

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE CONCON

EQUIPO CONSULTOR:

Rodrigo Rauld Plott, Geólogo
Andrés Fock Kunstmann, Geólogo, MSc en Ciencias, Mención Geología
Constanza Urresty Vargas, Geóloga
Marilina Peñalva, Geóloga, MSc en Riesgo Geológico y Meteorológico
Eduard Salvadó, Ingeniero Geólogo

CONTRAPARTE TÉCNICA:

SECPLAC Secretaria de Planificación Comunal
Asesoría Urbana
I. Municipalidad de Concón

RESUMEN

En el marco de la actualización del Plan Regulador Comunal de Concón, se ha revisado y analizado una serie de antecedentes proporcionados por el mandante y otros estudios científicos, complementando con observaciones de terreno, con el fin de determinar cuáles son las zonas susceptibles de ser afectadas por peligros geológicos en el área urbana de Concón y en el sector de Puente Colmo.

En este estudio se evaluó la ocurrencia de los procesos geológicos internos de la tierra (endógenos), que incluyen sismicidad y volcanismo, y los procesos geológicos externos (exógenos) que corresponden a inundaciones y remociones en masa. Para esto se realizó una línea base geológica y geomorfológica (a escala 1:5.000), un inventario de peligros histórico a partir de publicaciones científicas, y un análisis de los factores condicionantes y desencadenantes de los peligros analizados. Finalmente, a partir de esta información, se generaron mapas de susceptibilidad para cada peligro reconocido a escala 1:5.000.

El área de estudio ha sido afectada por sismos importantes, al igual que casi todo Chile. Dado que estos fenómenos son recurrentes y propios de la dinámica de subducción en que se encuentra Chile, no debe descartarse la ocurrencia de grandes sismos por subducción en la planificación a mediano y largo plazo. Tanto para los sismos de profundidad intermedia como los sismos corticales, sus características y recurrencias son poco conocidas. Sin embargo, las evidencias recolectadas apuntan a que no debe descartarse la posibilidad de ocurrencia de este tipo de sismos.

El peligro volcánico no sería una amenaza directa en la zona, dada la ausencia de centros volcánicos al norte de los 33°S y al sur de los 27° S. Por lo anterior, no se considera este peligro para la zonificación, ya que en la cuenca del río Aconcagua no existen volcanes activos y la comuna de Concón se encuentra a más de 160 km del volcán activo más cercano (volcán Tupungatito). Sin embargo, erupciones fuera del área de estudio podrían causar efectos indirectos sobre el área, como problemas de transporte o abastecimiento.

Se reconocieron además, los peligros de deslizamientos y caída de bloques. Se determinó que la ocurrencia de estos peligros es en zonas de laderas poco estables, especialmente en las zonas de altas pendientes y en los sectores de dunas, debido a su baja a nula cohesión.. Esta situación se ve intensificada producto de la acelerada intervención antrópica presente en las laderas y dunas.

Los peligros de inundación por desborde de cauce se asocian al río Aconcagua, al estero Limache y a quebradas menores que se encuentran en el área de estudio.

Para el peligro de inundación costera por maremoto, se realizó una zonificación de áreas susceptibles a partir de los antecedentes históricos disponibles de maremotos que han afectado a la zona costera de la Región de Valparaíso en el pasado.

Los sectores con peligros de erosión acentuada fueron determinados a partir de las características geológicas y geomorfológicas de las zonas de dunas.

Las principales recomendaciones de este estudio son: implementar un sistema de alerta temprana y planes de evacuación ante eventos de precipitaciones intensas que puedan generar remociones en masa; controlar el escurrimiento de aguas superficiales, su interceptación, captación, conducción y descarga controlada hacia cauces establecidos. Se recomienda además, zonificar como no edificables los sectores ubicados sobre zonas de susceptibilidad alta y moderada de ser afectadas por deslizamientos y caída de bloques, y las zonas de susceptibilidad alta de inundación por maremotos y por desborde de cauces y las zonas de alta susceptibilidad de erosión acentuada, además de capacitar a la población con respecto a los peligros geológicos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Ubicación Área de Estudio.....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.3	Alcance y limitaciones.....	4
1.4	Marco Jurídico	4
1.5	Aspectos Metodológicos	5
1.5.1	Elaboración de la línea de base geológica y geomorfológica	6
1.5.2	Visitas técnicas al área de estudio.....	6
1.5.3	Inventario de información relevante para los Peligros Geológicos en el área de estudio	7
2	MARCO CONCEPTUAL.....	10
2.1	Peligros Geológicos en Chile.....	10
2.2	Conceptos de Susceptibilidad, Peligros Geológicos y Riesgo	11
3	PELIGROS GEOLÓGICOS A SER ESTUDIADOS	13
3.1	Procesos Internos o Endógenos de la Tierra	13
3.1.1	<i>Sismicidad</i>	13
3.1.2	<i>Volcanismo</i>	19
3.2	Procesos Exógenos o Externos de la Tierra	22
3.2.1	<i>Inundaciones Terrestres y Litorales</i>	22
3.2.2	<i>Procesos de Remoción en Masa</i>	30
3.2.3	Dunas activas y zonas de erosión acentuada.....	36
3.3	Resumen de Peligros Geológicos.....	37
4	MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO.....	39
4.1	Marco Geodinámico.....	39
4.2	Marco Geomorfológico.....	40
4.2.1	Unidad Montañosa	40
4.2.2	Unidad de Planicies Litorales.....	44
4.2.3	Unidad Fluvial	44
4.2.4	Unidad Dunaria	44
4.2.5	Unidad de Borde Costero.....	44
4.2.6	Unidad de Plataforma Continental	44
4.3	Marco Geológico.....	46
4.3.1	Unidades de Roca	46
4.3.1.1	Unidad Cochoa	46

4.3.1.2	Superunidad Mincha (Unidad Cavilolén y Unidad Tranquila).....	46
4.3.1.3	Formación Ajial	46
4.3.1.4	Formación Caleta Horcón	46
4.3.1.5	Formación Confluencia (Estratos de Potrero Alto)	49
4.3.2	Depósitos No Consolidados.....	49
4.3.2.1	Depósitos eólicos antiguos (Depósitos de paleodunas).....	49
4.3.2.2	Depósitos eólicos activos (Depósitos de Dunas Activas).....	49
4.3.2.3	Depósitos de litorales de playa	49
4.3.2.4	Depósitos Fluviales Activos	49
4.3.2.5	Depósitos Fluviales Antiguos	49
4.3.2.6	Depósitos Aluviales.....	50
4.3.2.7	Depósitos Coluviales	50
5	INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS	51
5.1	Remociones en Masa	51
5.1.1	Flujos de Barro.....	51
5.1.2	Deslizamientos Multirrotacionales.....	51
5.1.3	Dunas Activas y Zonas de Erosión acentuada.....	54
5.2	Inundaciones Terrestres	56
5.2.1	Inundaciones costeras por efectos de maremotos y marejadas.	60
5.3	Sismicidad	61
5.3.1	Antecedentes Históricos	61
5.3.2	Sismos registrados por la red sismológica mundial.	65
5.3.3	Principales fuentes sísmicas reconocidas en el área de estudio.	68
5.3.3.1	Sismos Interplaca tipo Thrust.....	68
5.3.3.2	Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia	68
5.3.3.3	Sismos Corticales	68
5.4	Volcanismo	70
6	DIAGNÓSTICO Y ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS QUE PUEDEN AFECTAR EL ÁREA DE ESTUDIO.....	71
6.1	Peligros No Zonificables	71
6.1.1	Peligro Sísmico	71
6.1.2	Peligro Volcánico	71
6.2	Peligros Zonificables.....	72
6.2.1	Peligro de Inundaciones Terrestres y Flujos de Detritos o Barro	72

6.2.2	Peligro de Inundaciones Costeras asociadas a Maremotos	77
6.2.3	Peligro de Remociones en Masa	80
6.2.4	Peligro de Erosión Acentuada en Sectores de Dunas	84
6.2.4.1	Valor de las Dunas de Concón como Geositio.....	85
7	SÍNTESIS DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS ANALIZADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	89
8	RECOMENDACIONES.....	98
9	REFERENCIAS	100

INDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 1-1	Ubicación de la comuna de Concón	2
FIGURA Nº 1-2	Ubicación de las áreaa de estudio.....	3
FIGURA Nº 1-3	Rutas y puntos revisados durante los trabajos de terreno en Concón	8
FIGURA Nº 2-1	Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso	12
FIGURA Nº 3-1	Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud >5. Nótese como la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo	13
FIGURA Nº 3-2	Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile.....	14
FIGURA Nº 3-3	Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto)	15
FIGURA Nº 3-4	Tipos de Falla y esfuerzos asociados.....	16
FIGURA Nº 3-5	Tipos de ondas sísmicas	17
FIGURA Nº 3-6	Amplificación de la vibración generada por un terremoto.....	18
FIGURA Nº 3-7	Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán	20
FIGURA Nº 3-8	Clasificación de los tipos de inundaciones	23
FIGURA Nº 3-9:	Mecanismo de formación de un maremoto asociado a un terremoto cuyo epicentro es submarino. A. Sismo genera un pulso vertical que mueve las aguas superficiales. B. Corresponde al momento en que arriba la onda a las costas.....	26
FIGURA Nº 3-10:	Comparación entre olas generadas por el viento y el frente de olas de un maremoto.....	26
FIGURA Nº 3-11:	Mecanismo de generación de maremotos por erupciones volcánicas submarinas.....	27
FIGURA Nº 3-12:	Mecanismo de generación de maremotos asociado a deslizamientos	27
FIGURA Nº 3-13	Elementos básicos considerados en la escala de Magnitud Inamura-lida definida por Wiegel.....	29
FIGURA Nº 3-14	Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera	32
FIGURA Nº 3-15	Ejemplos de deslizamientos. A. Deslizamiento Rotacional, B. Deslizamiento traslacional.....	33
FIGURA Nº 3-16	Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión	33
FIGURA Nº 4-1	Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico, se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33° S. La línea verde señala la fosa, lugar donde subducta la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas	40

FIGURA Nº 4-2 Esquema de la segmentación andina. La franja coloreada representa la zona de subducción plana. El área de estudio se ubica en el margen inferior de esta franja.....	41
FIGURA Nº 4-3 Carta de pendientes Concón.....	42
FIGURA Nº 4-4 Carta de exposición de ladera Concón.....	43
FIGURA Nº 4-5 Carta de elevaciones Concón	45
FIGURA Nº 4-6 Mapa Geológico y Geomorfológico del área urbana de Concón	47
FIGURA Nº 4-7 Mapa Geológico y Geomorfológico de Puente Colmo.....	48
FIGURA Nº 5-1 Talud costero en camino Reñaca-Concón en que se observa caída de bloques de roca y deslizamientos de arena.	53
FIGURA Nº 5-2 Localización de las dunas de Concón según Paskoff & Manríquez (2004) y Rivano et al (1993).....	54
FIGURA Nº 5-3 Campo de dunas ubicadas sobre una terraza marina alta de 80 msnm, en contacto con la costa rocosa.....	55
FIGURA Nº 5-4 Dunas estabilizadas por vegetación	55
FIGURA Nº 5-5 Dunas activas transversales sin vegetación en Punta Cabras	56
FIGURA Nº 5-6 Terremotos de subducción históricos con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura. En línea continua las zonas de ruptura bien identificadas, en línea discontinua las zonas de ruptura inferidas a partir de datos históricos	62
FIGURA Nº 5-7 Mapa regional con la sismicidad registrada entre 1973 y 2010 del Catálogo NEIC, junto a perfiles de sismicidad. El área de estudio está indicada con rectángulo blanco.	66
FIGURA Nº 5-8 Fallas activas cercanas al área de este estudio.	69
FIGURA Nº 5-9 Ubicación centros volcánicos próximos al área de estudio. Triángulos rojos indican la ubicación de volcanes y rectángulo rojo la ubicación del área de estudio.	70
FIGURA Nº 6-1 Áreas de Inundación y Período de Retorno (PR). Las líneas discontinuas azules muestran la cota de inundación, las flechas verdes y rojas son referenciales para indicar el ancho del área de inundación y los límites.....	73
FIGURA Nº 6-2 Zonas de susceptibilidad de inundaciones Concón.....	75
FIGURA Nº 6-3 Zonas de susceptibilidad de inundaciones Puente Colmo	76
FIGURA Nº 6-4 Zonas de susceptibilidad de maremotos Concón.....	78
FIGURA Nº 6-5 Zonas de susceptibilidad de maremotos Puente Colmo.....	79
FIGURA Nº 6-6 Zonas de susceptibilidad de remociones en masa y erosión acentuada del área urbana de Concón	82
FIGURA Nº 6-7 Zonas de susceptibilidad de remociones en masa del sector de Puente Colmo	83
FIGURA Nº 6-8 Imágenes satelitales de las dunas de Concón de los años 2008, 2010 y 2011	86
FIGURA Nº 6-9 Contraste de la situación de las dunas frente a Punta Cabra entre el año 2008 y 2011. Se observa avance hacia el norte de la duna y reactivación indicada por la disminución de vegetación	87
FIGURA Nº 6-10 Mapeo de dunas activas en base a fotografía aérea HYCON del año 1955	88

INDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 3-1 Peligros asociados al volcanismo.....	21
CUADRO Nº 3-2: Escala de grados de maremotos según Inamura (1942, 1949).....	28
CUADRO Nº 3-3: Escala de grados de maremoto según lida (1963).....	29
CUADRO Nº 3-4 Escala de grados de maremoto según Inamura e lida; transcrita por Wiegel (1970)	29

CUADRO N° 3-5 Resumen Peligros Geológicos a ser estudiados y su escala de trabajo	38
CUADRO N° 5-1 Catastro histórico de remociones en masa que han afectado a la comuna de Concón	52
CUADRO N° 5-2: Inventario de inundaciones del valle del río Aconcagua, cercanas a la desembocadura que afectan a Concón y zonas aledañas, y de temporales que han afectado a la región.....	57
CUADRO N° 5-3: Descripción histórica de inundaciones costeras por maremotos que han afectado la zona de estudio y a regiones cercanas.....	60
CUADRO N° 6-1 Criterios utilizados para la zonificación de susceptibilidad de remociones en masa	81
CUADRO N° 7-1 Síntesis de peligro sísmico para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación.....	90
CUADRO N° 7-2 Síntesis de peligro volcánico para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación.....	91
CUADRO N° 7-3 Síntesis de peligro de inundaciones para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación.....	92
CUADRO N° 7-4 Síntesis de peligro de maremotos para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación.....	94
CUADRO N° 7-5 Síntesis de peligro de remociones en masa para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación	95
CUADRO N° 7-6 Síntesis de peligro de erosión acentuada para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación	96
CUADRO N° 8-1 Criterios utilizados para definir la zonificación de susceptibilidad y la zonificación urbana recomendada para cada caso	99

