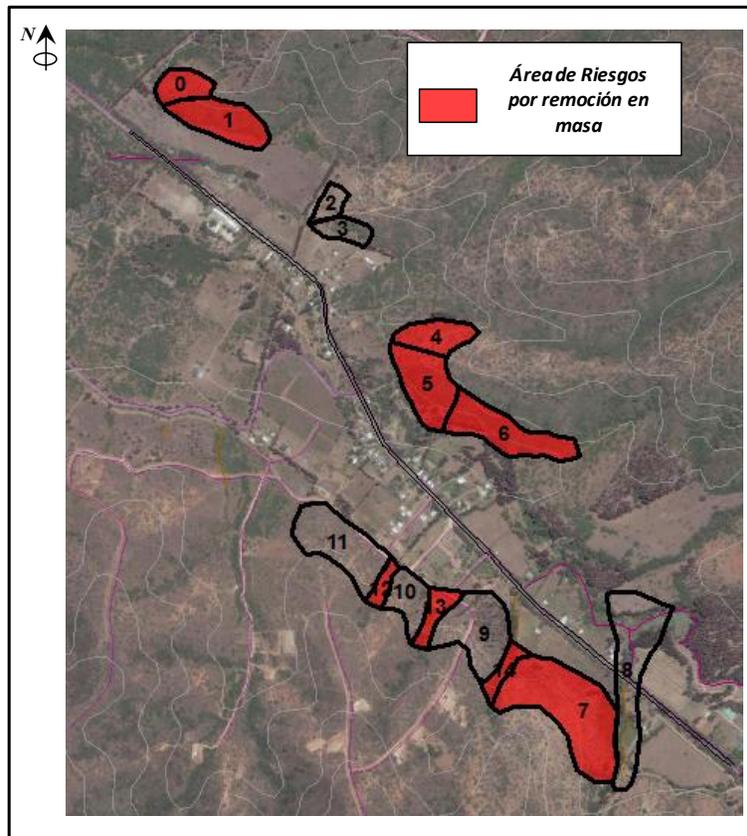
Figura n° 54: Índice de susceptibilidad unidades Maitenes



Fuente: Elaboración propia

La Figura 55 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad Maitenes, las cuales deben agregarse a las áreas definidas por el PREMVAL, y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas, y/o deslizamientos de suelos y/o flujos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 55: Áreas de riesgo por remoción en masa Maitenes



Fuente: Elaboración propia

4.1.9 Remociones en masa – Lagunillas

La localidad de Lagunillas se ubica al Sur de Casablanca y al Suroeste de Maitenes, en un valle cuya sub cuenca drena hacia el Oeste (hacia el sector de Algarrobo). La orientación del valle es Noreste, y se encuentra rodeada de cerros de lomaje suave. Es sector poblado se emplaza en zonas con pendientes bajas ($<5^\circ$), y altura medias de 195m s.n.m. Hacia el Noroeste, los cerros aumentan progresivamente de altura, hasta alcanzar 400m s.n.m. con quebradas que se orientan hacia la zona poblada (Figura 56). Los cerros se encuentran compuestos por rocas intrusivas meteorizadas, con cobertura vegetal parcial, exceptuando en el eje de las quebradas, donde la vegetación se hace más espesa.

La Fotografía 32 muestra una vista panorámica los cerros que rodean Lagunillas, los cuales evidencian un color anaranjado producto de la meteorización y desarrollo de niveles amaillados. Según el PREMVAL, parte de estos cerros se encuentran con restricción por pendiente. Estas áreas deben ser incluidas y complementadas con los resultados del análisis del presente estudio.

Figura n° 56: Vista del relieve sector Lagunillas



Fuente: Imagen Google_earth

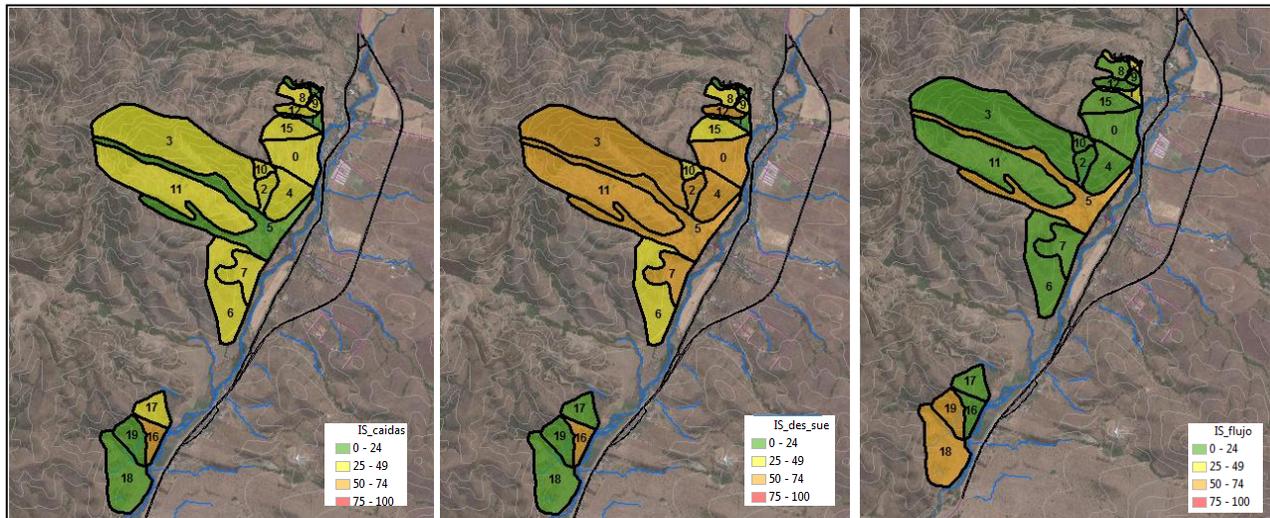
Fotografía n° 32: Vista sector Lagunillas



Fuente: Obtención propia.

Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa en Lagunillas, se definieron 20 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología utilizada en el presente estudio). Los tipos de remociones en masa evaluadas, fueron caídas de rocas, deslizamientos de suelos y flujos. La Figura 57 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción.

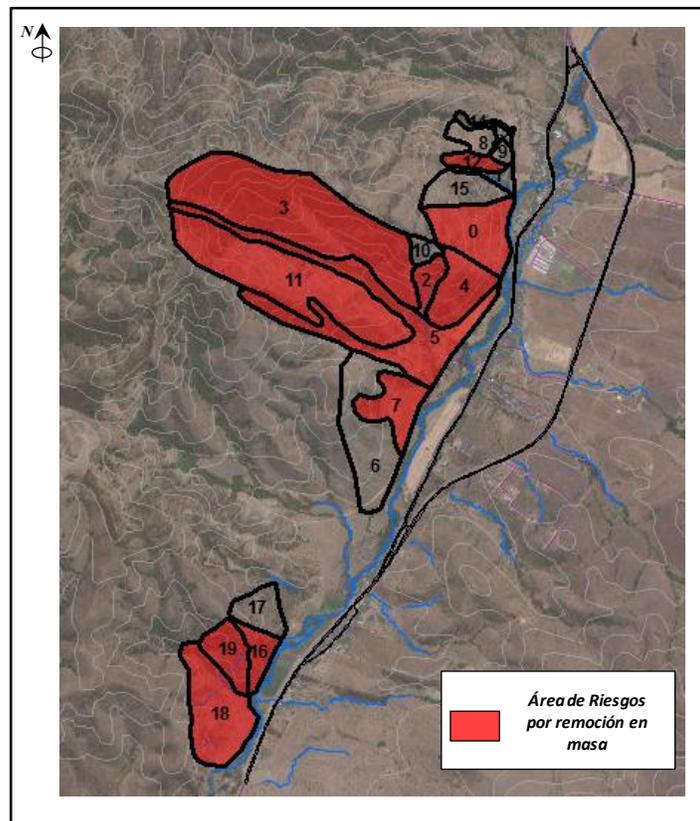
Figura n° 57: Índice de susceptibilidad unidades Lagunillas



Fuente: Elaboración propia

La Figura 58 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad Lagunillas, las cuales deben agregarse a las áreas de riesgos definidas por el PREMVAL, y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas, y/o deslizamientos de suelos y/o flujos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 58: Áreas de riesgo por remoción en masa Lagunillas

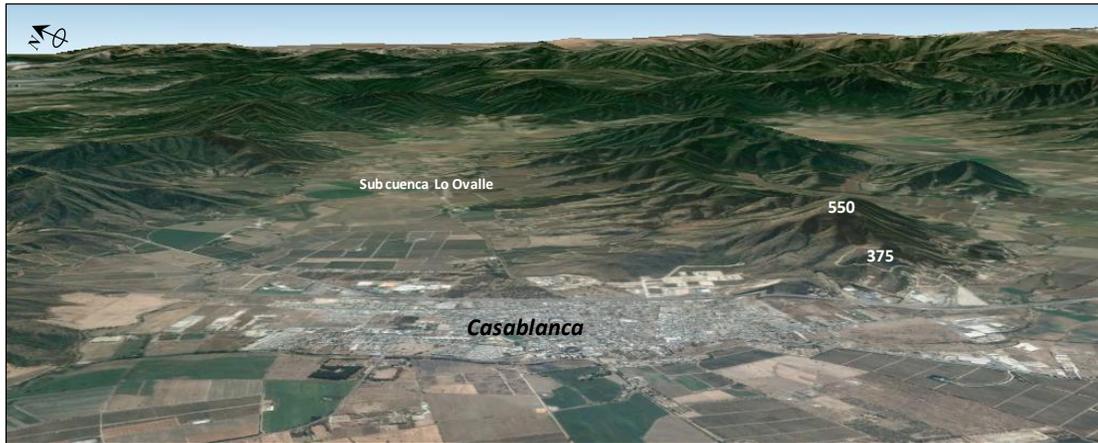


Fuente: Elaboración propia

4.1.10 Remociones en masa – Casablanca

Casablanca es el mayor centro urbano de la comuna emplazado en el entorno a la Ruta 68, en la intersección de la cuenca de Casablanca y la sub cuenca Lo Ovalle. El área urbana se ubica en un sector plano, con cotas medias de 260m s.n.m., y donde destaca un cerro en la parte Sur de la ciudad, que aumenta gradualmente de altura hasta los 550m s.n.m. y 375 en la zona más cerca al poblado. La Figura 59, vista Google_earth mostrando el relieve de Casablanca. El cordón montañoso cabecera de la sub cuenca Lo Ovalle se encuentra distante de la zona poblada (a varios kilómetros hacia el Este).

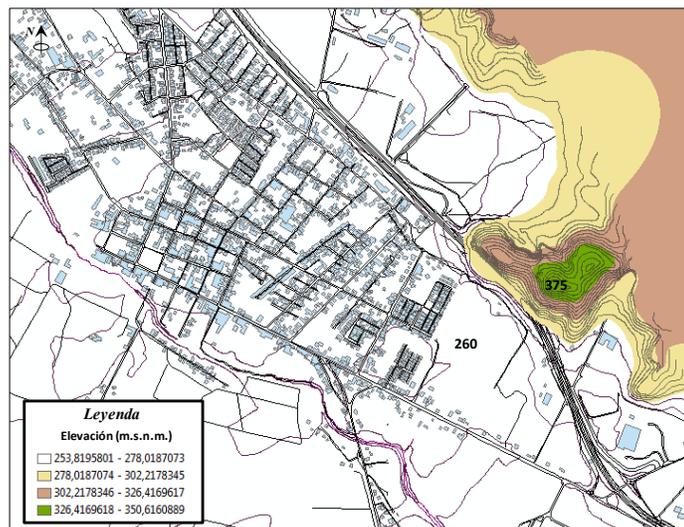
Figura n° 59: Vista del relieve sector Casablanca



Fuente: Imagen Google_earth

Según el PREMVAL, se consideran como áreas de riesgos por pendientes, los cerros que limitan las sub cuenca lo Ovalle. Estas áreas se deben mantener, y complementar con las áreas definidas en el presente estudio. La Figura 60 muestra un modelo de elevación digital (generado en SIG) donde se puede observar la horizontalidad del terreno en la zona urbana, y donde además se puede apreciar el cerro más cercano al poblado. En esta misma figura es posible apreciar que la topografía con curvas cada 5 metros del área es insuficiente para analizar riesgo por remociones en masa, por lo que también se utiliza curvas comunales cada 25 metros.

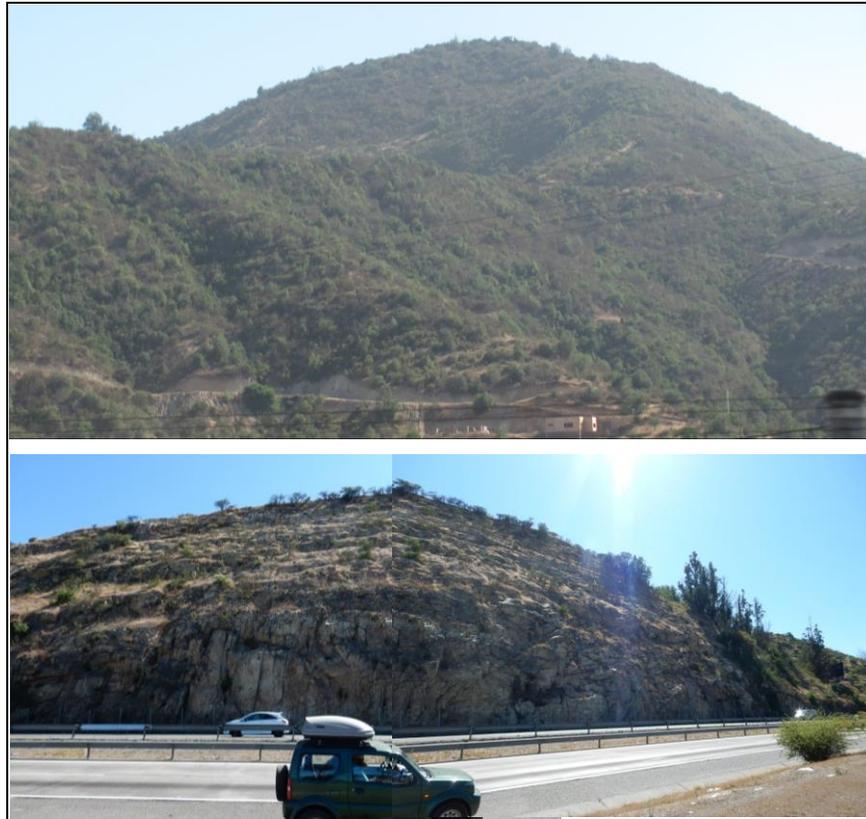
Figura n° 60: Modelo de elevación digital sector Sur Casablanca



Fuente: Elaboración propia.

La Fotografía 33 muestra los cerros en el entorno directo a Casablanca, y en ocasiones se encuentran con intervención antrópica (cortes artificiales para caminos y construcciones. Existe además un corte artificial de este cordón de cerros generado para el paso de la Ruta 68, el cual muestra mayores pendientes (Fotografía 34), generado a partir de un diseño vial sustentable para una carretera principal.

Fotografías n° 33 y 34: Vista cerros sector Casablanca



Fuente: Obtención propia

Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa en Casablanca, se definieron 16 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología utilizada en el presente estudio). Los tipos de remociones en masa evaluadas, fueron caídas de rocas, deslizamientos de suelos y flujos (estos últimos con susceptibilidad nula en las unidades de estudio). La Figura 61 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción. El resto de los cerros del entorno se encuentran definidos como áreas de riesgos por pendientes por el PREMVAL, situación que debe mantenerse y ser complementada con los resultados presentados a continuación.

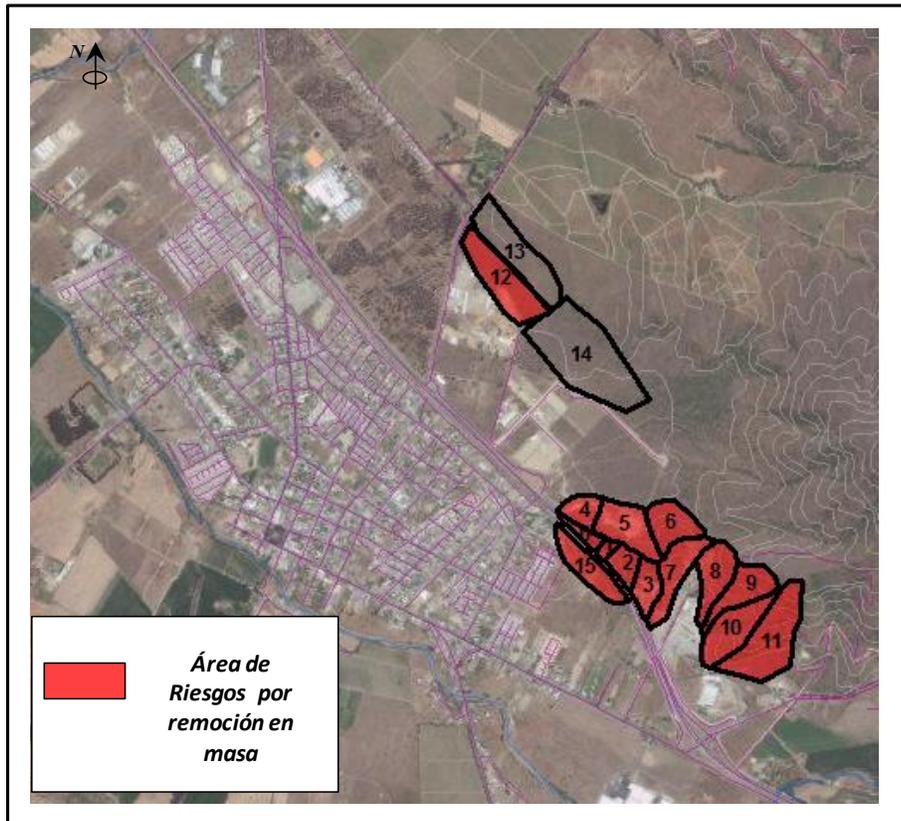
Figura n° 61: Índice de susceptibilidad Casablanca



Fuente: Elaboración propia

La Figura 62 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad de Casablanca, las cuales deben agregarse a las áreas de riesgos definidas por el PREMVAl, y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas y/o deslizamientos de suelos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 62: Áreas de riesgos por remoción en masa Casablanca



Fuente: Elaboración propia

4.1.11 Remociones en masa – Las Dichas

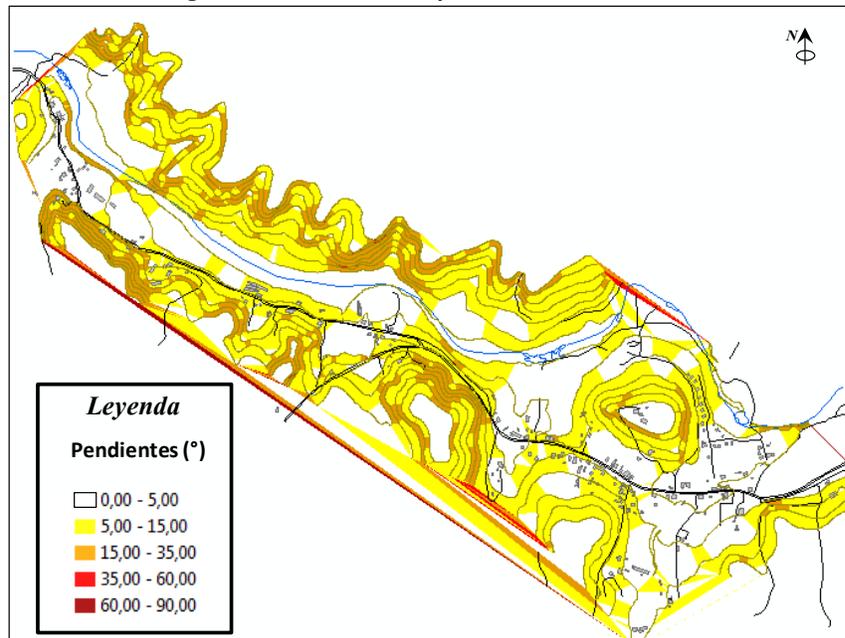
La localidad de Las Dichas se ubica al Oeste de Casablanca, en la continuación del valle homónimo. Se emplaza en un sector plano, con alturas medias de 240m s.n.m., y rodeado por cerros de lomaje suave, de bajas altura. Todos ellos se encuentran compuestos por rocas intrusivas, con distintos niveles de meteorización, lo que se suma a depósitos coluviales y aluviales relleno de quebradas y el valle principal.

Predominan pendientes menores a 15°, sin embargo, hay sectores donde las pendientes superan los 30°, especialmente asociados a quebradas y cerros del entorno a la localidad. En la ribera norte del estero, existe una serie de pequeñas quebradas, cortas y estrechas, afluentes del curso principal. La existencia de un cerro isla caracteriza la localidad, el cual tiene con casas en su parte inferior y una infraestructura turística (centro de eventos) en la parte superior.

Según el PREMVAL, las áreas de riesgo por pendientes se encuentran distantes a la localidad poblada. De acuerdo al presente análisis y visitas a terreno, se definen áreas en el entorno poblado que deberán ser consideradas en la planificación.

La Figura 63 muestra un modelo de pendientes generado en SIG a partir de la triangulación de la topografía local del área poblada con curvas cada 5 metros.

Figura n° 63: Modelo de pendientes Las Dichas



Fuente: Elaboración propia

En las laderas de los cerros que rodean la ciudad, existen algunos sectores puntuales con presencia de bloques en superficie que fueron movilizados aparentemente por un evento sísmico, y que podrían verse movilizados nuevamente (ver Fotografías 35 y 36).

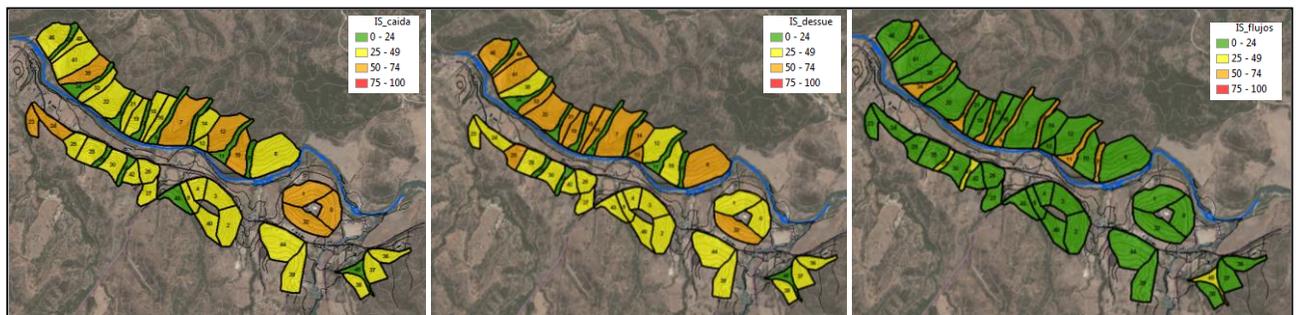
Fotografías n° 35 y 36: Bloques de roca en terrenos con pendientes Las Dichas



Fuente: Obtención propia

Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa de Las Dichas, se definieron 49 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología utilizada en el presente estudio). Los tipos de remociones en masa evaluadas, fueron caídas de rocas, deslizamientos de suelos y flujos. La Figura 64 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción.

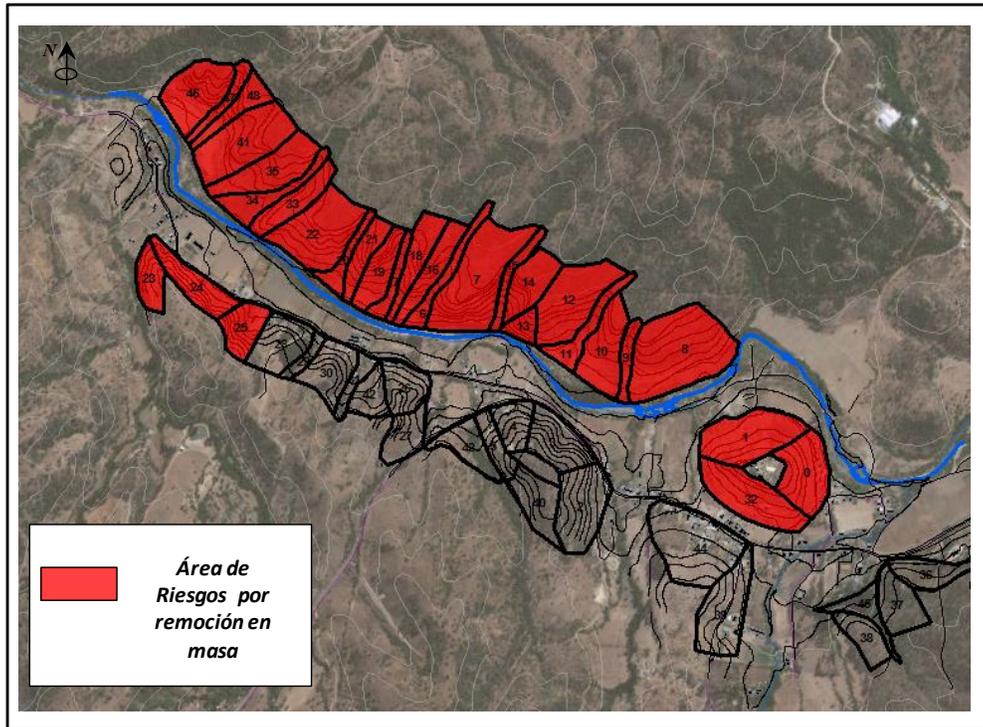
Figura n° 64: Índice de susceptibilidad unidades Las Dichas



Fuente: Elaboración propia

La Figura 65 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad de Las Dichas, las cuales deben agregarse a las áreas de riesgos definidas por el PREMVAL, y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas y/o deslizamientos de suelos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 65: Áreas de riesgos por remoción en masa Las Dichas



Fuente: Elaboración propia

4.1.12 Remociones en masa – Quintay

Quintay se ubica en el límite Norte de la comuna, en la zona costera, donde morfológicamente se reconocen acantilados costeros que bordean planicies de abrasión marina (ver Figura 66 muestra una imagen Google_earth mostrando el relieve descrito), y cota inferiores a los 90m s.n.m. Al Norte se encuentra el sector de Playa Grande, donde se emplazan además complejos turísticos, y limita por un acantilado rocoso que alcanza hasta los 300 m s.n.m.

Figura n° 66: Vista relieve de Quintay



Fuente: Imagen Google_earth

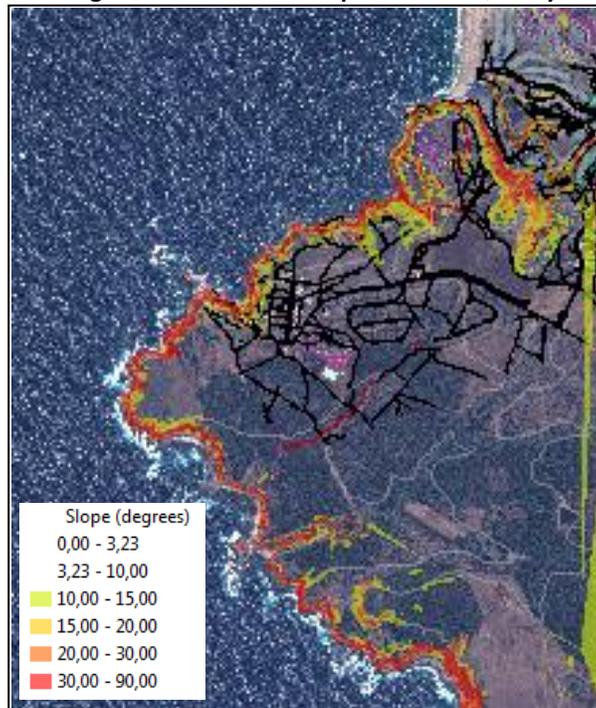
A partir de la curvas de nivel cada 5 metros, se generó un modelo de elevación digital (SIG) de Quintay (Figura 67), donde se aprecia la morfología aterrazada del emplazamiento urbano antiguo, el cual culmina en la costa con un acantilado rocoso irregular, donde se generan una serie de bahías y puntas, entre las cuales se emplaza la caleta Quintay. La zonas aterrazadas tienen bajas pendientes ($<10^\circ$), y las mayores pendientes se concentran hacia el sector Norte (desembocadura del estero El Jote), en macizo rocoso sector límite Norte de la Bahía (y Playa Grande), y en el acantilado costero, alcanzando incluso valores por sobre 60° . Tal como se describió en el capítulo 2.2.4 del presente informe, la geología de Quintay es más variada que la otras localidades de la comuna, presentando depósitos sedimentarios semiconsolidados cubriendo las terrazas (QTt), dispuestos sobre rocas intrusivas y metamórficas del Paleozoico (desde Playa Grande hacia el Sur), con algunos enclaves de rocas intrusivas, y rocas intrusivas del Jurásico limitando Playa Grande por el Norte.

Las Fotografías 37 y 38 muestran vistas del sector Caleta Quintay, donde además se aprecian algunas construcciones en el área de altas pendientes.

Las Fotografías 39 y 40 muestran el sector de Playa Grande, hacia ambos extremos de la Bahía. La Fotografía 39 muestra además el emplazamiento del sector de Santa Augusta, ubicado inmediatamente bajo la quebrada con control estructural, en una desembocadura con forma de V y altas pendientes, en lo que correspondería al abanico de depositación del material.

La Fotografía 40, muestra una vista al Sur de la bahía, donde se ve el acantilado con fuertes pendientes asociado al límite de la terraza de abrasión marina, en rocas intrusivas paleozoicas con bajos niveles de meteorización y fuertes pendientes, donde además se reconocen eventos de caídas de rocas y deslizamientos. Existen en la cima del acantilado construcciones.

Figura n° 67: Modelo de pendientes Quintay



Fuente: Elaboración propia

Fotografías n° 37 y 38: Caleta Quintay



Fuente: Obtención propia

Fotografías n° 39 y 40: Sector Playa Grande - Quintay



Fuente: Obtención propia

Las Fotografías 41, 42, 43 y 44 muestran el acantilado rocoso costero al Sur de Quintay, donde se aprecian las fuertes pendientes que predominan en el sector, además de fracturas y sistemas de diaclasas que preforman bloques sensibles a caer o deslizar. Si bien no se reconocen construcciones habitacionales en el área, es un sector de permanente circuito turístico, por lo que además de ser un área de restricción por ser zonas susceptibles a remociones en masa, deberían contar con indicaciones de seguridad y/o medidas de contención.

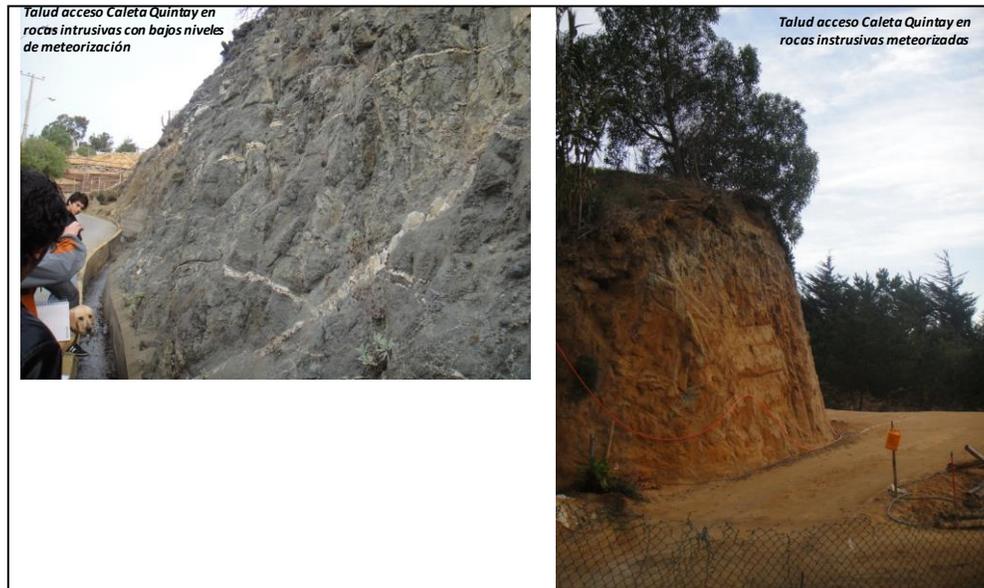
Fotografías n° 41, 42, 43 y 44: Sector Sur Quintay (antigua Ballenera y centro de Investigación)



Fuente: Obtención propia

Las Fotografías 45 y 46 muestran dos taludes artificiales en el acceso a Caleta Quintay. En la primera (Fotografía 45) se observa un corte de roca intrusiva con bajos niveles de meteorización, pero con presencia de vetillas y fracturas generando la presencia de rocas sensibles a caer. Se observa además una zanja o canaleta en la base del corte para circulación de aguas lluvias, y que podría eventualmente acumular rocas provenientes del talud. La Fotografía 46 muestra un corte artificial de alto ángulo en rocas intrusivas con alto niveles de meteorización. Este material contiene abundantes cantidades de arcillas, lo que facilita su estabilidad temporal. Sin embargo, la erosión pluvial generará en el mediano plazo cárcavas y erosiones acentuadas, por lo que no es recomendable revisar este tipo de diseños de manera que sean sustentables en el tiempo.