INDICE DE MAPAS FUERA DE TEXTO

PLANO N° 1: Mapa Síntesis de Peligros Geológicos del Área Urbana de Concón.	
PLANO N° 2: Mapa Síntesis de Peligros Geológicos del sector de Puente Colmo	

1 INTRODUCCIÓN

La Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región de Valparaíso ha adjudicado a Habiterra S.A. la actualización del Plan Regulador Comunal de Concón. Como parte de este proceso se ha elaborado un estudio de riesgo de sismos, volcanismo, remoción en masa, inundación por desborde de cauces, maremotos y erosión acentuada para el área urbana de la comuna, con el objetivo de reunir información, que sirva de base, para definir zonas de riesgo y zonas no edificables para la zonificación urbana

1.1 Ubicación Área de Estudio

El área de estudio está ubicada en la Provincia de Valparaíso, entre los 32°55' y los 33°58' Latitud Sur y los 71°33' y los 71°23' de Longitud Oeste, en la V Región de Valparaíso. La comuna de Concón limita al norte con la comuna de Quintero, al este con la comuna de Quillota, al sur con la comuna de Viña del mar y al oeste con el océano Pacífico (FIGURA N° 1-1)

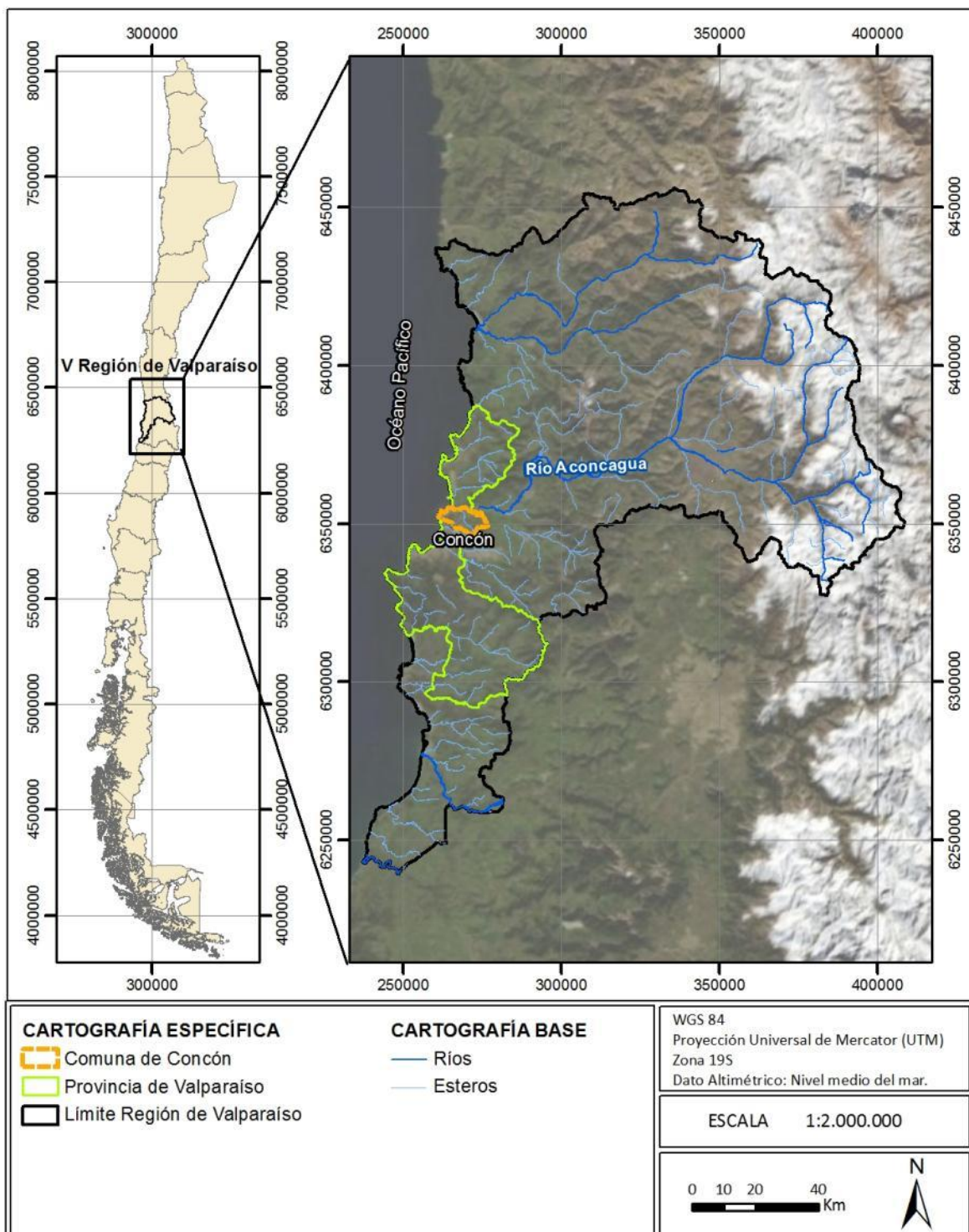
Los principales accesos al área de estudio corresponden a la ruta 60 si se accede por el este y a la ruta F-30-E si se accede por el norte o el sur.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es reconocer y delimitar las áreas de riesgos que han de ser incorporadas y/o adecuadas en la Actualización del Plan Regulador Comunal de Concón, con la finalidad de mitigar los eventuales riesgos naturales en la zona de estudio, de acuerdo a lo señalado por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, generando un estudio fundado de Riesgos Geológicos en las áreas urbanas de la comuna de Concón, que corresponden al límite urbano de Concón y al sector de Puente Colmo (FIGURA N° 1-2).

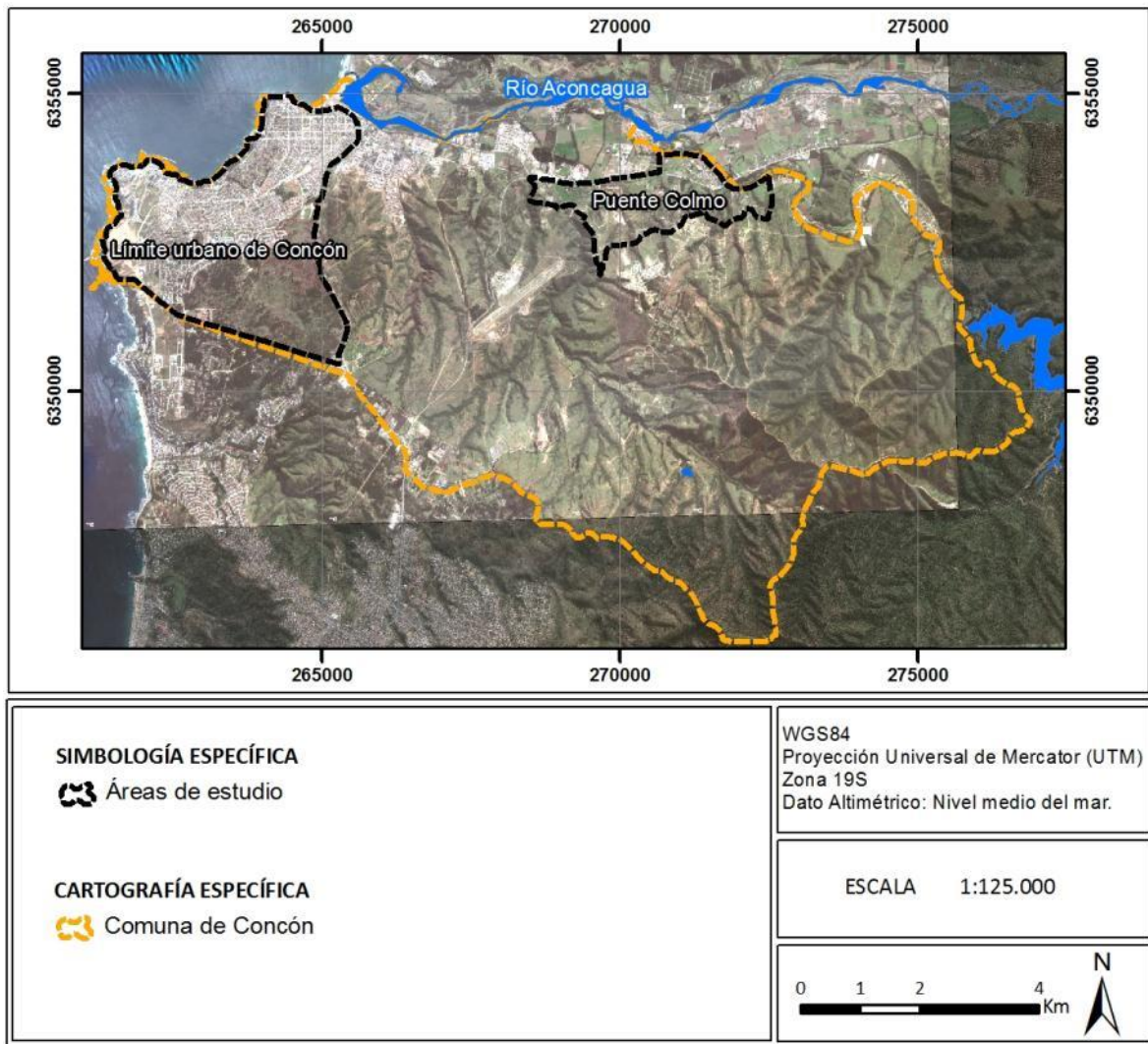
Dentro de este estudio, como productos, se han elaborado una línea base geológica y geomorfológica del territorio, además de un inventario, descripción y diagnóstico de los principales peligros geológicos que pueden afectar al área de estudio. Toda esta información ha sido utilizada para la elaboración de cartas de susceptibilidad de inundaciones causadas por desbordes de ríos y activación de líneas de quebradas, inundación por maremotos, remoción en masa -en sus diferentes manifestaciones- (aluviones, derrumbes de rocas, deslizamiento de tierra, licuefacción de suelos u otros relevantes).

FIGURA N° 1-1 Ubicación de la comuna de Concón



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 1-2 Ubicación de las áreaa de estudio



Fuente: Elaboración propia

1.3 Alcance y limitaciones

Para esta etapa del trabajo se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de fotografías aéreas, visitas a terreno y la evaluación de los distintos factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, a una escala 1:5.000 (considerando que la gran mayoría de la información geológica está a una escala mayor a 1:1.000.000). 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.

Por otro lado, no se llevo a cabo ningún análisis riguroso de períodos de retorno (**peligrosidad o amenaza**) o de consideraciones socio-económicas (**riesgo**), por lo que los mapas entregados corresponden a mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes.

El resultado de este estudio corresponde a mapas de factores condicionantes, principalmente morfológicos y geológicos y mapas inventarios. A partir del análisis de los anteriores, se generaron mapas de susceptibilidad para cada uno de los peligros geológicos reconocidos en la zona a escala 1:5.000.

1.4 Marco Jurídico

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 “zonas no edificables” o bien, “áreas de riesgo”, según sea el caso, como se indica a continuación:

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

Por “áreas de riesgo”, se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole, suficientes para subsanar o mitigar tales efectos. En el marco de este informe, “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico.

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

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

De acuerdo a las definiciones utilizadas en este informe, corresponde a los peligros geológicos de inundación, ya sea continental o costera. Este tópico que se explica conceptualmente en el capítulo 3.2.1 “*Inundaciones Terrestres y Litorales*”, y el diagnóstico de estos peligros en el área de estudio es presentada en los capítulos 5.2 “Inundaciones Terrestres” y 6.2.1 “Peligro de Inundaciones Terrestres y Flujos de Detritos o Barro”.

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

Corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa (caída de bloques y flujos de barro y detritos) y los procesos litorales de erosión acentuada. Estos se explican conceptualmente en los capítulos 3.2.2 “Procesos Exógenos de las Tierra- Remociones en Masa” y 3.2.3 “Procesos Exógenos de las Tierra-Dunas activas y zonas de erosión acentuada”. El diagnóstico de estos peligros en el área de estudio se presenta en los capítulos 5.1. “Remociones en Masa” y 6.2.3 “Peligro de Remociones en Masa”

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

1. Dentro de este apartado definido por la OGUC se analizan conceptualmente los procesos endógenos internos de la tierra, descritos en los capítulos 3.1.1 “Procesos Internos de la Tierra- Sismicidad” y 3.1.2 “Procesos Internos de la Tierra- Volcanismo”. El diagnóstico y zonificación de estos peligros en el área de estudio se presenta en los capítulos 0 “

Sismicidad”, 5.4 “Volcanismo” y 6.1 “Peligros No Zonificables

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.

1.5 Aspectos Metodológicos

El objetivo del Estudio de Riesgos de Concón es generar mapas de susceptibilidad para el área urbana de Concón y el sector de Puente Colmo. Como parte del proceso para generar los mapas de susceptibilidad, se realizaron las siguientes tareas durante el desarrollo de la etapa de recopilación de información:

1. Elaboración de una línea de base geológica y geomorfológica: El objetivo de este punto es identificar los distintos depósitos sedimentarios producto de procesos de remoción en masa e inundaciones, esto es, depósitos aluviales activos e inactivos, depósitos fluviales activos e inactivos, depósitos coluviales y las zonas de generación de coluvio.
2. Visita técnica de terreno al área de estudio.
3. Inventario de Peligros Geológicos Históricos: En esta tarea se recopilaban los distintos peligros geológicos que han afectado los sectores urbanos de la comuna de Concón, con la finalidad de identificarlos y ordenarlos cronológicamente.
4. Catastro de Factores Condicionantes: se reunió información acerca de los factores intrínsecos (propios del medio físico) que condicionan la ocurrencia de un peligro geológico.

A partir de todo lo expuesto anteriormente se realizó la zonificación de susceptibilidades de peligros geológicos.

A continuación se detalla la metodología utilizada para la elaboración de cada uno de los puntos nombrados previamente.

1.5.1 Elaboración de la línea de base geológica y geomorfológica

Las caracterizaciones geológica y geomorfológica se realizaron simultáneamente. Para ello se utilizaron como base los mapas geológicos de (SERNAGEOMIN, 2003) a escala 1:1.000.000 y de (Rivano, et al., 1993) a escala 1:250.000 que abarcan gran parte del área de estudio.

Para la caracterización geológica y geomorfológica se realizó una interpretación de fotografías aéreas e imágenes satélites, lo cual permitió delimitar los principales contactos entre el basamento rocoso y los depósitos no consolidados activos e inactivos, tales como depósitos aluviales, depósitos fluviales, depósitos coluviales, depósitos litorales y depósitos eólicos. Además, se identificaron los principales cauces, sus llanuras de inundación y niveles de terrazas fluviales.