Fotografías n° 45 y 46: Taludes acceso a Caleta Quintay



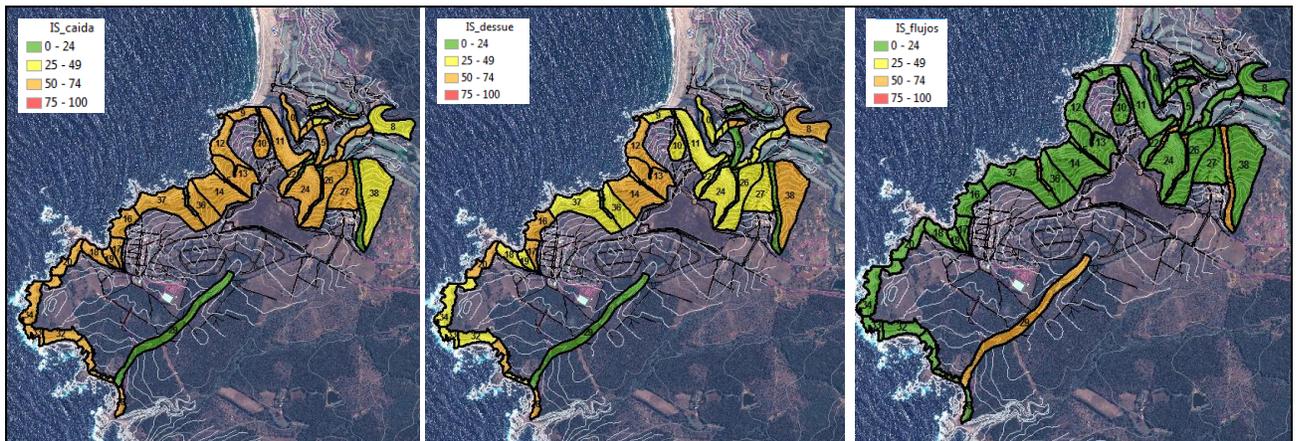
Fuente: Obtención propia

Los resultados del PREMVAL no arrojan área de riesgos por pendientes para el área urbana de Quintay. A la luz de los antecedentes y los resultados del presente análisis, se deberán considerar las áreas resultantes del presente estudio.

Para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa en Quintay, se definieron 39 unidades de análisis (a partir de los criterios sugeridos por la metodología utilizada en el presente estudio). Los tipos de remociones en masa evaluadas, fueron caídas de rocas, deslizamientos de roca, deslizamientos de suelos y flujos. La Figura 68 muestra los rangos de susceptibilidad para las distintas unidades y tipo de remoción.

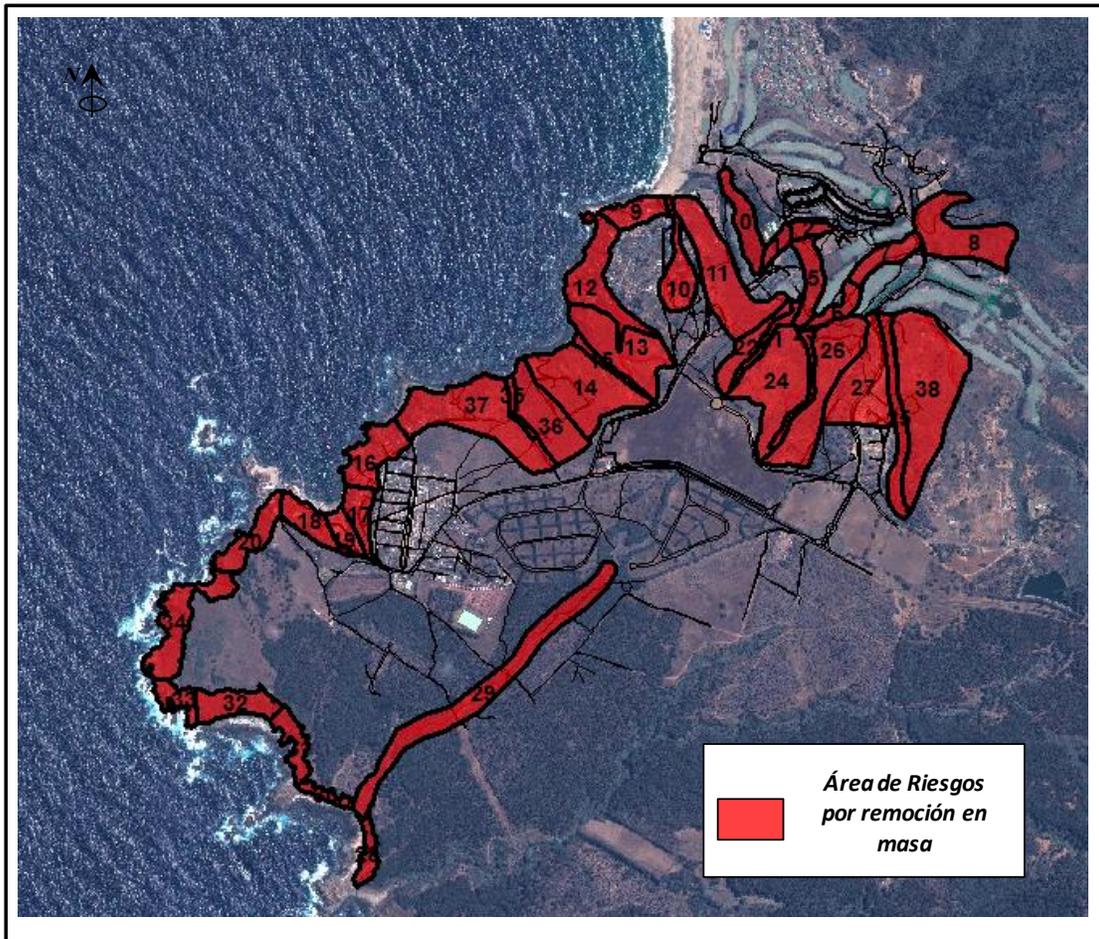
La Figura 69 muestra las áreas definidas como en “riesgo por remoción en masa” en la localidad Quintay, y que corresponden a áreas con alta a muy alta susceptibilidad ($IS \geq 50$) a la generación de caídas de rocas, deslizamientos de suelos y/o rocas o flujos (adjunto al informe, se entrega mapa temático en shape).

Figura n° 68: Índices de susceptibilidad Quintay



Fuente: Elaboración propia

Figura n° 69: Áreas de riesgo por remociones en masa Quintay



Fuente: Elaboración propia

4.2 VOLCANISMO

De acuerdo a los antecedentes presentados en el capítulo anterior, no existiría riesgo volcánico para la comuna de Casablanca.

4.3 SISMOS

En el caso de la amenaza por sismos, la OGUC en el apartado 2.1.17 no hace mención a ellas y no forman parte de los alcances del presente estudio, por lo que debe ser abordada de acuerdo a la normativa de construcción vigente y los aspectos geológicos y geomorfológicos propios de la comuna que puedan incidir en el comportamiento sísmico de esta. Este efecto local o efecto de sitio se vincula con el terremoto a través de lo que se conoce como movimiento fuerte (“strong motion”) cuyo parámetro y variable de medición y ajuste es la aceleración del suelo. Esta variable depende fuertemente del sitio y/o estructura, por tanto, constituye una variable cuantificable de la “vulnerabilidad” del entorno. Esta variable se estudia a través de estudios especializados, concretamente el monitoreo sísmológico a través de acelerógrafos, o el desarrollo de una microzonificación sísmica. Una asociación del tipo de suelo respecto de la información que emerge la geología y geomorfología, se puede realizar a través de la descripción del tipo de suelo que entrega la NCh 433 of.96.

4.4 FALLAS GEOLÓGICAS

De acuerdo a los antecedentes recopilados, hay indicios de la presencia de fallas geológicas mayores en la comuna, algunas de ellas han sido reconocidas en terreno o en fotografías aéreas e imágenes satelitales a través de indicios estructurales, como escarpes o siguiendo el curso de quebradas. Todas las localidades pobladas descritas se encuentran cercanas a alguna falla mayor, sin embargo, la escala de los estudios no permite obtener conclusiones respecto a la distancia de la traza a la zona poblada, y del real impacto de su presencia en las zonas pobladas. Esta situación que deberá ser confirmada con estudios geológicos a la escala de mayor detalle, teniendo en cuenta que el comportamiento sísmico de un sector puede estar controlado por el tipo de depósitos como por la influencia de estas estructuras.

4.5 INUNDACION POR DESBORDE DE CAUCES NATURALES

A escala comunal, las áreas de riesgo de inundación fueron estudiadas en el El Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL año 2014), en las cuales se fijaron áreas de riesgos de inundación tanto para área de extensión urbana como el área rural.

El Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso, define como AR 1 a aquellos terrenos adyacentes a cursos hídricos que presentan un potencial riesgo de inundación.

De acuerdo a la escala del Instrumento de Planificación Territorial, las áreas de riesgo potencial por inundación se clasifican en 2 tipologías: La primera de ellas correspondiente a los cursos hídricos singularizados en el artículo 46 de la Ordenanza del Plan, y la segunda, se relaciona con los demás Cauces y esteros, para los cuales se establece un área de riesgo potencial de 50 metros en cada uno de sus bordes.

De acuerdo a lo estipulado en el artículo 46 de dicha ordenanza respecto de los cauces de la comuna de Casablanca establece:

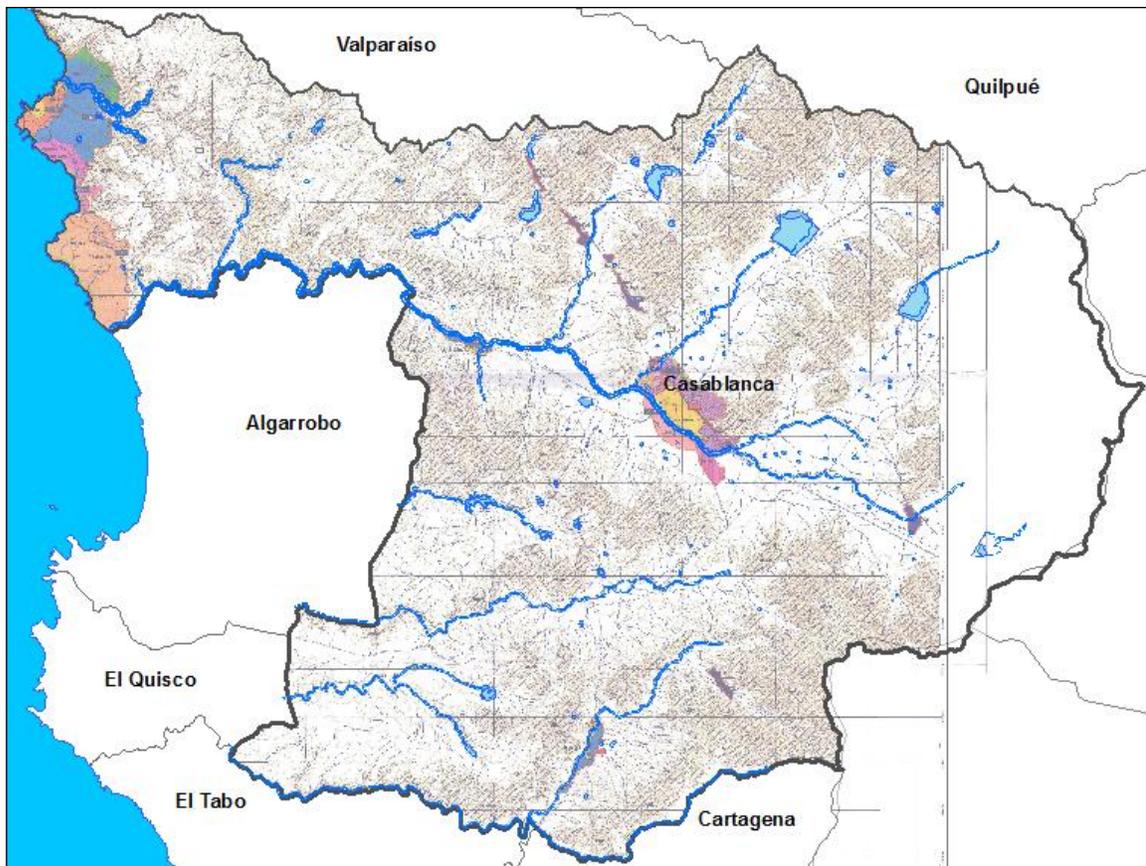
ARTÍCULO 46: ÁREA DE RIESGO INUNDABLE O POTENCIALMENTE INUNDABLE AR 1

El área de riesgo se encuentra definida por la franja ribereña de 100 metros medidos a cada costado desde el cauce habitual. Dichas franjas afectan a los siguientes cauces:

- Parte del Estero Puchuncaví
- Parte del Estero Quintero
- Río Aconcagua
- Estero Reñaca, tramo fuera del área urbana comunal
- Estero Marga – Marga, tramo área rural
- Estero El Sauce
- **Estero El Jote**
- **Estero Casablanca, tramo área rural.**

La siguiente Figura grafica las áreas de inundación del PREMVAL.

Figura n° 70: Áreas de Inundación (PREMVAL)



Fuente: PREMVAL

Área de inundación preliminar localidades en estudio

Las áreas de inundación de las localidades en estudio corresponden a Casablanca, Quintay, La Vinilla, Lo Vasquez, La Playa, Paso Hondo, Las Dichas, Maitenes y Lagunillas. Estas localidades de acuerdo al PREMVAL consideran áreas de riesgo de inundación las cuales serán ajustadas en el presente estudio.

4.5.1 Casablanca.

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad considera un área de inundación de 100 metros a cada lado del cauce actual del estero Casablanca (área rural) y 50 mts a cada lado del cauce actual del estero Lo Ovalle.

Figura n° 71: Área de inundación PREMVAL localidad de Casablanca



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015.

Cauces: Estero Casablanca, Estero los Sauces, Estero Trapiche y Estero lo Ovalle

- Delimitación de cuencas hidrográficas.

Tabla 12: Cuencas aportantes Estero Casablanca, Sector Casablanca

Nombre cuenca	Superficie (has)	Perímetro (mts)
La Vinilla	9.274	54.936
Tapihue	12.231	51.876
Lo Ovalle	14.886	70.830

Fuente: Elaboración propia.

- Cálculo de crecidas

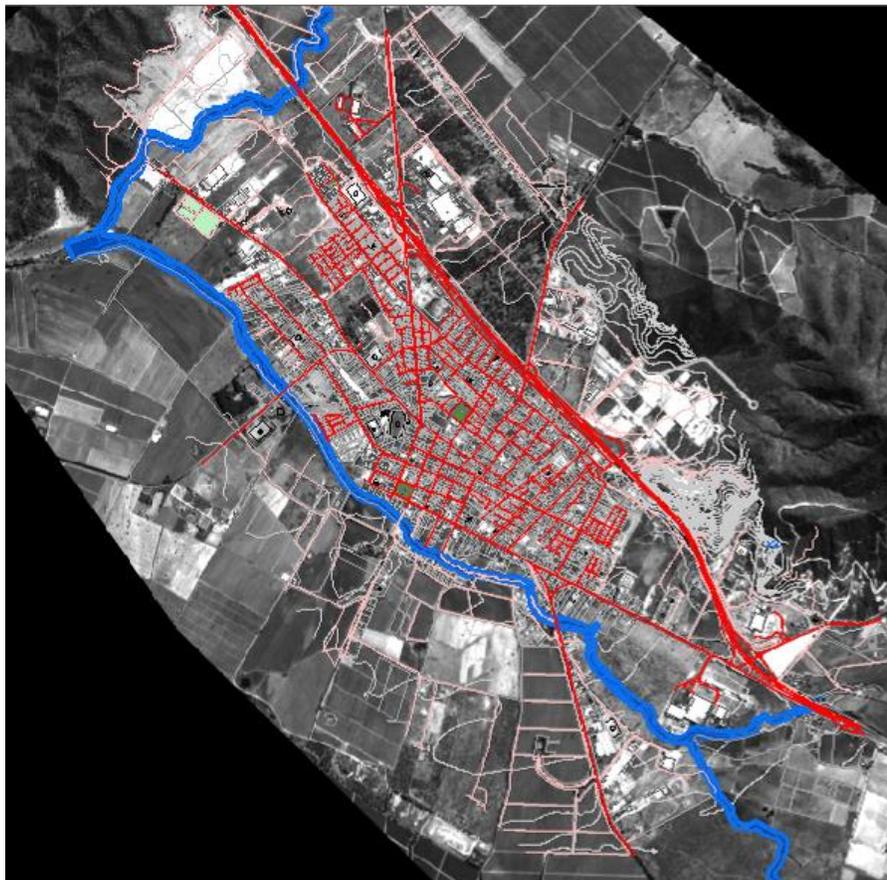
De acuerdo al “Estudio Determinación de Caudales Máximos Estero de Casablanca”, utilizo el método de diagrama Unitario Sintético, se estimó una estadística de caudales a partir de las estadísticas de precipitación de las cuencas aportantes. Considero la existencia de los embalses (la Vinilla y Los Perales) calculando los Caudales máximos instantáneos de diseño (m³/s) en situación de embalses llenos y vacíos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13: Caudales Máximos instantáneos de Diseño (m³/s)

Condición Inicial	Periodo de Retorno (años)					
	2	5	10	20	50	100
Embalse vacío	17.0	43.5	67.4	93.9	131.8	163.4
Embalse lleno	25.7	65.9	98.8	136.2	191.1	236.6

Fuente: Estudio Determinación de Caudales Máximos Estero de Casablanca, 1996

Figura n° 72: Áreas de inundación Casablanca

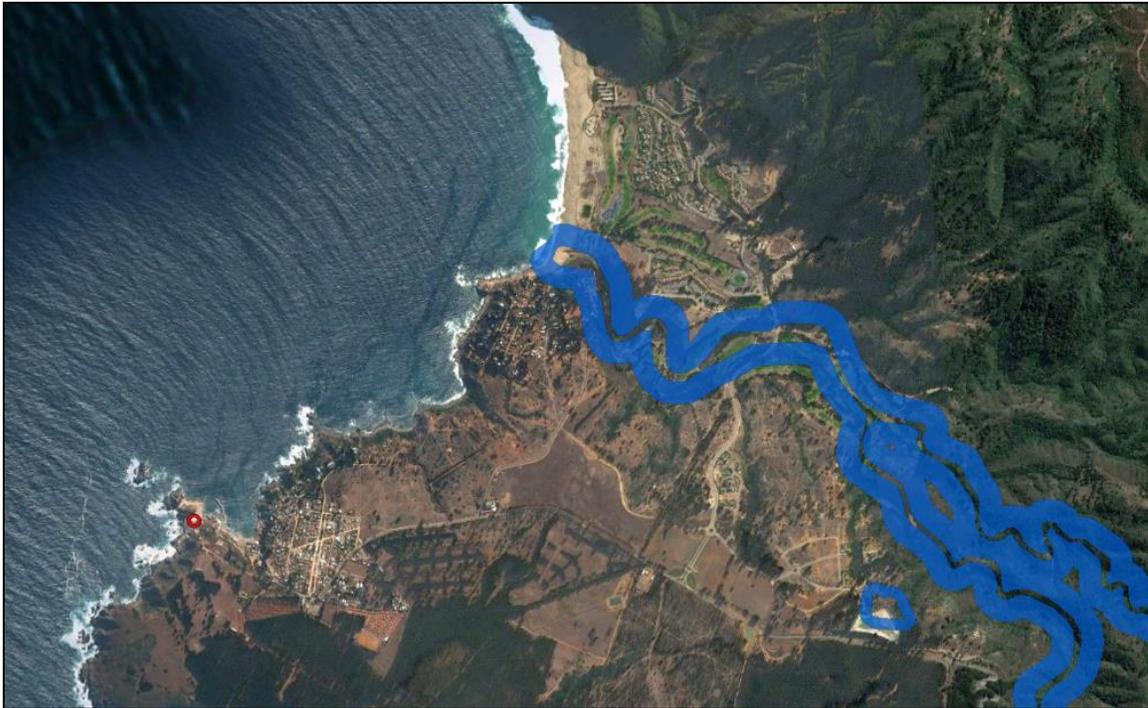


Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Quintay

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad considera un área de inundación de 100 metros a cada lado del cauce actual del estero El Jote, como se muestra en la siguiente figura.

Figura n° 73: Área de inundación PREMVAL localidad de Quintay



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015. Con esta información se dibujó el cauce de inundación actual y posteriormente las áreas de inundación por desborde del cauce, incluyendo en esta localidad como áreas de inundación los cauces de las quebradas en el área urbana propuesta.

Cauces: Estero El jote, Quebrada Los Gatos, Quebrada Honda y quebradas menores.

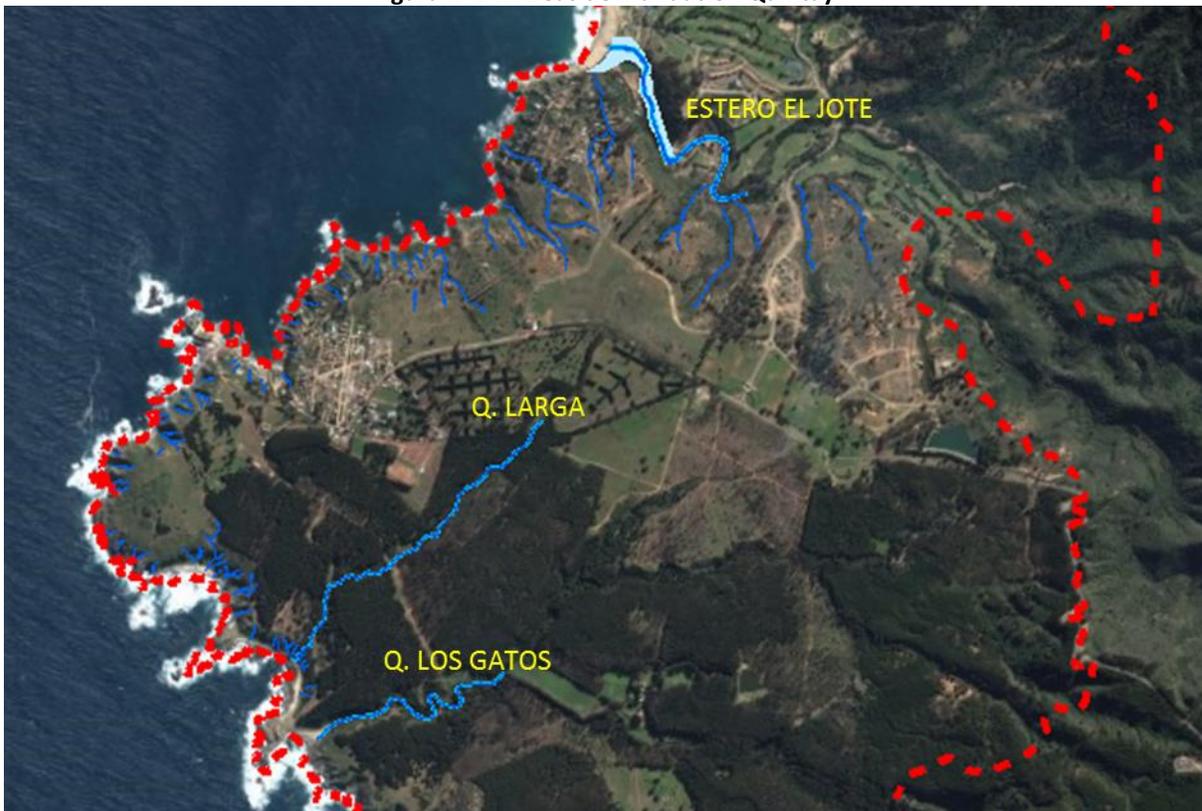
- Delimitación de cuencas hidrográficas y cálculo de crecida
 Se calculó para cota 25 msnm

Tabla 14: Cuencas aportantes Estero El Jote, Sector Quintay

Superficie (km ²)	Longitud (km)	Diferencia de cota (m)	Tiempo de concentración (hrs)	Intensidad de pp max 24 hrs año 2002	Caudal m/s
3	16	525	0,3	138.50	61.7

Fuente: Elaboración propia.

Figura n° 74: Áreas de inundación Quintay

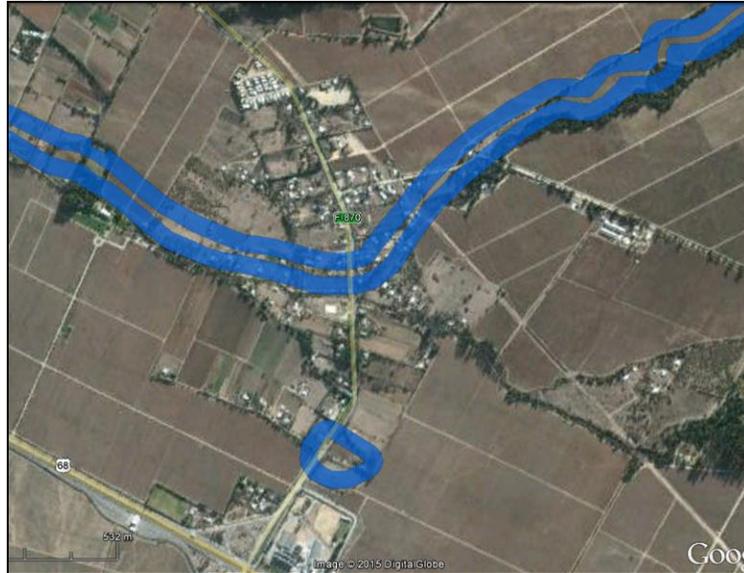


Fuente: Elaboracion propia

4.5.3 La Vinilla

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad considera un área de inundación de 50 metros a cada lado del cauce actual del estero Los Sauces, como se muestra en la siguiente figura.

Figura n° 75: Área de inundación PREMVAL localidad de La Vinilla



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015. Con esta información se dibujó el cauce de inundación actual y posteriormente las áreas de inundación por desborde del cauce, incluyéndose en esta localidad como áreas de inundación los cauces de las quebradas en el área urbana propuesta.

Cauces: Estero El sauce y Quebrada Los Gualpes.

Figura n° 76: Áreas de inundación La Vinilla

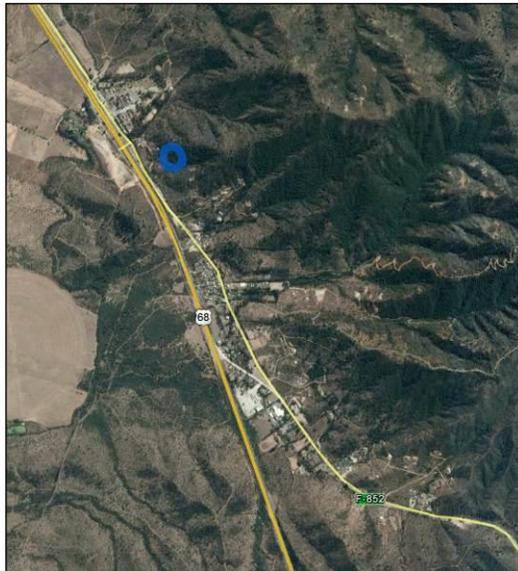


Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Lo Vasquez

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad no considera los cauces principales, sino lo un tranque, como se muestra en la siguiente figura.

Figura n° 77: Área de inundación PREMVAL localidad de Lo Vázquez



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

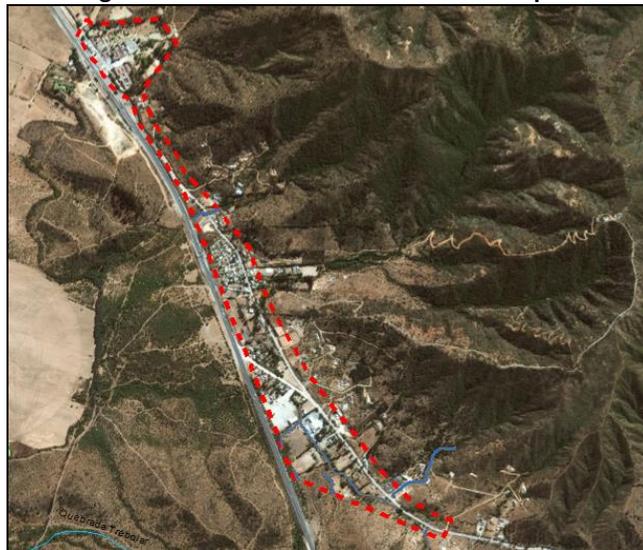
Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015. Con esta información se dibujó el cauce de inundación actual y posteriormente las áreas de inundación por desborde del cauce, incluyéndose en esta localidad como áreas de inundación los cauces de las quebradas en el área urbana propuesta.

Cauces: Quebradas menores.

Figura n° 78: Áreas de inundación Lo Vásquez

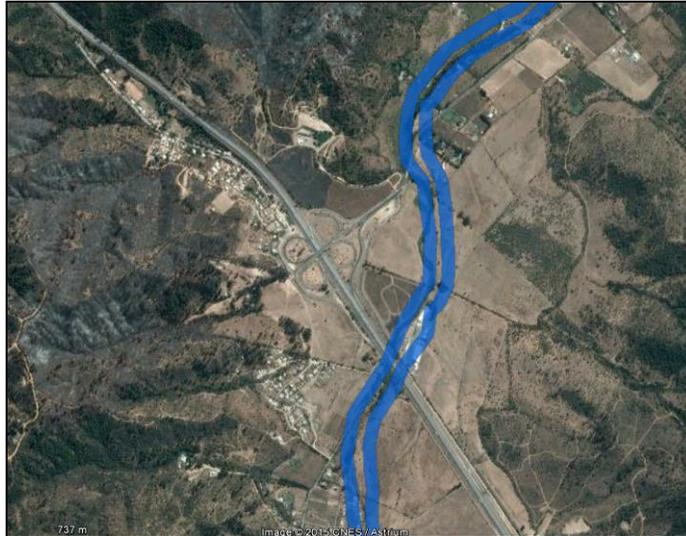


Fuente: Elaboración propia

4.5.5 La Playa

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad considera un área de inundación de 50 metros a cada lado del cauce actual del estero Lo Orozco, como se muestra en la siguiente figura.

Figura n° 79: Área de inundación PREMVAL localidad de La Playa



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015. Con esta información de dibujo el cuce de inundación actual y posteriormente las áreas de inundación por desborde del cauce, incluyéndose en esta localidad como áreas de inundación los cauces de las quebradas en el área urbana propuesta.

Cauces: Estero lo Orozco y Quebradas menores.

- Delimitación de cuencas hidrográficas y cálculo de crecida

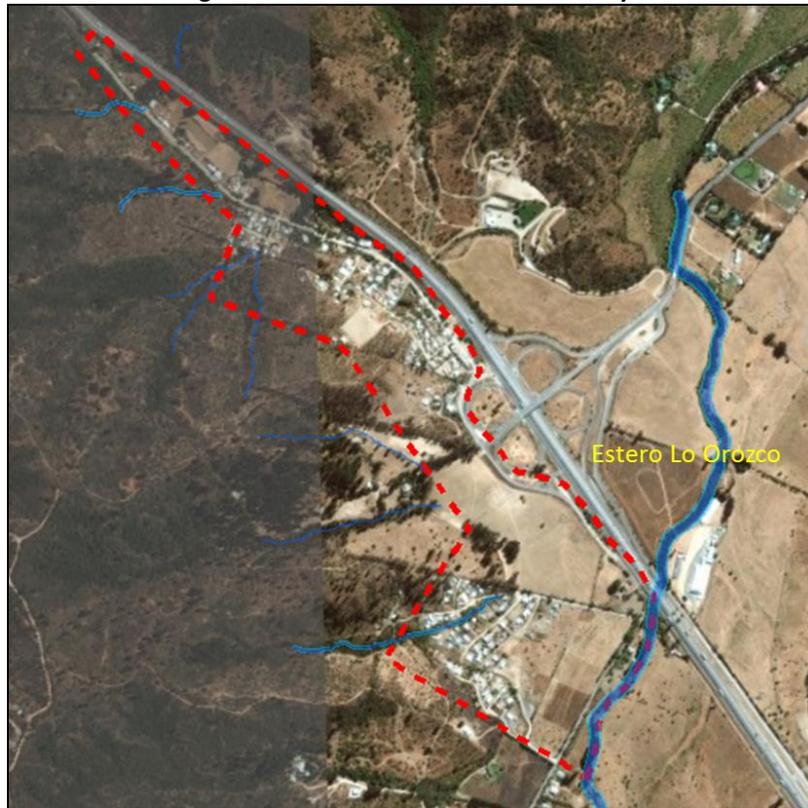
Se calculó para la cota 250 msnm

Tabla 15: Cuencas aportantes Estero lo Orozco, Sector La Playa

Superficie (km ²)	Longitud (km)	Diferencia de cota (m)	Tiempo de concentración (hrs)	Intensidad de pp max 24 hrs año 2002	Caudal m/s
7.3	11.3	500	0,4	138.50	130

Fuente: Elaboración propia.

Figura n° 80: Áreas de inundación La Playa



Fuente: Elaboracion propia

4.5.6 Paso Hondo

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad no considera los cauces principales, sino lo un tranque, como se muestra en la siguiente figura.

Figura n° 81: Área de inundación PREMVAL localidad de La Paso Hondo



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015. Con esta información de dibujo el cuce de inundacion actual y posteriormente las áreas de inundacion por desborde del cauce, incluyendose en esta localidad como áreas de inundación los cauces de las quebradas en el área urbana propuesta.

Cauces: Quebradas menores.