Simultáneamente, se construyó un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés). El DEM corresponde a una matriz que contiene la información topográfica básica (elevación) que permitió estimar los parámetros morfométricos. Los parámetros morfométricos analizados son: cartas de pendiente y exposición de ladera. Estos mapas fueron utilizados como apoyo para la identificación de los principales depósitos no consolidados y son considerados un factor condicionante para la elaboración de mapas de susceptibilidad.

Para la generación del DEM (Digital Elevation Model) y las cartas morfométricas asociadas se utilizaron las coberturas topográficas a escala 1:2.000 y el Modelo de Elevación ASTER GDEM*, con un tamaño de celda de 23 metros. Como su nombre lo indica, estos datos topográficos provienen de los datos tomados por el sensor japonés ASTER (Advance Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer), puesto en órbita por la NASA en el año 1999. Desde el año 2009, está disponible gratuitamente entre los 83° N y 83° S (un 99% de la superficie terrestre). Este modelo genera celdas de 23x23 metros y fue generado a partir de la correlación estereoscópica de imágenes

1.5.2 Visitas técnicas al área de estudio

Durante esta etapa, se realizó una visita técnica en el área de estudio, con énfasis en los siguientes objetivos:

1. Complementar y afinar la cartografía geológica existente, con particular detalle de las unidades geológicas más recientes.
2. Identificar los peligros geológicos reconocidos en el área.
3. Complementar y validar la información obtenida en la recopilación bibliográfica
4. Revisar la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales realizada.
5. Reconocer, caracterizar y medir dimensiones de los depósitos de remociones en masa.

La salida a terreno se realizó el 12 de marzo de 2012 con el objetivo de identificar los principales problemas que afectan al área de estudio. Durante esta visita se recorrieron los sectores urbanos de la comuna de Concón. La ruta recorrida y los puntos de control se encuentran ubicados en la FIGURA N° 1-3.

1.5.3 Inventario de información relevante para los Peligros Geológicos en el área de estudio

A partir de una revisión bibliográfica y mapeo geológico se creó el inventario de peligros geológicos.

1.5.3.1 Revisión histórica y bibliográfica

Se realizó una revisión metódica de los eventos geológicos que eventualmente signifiquen un peligro para la zona de estudio, estos son:

* Los datos ASTERGDEM fueron descargados desde: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

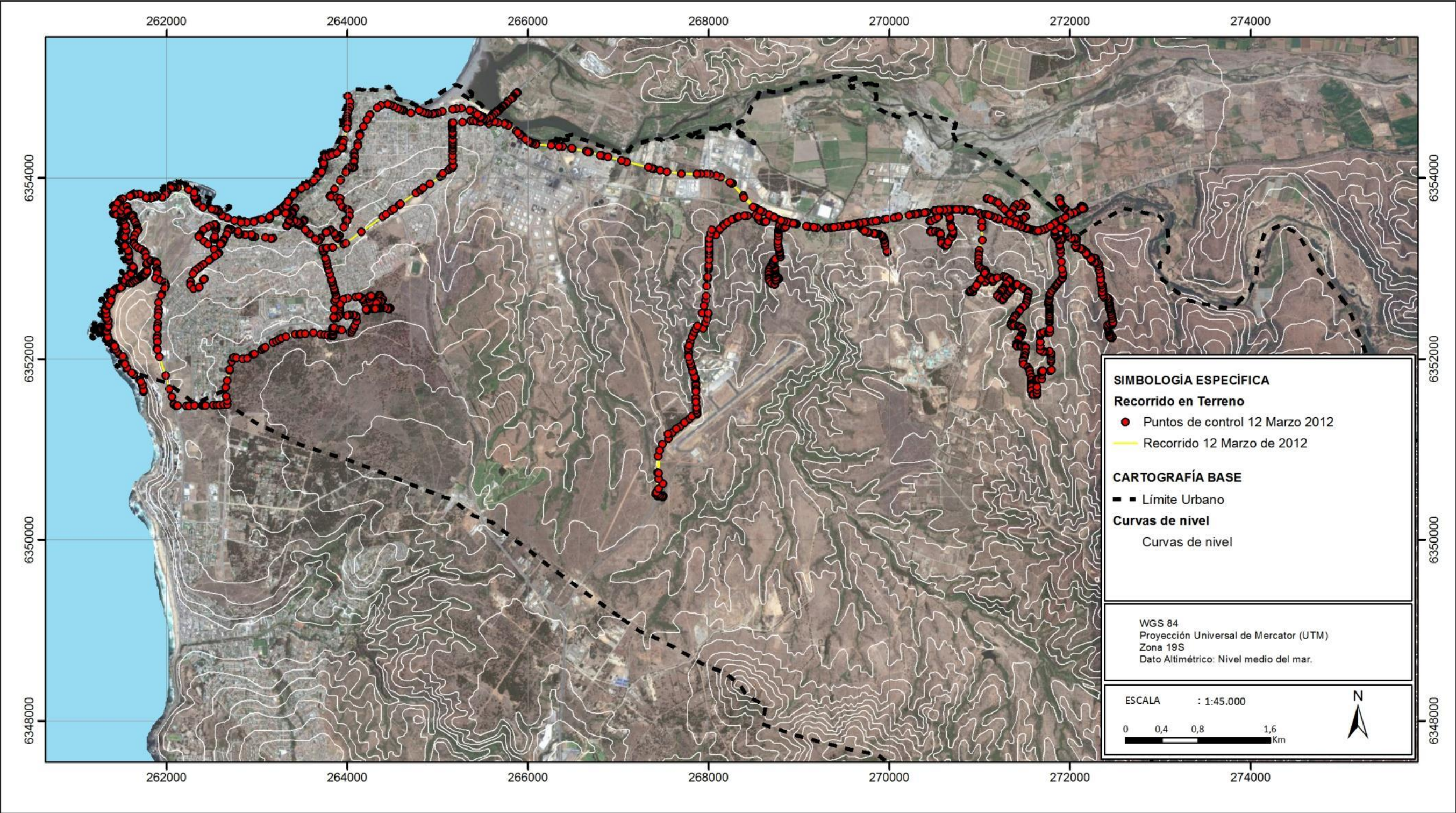
1. Actividad volcánica
2. Actividad sísmica
3. Maremotos
4. Inundaciones
5. Remociones en masa.

Esto con el objetivo de cuantificar y calificar la distribución temporal y espacial de dichos sucesos y así, con el factor histórico, acotar mejor las probabilidades de la ocurrencia de un suceso en un intervalo de tiempo y espacio determinados.

Para dicho efecto se revisaron los antecedentes históricos de publicaciones científicas. El trabajo de Ortlieb (1994) muestra que hay cierta correlación entre los años más lluviosos en Chile Central y los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation) de intensidad fuerte (F) a muy fuerte (MF++). La información recolectada es complementada con los trabajos científicos de Urrutia y Lanza (1993), Hauser (2000) y López et al. (2005).

Con respecto a los eventos de remoción en masa, se admite que estos ocurren con mayor frecuencia asociados a eventos sísmicos, volcánicos o producidos por altas intensidades de precipitaciones. Considerando lo anterior, se recopilaron datos de los procesos de remoción en masa a partir de la revisión bibliográfica de los eventos generadores.

FIGURA Nº 1-3 Rutas y puntos revisados durante los trabajos de terreno en Concón



Fuente: Elaboración propia

La generación del catastro de eventos sísmicos se realizó en base a recopilaciones históricas y de publicaciones científicas (Nishenko, 1985; COMTE *et al.*, 1986; Comte y Pardo, 1991; Comte *et al.*, 2002; Lara y Rauld, 2003; Urrutia *et al.* 1993). La base de datos de sismos utilizada para las representar los sismos históricos de la región es del National Earthquake Information Center (NEIC) del United States Geological Survey (USGS)². Esta base de datos corresponde a los sismos registrados en todo el mundo con los instrumentos de dicha institución, e instituciones asociadas, a partir del año 1973. El error asociado a dichos datos es del orden de 50 km, pero dada la cantidad de datos y la extensión temporal de su registro resulta útil para representar la sismicidad a escala regional.

1.5.3.2 Análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

Con el fin de identificar evidencias de peligros geológicos declarados, es decir peligros geológicos que en el pasado ya se han manifestado en el área de estudio, se realizó un análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Este análisis, además de apoyar el mapeo geológico y geomorfológico, permitió identificar una serie de rasgos, tales como depósitos y cicatrices de deslizamientos, los cuales se encuentran detallados en el Capítulo 5 “INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS”. Estos elementos evidencian que el área de estudio ha sido afectada por procesos de remoción en masa en el pasado, y además, permiten deducir algunas características y factores desencadenantes de estos fenómenos, información que fue utilizada para la estimación y modelado del alcance de estos procesos.

1.5.3.3 Catastro de Factores Condicionantes y Desencadenantes

Con el objetivo de determinar las áreas más susceptibles, se recopiló una serie de mapas de factores considerados condicionantes para la ocurrencia de un peligro geológico dado. Dentro de estos se encuentran:

1. Elevación, pendiente, curvatura dirección de drenaje de la ladera (exposición): Fueron elaborados a partir del DEM generado con las curvas de nivel cada 2 metros.
2. Litología: Corresponden al mapa geológico de Chile (SERNAGEOMIN, 2002) y al mapa geológico de Rivano *et al.* (1993) modificado en este trabajo.

Con respecto a los factores desencadenantes, se catastraron los registros sísmicos que se han reportado en el área de estudio.

² Disponible en línea en: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Peligros Geológicos en Chile

Chile, a lo largo de su historia, ha sido afectado por las más diversas catástrofes naturales. Prueba de ello son los numerosos mitos y leyendas aborígenes, donde se describen fenómenos naturales violentos. Estos desastres han impactado negativamente en la economía del país causando severos trastornos durante su desarrollo (Urrutia y Lanza, 1993).

La diversa geografía de Chile es producto de procesos geodinámicos tanto internos (endógenos) como externos (exógenos) de la tierra. Los procesos **endógenos** están determinados por la subducción de las placas Nazca y Antártica por debajo de la Sudamericana a lo largo de toda la línea de costa, lo que produce una gran actividad sísmica y volcánica (Uyeda y Kanamori, 1979, Mpodozis y Ramos, 1989, González-Ferrán, 1995). El resultado directo de la subducción son áreas montañosas que componen un 80% del paisaje. Esto reviste especial importancia pues las características orográficas constituyen factores de base de la mayoría de las amenazas naturales de nuestro país.

Por otra parte, los procesos **exógenos** están determinados por la diferencia latitudinal, la exposición de las grandes vertientes estructurales de la cordillera de Los Andes y de La Costa, el Fenómeno del Niño, la corriente de Humboldt y el anticiclón del Pacífico los cuales se combinan originando una complejidad climática que tiene una incidencia significativa en la generación de las catástrofes naturales que ocurren en Chile.

Desde el punto de vista humano, la localización de centros poblados bajo una escasa o nula planificación territorial estratégica que considere los riesgos naturales es una problemática vigente. Desde el punto de vista del potencial de organización para enfrentar los riesgos naturales, son escasas las oportunidades en que por iniciativa propia se hayan constituido Comités de Emergencia de pobladores, más bien, es el gobierno local el que ha motivado su constitución. La población misma debiera ser la más importante gestora de su seguridad (Larraín y Simpson-Housley, 1994).

En Chile, año tras año se producen desastres naturales en todo el territorio nacional. Esta historia marcada por sucesivas catástrofes llevó a la creación en Marzo de 1974 de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, ONEMI, que corresponde a un organismo técnico del Estado a cargo de la protección civil. Desde su inicio, la ONEMI tuvo una labor más bien reactiva, accionando y coordinando mecanismos de emergencia y ayuda luego de la ocurrencia de algún desastre. Sin embargo, por la falta de directrices frente a las necesidades actuales, en Marzo del año 2002 se aprobó el nuevo Plan Nacional de Emergencia que, aunque avanza en materia de metodologías, conceptualización y manejo de las situaciones antes, durante y después de un evento, sigue delegando a las Intendencias, Gobernaciones y Municipalidades (a través de sus comités de emergencia) la elaboración de estudios sobre riesgo.

2.2 Conceptos de Susceptibilidad, Peligros Geológicos y Riesgo

Los procesos geodinámicos producen modificaciones de diversas magnitudes en la superficie terrestre que constituyen peligros geológicos que afectan de forma directa o indirecta las actividades humanas. La **previsión** de estos procesos que consiste en la identificación de áreas con mayor posibilidad de ser afectadas por eventos geológicos peligrosos, es imprescindible para adoptar medidas de **prevención** y reducir su impacto sobre las edificaciones y la población (Ogura y Soares Macedo, 2000). Asociados a los peligros geológicos se reconocen cuatro conceptos principales: susceptibilidad, vulnerabilidad, amenaza o peligrosidad (hazard) y riesgo (risk).

La **susceptibilidad** se define como la **posibilidad** de que una zona sea afectada por un determinado proceso, y se expresa a través de distintos grados cualitativos y relativos. Depende directamente de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos de los materiales geológicos o controlados por un factor externo (precipitación, sismos, etc.). Para la construcción de mapas de susceptibilidad se utilizan los mapas de inventario, correspondientes a áreas que sufren o han sufrido determinados procesos, y mapas de factores condicionantes que favorecen o entorpecen el desarrollo de estos procesos. Además, los mapas de susceptibilidad apuntan a cubrir el peor escenario posible en el área de estudio.

Los distintos **elementos expuestos** (personas, infraestructura, actividades económicas) en zonas susceptibles son agrupados dentro del concepto de **vulnerabilidad**, que se define como el grado de daños o pérdidas potenciales como consecuencia de un fenómeno de una intensidad determinada.

El concepto de **amenaza o peligrosidad** (hazard*) corresponde a la **probabilidad de ocurrencia** de un proceso, con un nivel de intensidad determinado dentro de cierto período de tiempo y en un área específica. La estimación de la amenaza o peligrosidad implica necesariamente una consideración de la variable temporal, es decir, el período de recurrencia de un evento. Por otro lado, la amenaza para períodos de retorno infinitos tiende a ser similar que la susceptibilidad. Por lo anterior, y en consideración de que no se tienen datos suficientes para estimar períodos de retorno, se utilizarán mapas de susceptibilidad, que consideran solo las variables intrínsecas del material, para la zonificación de peligros geológicos.

Por otro lado, el concepto de **riesgo** (risk) se define como las potenciales pérdidas económicas (directas e indirectas) producto de la ocurrencia de un determinado fenómeno, en función de la amenaza determinada para una zona. En general el riesgo (R) se define como:

$$R = A \times C$$

Donde A corresponde a la amenaza o peligrosidad (probabilidad de que ocurra un evento dado en un período de tiempo) y C corresponde al costo (ya sea en vidas, valoración económica, metros de caminos, etc). La FIGURA N° 2-1 muestra la relación entre el conocimiento y la estimación de la susceptibilidad, amenaza y riesgo.