Figura n° 82: Áreas de inundación Paso Hondo

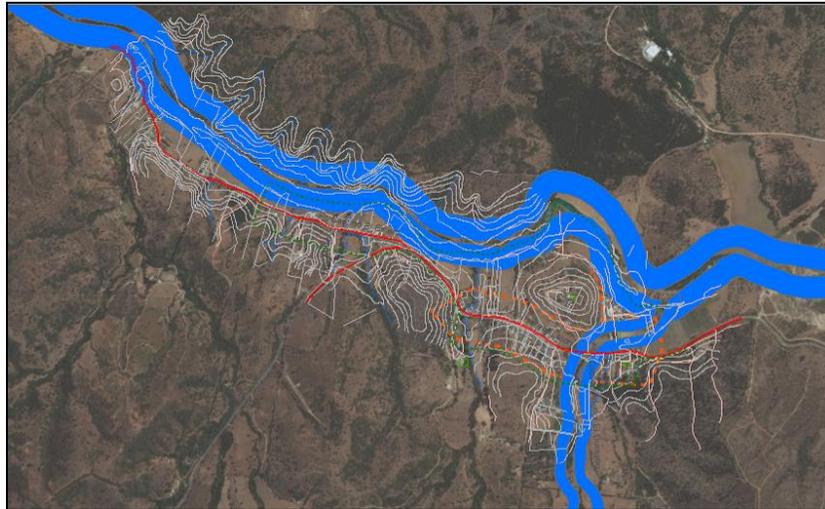


Fuente: Elaboración propia

4.5.7 Las Dichas

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad considera un área de inundación de 50 metros a cada lado del cauce actual del estero Casablanca, como se muestra en la siguiente figura.

Figura n° 83: Área de inundación PREMVAL localidad de Las Dichas



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015. Con esta información se dibujó el cauce de inundación actual y posteriormente las áreas de inundación por desborde del cauce, incluyendo en esta localidad como áreas de inundación los cauces de las quebradas en el área urbana propuesta.

Cauces: Estero Casablanca, Estero Arrayanes y Quebradas menores

- Delimitación de cuencas hidrográficas y cálculo de crecida

Se calculó para la cota 250 msnm

Tabla 16: Cuencas aportantes Estero Casablanca, Sector Las Dichas

Superficie (km ²)	Longitud (km)	Diferencia de cota (m)	Tiempo de concentración (hrs)	Intensidad de pp max 24 hrs año 2002	Caudal m/s
43.7	36.8	1200	0,6	138.50	318

Fuente: Elaboración propia.

Figura n° 84: Áreas de inundación Las Dichas



Fuente: Elaboracion propia

4.5.8 Maitenes

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad no considera los cauces principales, como se muestra en la siguiente figura.

Figura n° 85: Área de inundación PREMVAL localidad de Maitenes



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015. Con esta información de dibujo el cuce de inundacion actual y posteriormente las áreas de inundacion por desborde del cauce, incluyendose en esta localidad como áreas de inundación los cauces de las quebradas en el área urbana propuesta.

Cauces: Quebradas menores.

Figura n° 86: Áreas de inundación Maitenes



Fuente: Elaboracion propia

4.5.9 Lagunillas

El área de riesgo de inundación del PREMVAL para esta localidad considera un área de inundación de 50 metros a cada lado del cauce actual del estero Lagunillas, como se muestra en la siguiente figura.

Figura n° 87: Área de inundación PREMVAL localidad de Lagunillas



Fuente: Premval

- Análisis precipitaciones máximas en 24 hrs

Este análisis permitirá determinar las precipitaciones máximas en 24 hrs, mayores a 60 mm, que son de acuerdo a la bibliografía especializada el parámetro de inicio de procesos de inundación.

- Análisis de geomorfología de cauces (definición de cauce actual y terrazas 1 y 2)

La definición de cauce y terrazas se ajusta a la cartografía local escala 1:5.000.- con curvas de nivel cada 5 mts y la fortointerpretación de la geomorfología de cauce de la imagen satelital Pleiades 1B de fecha 17 de noviembre de 2015. Con esta información se dibujó el cauce de inundación actual y posteriormente las áreas de inundación por desborde del cauce, incluyéndose en esta localidad como áreas de inundación los cauces de las quebradas en el área urbana propuesta.

Cauces: Estero Lagunillas, Quebradas menores.

- Delimitación de cuencas hidrográficas y cálculo de crecida

Se calculó para la cota 200 msnm

Tabla 17: Cuencas aportantes Estero Lagunillas, Sector Lagunillas

Superficie (km ²)	Longitud (km)	Diferencia de cota (m)	Tiempo de concentración (hrs)	Intensidad de pp max 24 hrs año 2002	Caudal m/s
41	13	700	0,8	138.50	51

Fuente: Elaboración propia.

Figura n° 88: Áreas de inundación Lagunilla



Fuente: Elaboracion propia

4.6 ÁREAS DE INUNDACION POR TSUNAMI

La localidad de Quintay se ubica 20 km al Sur de Valparaíso (33,19°S; 71,69°O), dentro de una bahía con radio de 2 km aproximadamente mirando al N-W.

Desde el punto de vista sismogénico, Quintay y sus alrededores a lo largo del borde costero, se ubican en una región que pertenece al segmento central caracterizado por terremotos de subducción inter-placa con magnitudes en torno a 8.0 y mayores.

Figura n° 89: Fotos Google Quintay y Región



Fuente: Google Earth

Estos parámetros son deducibles según trabajos realizados por otros autores y presentes en la literatura, así como según los antecedentes históricos de la zona de estudio. El presente trabajo se concentra en caracterizar las posibles zonas de ruptura que sean fuente de tsunami, entregando como resultado los parámetros a considerar para ejecutar un modelo numérico de propagación de tsunami. La fuente de información sísmica actual es obtenida de los catálogos públicos NEIC (*National Earthquake Information Center - USGS*), CMT (*Centroid Moment Tensor - Harvard*) y GUC (*Geofísica U de Chile*); la fuente de información sísmica histórico es obtenida de la literatura (*ver referencias*). A pesar de que se espera contar con la información proveniente del Servicio Hidrográfico Oceánico de la Armada (SHOA) para el informe final, es posible indicar que los tsunamis chilenos, con excepción de eventos como el asociado con terremoto de Aysén 2007, obedecen al mecanismo de subducción expuesto en ítem anterior. Debido a que este mecanismo es en sí mismo lo que conocemos como terremoto, desde el año 1570 contamos con información histórica que revela la ocurrencia de terremotos a lo largo de Chile, mejor documentada en la zona Centro-Sur del país, de magnitudes variables, pero todas mayores a 7.0 aproximadamente. Por tanto, el grupo de eventos cuya magnitud supera el 8.0, ha quedado bien documentada, incluyendo en sus relatos no sólo la severidad del sismo y sus consecuencias en la temprana *urbe*, sino también las consecuencias de las salidas de mar, maremotos o tsunamis. Por ello es que el registro histórico sismológico, al que se hace referencia en adelante, constituye un registro histórico de los tsunamis, particularmente aquellos categorizados como altamente destructores. Con anterioridad a la expansión española en el territorio que hoy es Chile, sólo se reconoce la leyenda Mapuche de las serpientes *Kai Kai* y *Tren Tren*. En esta se reconoce a *Kai Kai* como el ser viviente que generaba una “gran salida de mar” después que *Tren Tren* “avisara” a través del movimiento sísmico generado por un terremoto, que podemos suponer, eran del mismo tipo que de nuestra época.

Los antecedentes históricos, y sus respectivas recopilaciones de varios autores, indican que la zona central de Chile ha sido afectada por grandes terremotos acompañados de destructores tsunamis. Si bien existe un periodo de recurrencia para un terremoto sistemáticamente ubicado en torno a los 80 años, su magnitud ha sido variable, por tanto, la ocurrencia de tsunami destructor no ha estado sistemáticamente presente. La vinculación entre los relatos históricos y la estimación de una magnitud para los terremotos de subducción inter-placa acontecidos en los últimos 500 años, ha permitido establecer órdenes de magnitud para tamaños máximos probables de ruptura que han encontrado coherencia con el conocimiento moderno que se tiene de la sismo-tectónica de las zonas de subducción, en particular la “chilena”.

4.6.1 El sitio de estudio y sus características sismogénicas

En ítem anterior se han expuesto figuras de apoyo. Desde la perspectiva de la sismogénesis (macro-escala), esta región se ubica sobre una parte del segmento sismo-tectónico asociado con la subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana. A lo largo de este segmento (31.5°S - 35°S) la Placa de Nazca desciende bajo el continente sudamericano con un ángulo de 14° a 25° aproximadamente y a una velocidad relativa de cerca de entre 66 y 70 mm/año. Esta zona pertenece a la región central de Chile.

El contacto sismogénico inter-placa corresponde a la zona de contacto entre placas. Desde la perspectiva sismo-tectónica, al Norte de los $\sim 32.75^{\circ}\text{S}$ y a profundidades mayores a 90 km, la placa subducente se extiende hacia el Este por casi 300 km, por debajo de la placa continental, con cierta sub-horizontalidad. Al Sur de esta latitud, la extensión es menor a 120 km y la inclinación superaría los 20 - 25° . En ambos casos, la profundidad máxima de subducción, de la que hay registros sísmicos, no superaría los 180 km. Esta latitud “pivote” coincide con la extensión de la Dorsal de Juan Fernández en la fosa oceánica con la dirección de subducción de la Placa de Nazca, y por ende, se proyecta geotectónicamente por debajo de Chile y del continente sudamericano. Esta región, que corresponde al entorno de La Ligua, se ha comportado históricamente como una zona de barrera para los grandes terremotos, separando en cierta forma los terremotos de la zona Centro-Norte de los de la zona Centro-Sur. Esta condición ha sido, aparentemente, sólo vulnerada por el terremoto de la zona central del año 1730.

4.6.2 Terremotos históricos

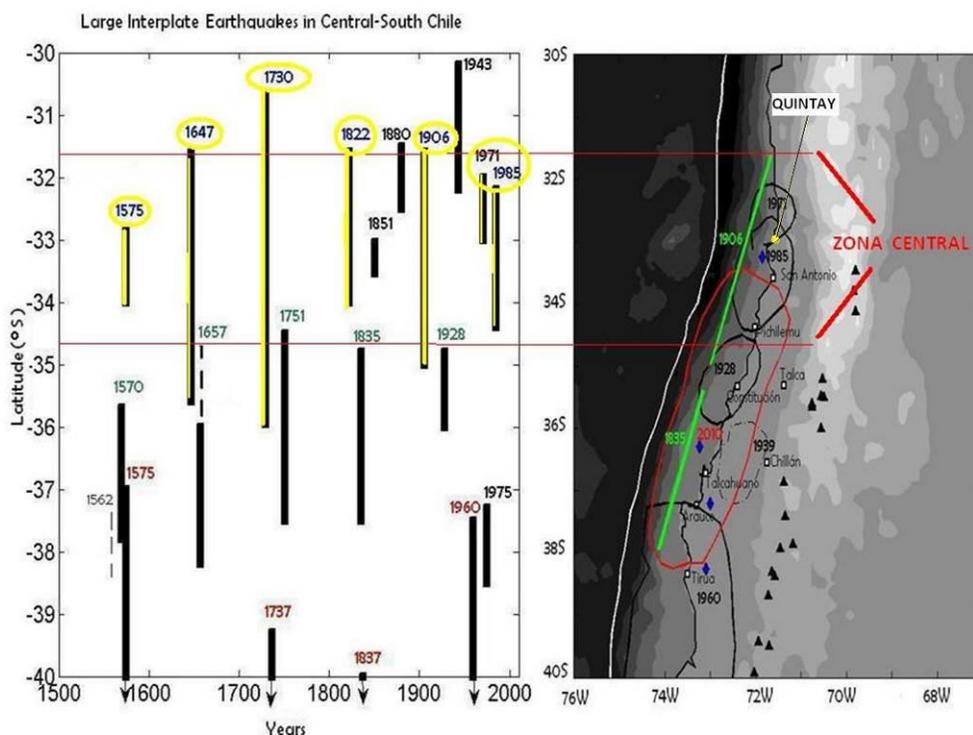
La localidad de Quintay se emplaza en una de las regiones con mayores antecedentes sísmicos del país desde el año 1575 y con magnitudes máximas de hasta un orden de 8.5 a 8.7. El contacto inter-placa es el sitio fuente de los mayores eventos ocurridos en la región. El mayor terremoto del que se tengan antecedentes ocurrió el año 1730 alcanzando una longitud de ruptura del orden de 450-500 km ($\sim 30.5^{\circ}\text{S}$ - 35.5°S) y una magnitud discutible, pero a la fecha establecida en un rango probable de 8.7 a 9.0 (Lomnitz 1971; Comte et al., 1986; Madariaga, 1998). Ningún terremoto posterior ha logrado equiparar tales dimensiones. El más cercano y último gran sismo en la zona central data del 16 de agosto de 1906, alcanzando una magnitud de $M_s=8.3$ y un área de ruptura de 365 km de largo por 150 km de ancho (el evento del año 1906 se habría extendido entre Los Vilos y la localidad de Llico-Vichuquén). Sin embargo, desde el año 1730 se observa que esta región se ha caracterizado por ser fuente de terremotos de variable tamaño. A este orden se ajustan los terremotos de La Ligua de 1971 ($M_s=7.5$) y de Algarrobo-Valparaíso de 1985 ($M_s=7.8$).

Los antecedentes históricos indican que esta secuencia de terremotos corresponde a los años 1575 ($M_s=7.0$ - 7.5), 1647 ($M_s=8.5$), 1730 ($M_s=8.7$), 1822 ($M_s=8.5$), 1906 ($M_s=8.3$) y 1985 ($M_s=7.8$). Esta secuencia sugiere un tiempo de recurrencia del orden de 82 ± 10 años. Según Barrientos (1988), este período de retorno se habría, al menos temporalmente, cumplido con el terremoto de 1985. Las áreas de réplicas de los terremotos de 1971 y 1985 sugieren que diferentes segmentos de la interfaz inter-placa estuvieron involucradas en cada evento. Debido a que el momento sísmico liberado por estos dos eventos fue una fracción del liberado por el terremoto de 1906, hasta varios años antes del terremoto del Maule del 2010 ($M_w=8.8$), se postulaba que la región comprendida al Sur de la zona de ruptura del terremoto de 1985 (Pichilemu-Constitución) constituía una brecha sísmica con un alto potencial de ocurrencia de un terremoto (Comte et al., 1986; Madariaga, 1998). Esta zona se habría efectivamente “liberado” durante la ocurrencia del terremoto del Maule 2010.

El terremoto del Maule 2010 dejó en evidencia que tsunamis provocados por terremotos gatillados en la zona centro-Sur de Chile afectan también la zona de estudio. Este evento, sin embargo, es considerado un evento que pertenece a la zona de ruptura centro-Sur, caracterizada por otra secuencia de terremotos históricos vinculados al segmento Constitución-Concepción (1570, 1657, 1751, 1835, 1928, 2010). Por razones que son materia de análisis, el terremoto del Maule se extendió por el Norte hasta los 33°S - 33.5°S (según el área cubierta por las réplicas durante los primeros 3 días post-terremoto), zona asociada al segmento Sur de la ruptura de 1985. Este fenómeno parece ser común a los terremotos que hoy en día han pasado a constituir el grupo de eventos caracterizados como terremotos “muy grandes” o “gigantes” (“giant earthquakes”). Estos superan el umbral de magnitud $M_{8.7-8.8}$, alcanzando valores cercanos o superiores a $M_{9.0}$.

En la Figura 90 se muestran los largos de ruptura asociados a terremotos históricos en la zona Centro-Sur de Chile (30°S - 40°S) versus el año en que estos ocurrieron. Esta información ha sido recopilada de otros trabajos referenciados en este informe. El cuadro mayor (zona con líneas negro-amarillo) encierra la zona que corresponde a los terremotos característicos de la región comprendida entre Los Vilos y Llico-Vichuquén, reconocida como la zona central. Sobre el mapa de mano derecha se muestran las áreas de ruptura de los grandes terremotos de la zona centro y centro-Sur. Acá en color rojo se destaca la zona de ruptura asociada al terremoto del Maule 2010 ($M_w=8.8$).

Figura n° 90: Referencia de largos de ruptura de terremotos históricos en la región central de Chile.



Fuente: Recopilación propia de la información en variados autores referidos en Belmonte (1997) y elaboración propia de figura.

Desde el punto de vista sismo-tectónico, los terremotos de la zona central y centro-Sur se ubican temporal y espacialmente acoplados de Norte a Sur, según Barrientos (1994). Geográficamente hablando, este acoplamiento relaciona a eventos con epicentros frente a la V Región y epicentros ubicados frente a las VII y VIII Regiones. Esto se observa en las secuencias de los siguientes terremotos que han golpeado a la zona Centro y Centro-Sur, respectivamente: 1570-1575, 1647-1657, 1730-1751, 1822-1835, 1906-1928 y 1985-2010, presentando un tiempo medio de inter-recurrencia de 16 ± 9 años.