* La traducción literal corresponde a peligro, pero de acuerdo a la ONEMI y al proyecto Multinacional de Geociencias Andino (MAP-GAC) para evitar confusiones se utiliza Amenaza o Peligrosidad

En resumen, los peligros geológicos pueden analizarse desde el punto de vista de las condiciones intrínsecas del material (estudios de susceptibilidad o determinísticos) y desde el punto de vista de los factores desencadenantes de un fenómeno (estudios de amenaza o probabilísticos). Considerando que para un estudio probabilístico es necesario contar con set de datos históricos de los procesos desencadenantes, los que normalmente no se encuentran registrados de manera adecuada, y que para períodos de retornos infinitos los mapas de amenaza tienden a ser similares a los mapas de susceptibilidad, se considera que los mapas de susceptibilidad corresponden al escenario más conservador y a ser aplicado en la Planificación Territorial.

Finalmente, la **reducción** y **mitigación** de los riesgos vinculados a los diversos peligros geológicos presenta igual o mayor importancia que el manejo de las emergencias y la respuesta posterior al evento catastrófico. El desarrollo sustentable de la urbanización está directamente asociado a la reducción y mitigación de estos riesgos. La generación de conciencia a partir del conocimiento de los peligros y riesgos geológicos es fundamental para reducir y mitigar las consecuencias de estos eventos sobre la población (UN/ISDR, 2004).

FIGURA Nº 2-1 Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984)

3 PELIGROS GEOLÓGICOS A SER ESTUDIADOS

En este capítulo se detallan los peligros geológicos que potencialmente podrían afectar o han afectado al área de estudio, constituyendo un riesgo de catástrofe permanente o potencial, amenazando el emplazamiento de población.

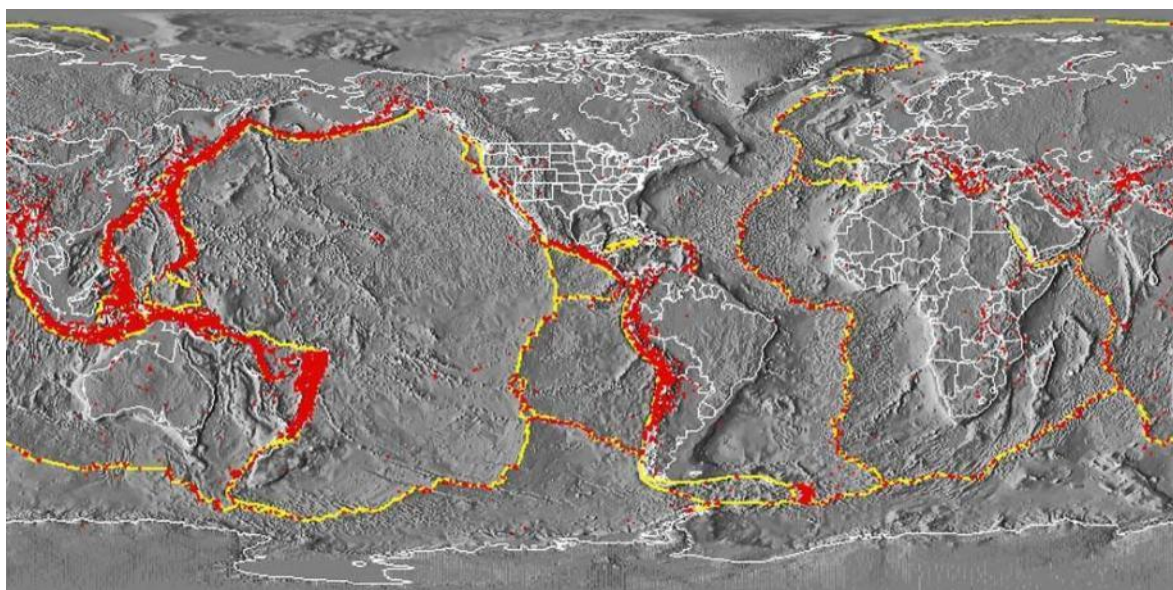
Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los procesos externos o exógenos (remociones en masa, inundaciones).

3.1 Procesos Internos o Endógenos de la Tierra

3.1.1 *Sismicidad*

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde occidental de la placa Sudamericana y se caracteriza por una intensa sismicidad debido a su convergencia con la placa de Nazca. En planta se aprecia una banda sísmica activa muy angosta (100-150 km) y de profundidad variable (~5-200 km) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. La FIGURA N° 3-1 ilustra la sismicidad mundial que resalta los márgenes de las placas tectónicas y muestra además, cómo Chile se encuentra en un ambiente de gran producción sísmica.

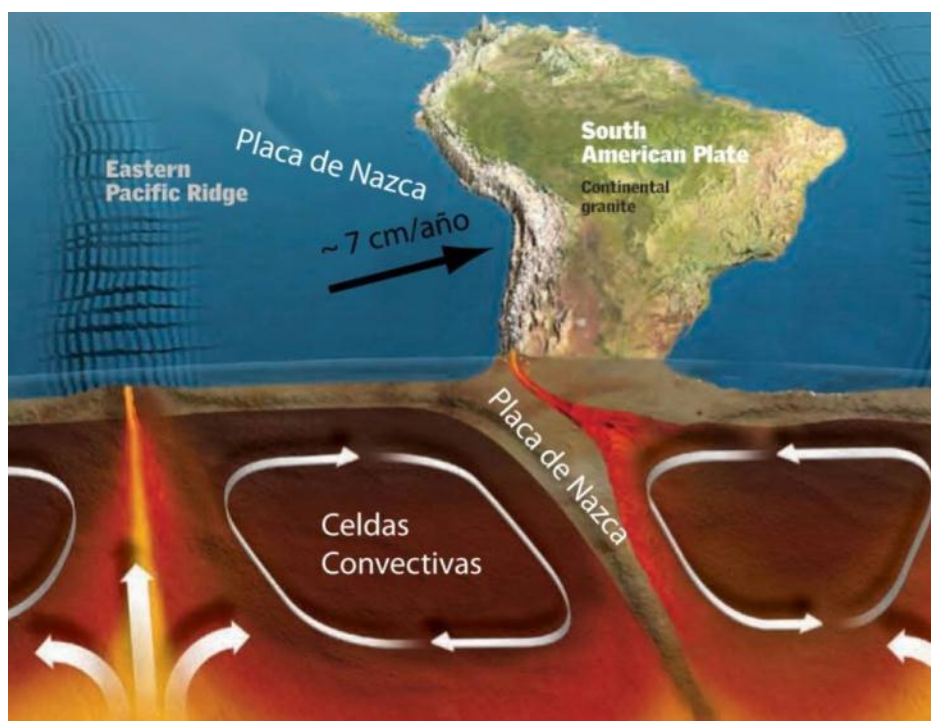
FIGURA N° 3-1 Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud >5. Nótese como la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo



Fuente: Western Washington University (2011)

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, et al., 1994). Una serie de fuerzas actúan sobre la Placa de Nazca, como por ejemplo el flujo convectivo de material del manto, que “mueve” a la placa en dirección al este generando la convergencia, o el mismo peso de la placa oceánica que “tira hacia abajo” esta placa, favoreciendo la subducción (FIGURA N° 3-2). Debido a sus distintas composiciones, la placa oceánica que es comparativamente más densa (de composición basáltica) tiende a introducirse bajo la corteza continental menos densa (de composición granítica). Las fuerzas que actúan sobre la interface entre ambas placas así como las de interacción entre las placas y el manto generan el llamado acoplamiento sísmico interplaca, el que puede entenderse como la resistencia al deslizamiento en la zona de contacto entre ambas. A mayor acoplamiento interplaca la capacidad de generar terremotos de gran magnitud aumenta (Scholz, 1990).

FIGURA N° 3-2 Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile



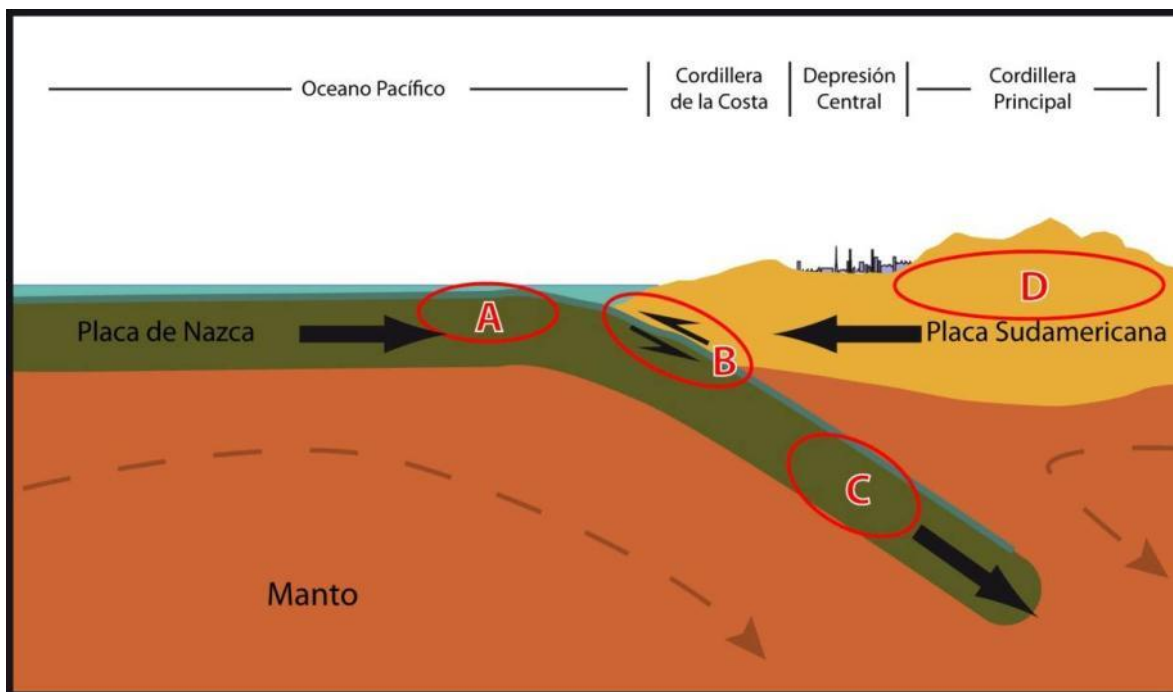
Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008)

El sistema de subducción, además de acumular energía que se libera por sismos de interplaca, genera campos de esfuerzos en la placa continental, en la oceánica y en la zona de acople entre ambas. El método para descargar la energía acumulada es a través de diferentes tipos de sismos, ejemplificados en la FIGURA N° 3-3, que corresponde a:

1. Zona A: Sismos “Costa afuera”, que se producen por los esfuerzos extensivos por abombamiento en la placa subductante antes de la zona de contacto. A pesar de llegar a tener magnitudes cercanas a $M_w = 6$, prácticamente no causan efectos significativos en áreas pobladas debido a su ocurrencia en zonas mar adentro.

2. Zona B: Sismos asociados al contacto interplaca, como los ocurridos en Antofagasta 1995, Chile Central 1985, Mejillones 2005 y Constitución-Concepción en el 2010. Estos son producto de la liberación de energía acumulada por la convergencia de placas.
3. Zona C: Sismos intraplaca de profundidad intermedia, como los sismos de Punitaqui 1997, Copiapó 2002, Calama 1950, Tarapacá 2005 y Chillán 1939. Se producen por el fracturamiento tensional de la placa de Nazca (la placa se quiebra por su propio peso).
4. Zona D: Sismos superficiales intraplaca, cómo los sismos de Las Melosas en 1958, Aroma en 2001, Curicó en 2004 y Aysén, 2007. Son producto del esfuerzo intraplaca inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve. En general, los sismos superficiales intraplaca se encuentran asociados a fallas superficiales que pueden tener movimientos normales, inversos y de rumbo, que responden a campos de esfuerzos compresivos o extensivos.

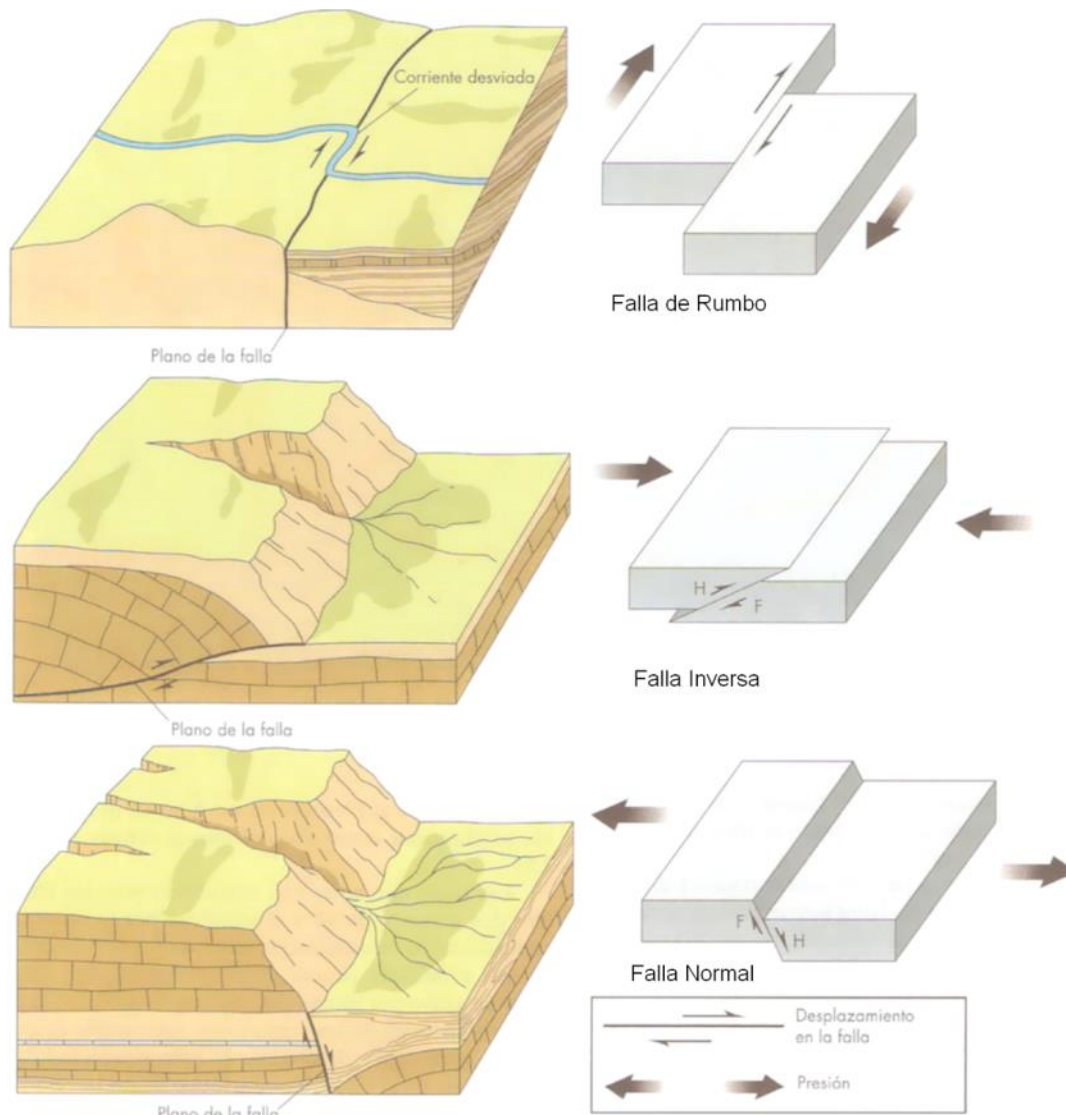
FIGURA N° 3-3 Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto)



FUENTE: Elaboración propia

Independientemente de la ubicación particular de uno u otro sismo, todos ellos corresponden a un desplazamiento violento paralelo al plano de falla que libera la energía acumulada en la interfaz. La energía que se acumula producto de la convergencia de placas, tanto en el contacto interplaca como en la corteza, en algún momento supera la resistencia de las rocas. En dicho instante se produce una ruptura que se propaga a través de un plano de falla, el que, de acuerdo a su geometría, generará diferentes tipos de movimientos (FIGURA N° 3-4). A su vez, esta ruptura conlleva una liberación de energía que se propaga por medio de ondas sísmicas.