Desde el punto de vista de la generación de maremotos, en los casos de los terremotos de 1822 y 1906 existen antecedentes de retiradas de mar así como de tsunamis con olas de hasta “12 pies de altura” (*Historia General de Chile, F. Encina*).

A causa del terremoto de Marzo 1985, el mareógrafo de la Armada en Valparaíso registró un “pequeño maremoto” desde los siguientes 10 minutos hasta las siguientes 5 horas, alcanzando alturas máximas de 1.15 m a 1 hora 15 minutos del terremoto.

Descontando el terremoto del 2010, tras una secuencia de consultas y conversaciones con locatarios y residentes de localidades del Litoral Central, se puede decir que no hay reconocimiento claro en la historia que indique la ocurrencia de un tsunami particularmente destructor en esta zona del país. Sólo en la localidad de El Quisco, un pescador menciona *historias de familia* acerca de una salida de mar considerable, pudiendo tener relación con efectos desconocidos de manera oficial asociados al terremoto de 1906. Hay que tener en consideración que hasta 100 años atrás, ante la ocurrencia de grandes terremotos, la atención de gobernadores y autoridades eclesiásticas se enfocaba entorno a las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción, las que a su vez era ya la más pobladas.

En particular, el terremoto del 2010 sí causó serios y fatales daños en la localidad de LLo-LLeo. Aquí alturas de inundación de una corriente Sur-Norte - dentro de los siguientes 20 minutos post-terremoto - alcanzó hasta 6 m

arrasando con 270 casas de veraneo en el lugar denominado Ojos de Mar. Un terraplén para uso de camiones de cerca de 7 m habría protegido a un segundo conjunto de casas ubicado a 30 m del afectado. En San Antonio el tsunami habría alcanzado alturas de inundación de entre 4 y 5 m en la caleta de pescadores, sin rebasar el nivel calle. En la localidad de Cartagena, la denominada *playa chica* habría sido completamente inundada (5 m) cerca de 2 a 3 horas después del terremoto, sin rebasar de manera violenta el nivel calle.

En el marco del presente trabajo, y con el objetivo de contar con información adicional, se hará una visita a terreno para obtener información particular asociada con fenómenos de tsunami en la localidad de Quintay.

Para el presente estudio parece razonable analizar la sismicidad y las zonas de ruptura a partir del rol que las regiones de *asperezas* pueden jugar. En este sentido, emerge la necesidad de definir un vector fuerza que represente la concentración del acoplamiento sísmico, así como de la dislocación interplaca, en un área geográfica determinada. Al definir un largo L y ancho W , para un plano con dirección dada (azimuth y manteo) y geo-referenciado, el vector fuerza se puede introducir como un vector desplazamiento que representa la dislocación en cierta dirección (ángulo de deslizamiento) generando una deformación del medio que es analíticamente posible de obtener (Okada, 2001).

Este problema se plantea originalmente con el objetivo de resolver para un vector fuerza, pero la extensión a otras fuerzas es simple, es decir, representar una fuente sísmica por medio de más de una fuerza. A estas “otras fuerzas” se les reconoce como sub-fuerzas y su reconocimiento supondría un ajuste más realista en la aplicación de modelos de propagación de tsunami.

4.6.3 Modelos de deslizamiento homogéneo y heterogéneo

En el presente trabajo se exponen distintos escenarios, definiendo un proceso de dislocación homogénea, o bien, heterogénea. Para comprender este punto se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los sismos naturales se comprenden esencialmente como una dislocación que se desarrolla a lo largo de un plano definido como “plano de falla”. Esquemáticamente este planteamiento es equivalente al clásico problema de física de un bloque que desliza a lo largo de un plano inclinado después que se ha superado cierta resistencia friccional.
- Si imaginamos que dicho bloque constituye una unidad compacta (como un libro o un ladrillo), al deslizar veremos lo intuitivamente esperado: cada parte del bloque desliza simultáneamente junto con la otra, es decir, si el bloque se desplazó 5 centímetros en cierta dirección, podemos afirmar que todas sus partes deslizaron la misma cantidad, y hablamos de un deslizamiento homogéneo. A esto hacemos referencia cuando hablamos de un modelo homogéneo. En el caso de un terremoto, este modelo asume que el fallamiento a lo largo del plano de ruptura o falla es único e igual para cada una de sus partes. En el caso del bloque, esto puede parecer trivial (o bien, obvio). Pero en el caso de planos de contacto entre placas, o bien, estructuras geológicas corticales, esto no es necesariamente de esta forma.
- Se ha podido observar, en primer lugar, que el fallamiento asociado a sismos no es simultáneo, a pesar de que modelos que asumen simultaneidad satisfacen bien los datos observados. En segundo lugar, se ha observado también que a lo largo de este plano de falla hay deslizamientos variables, es decir, existen zonas que respecto de otras deslizan más y viceversa. En general, hacia los extremos del plano de falla los deslizamientos tienden a ser pequeños e incluso nulos, mientras que en distintas partes del centro – o en una única parte del centro - éstos pueden alcanzar varios metros según sea la magnitud del terremoto en cuestión. A este tipo de modelo se le reconoce como un modelo de falla heterogéneo.
- Esta variabilidad del plano de contacto o fallamiento se debería a distintas razones de tipo geológico así como sismotectónico. Los planos de contacto interplaca en zonas de subducción poseen distintos tipos de materialidad.

Estos dependen, por una parte, de los sedimentos que son conducidos a lo largo del canal de subducción desde las respectivas fosas oceánicas hasta profundidades de 50 o más kilómetros, y por otra parte, pueden también depender de la constitución geológica tanto de la corteza continental como de la corteza oceánica.

Un ejemplo de un primer escenario caracterizado por la homogeneidad de los deslizamientos se presenta en la siguiente tabla para un evento característico de la zona central de magnitud $M_w=8.5$, es decir, un evento comparable en magnitud con el terremoto de Valparaíso de 1906.

Tabla 18: Parámetros sismológicos para eventos comparables con terremotos de 1985 y 1730 en Chile.

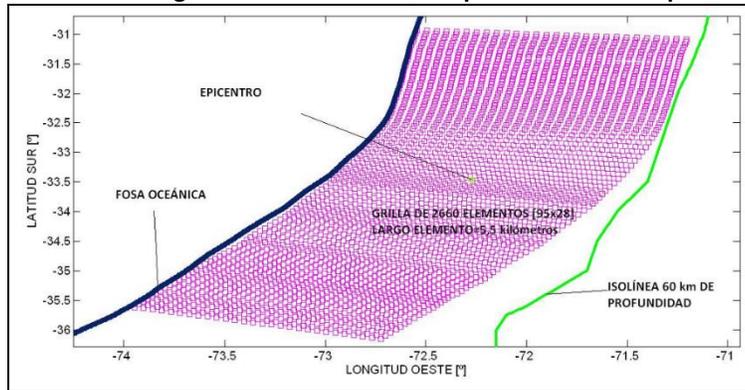
Parameter	M_w 8,5±0,1 Earthquake Type: 1906		
	Unique Slip	Slip 1	Slip 2
$T_{recurrence}$ ~107±30 years			
Mo (N-m)	5,385x10 ²¹	5,581x10 ²¹	
u (Pa)	3x10 ¹⁰	4x10 ¹⁰	4x10 ¹⁰
τ (seg)	-----		
L (km)	375	110	110
W (km)	120	150	150
Az (°)	4 ± 3	4 ± 3	4 ± 3
Dip (°)	18 ± 5	18 ± 5	18 ± 5
Rake (°)	105 ± 7	105 ± 7	105 ± 7
ΔD (m)	4,0	5,6	5,6
Northern West East	31.60°S/72.35°W 31.60°S/71.12°W	32.70°S/72.76°W 32.70°S/71.23°W	34.00°S/73.23°W 34.00°S/71.66°W
Southern West East	35.00°S/73.39°W 35.00°S/72.12°W	33.70°S/73.08°W 33.70°S/71.51°W	35.00°S/73.73°W 35.00°S/72.15°W
Mw	8,5	8,5	

Parameter	M_w 8,8 ± 0,1 (All) Earthquake Type: 1730			
	Unique Slip	Slip 1	Slip 2	Slip 3
$T_{recurrence}$ ~150 ± 30 years				
Mo (N-m)	7,4x10 ²¹	2,053x10 ²²		
u (Pa)	3x10 ¹⁰	4x10 ¹⁰	4x10 ¹⁰	4x10 ¹⁰
τ (seg)	-----			
L (km)	605	110	110	110
W (km)	120	150	150	150
Az (°)	4 ± 3	4 ± 3	4 ± 3	4 ± 3
Dip (°)	18 ± 5	18 ± 5	18 ± 5	18 ± 5
Rake (°)	105 ± 7	105 ± 7	105 ± 7	105 ± 7
ΔD (m)	8,0	10,3	10,3	10,3
Northern West East	30.50°S/72.31°W 30.50°S/71.10°W	31.50°S/72.65°W 31.50°S/71.10°W	33.00°S/72.93°W 33.00°S/71.38°W	34.50°S/73.51°W 34.50°S/71.91°W
Southern West East	36.00°S/73.84°W 36.00°S/72.57°W	32.50°S/72.74°W 32.50°S/71.17°W	34.00°S/73.23°W 34.00°S/71.70°W	35.50°S/74.02°W 35.50°S/72.40°W
Mw	8,81	8,86		

Modelos de subducción más realistas consideran esencialmente el efecto de rugosidades, asperezas, barreras, o simplemente heterogeneidades, que implican un desarrollo del terremoto no homogéneo a lo largo del plano de ruptura al cual se ha hecho mención anteriormente.

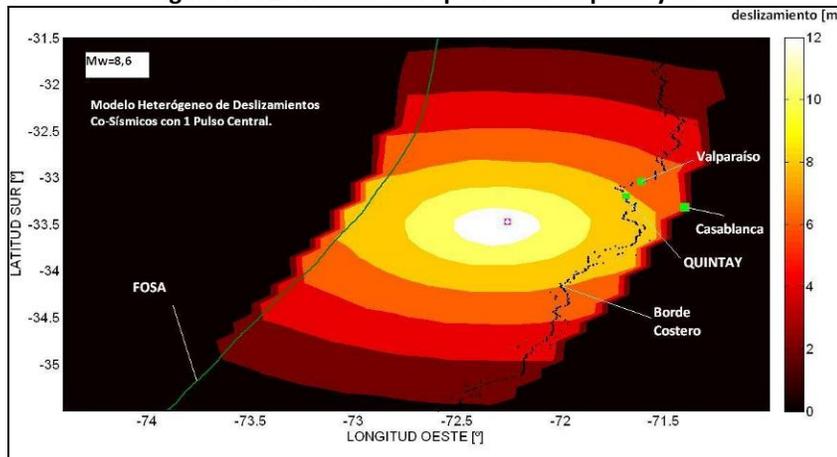
En la Figura 91 se muestra la grilla de cálculo y sus características para generar funciones de deslizamiento variables a lo largo de un plano de ruptura constreñido por su inclinación, profundidad máxima y mínima, emplazamiento geográfico y deslizamientos co-sísmicos generados por la combinación de funciones sinusoidales y exponenciales, generando esencialmente una función de deslizamiento similar a una campana de Gauss con un máximo en un centro y una atenuación paulatina que aumenta a medida que la distancia aumenta desde el foco. La combinación de esta herramienta es utilizada para generar los casos mostrados en la Figuras 92 y 93.

Figura n° 91: Grilla utilizada para modelo de ruptura.



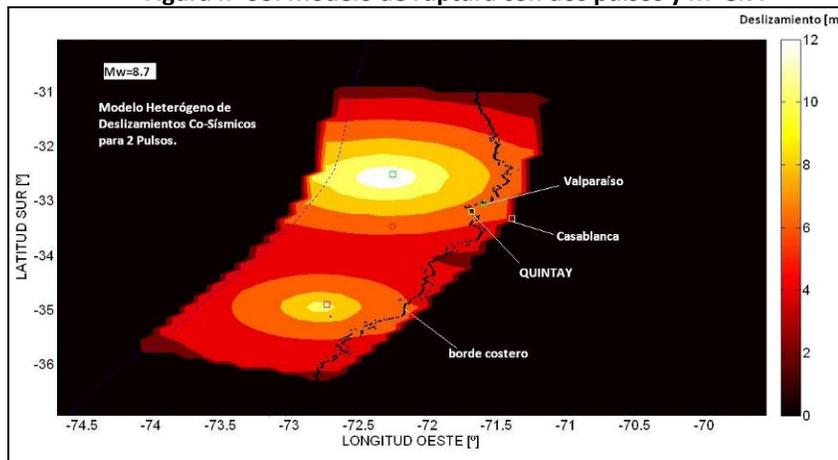
Fuente: Elaboración propia

Figura n° 92: Modelo de ruptura con un pulso y M=8.6.



Fuente: Elaboración propia

Figura n° 93: Modelo de ruptura con dos pulsos y M=8.7.



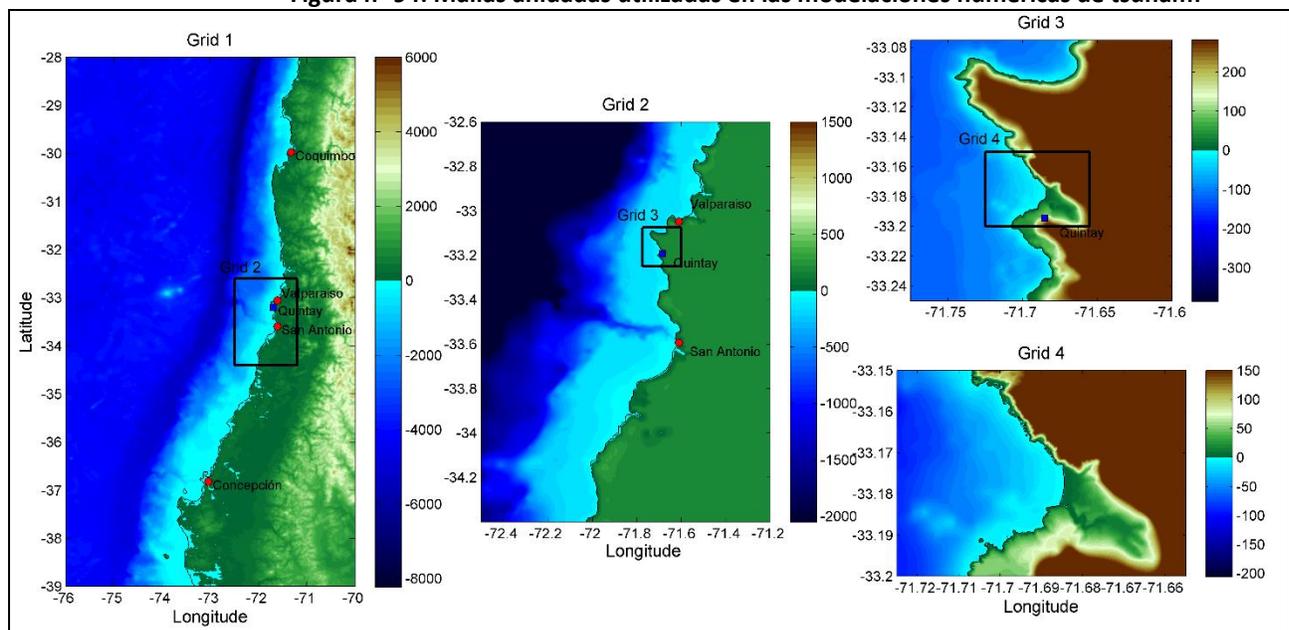
Fuente: Elaboración propia

La utilidad de probar estos escenarios distintos para terremotos máximo probable, y por tanto, tsunamis máximos esperados, es identificar las diferencias existentes y rescatar el caso más desfavorable desde el punto de vista del riesgo para la localidad de Quintay y aledañas.

Se estima necesario elaborar modelos para un terremoto máximo probable del orden de $M_w=8.7$ a $M_w=9.0$. Esta última magnitud es el valor que se ha asignado en últimos estudios al terremoto de la zona central de 1730, considerado el mayor evento ocurrido en la zona central, y a priori, posible de comparar con el terremoto del Maule 2010.

Como resultados obtenidos para la presente etapa, la Figura a continuación muestra las 4 mallas anidadas utilizadas en las modelaciones numéricas. La malla 1 es de 120" de resolución, la malla 2 de 30", la malla 3 de 6" y la malla 4 de 1" (~30m). Todas las modelaciones se realizaron considerando un nivel de marea de 1.2m, que corresponde a la máxima marea en sicigia.

Figura n° 94: Mallas anidadas utilizadas en las modelaciones numéricas de tsunami



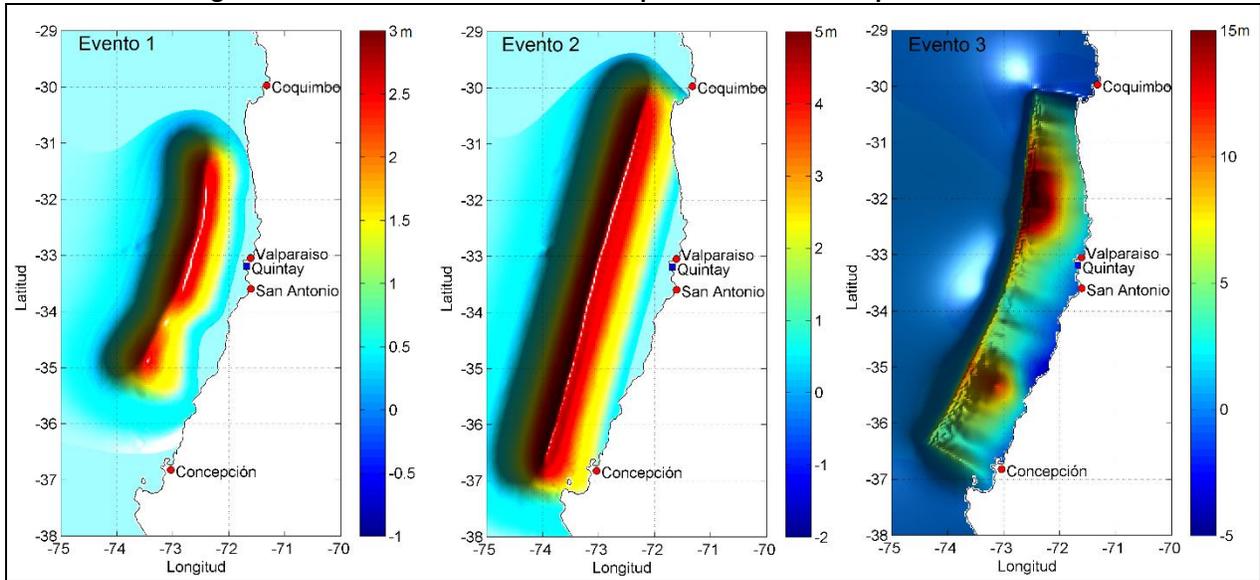
Fuente: Elaboración propia

Se considerarán 3 eventos de tsunami para las modelaciones. El Evento 1 corresponde a un sismo de magnitud 8.8, que se genera utilizando 3 segmentos con igual deslizamiento interplaca de 8.6m. El evento 2 es un evento de magnitud 9.0 con deslizamiento interplaca uniforme de 15m y una longitud total de falla de 811m. El Evento 3 también es un evento de magnitud $M_w=9.0$, sin embargo, el deslizamiento interplaca es heterogéneo. La Figura 95 muestra la deformación inicial de la superficie del mar para los tres eventos considerados.

Las Figuras 96, 97 y 98 muestran los resultados de las modelaciones numéricas de tsunami para cada evento modelado. En la ventana izquierda se muestra la altura de inundación. Esta variable se define como el máximo nivel que alcanzará el mar respecto al nivel medio del mar. Esta variable es independiente de la cota del terreno. Se puede observar que la altura de inundación simulada varía entre los 9m (evento 1) hasta los 25 m (evento 3). Por su parte, la ventana derecha de las Figuras 96, 97 y 98 muestra las profundidades de flujo o profundidades de inundación. Esta variable se define como la columna de agua sobre el nivel de terreno. Por lo tanto, la topografía juega un rol

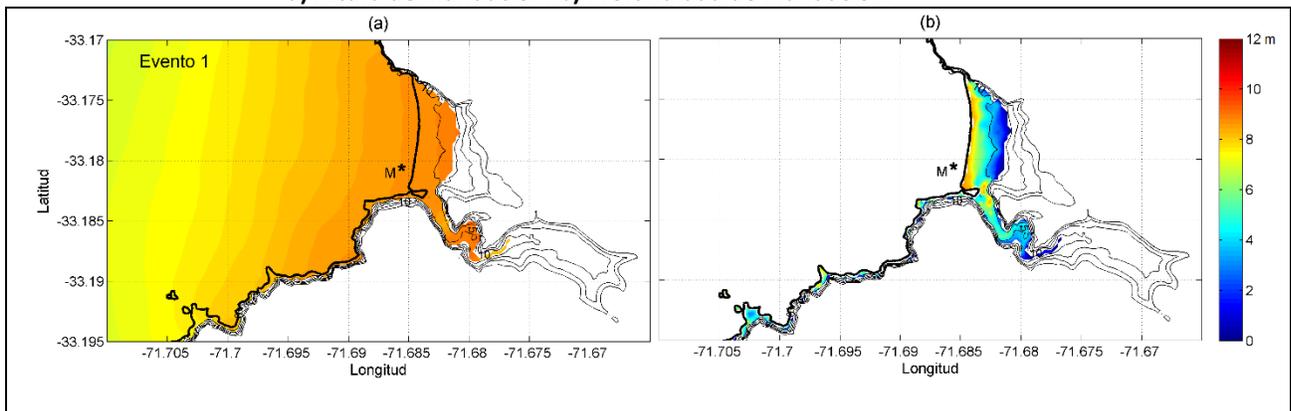
fundamental en la profundidad de inundación.. La línea gruesa corresponde a la línea de costa, mientras que las líneas delgadas corresponden a las curvas de nivel cada 5m.

Figura n° 95: Deformación inicial de la superficie libre del mar para los tres eventos modelados



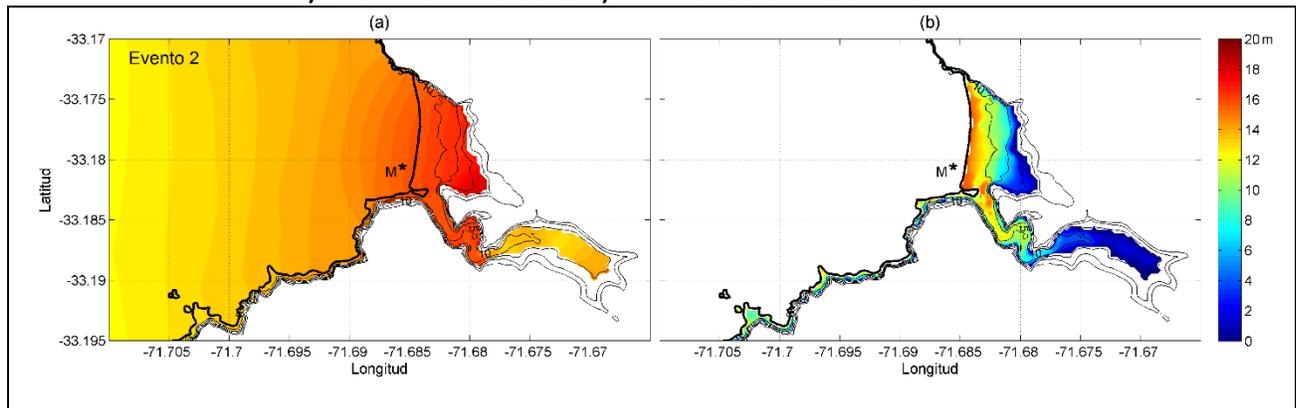
Fuente: Elaboración propia

Figura n° 96: Inundación por tsunami en Quintay para el Evento 1.
a) Altura de inundación. b) Profundidad de inundación.



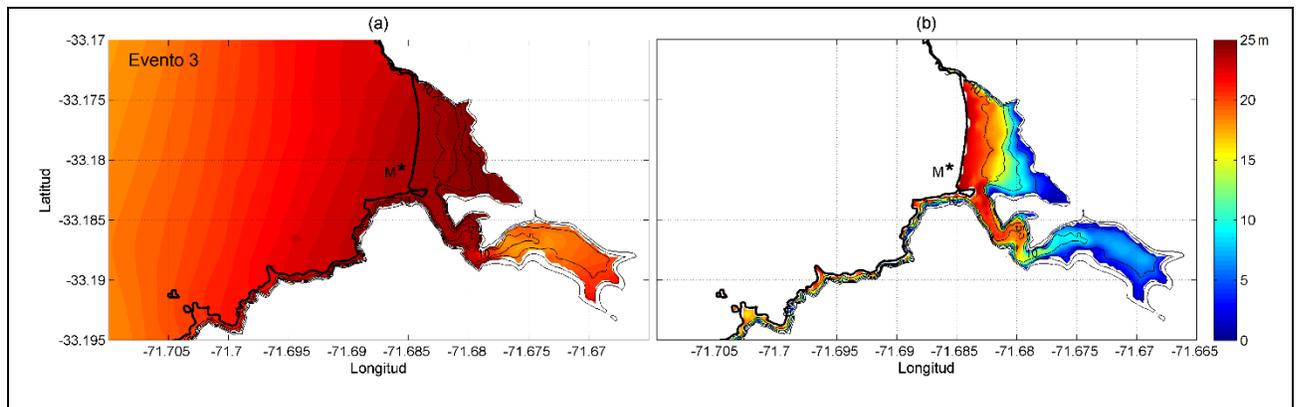
Fuente: Elaboración propia

Figura n° 97: Inundación por tsunami en Quintay para el Evento 2.
a) Altura de inundación. B) Profundidad de inundación.



Fuente: Elaboración propia

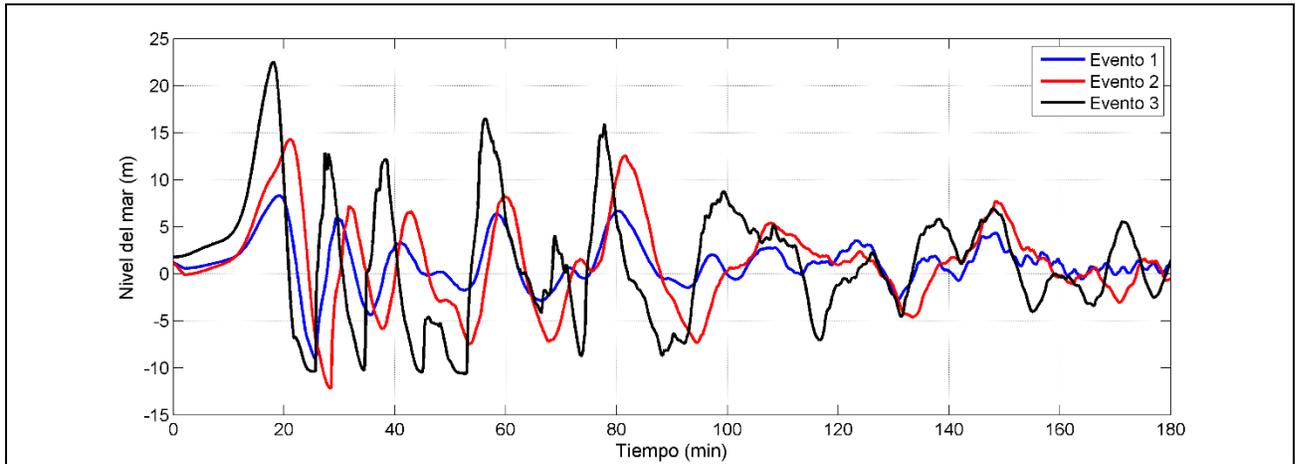
Figura n° 98: Inundación por tsunami en Quintay para el Evento 3. a) Altura de inundación.
b) Profundidad de inundación



Fuente: Elaboración propia

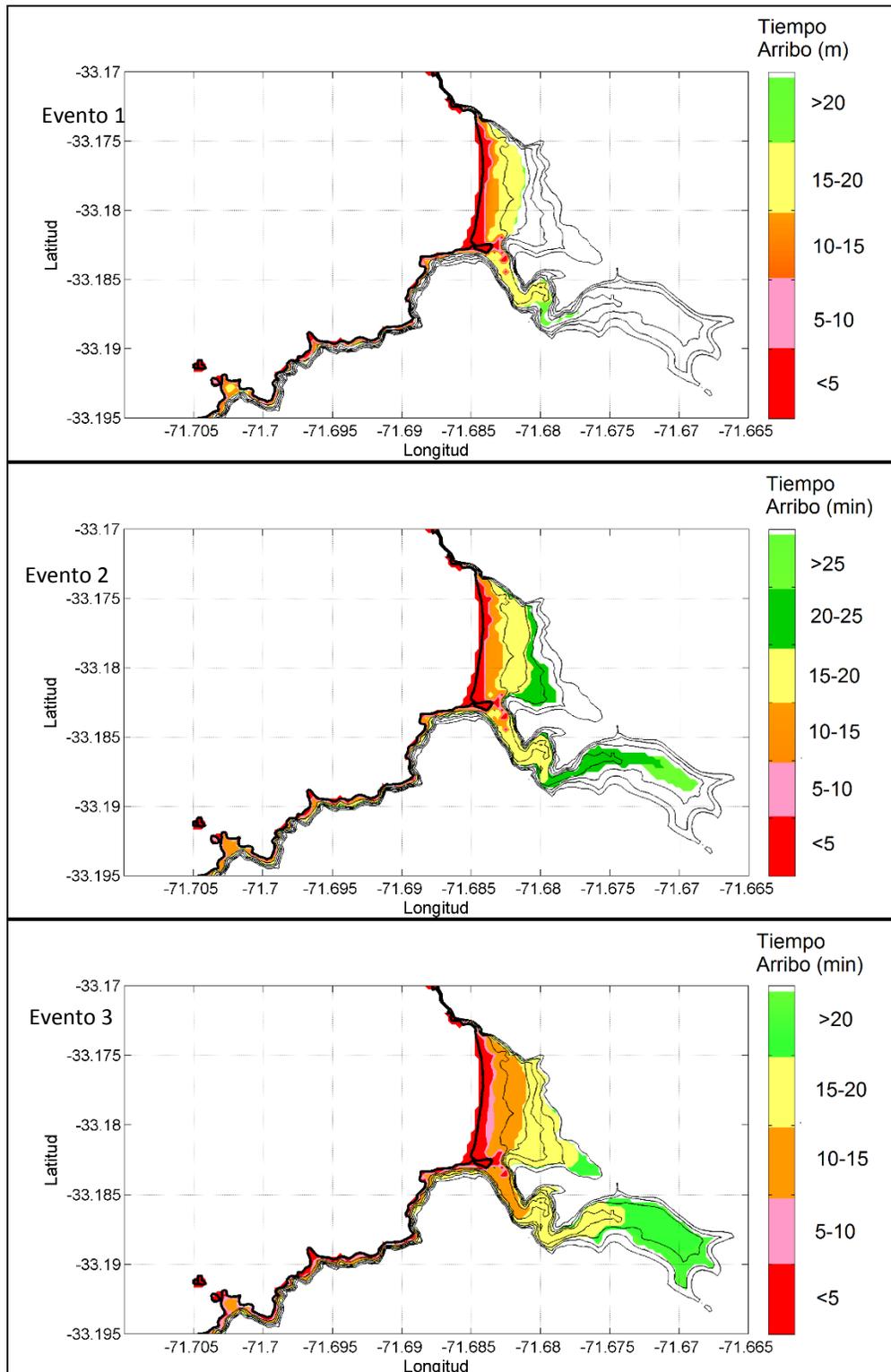
Otra variable importante a considerar en el peligro de inundación por tsunami, es el tiempo de arribo de las ondas y el tiempo de inundación. La Figura 99 muestra los mareogramas sintéticos correspondientes al punto M indicado en las figuras anteriores. Estos mareogramas muestran la variación de la superficie del mar en función del tiempo para las 3 primeras horas de simulación. El tiempo cero corresponde al inicio del terremoto. La figura muestra que en el punto M, el nivel del mar comienza a aumentar inmediatamente después de iniciado el terremoto y se puede observar, además, que la primera onda es la más grande para los tres eventos considerados. El aspecto más importante es que la primera onda alcanza su máximo valor sólo 18-20 min después de iniciado el sismo. Como el mareógrafo virtual muestra lo que ocurre en un punto solamente, es necesario agregar mapas de inundación en función del tiempo que muestren con que ocurre en todo el dominio analizado. De este modo, la Figura 100 muestra un mapa de tiempos de arribo para los tres escenarios. Los tiempos de arribo corresponden al momento en que cada punto del dominio (o grilla) es alcanzado por el agua. Las líneas delgadas representan curvas de nivel cada 5m. Se puede observar que todos los eventos alcanzan el máximo nivel de inundación en menos de 25 min. Además, la zona de playa y desembocadura del río son inundadas en menos de 5 min, lo cual se explica por el rápido aumento del nivel del mar una vez ocurrido el terremoto, tal como se muestra en la Figura 99

Figura n° 99: Mareogramas sintéticos (Variación del nivel del mar) para cada evento simulado obtenidos frente a la playa de Quintay (Punto M).