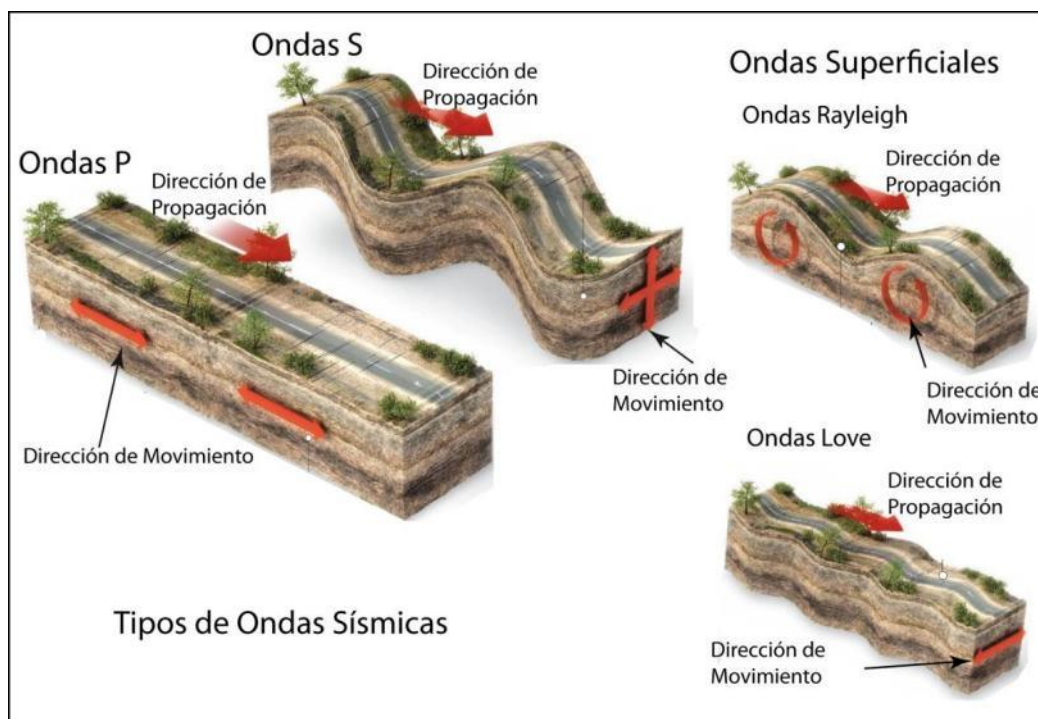
FIGURA N° 3-4 Tipos de Falla y esfuerzos asociados



Fuente: Keller y Blodgett (2004)

Las ondas que transmiten la energía sísmica se agrupan en dos tipos principales: ondas de cuerpo y ondas de superficie. Las primeras se dividen en ondas P (compresivas) y ondas S (ondas de corte o de cizalle), mientras que las segundas se dividen en ondas Rayleigh y Love (FIGURA N° 3-5). En las ondas P el movimiento de partículas se produce en forma paralela al de la propagación de la onda y en las ondas S es en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Las ondas Rayleigh tienen un movimiento oscilatorio elíptico y las ondas Love tienen un movimiento oscilatorio horizontal. Con respecto a su impacto en superficie, debido a que las ondas S transportan la mayor cantidad de energía y a que las ondas superficiales tienden a tener movimientos de mayor frecuencia, ambos tipos corresponden a los de carácter más destructivo del movimiento sísmico. Aun así, a medida que las ondas se alejan de la fuente van perdiendo o disipando energía, siendo cada vez menos destructivas, fenómeno que se conoce como atenuación.

FIGURA N° 3-5 Tipos de ondas sísmicas



Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008)

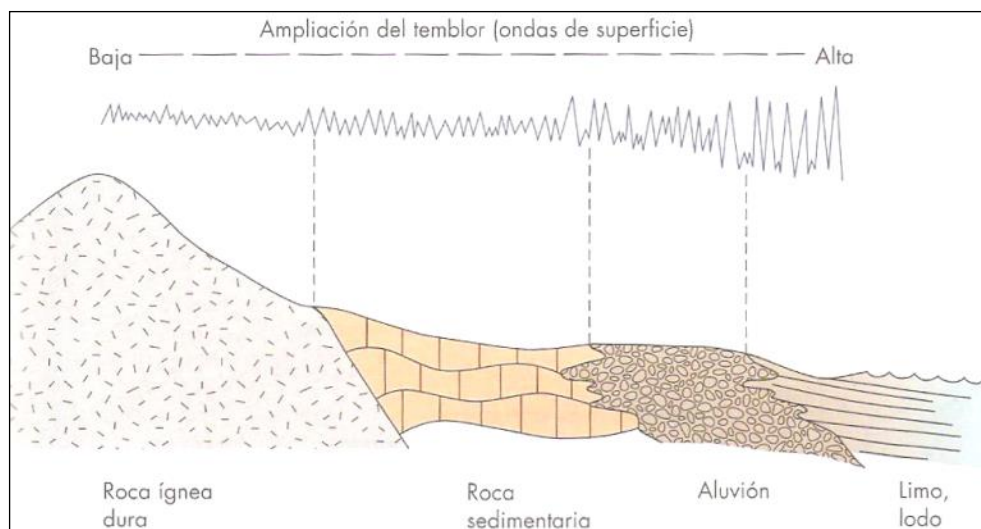
Para medir los sismos se utilizan, principalmente, dos escalas: *magnitud* e *intensidad*. La *magnitud* es una medida única y objetiva, que normalmente se relaciona con la escala de RICHTER (M_S). Actualmente para grandes sismos se utiliza la escala de magnitud de momento (M_W) que se calcula a partir del tamaño de la zona de ruptura y el desplazamiento medido para un sismo ocurrido, y da cuenta de la energía total liberada por el evento. La *intensidad* es una medida subjetiva del impacto de un sismo sobre la población, en términos de percepción humana del evento y sus efectos en la infraestructura. Este parámetro se mide en la escala de MERCALLI-CANCANI, denominada también como Modificada de Mercalli (M.M.).

Finalmente, debe destacarse el llamado “efecto sitio”, que indica un condicionamiento de carácter local bajo el cual para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde uno se encuentra ubicado, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto (FIGURA N° 3-6).

El principal efecto asociado a la ocurrencia de sismos son fuertes movimientos del terreno, que originan un peligro directo sobre las estructuras y sobre las personas, debido a las fuertes aceleraciones generadas por las ondas sísmicas. Sumado a lo anterior, la ocurrencia de estos fenómenos es generalmente sin previo aviso, por lo que la única manera de mitigar el riesgo es con campañas de educación y estrictas normas de construcción. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías. Esto implica en una alta vulnerabilidad estructural, económica y social. Particularmente con respecto a esta última se deben mencionar las potenciales pérdidas de vidas humanas y heridos por el derrumbe de estructuras, además de la vulnerabilidad a

enfermedades gastrointestinales y epidemias por el colapso de los sistemas sanitarios y de conectividad, entre los innumerables efectos adversos para la sociedad que provocan este tipo de fenómenos.

FIGURA N° 3-6 Amplificación de la vibración generada por un terremoto



Fuente: Keller y Blodgett (2004)

Más allá de los efectos directos mencionados anteriormente, los sismos pueden también inducir la ocurrencia de otros fenómenos, como es el caso de procesos de remoción en masa (caídas de bloques y deslizamientos), maremotos y licuefacción.

Los deslizamientos y derrumbes se dan en diversos tipos de suelos y bajo variadas condiciones sismotectónicas, incluso se han detectado en sismos de grado $M_w = 4.0$. La cantidad y severidad de estos están en directa relación con la cercanía al epicentro y la magnitud del evento causante (Keeper (1984); Sepúlveda, et al. (2005); (2010)). Sea cual sea su origen, los deslizamientos y derrumbes están asociados principalmente a tres factores: las pendientes del terreno, la resistencia mecánica de los materiales involucrados y antecedentes de eventos anteriores (Centeno, et al. (1994); Sancho (1997)). Para más detalle acerca de estos procesos ver el capítulo 3.2.2 "Procesos de Remoción en Masa".

Los maremotos o tsunamis corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energía y tamaño que se producen cuando algún fenómeno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua y en aproximadamente un 90% de los casos, estos fenómenos son provocados por terremotos. La energía de un maremoto depende de su altura (amplitud de la onda) y de su velocidad, y estará asociada a la magnitud del evento que lo generó.

Otro proceso que se asocia comúnmente a la actividad sísmica es la licuefacción del terreno, que corresponde al fenómeno donde un material sólido saturado en agua se comporta como líquido a causa de la intensa vibración. Las ondas sísmicas hacen aumentar la presión de agua presente en el sedimento, de forma que los granos de arena o limo pierden el contacto entre ellos causando una pérdida de resistencia del sólido y permitiendo que el depósito pueda fluir. Bajo estas condiciones, el

suelo puede perder su capacidad de soporte de estructuras, producir deslizamientos (incluso en superficies con muy bajas pendientes) y formar volcanes de arena. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías.

Para la ocurrencia de licuefacción se requiere de tres factores (Martin & Lew, 1999):

1. Depósitos o suelos, granulares poco consolidados (suelos y no cementados) de tamaño fino a medio (limo a arena, aunque en algunos casos se ha presentado en arcillas y en gravas). Típicamente pueden ser rellenos artificiales, especialmente aquellos creados por relleno hidráulico (ej. puertos y tranques de relaves), depósitos eólicos (dunas), depósitos de playas o de cursos de agua lo suficientemente jóvenes para estar sueltos. Los suelos con partículas de diferentes tamaños son menos propensos a sufrir licuefacción, debido a que las partículas menores tienden a rellenar los espacios entre las mayores, reduciendo así la tendencia a densificación del suelo y evitando los efectos del aumento de presión de agua. También influye la forma de las partículas que conforman el suelo, siendo un depósito de partículas redondeadas más susceptible de sufrir licuefacción.
2. Saturación de los depósitos por aguas subterráneas, el agua debe rellenar los espacios entre los granos de limo o arena. Puede producirse en zonas donde el nivel de agua subterránea es somero como en desembocadura de cursos de agua, humedales, pantanos, vegas y zonas costeras.
3. Fuertes movimientos sísmicos, durante los cuales las ondas sísmicas aumentan la presión del agua contenida en los depósitos. Cabe destacar, que todo Chile, en especial desde la península de Taitao al norte, tiene el potencial de ser afectado por grandes terremotos.

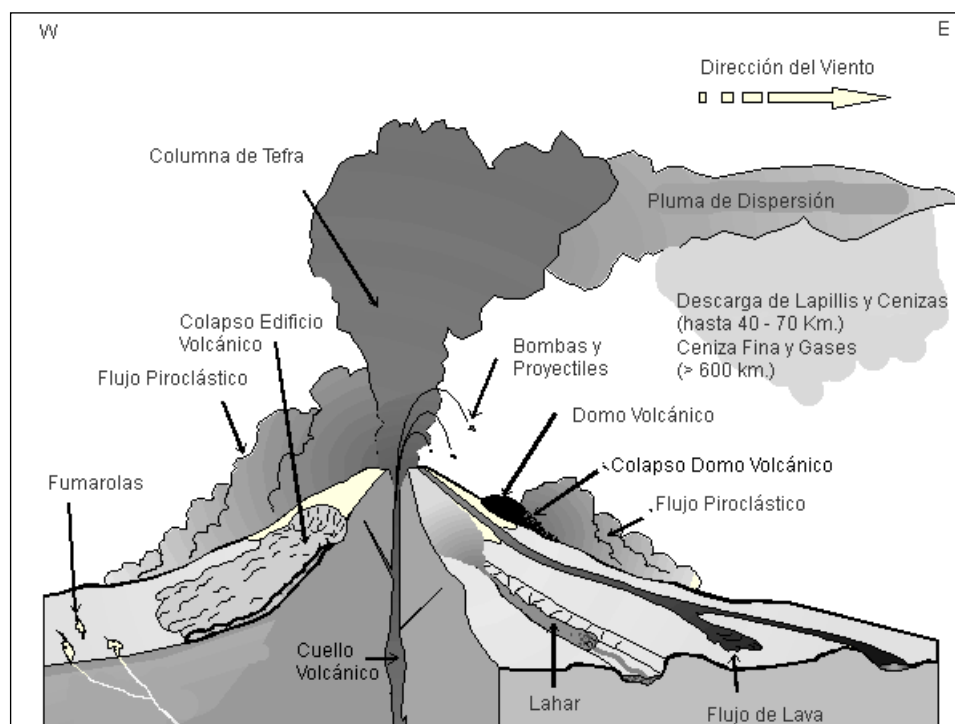
3.1.2 *Volcanismo*

El peligro volcánico deriva de los procesos asociados a la erupción de un volcán. En Chile el volcanismo activo se distribuye a lo largo de la Cordillera de los Andes, pero de forma discontinua. En la zona entre los 18° y 27°S y aquella al sur de los 33°S se ubica el volcanismo activo, mientras que entre los 27°-33°S está ausente. Los principales peligros asociados a una erupción volcánica se resumen en la FIGURA N° 3-7 y en el CUADRO N° 3-1.

La lluvia de ceniza y tefra se produce durante erupciones explosivas en las que una gran cantidad de material volcánico se inyecta en la atmósfera a gran altura, generando columnas de tefra, compuestas por piroclastos y gases. Estas columnas, ascienden velozmente alcanzando en pocos minutos alturas estratosféricas, siendo dispersadas por el viento y esparcidas las cenizas y piroclastos alrededor de una gran área. En caso de colapso de esta columna se producen flujos y oleadas piroclásticas que pueden alcanzar centenares de kilómetros, en función de la altura de la columna de tefra (energía potencial transformada en energía cinética) y la dirección del viento, generando grandes depósitos de ceniza y piroclastos incandescentes. Adicionalmente, es común que se produzca contaminación de aguas superficiales en todo el sector afectado por la caída de

cenizas, así como también de los acuíferos en los alrededores del volcán por la inyección de aguas hidrotermales, además del envenenamiento por dispersión de gases tóxicos hacia la atmósfera.

FIGURA N° 3-7 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán



Fuente: Myers y Brantley (1995)

Los flujos de lava se producen cuando material magmático se desplaza aguas abajo del centro de emisión. El alcance que tendrán estos flujos está determinado por la tasa de efusión (emisión del centro volcánico), la pendiente del terreno sobre el cual la lava escurre y la viscosidad de la lava. Además, en las cercanías del centro de emisión se producen comúnmente temblores de magnitud inferior a 6 en la escala de Richter (M_w), pero a poca profundidad (entre 1 y 20 km), los que están asociados a intensidades mayores a VI en las cercanías del epicentro. Estos sismos provienen de diversos procesos, tales como ascenso del magma y fracturamiento de la corteza, explosiones volcánicas y esfuerzos tectónicos compresivos y expansivos asociados al ciclo eruptivo (González-Ferrán, 1995).

Los procesos de remoción en masa asociados a una erupción volcánica se pueden clasificar en tres grandes grupos: lahares, colapso parcial o total del edificio volcánico y deslizamientos de laderas (González-Ferrán, 1995). Los lahares se producen por el brusco derretimiento de hielos y nieve durante una erupción volcánica. Corresponden a una mezcla de rocas fragmentadas preexistentes en las laderas de un volcán con materiales efusivos frescos y una gran cantidad de agua. Esta mezcla desciende aguas abajo a altas velocidades y de manera turbulenta, arrasando e incorporando a su flujo todo lo que encuentra en su trayecto (árboles, casas, etc.). Reportes históricos describen que las velocidades que alcanzan estos flujos van desde los 1,3 m/s hasta los 40 m/s, recorriendo decenas de kilómetros aguas abajo del valle, y en casos que la velocidad sea mayor a 150 Km/h pueden remontar barreras topográficas.

CUADRO N° 3-1 Peligros asociados al volcanismo

Peligro	Factores de Peligro	Tipo de Daño	Alcance	Condicionantes
<i>Lluvia de Tefra y Proyectiles Balísticos</i>	<i>Proyección de Bombas y Escorias Incandescentes</i>	Daños por impacto, incendios.	Alrededores del volcán (<10 km)	Tamaño de proyectiles. Mayor tamaño, menor alcance; menor tamaño, mayor alcance
	<i>Caída de Piroclastos y Dispersión de Cenizas</i>	Recubrimiento de cenizas, colapso de estructuras, daños a la agricultura, daños a instalaciones industriales y viviendas, problemas de tráfico aéreo, falta de visibilidad, contaminación de aguas.	Centenares de kilómetros	Dirección del viento
	<i>Flujos y Oleadas Piroclásticas</i>	Daños a estructuras, incendios, recubrimiento por cenizas.	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	<i>Gases</i>	Envenenamiento, contaminación aire y agua.	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	<i>Inyección de Aerosoles a la Estratósfera</i>	Impacto en el clima, efecto a largo plazo y/o a distancia.		Dirección del viento
<i>Lavas y Edificio Volcánico</i>	<i>Lavas y Domos</i>	Daño a estructuras, incendios, recubrimiento por lavas.	Alrededores del volcán (<10 km)	
	<i>Deformación del Terreno</i>	Fallas, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	
	<i>Terremotos y Temblores Volcánicos</i>	Colapso del edificio volcánico, remociones en masa, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología
<i>Remociones en masa</i>	<i>Lahares</i>	Daños a estructuras, arrastres de materiales, recubrimiento por barro.	Decenas a centenares de kilómetros	Red de drenaje
	<i>Colapso Parcial o Total del Edificio volcánico</i>	Daños estructuras, recubrimiento por detritos, avalanchas, tsunami inducido.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos
	<i>Deslizamiento de Laderas</i>	Arrastre de materiales, recubrimiento por detritos, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos
<i>Otros</i>	<i>Ondas de Choque</i>	Rotura de cristales y paneles.	Decenas de kilómetros	Dirección del viento y geomorfología
	<i>Variaciones en el Sistema Geotérmico de Acuíferos</i>	Cambios de temperatura y calidad del agua.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Red de drenaje

Fuente: Elaboración propia a partir de González-Ferrán (1995), Myers y Brantley (1995) y Sruoga (2002)

El colapso, total o parcial, del edificio volcánico puede producirse como consecuencia de una gran cantidad de energía liberada durante la erupción. Este proceso puede provocar tsunamis si ocurre en la cercanía de lagos o embalses, ya que puede producir el desplazamiento de volúmenes importantes de agua en pocos minutos generando olas destructivas de gran energía. Finalmente, asociado a la sismicidad producida por la erupción, pueden generarse deslizamientos de terreno en la cercanía del centro eruptivo, lo que puede dar paso a flujos de barro y/o detritos aguas abajo.

El impacto en la población y sus actividades es muy alto en las cercanías de los centros volcánicos, ya que los procesos asociados a una erupción (caída de ceniza, flujos piroclásticos, contaminación de aguas superficiales), pueden generar grandes catástrofes en la vida diaria e infraestructura de las comunidades. Los efectos más directos para la población, aunque la erupción se encuentre a distancia, son:

1. Pérdida de tierras cultivables
2. Colapso de techos y obras civiles
3. Pérdidas de vidas humanas y forraje
4. Contaminación de aguas y problemas sanitarios derivados.

Se debe destacar que, la duración de una catástrofe por actividad volcánica puede ser considerable dado que un ciclo eruptivo puede extenderse por meses o años (por ejemplo, el ciclo eruptivo del volcán Chaitén), y pueden afectar grandes áreas de terreno, como por ejemplo la erupción del volcán Quizapú en el año 1932, cuya pluma de ceniza alcanzó la ciudad de Johannesburgo, Sudáfrica o la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle en curso (noviembre 2011), cuya pluma de ceniza dio la vuelta al mundo.

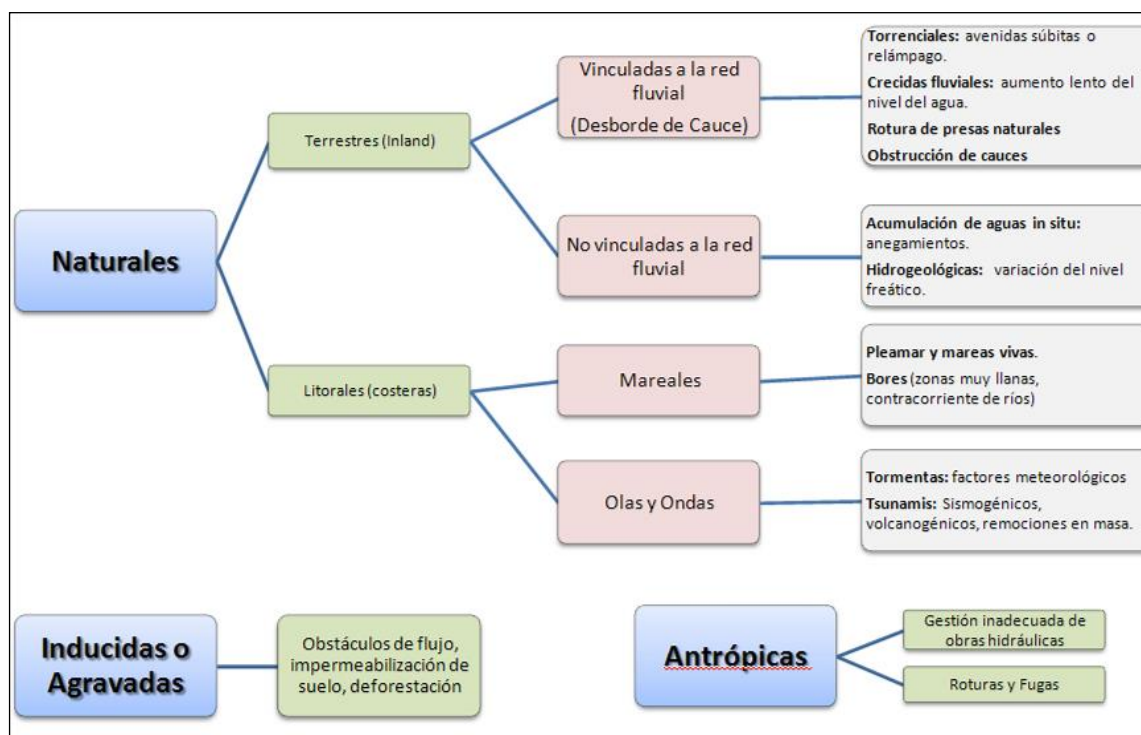
3.2 Procesos Exógenos o Externos de la Tierra

3.2.1 *Inundaciones Terrestres y Litorales*

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (FIGURA N° 3-8): (1) terrestres, en el sentido de “tierra adentro”, en las que aguas dulces anegan territorios al interior de los continentes, y (2) litorales o costeras, en las que aguas marinas o lacustres-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre. Los procesos de inundación pueden originarse por varios factores, tales como lluvias intensas durante temporales, pero también pueden originarse por colapso o desbordamiento de represas y canales, marejadas en zonas costeras, o como afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas.

Cabe notar que existe una estrecha relación entre los fenómenos pluviométricos estacionales y los fenómenos de avalanchas, rodados, aluviones o erosiones. Los últimos se ven acentuados por el aumento de la capacidad de arrastre de material, por inundación y por desborde de cauces, todos ellos asociados a la activación de quebradas por lluvias ocasionales y que ponen en riesgo a la población en los alrededores.

FIGURA N° 3-8 Clasificación de los tipos de inundaciones



Fuente: Modificado de Díez-Herrero, et al. (2008)

A continuación se presenta una breve descripción de los distintos tipos de inundaciones.

3.2.1.1 Inundación por Desborde de Cauces

Como su nombre lo indica, estos tipos de fenómenos ocurren cuando ríos o esteros desbordan su cauce natural anegando las terrazas fluviales laterales o adyacentes, debido a la ocurrencia de caudales extremos. Estos fenómenos se producen generalmente debido a eventos de precipitaciones líquidas intensas y/o prolongadas en el tiempo. Los valores que pueden alcanzar los caudales, así como el tamaño del cauce, dependen también de otros factores como del área de la cuenca correspondiente, su forma, la diferencia de cota, la presencia de rocas o sedimentos permeables, etc.

Para este tipo de inundaciones, se pueden identificar dos tipos principales de cauces:

1. Perennes: ríos o esteros con cuencas que abarcan grandes áreas y que tienen sus cabeceras en zonas cordilleranas. Aunque no presenten necesariamente una escorrentía superficial continua, se consideran como perennes dado que la mayoría del flujo escurre en el acuífero ubicado bajo la superficie. Estos presentan cauces de gran extensión, bien definidos, con diferentes niveles de terrazas fluviales, y fácilmente identificables a partir del análisis estereoscópico de fotos aéreas. Las terrazas más altas generalmente están ocupadas por actividades agrícolas o asentamientos humanos.

2. Intermitentes: Esteros y quebradas de escurrimiento temporal como consecuencia directa de precipitaciones intensas. En general, algunas de estas quebradas pueden presentar amenaza por fenómenos de remociones en masa del tipo flujos de detritos, existiendo una estrecha relación entre estos fenómenos e inundaciones por escorrentía torrencial de gran velocidad. Como se explicará posteriormente, los flujos de detritos, al perder su carga sólida, van transformándose paulatinamente en inundaciones torrenciales. Normalmente no existen estaciones fluviométricas en estos cauces, por lo que la estimación de caudales máximos se debe hacer con modelos matemáticos y estadísticas de precipitaciones máximas de gran intensidad.

Los efectos en la población y sus actividades estarán dados por:

1. Tiempo de aviso: En general, las inundaciones por desborde de cauce tienen un tiempo de aviso suficiente, ya que los procesos de inundación son paulatinos y permiten evacuar a la población.
2. La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
3. Densidad de población: En caso de que la población se encuentre directamente en la zona de inundación y no sea evacuada oportunamente, pueden ocurrir muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales, etc. Si la inundación no afecta directamente a la población, puede producir cortes de camino, daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destruir captaciones de agua para el consumo humano) con un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

3.2.1.2 Inundación por Acumulación de Aguas Lluvias en Zonas Llanas, o Anegamiento

Este tipo de inundaciones se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas. Este tipo de inundaciones se asocia a la zona de desembocadura de algunas quebradas, las que son “embalsadas” por caminos y obstrucciones antrópicas. Estas barreras no permiten que el río escurra fácilmente hacia el mar, sino solo de forma subterránea, provocando el ascenso de los niveles freáticos y la formación de zonas pantanosas y humedales. Sólo en eventos de pluviosidades extremas, el caudal transportado por las quebradas tiene la suficiente fuerza para romper esta barrera, atravesándola y provocando inundaciones por desborde de cauces.

En las zonas urbanas consolidadas, las acumulaciones de aguas lluvia ocurren especialmente en cruces viales, donde la evacuación de las aguas lluvias es insuficiente, ya sea por el colapso de los sistemas de colección, acumulación de basuras que obstruyen los desagües, la no existencia de redes de evacuación y vialidad pavimentada, por la diferencia de nivel de las carpetas de rodado en las intersecciones de las calles existentes, o por diseñar las obras de mitigación para un período de retorno no adecuado.