Fuente: Elaboración propia

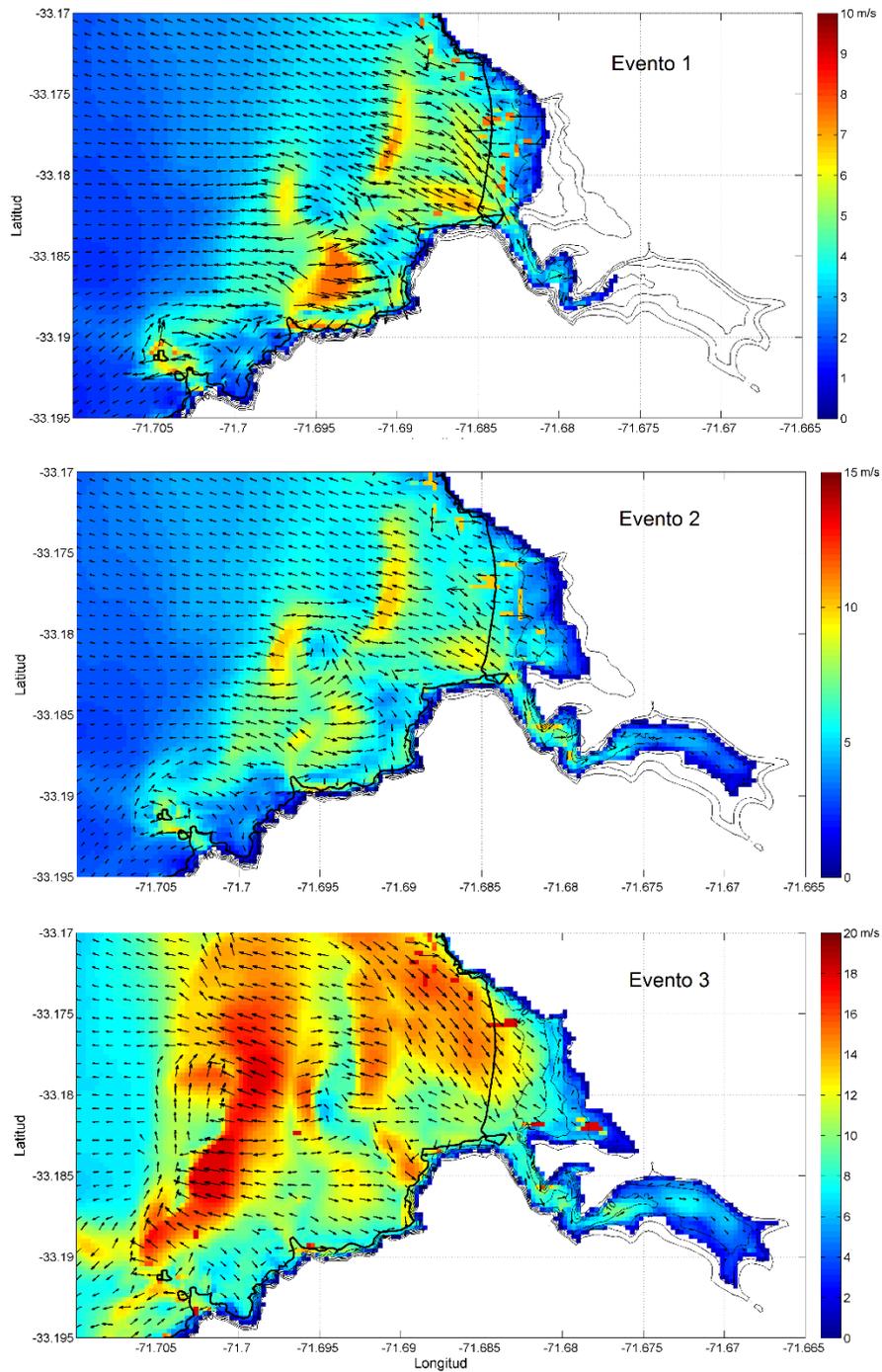
Figura n° 100: Mapas de tiempos de arribo para los tres eventos simulados



Fuente: Elaboración propia

Por último, la Figura 101 muestra resultados de velocidades máximas en la zona de estudio. Se puede observar que las velocidades máximas en la zona de playa son menores a los 10m/s para los eventos 1 y 2, mientras que para el evento 3, las velocidades pueden alcanzar valores de hasta 12 m/s. Es importante mencionar que las máximas velocidades en la desembocadura del río ocurre cuando el tsunami se retira, y no durante la inundación.

Figura n° 101: Mapas de tiempos de arribo para los tres eventos simulados. Las flechas indican la dirección de la corriente



5. CONCLUSIONES

A partir de los antecedentes expuestos, las amenazas de origen natural presentes en la comuna de Casablanca estarían asociadas a procesos de inundación de aguas continentales y costeras (en el caso de Quintay), remociones en masa y presencia de fallas geológicas.

En términos de remociones en masa, como conclusiones del estudio indican la presencia de áreas de riesgos por remociones en masa, asociadas a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas dominantes en la comuna.

Los tipos de remociones presentes son de tipo caídas de rocas y suelo (erosiones profundas), deslizamientos superficiales de suelo (regolito y detritos) y flujos. A escala comunal estos procesos son más frecuentes en laderas empinadas y quebradas en la cordillera de la costa, cabeceras de cuencas, laderas de terrazas marinas y algunos cortes artificiales.

Los sectores con mayor susceptibilidad se relacionan con la existencia de bloques disponibles a ser removidos o movilizados, afloramientos rocosos con presencia de estructuras geológicas, evidencias de remociones en masas anteriores, quebradas angostas y estrechas con altas pendientes y zonas con afloramientos de regolito (maicillo) producto de la descomposición de rocas intrusivas.

En general, las potenciales áreas susceptibles de generar remociones, involucran bajo volumen o abarcan bajos espesores, con bajo impacto en poblados. De todas formas, la intervención de estos terrenos, debe considerar un diseño apropiado para trabajo en pendiente, y medidas de contención que eviten el movimiento del material ladera abajo, y pérdida de resistencia del macizo (o aumento de la meteorización).

En términos geología estructural, existen evidencias de fallas mayores que atravesarían los poblados, sin contar con antecedentes suficientes a la escala y alcances del presente estudio que permitan concluir sobre su real impacto, o zonificar el riesgo.

En el caso de Inundaciones por aguas continentales, como conclusión de la etapa se señala que si bien los registros históricos de precipitaciones en la comuna de Casablanca han disminuido a través del tiempo, existen registros de precipitaciones máximas por sobre 65 mm/hr. Esta situación de concentración de precipitaciones en 24 hrs actúa como detonador de desbordes de cauces y de anegamientos de sectores de baja permeabilidad. El estero de Casablanca y sus tributarios principales presentan posibilidades de desbordes de sus cauces permanentes. En el caso de las quebradas, no considerados con riesgo de inundación por el PREMVAL, se realizó de manera preliminar una identificación y delimitación gráfica del eje y un área de inundación (en áreas urbanas). Esto a fin de resguardar su cauce natural y establecer las condiciones de mantención. Se debe tomar en cuenta que producto de las pendientes de los cauces y la composición de las laderas de las sub cuencas, es frecuente que se genere el arrastre y depositación de arenas gruesas y gravas en los sectores bajos (maicillo proveniente de la descomposición de rocas intrusivas), lo que en algunos casos afecta la vialidad de la comuna.

Como conclusión de la etapa en el caso de Tsunamis, se destaca que la metodología de modelación de propagación de tsunamis quedaría establecida (descrita en el texto), así como las variables claves en la modelación y los objetivos que se quieren conseguir. Se puede concluir que las variables especificar para la modelación tales como grillas topobatemétricas y parámetros de ruptura de los eventos extremos fueron obtenidos en esta etapa. Los resultados mostraron que un evento extremo (magnitud 9.0, similar al evento de 1730) podría alcanzar una cota máxima de inundación de 25m en un lapso de tiempo inferior a los 30min después del sismo.

6. REFERENCIAS

- Angermann, D., Klotz, J. & Reigber, C. (1999). Space-geodetic estimation of the Nazca South America Euler vector, *Earth Planet Sci. Lett.*, 171, 329-334.
- Araya-Carcedo, F.; Olcina J. 2002. Riesgos Naturales. Editorial Ariel S.A., 1512 pp.
- Arriagada, C., Arancibia, G., Cembrano, G., Martínez, F., Carrizo, D., Van Sint Jan, M., Sáez, E., González, G., Rebolledo, S., Sepúlveda, S.A., Contreras-Reyes, E., Jensen, E., Yañez, G. 2011. Nature and tectonic significance of co-seismic structures associated with the Mw 8.8 Maule earthquake, central-southern Chile forearc. *Journal of Structural Geology* 33 (2011), p. 891 – 897.
- Barrientos, S.; Kausel, E. 1993. Características de la Sismicidad Superficial en la Zona Central de Chile; *Proceedings 6as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, Universidad de Chile, Santiago 9-13 Agosto, 1993, v.1, p. 3-9.
- Belmonte, J. 1997. Análisis del Contacto Sismogénico Interplaca a lo Largo de Chile. Santiago: Tesis de Magíster, Depto. de Geofísica. Universidad de Chile, 148 pp.
- Barrientos, S. (1994). Large Events, Seismic Gaps and Stress Diffusion in Central Chile, *Tectonics of the Southern Central Andes*, Ed. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Biskupovic A., Alex Javier. 1994. Estudio de los efectos del sismo del 3 de Marzo de 1985 en la zona de Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Las Cruces, Casablanca, Curacaví, María Pinto. 232 pp.
- Cornell (1968). *Engineering Seismic Risk Análisis*, Bull. Seism. Society of America, vol. 58.
- Corvalán y Munizaga, 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso – San Antonio. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile. Boletín N.º 28.
- Crisafulli, F. & Villafañe, E. (2002). Espectros de Respuesta y de Diseño, Guía de Estudio, Ingeniería Sísmoresistente, Facultad de Ingeniería, U. Nacional de Cuyo.
- Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. *Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247*, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75.
- Delouis, B., Monfret, T., Dorbath, L., Pardo, M., Rivera, L., Compté, D., Haessler, H., Caminade. L., Ponce, L., Kausel, E., Cisternas, A. 1997. The Mw=8.0 Antofagasta Earthquake of July 30, 1995: A precursor of the end of the large 1887 Gap. *Bull. Seismic Society of America*, Vol. 87, N°2, p.1 – 19.
- DeMets, C., Gordon, R.G., Argur, D.F. & Stein, S. (1994). Effect of recent revision to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191-2194.
- Dmowska, R. & Lovison, L., (1988). Intermediate term Seismic Precursors for some coupled Subduction Zones, *Pageoph*, 126, 643-664.
- Eisenberg, A.(2000). Riesgo Sísmico en Área de Complejo Portuario de Mejillones Geotectónica y Espectros de Diseño, Informe GeoExploraciones S.A., Octubre 2000.
- Escobar, F.; Guzman, R.; Vierina, C., 1977. Avance geológico de las Hojas Rancagua – Curicó – Talca – Linares – Chanco, Concepción y Chillán. Escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG). Inédito.
- Galdames, G; Saragoni, R. 2002. Influencia del posible movimiento de la falla Marga-Marga en el daño de edificios altos de Viña del Mar en el terremoto de Chile de 1985. VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Abril 2002. UTFSM. Valparaíso, 6pp.
- Gana, P.; Wall, R.; Gutiérrez, A. 1996. Mapa Geológico del Área Valparaíso – Curacaví. Regiones de Valparaíso y Metropolitana. Mapa Geológico Sernageomin N° 1. Mapa Escala 1:100.000, Leyenda Ampliada y Listado de Yacimientos, 21 pp.
- Godoy, E.; Schilling, M.; Solari, M.; Fock, A. 2009. Geología del Área Rancagua-San Vicente de Tagua Tagua, Región del Libertador General Bernardo O’Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 118: 50 p. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson. 744pp
- Hauser A, SERNAGEOMIN. 1996. Evaluación preliminar del riesgo aluvional en torno a la localidad de San Alfonso, región Metropolitana. Documento inédito.
- Hauser A, 1985. Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. *Revista Geológica* N°24 1985, p.75-92.
- Hauser, A. 2000. Remociones en masa en Chile. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN, Boletín N° 59.

- Iida, K. (1963). Lectura Note on Seismology, Nagoya, Japan. Seismic exploration group of Japan.
- Julio, G. 1990. Diseño de índices de riesgo de incendios forestales para Chile. Revista BOSQUE 11(2):59-72. Instituto de Manejo Forestal Universidad Austral de Chile, Casilla 853, Valdivia
- Kausel, E. (1986). Proceso Sísmico, Parámetros Focales y Réplicas del Sismo del 3 de Marzo, 1985, El Sismo del 3 de Marzo 1985-Chile, U de Chile, Fac. Cs. Fís. y Mat.
- Kramer, S. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, William J. Hall, Editor.
- Keefer, D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America Bulletin, vol. 95, p. 406-421
- Keller, E.; Blodget, R. 2004. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.
- Kerr, J., Nathan, S., Van Dissen, R., Webb, P., Brunson, D., King, A., 2003, Planning for development of land on, or close to active faults: An interim guideline to assist resource management planners in New Zealand. Institute of Geological & Nuclear Sciences Client Report 2002/124 (prepared for Ministry for the Environment, New Zealand).
- Hauser, A. 1990. SERNAGEOMIN. Carta Hidrogeológica de Chile. Hoja Rancagua, VI región. 1:250.000. 74 p.
- Lara, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 212 p.
- Leyton, F; Ruiz, S.; Sepúlveda, S. 2009. Preliminary re-evaluation of probabilistic seismic hazard assessment in Chile: from Arica to Taitao Peninsula. Adv. Geosci., 22, p. 147–153.
- Leyton, F.; Ruiz, S.; Sepúlveda, S. 2010. Reevaluación del peligro sísmico probabilística en Chile Central. Andean Geology. Versión on-line. ISSN 0718-7106. V. 37, n° 2. Julio 2010, 21 pp.
- Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255 Sismicidad de Chile.
- Madariaga, R. (1998). Sismicidad en Chile, Física de la Tierra, Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica, 10, Eds. E. Buforn y A. Udías.
- Muñoz, E., Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S. 2012. Nuevos antecedentes sobre la falla Marga-Marga y sus implicancias en el peligro sísmico, T9, p. 854 – 856.
- Muñoz, E. 2013. Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en áreas urbanas. Estudio de caso Viña del Mar, V región. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias mención Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 164 p.
- Ruiz, S. y G.R. Saragoni. 2005. "Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo". IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, p. 16-19.
- Ruegg, J.L., Olcay & Lazo, D. (2001). Co, post and pre-seismic displacements associated with 1995 July 30 Mw=8.1 Antofagasta, Chile, earthquake as constrained by InSAR and GPS observations. Seismological Research Letters, 72, 673-678.
- Sabaj, R. 2008. Identificación y caracterización de estructuras potencialmente activas en la cordillera de la costa, entre los 33° y 33°45' Sur. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología.
- Sauret, B., 1987. Coulées de débris canalisées. Compte rendu bibliographique. In Risques Naturels. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, No.150-151, p.65-77.
- Selby, M.J., 1993. Hill slope materials and processes. Second Edition, Oxford University Press, 451 pp.
- Sepúlveda, S.A., 1998. Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Sepúlveda, S.A., Padilla, C., 2008. Rain-induced debris and mudflow triggering factors assessment in the Santiago cordillera foothills, Central Chile. Natural hazards, 47, 201-215.
- Sepúlveda, S.A. y Serey, A. 2009. Tsunamiogenic, earthquake-triggered rock slope failures during the 21st of April 2007 Aysén earthquake, southern Chile (45.5°S). Geological Note. Andean Geology 36 (1), pp. 131-136.
- SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000.
- SERNAGEOMIN. 2012. Atlas de Faenas Mineras, Regiones de Valparaíso, del Libertador General Bernardo O'Higgins y Metropolitana de Santiago (Versión Actualizada). Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas y Estadísticas de Faenas Mineras de Chile No 9: 177 p. Santiago.

- Susa, D.L. & Comte, D. (2004). Evaluación del Peligro Sísmico Asociado a Sismos de Tipo Interplaca en Chile y Sur de Perú Utilizando una Distribución Bi-Paramétrica de Weibull, Tesis, Dpto. Ing. Civil, U. de Chile.
- Troncoso, R. 2006. Efectos socio-espaciales derivados de la Vitivinicultura. Caso: comuna de Casablanca-V región de Valparaíso. Memoria para optar al título de Geógrafo. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Escuela de Geografía. Universidad de Chile. 149 pp.
- Toro, K. 2007. Influencia de las características geológicas en las propiedades geotécnicas de granitoides jurásicos y suelos asociados en la Ruta 68. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología.
- Wiegel, R. (1970). Earthquake Engineering, USA Prentice-Hall, C. 11, Tsunamis.

Otros

- Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), Gobierno de Chile, Junio 2011. Registro de Propiedad Intelectual N°: 205-409. I.S.B.N.: 978-956-8468-34-7
- Norma Chilena Oficial. Diseño Sísmico de Edificios. NCh433.Of.1996. Instituto Chileno de Normalización y modificaciones 2010 y 2011.