El grado de daño producido por una inundación, dependerá de varios factores:

1. Tiempo de aviso: Los sistemas de emergencia y aviso a la población disminuyen considerablemente la vulnerabilidad social. Por lo demás, en general los procesos de inundación son paulatinos y permiten evacuar a la población.
2. La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
3. Densidad de población: En caso de que la población se encuentre directamente en la zona de inundación, pueden ocurrir muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales, etc. Si la inundación no afecta directamente a la población, puede producir cortes de camino, daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destruir captaciones de agua para el consumo humano) o un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

3.2.1.3 Inundaciones Costeras asociadas a maremotos

Los tsunamis o maremotos corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energía y tamaño que se producen cuando algún fenómeno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua. Se conocen tres orígenes posibles:

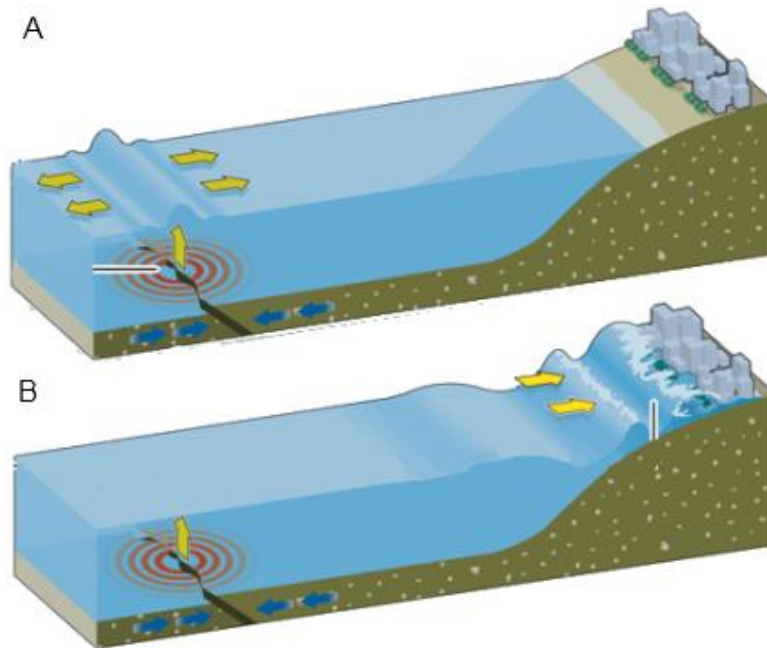
Maremotos generados producto de un sismo mayor: durante un terremoto se genera una rápida elevación o hundimiento del fondo marino, provocando un gran movimiento vertical de agua que es propagado en forma de olas que se alejan radialmente desde la zona de ruptura, movimiento que puede considerarse lineal (FIGURA N° 3-9). A diferencia de las olas generadas por el viento, en las cuales las partículas tienen un movimiento circular ondulante, las olas generadas por un maremoto fluyen en línea recta hacia adelante (FIGURA N° 3-10).

Se pueden definir dos tipos de maremotos: (1) los de “origen cercano”, donde la población siente el terremoto que generará el maremoto, y (2) los de “origen lejano”, donde la población no es alertada por un movimiento sísmico previo al arribo del maremoto. Se debe recalcar que, aun cuando los maremotos están generalmente relacionados a sismos de magnitud mayor a 8.0° con un epicentro bajo la superficie marina ésta no es la única forma de generación de este tipo de fenómenos.

Maremotos generados por erupción volcánica submarina: Se producen por erupciones volcánicas submarinas, las que generan un pulso de agua vertical que es disipado en forma de olas (FIGURA N° 3-11). Cómo la generación es puntual, la energía liberada es menor a la generada por sismos.

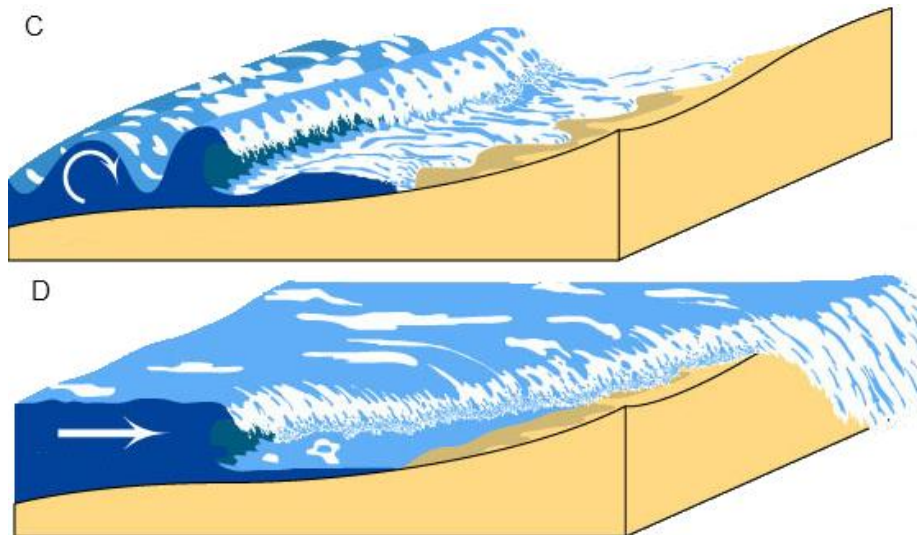
Maremotos generados por deslizamientos: Corresponden a deslizamientos submarinos o superficiales, que generan perturbaciones en el nivel del mar o en lagos (FIGURA N° 3-12). Ejemplos de este tipo se han registrado en el fiordo de Aysén asociado al ciclo sísmico desarrollado durante abril de 2007 ((Sepúlveda & Serey, 2009).

FIGURA N° 3-9: Mecanismo de formación de un maremoto asociado a un terremoto cuyo epicentro es submarino. A. Sismo genera un pulso vertical que mueve las aguas superficiales. B. Corresponde al momento en que arriba la onda a las costas



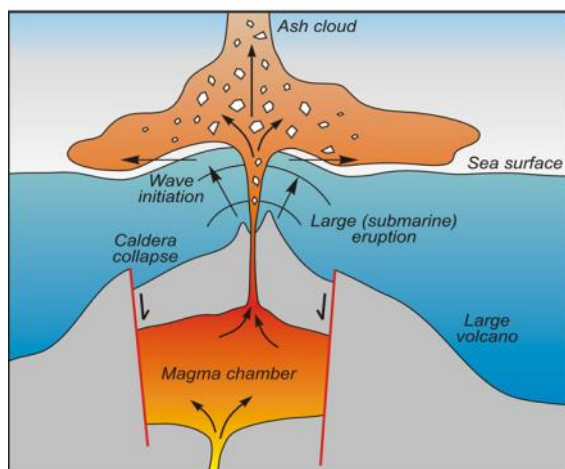
Fuente: Modificado de Keller y Blodgett, (2004)

FIGURA N° 3-10: Comparación entre olas generadas por el viento y el frente de olas de un maremoto



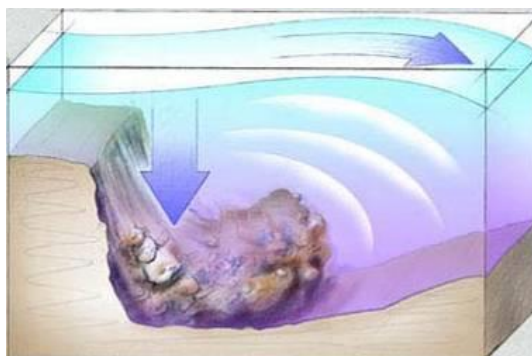
Fuente: Modificado de Department of Earth and Space Sciences, University of Washington, en <http://www.ess.washington.edu/tsunami/images/tsulg.jpg>

FIGURA N° 3-11: Mecanismo de generación de maremotos por erupciones volcánicas submarinas



Fuente: Tomado de Natural Resources of Canadá, de
http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/environment/naturalhazards/tsunami/fig4_tsunami_volcano_eruption.jpg

FIGURA N° 3-12: Mecanismo de generación de maremotos asociado a deslizamientos



Fuente: Tomado de Universidad de Santa Cruz, California.
<http://scicom.ucsc.edu/scinotes/9901/kill/images/slidesfinal.jpg>

La propagación del frente de ondas del maremoto se produce superficial y concéntricamente, similar al efecto en la superficie de un estanque de agua al lanzar una piedra. En aguas abiertas, la altura de la ola es casi imperceptible (menores a un metro) y se desplaza a velocidades que llegan a los 800 km/h, pero esta velocidad disminuye a menos de 60 km/h al acercarse las olas al continente transformando así la energía cinética (velocidad) en energía potencial (altura de ola). La altura máxima de la ola (medido sobre el nivel medio del mar) y su penetración en el continente estará condicionada por la distancia al epicentro del terremoto, así como también por la morfología, pendiente y profundidad del fondo marino, pudiendo alcanzar hasta 30 metros de elevación sobre el nivel del mar en el continente.

Aún cuando la mayoría de los maremotos son generados por sismos, su impacto e intensidad están determinados en primer lugar por la topografía submarina del sitio donde se produce el sismo (por

ejemplo, profundidad y consistencia del suelo marino). De esta forma, según los estudios científicos, se sabe que ante un temblor de epicentro poco profundo y cuya intensidad sea inferior a los 6.4 grados en la escala de Richter, existen pocas probabilidades de que se genere un maremoto. Aquellos con magnitudes superiores a los 7.5 grados son los principales causantes de maremotos de alto riesgo.

Dadas estas características, es preciso señalar que los maremotos son muy frecuentes en el Océano Pacífico, pues el margen de su cuenca oceánica se distribuyen alberga en conjunto una de las zonas con mayor actividad sísmica en el planeta: el Cinturón de Fuego del Pacífico (ver capítulos 4.1 Marco Geodinámico y 3.1 Procesos endógenos de la Tierra-*Sismicidad*). Basta decir que por ejemplo, entre los años de 1900 y 1986, fueron registrados en esta cuenca 247 maremotos de los cuales 29% incidieron en las costas japonesas.

Se han definido diversas escalas para medir la magnitud e intensidad de los maremotos. Una de las más conocidas es la escala Inamura (1942, 1949) que en función de la altura de las olas y los daños que estas producen en la costa clasifica el impacto y la intensidad de estos fenómenos, de manera similar a la medición de la Escala de Mercalli de los eventos sísmicos (CUADRO N° 3-2).

CUADRO N° 3-2 Escala de grados de maremotos según Inamura (1942, 1949)

Grado de maremotos m	Altura de la ola H (en metros)	Descripción de los daños
0	1-2	No produce daños.
1	2-5	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5-10	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10-20	Daños extendidos a lo largo de 400km de la costa.
4	>30	Daños extendidos sobre más de 500km a lo largo de la línea costera.

Posteriormente, Iida (1963)) relacionó la energía liberada por un terremoto con la energía del maremoto asociado, estimando el desplazamiento vertical de agua de este último (CUADRO N° 3-3). Esta metodología en, en términos generales, análoga a la escala de Richter (que mide la magnitud del sismo) con la energía del maremoto. Por último, Wiegel (1970) combinó las escalas de Inamura e Iida con lo cual logró identificar y diferenciar con mayor claridad la magnitud de un maremoto (CUADRO N° 3-4).

CUADRO Nº 3-3 Escala de grados de maremoto según lida (1963)

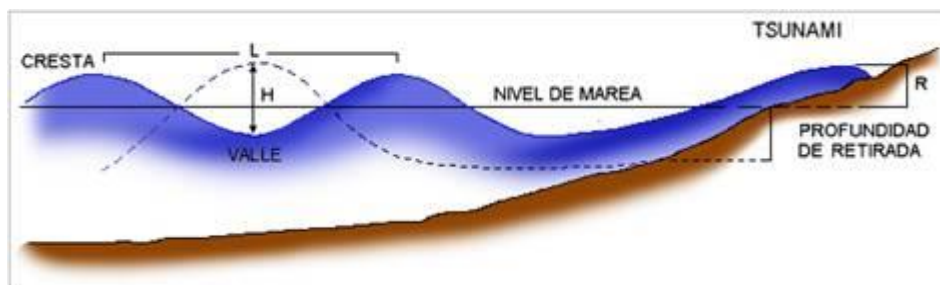
Grado de maremoto m	Energía (Erg) x 10 ²³	Máxima altura de inundación R (metros)
5.0	25.6	> 32
4.5	12.8	24 - 32
4.0	6.4	16 - 24
3.5	3.2	12 - 16
3.0	1.6	8 - 12
2.5	0.8	6 - 8
2.0	0.4	4 - 6
1.5	0.2	3 - 4
1.0	0.1	2 - 3
0.5	0.05	1.5 - 2
0.0	0.025	1 - 1.5
-0.5	0.0125	0.75 - 1
-1.0	0.006	0.50 - 0.75
-1.5	0.003	0.30 - 0.50
-2.0	0.0015	< 0.30

CUADRO Nº 3-4 Escala de grados de maremoto según Inamura e lida; transcrita por Wiegel (1970)

Grado maremoto m	Altura de la ola H (metros)	Altura máxima de inundación R (metros)	Descripción de los daños.
0	1 - 2	1 - 1.15	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 400km de la costa.
4	> 30	16 - 24	Daños extendidos sobre más de 500km a lo largo de la línea costera.

Los parámetros considerados por Wiegel (1970) son los siguientes (FIGURA Nº 3-13): la altura de la ola (H) como la diferencia de nivel entre la cresta y el valle; altura máxima de inundación (R), corresponde al lugar de la costa donde los efectos del maremoto son mayores.

FIGURA Nº 3-13 Elementos básicos considerados en la escala de Magnitud Inamura-lida definida por Wiegel



En resumen, los efectos de un maremoto a lo largo de una línea costera dependerán de la magnitud del sismo o manifestación que lo origina, la topografía del suelo marino a lo largo y ancho de la zona de propagación del maremoto (existencia de arrecifes, malecones, etc.), la distancia de la costa al

epicentro, y la orientación y forma de la bahía afectada respecto al epicentro. Existen relaciones directas entre la magnitud del sismo y del maremoto: a mayor magnitud del sismo, mayor el tamaño de la ola. Sin embargo, de acuerdo a la morfología de la costa, la extensión de la inundación puede crecer o verse disminuida, variar en los tiempos de llegada a puerto, o simplemente perder energía y afectar a la costa con menor intensidad.

El daño en el continente será proporcional a población que habita y a la infraestructura presente en la zona afectada, y puede verse amplificado en aquellas zonas de la costa que actúan como concentradoras de la energía de maremotos, esto es, aquellos sectores con líneas de costa que presenten cañones submarinos como la desembocadura de los grandes ríos hacia el mar y en bahías.

- 1) Tiempo de Aviso: Lamentablemente, el daño a la infraestructura es inevitable, pero puede salvarse una cantidad considerable de vidas si de alerta adecuadamente a la población.
 - a. Maremoto de origen cercano: es de aproximadamente 15 minutos a una hora si el sismo fue percibido por la población, la que debe dirigirse hacia los sectores altos inmediatamente después de ocurrido el terremoto.
 - b. Maremoto de origen lejano: el tiempo de aviso puede ser nulo si no se activa una alerta de maremoto de origen lejano, como el ejemplo presentado de la Península de Kamchatcka o los eventos ocurridos en el océano Índico durante el 2004.
- 2) La distancia al origen del maremoto, así como la morfología, pendiente y profundidad del fondo marino. En este sentido, científicos japoneses han determinado que a menor pendiente de la ola (relación entre altura y longitud de onda), mayor será la altura máxima de inundación. Por ello, una costa que presente una plataforma continental escalonada (como si fuera una gran escalera), reduce la energía cinética del maremoto y con ello sus potenciales riesgos; mientras que una línea costera con una plataforma continental de pendiente suave permite que la energía del maremoto sea recibida en su totalidad.
- 3) El daño será proporcional a la población y la infraestructura presente en la zona afectada y puede verse amplificado en aquellas zonas de la costa que actúan como concentradoras de la energía de maremotos, esto es, aquellos sectores con líneas de costa que presenten cañones submarinos, como la desembocadura de los grandes ríos hacia el mar y en bahías.

3.2.2 *Procesos de Remoción en Masa*

El término “remoción en masa” incluye una amplia variedad de procesos que generan el movimiento aguas abajo de los materiales que constituyen las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores (FIGURA N° 3-14). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007).

3.2.2.1 Desprendimientos o Caída de Rocas

Los desprendimientos o caída de rocas son remociones en masa en las cuales bloques de rocas o suelo se desprenden a partir de laderas de altas pendientes, como cornisas o acantilados rocosos, para luego desplazarse en caída libre, al menos en parte de su trayectoria (Hauser, 2000).

Normalmente, las superficies de rotura corresponden a planos de estratificación, cuya inclinación es superior a su ángulo de fricción interna, con proyección libre a la cara del talud. Entre las zonas susceptibles a sufrir desprendimientos o caídas de rocas destacan los flancos de quebradas profundas, labradas en secuencias estratificadas con niveles más duros hacia el techo, expuestas a erosión fluvial, o acantilados costeros expuestos a erosión marina.

La gravedad es el principal motor del peligro de caída de rocas. Como éste es un proceso gravitacional depende de leyes de fricción y es, por consiguiente, caótico. Dentro de los factores desencadenantes destacan los grandes sismos que pueden generar numerosos desprendimientos a partir de laderas con fuerte inclinación y con condiciones geológicas y estructurales favorables.

La caída de bloques o desprendimientos, puede producir una serie de efectos en personas, desde contusiones menores hasta la muerte, dependiendo del tamaño del bloque y la fuerza con que éste cae. En el caso de estructuras, por lo general los daños son casi nulos, pero puede producirse la rotura de vidrios o daños a muros en función del tamaño del bloque y la distancia recorrida por éste. Además, al caer un bloque en el camino puede producirse un accidente debido a maniobras de conducción para evitarlo.

En general, este peligro presenta una vulnerabilidad social, económica y estructural menor que otros peligros geológicos. Además, afecta a escala local, pero tiene una mayor incidencia debido a que su recurrencia es alta. En este peligro, el tiempo de aviso es mínimo, pero se puede mitigar indicando que la zona es susceptible a ser afectada por caída de bloques.

3.2.2.2 Deslizamientos

Los deslizamientos son remociones en masa en las cuales las masas de suelo o roca se deslizan principalmente a lo largo de superficies de ruptura, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en su conjunto (Hauser, 2000). Los volúmenes incluidos en estas remociones varían desde algunas decenas hasta varios millones de metros cúbicos y pueden adquirir magnitud catastrófica.

Estos fenómenos pueden ocurrir de varias formas dependiendo de las propiedades del material y las características geológicas y geomorfológicas del entorno, siendo principalmente divididos en rotacionales y traslacionales (FIGURA N° 3-15). Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

Estos fenómenos incluyen los deslizamientos que ocurren durante el retroceso de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, en especial al desarrollo de terrazas de abrasión. Este proceso es causado por la fuerza de las olas, las que cavan cavernas y desestabilizan el bloque superior, provocando que éste caiga por su propio peso (FIGURA N° 3-16). Ello produce además que el acantilado costero se encuentre en constante retroceso, lo que permite definir como zona de alta susceptibilidad todas las áreas cercanas al acantilado costero. Los mismos procesos de erosión ocurren en valles con erosión fluvial activa.

FIGURA N° 3-14 Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera

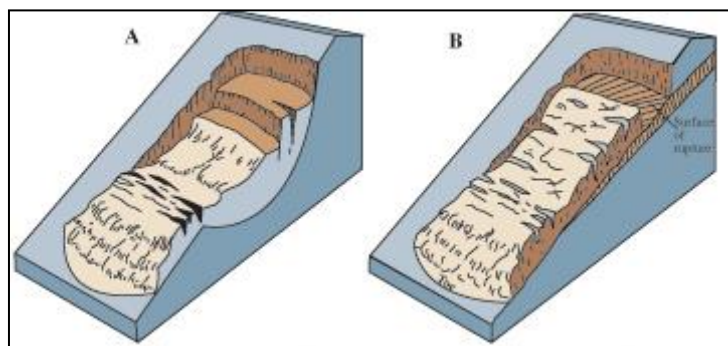
Material		ROCA	DETRITO	SUELO
Tipo de movimiento				
CAIDA				
DESIZAMIENTO	Rotacional			
	Traslacional (planar)			
PROPAGACION				
FLUJO				
COMPLEJO				

Fuente: Clasificación utilizada por el British Geological Service, modificada de (Varnes, 1978) y (Cruden & Varnes, 1996). Disponible en: http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

Los factores condicionantes de un deslizamiento corresponden principalmente a: los factores intrínsecos del suelo y la roca, las características geológicas (litología, estructuras, grado de alteración y meteorización, etc.), los factores geomorfológicos (pendiente, aspecto, curvatura, elevación, entre otros), la cantidad y tipo de vegetación y el grado de humedad y posición del agua subterránea.

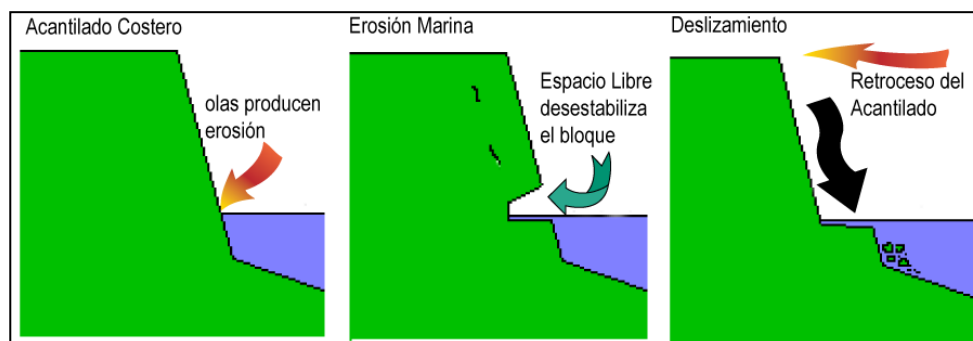
Por otro lado, estos fenómenos pueden ser generados por factores externos, denominados factores desencadenantes o gatillantes, tales como eventos hidrometeorológicos, sísmicos y actividad antrópica (excavaciones para caminos, canales, terraplenes, etc.).

FIGURA N° 3-15 Ejemplos de deslizamientos. A. Deslizamiento Rotacional, B. Deslizamiento traslacional



Fuente: Modificado de Landslide Types and Process, USGS. Fact Sheet 2004-3072. Disponible en:
<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/Fig3grouping-2LG.jpg>

FIGURA N° 3-16 Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión



Fuente: Elaboración propia

Los daños en el medio antrópico producto de un deslizamiento que afecta a un área determinada, estarán dados por el volumen de material desplazado durante el proceso y la velocidad con la que se produce el deslizamiento. El grado en que un deslizamiento afecta a la población depende de:

1. Distancia al origen del fenómeno: Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m). Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.

2. La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno: En general, dado que estos procesos son de alta velocidad los daños potenciales son altos.
3. Densidad de población: A mayor densidad de población y área expuesta susceptible de ser afectada, mayores serán los daños esperados. Si la población se encuentra directamente en el área de alcance de un deslizamiento, la vulnerabilidad, estructural y económica es muy alta ya que la pérdida de vidas, viviendas y productividad son efectos típicos de este peligro geológico. Por otro lado, si un deslizamiento afecta a caminos, acueductos o líneas eléctricas puede producir aislamiento, enfermedades gastrointestinales y pérdidas económicas en general para la población.
4. Tiempo de aviso: Sin estudios de detalle no hay forma de predecir este tipo de procesos. Si se realizan estudios específicos, es posible conocer el o los factores gatillantes de las remociones en masa en un área determinada. Si estos factores gatillantes pueden ser monitoreados, es posible generar sistemas de alerta. Por ejemplo, si el factor gatillante son las precipitaciones sobre un cierto nivel umbral de intensidad, es posible generar sistemas de alerta que se activen cuando se sobrepasa dicho umbral.

3.2.2.3 Flujos de Detritos y Barro

Los flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones', son remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos viscosos de sedimentos concentrados (Antinao, et al., 2002). Los flujos de detritos usualmente son descritos como fluidos no-newtonianos o plásticos de Bingham, donde la fracción sólida varía generalmente entre 50 a 90% en volumen (Costa, 1984). En los casos en que la granulometría del material transportado sea predominantemente fina estos flujos se conocen como flujos de barro.

Las partículas sueltas que cubren pendientes denudadas y otros depósitos detríticos no consolidados, disponibles dentro de la cuenca de recepción, son transportadas hacia el cauce principal donde continúa su movimiento. Se remueven así depósitos de gravas y arenas sueltas del lecho, hasta alcanzar el área de depositación, que corresponde al sitio de salida de dichas quebradas a zonas más llanas donde se forman abanicos aluviales. Con la disminución de la pendiente, a medida que aumenta la distancia desde su fuente, los flujos van perdiendo su carga sólida de mayor granulometría, por lo que van pasando paulatinamente a flujos de barro y finalmente a inundaciones o flujos hiperconcentrados donde la fracción sólida varía generalmente entre 1 a 25% en volumen (Pierson & Scott, 1985).

Para la ocurrencia de flujos de detritos es necesario que exista una cuenca donde se colecten los aportes de lluvia y una zona de acumulación de material donde los detritos se acopien para ser posteriormente transportados en el caso de que se cumpla alguna condición desencadenante.

En Chile, el factor desencadenante más común de flujos de detritos son las lluvias esporádicas, de corta duración y de intensidad excepcional. Por otro lado, en nuestro país existen muy pocos estudios que relacionen las intensidades de precipitaciones y este tipo de fenómenos, debido, principalmente, a los escasos registros de intensidad de precipitaciones y de flujos de detritos históricos. Sólo durante las últimas décadas se han instalados pluviógrafos que miden la intensidad

instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora). Sólo se disponen de registros más sostenidos en el tiempo de precipitaciones diarias (mm en 24 horas). Esto dificulta los análisis de relación a estas variables ya que a veces basta una lluvia “corta” pero extremadamente intensa para generar un flujo de detritos.

Los flujos o “aluviones” del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta y del 3 de Mayo de 1993 en la Quebrada de Macul en Santiago Oriente son ejemplos de eventos que han suscitado el interés nacional tanto por el alto grado de daños materiales como el costo de vidas humanas. Estos eventos han sido, por otra parte, un aporte para el conocimiento de los umbrales de intensidad de precipitaciones mínimas para la generación de flujos de detritos en Chile. En el caso de Antofagasta, en una de las zonas más secas del país, se estimaron precipitaciones mínimas de 30 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, 1997). En el caso de Santiago Oriente, se contó con datos pluviográficos más precisos, donde se registraron casi 10 mm en una sola hora (Naranjo & Varela, 1996). Anteriormente, para la Región Metropolitana se estimó un mínimo de 60 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, 1985).

Si bien los casos anteriores se encuentran fuera del área de estudio, cabe destacar que corresponden a los pocos eventos donde se ha relacionado cuantitativamente la ocurrencia de estos fenómenos y la intensidad de precipitaciones. Sin embargo, estos constituyen datos valiosos en cuanto a los umbrales de intensidad de precipitaciones en las que se podrían generar flujos de características catastróficas.

El grado de daño producido por un flujo dependerá de varios factores:

1. Tiempo de aviso: Los sistemas de emergencia y alerta a la población disminuyen considerablemente la vulnerabilidad social. Si se tienen mediciones continuas de la intensidad de precipitación, será posible alertar a la población de que existe la posibilidad de que se genere un flujo, entregando quizás minutos valiosos que podrían salvar vidas.
2. Distancia al origen del fenómeno: Mientras más alejado sea el origen, y si se cuenta con sistemas de emergencia y alerta a la población, se puede disminuir la vulnerabilidad social.
3. La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno (tamaño del flujo): Un flujo de mayor tamaño y rápido tiene mayor capacidad de afectar a una población que uno más pequeño y lento.
4. Densidad de población en la zona susceptible a ser afectada: En caso de que la población se encuentre directamente en el cauce del flujo, los daños pueden ser catastróficos, ya que pueden producirse muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales mayores, etc., tal como ocurrió en los casos de Antofagasta (1991) y Quebrada de Macul (1993). Si el cauce no afecta directamente a la población, pueden producirse cortes de caminos y daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destrucción de captaciones de agua para el consumo humano), lo que se traduce en un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

Este peligro geológico será tratado en conjunto con el peligro de inundación por desborde de cauce, ya que estos dos fenómenos comparten una serie de características comunes que permiten estudiarlos como un mismo proceso.

3.2.3 Dunas activas y zonas de erosión acentuada

Las dunas son acumulaciones de depósitos eólicos de granos de tamaño arena. En el caso de las dunas activas, los granos no presentan cohesión por lo que sobre ellos actúan los procesos activos de transporte impulsados por viento y gravedad. Las dunas activas pueden moverse, dividirse, crecer y reducirse. Las dunas tienden a movilizarse en dirección paralela a la de los vientos predominantes, y tienden a ser asimétricas de forma que la cara que enfrenta al viento tiene menor pendiente que la otra (Pye & Tsoar, 2009). La arena que se encuentra en la cara sotavento tiende a estar más compactada, al pasar a la otra cara (movilizada por el viento) comienza a dominar la acción de la gravedad y el depósito de arena en este sector de la duna es más suelto y menos resistente a la carga (Bloom, 1998). Como las dunas son depósitos no consolidados son extremadamente susceptibles a ser erosionados por algún agente externo.

Los principales peligros asociados a las dunas son el aumento de pendiente en alguna de sus caras debido a erosión, lo que puede provocar deslizamientos o colapsos de material que pueden dañar a personas o infraestructura, esto es especialmente importante en el caso de dunas costeras (Reckendorf, 1998). En las zonas de dunas activas se produce movilización de arena que puede invadir casas y caminos generando problemas a la infraestructura, como obstrucción de caminos, de sistemas colección de aguas lluvias y de alcantarillado, enterramiento de zonas de cultivos y de parques entre otros. Las dunas costeras, al interactuar con maremotos, pueden adicionar material a la masa de agua haciéndola más densa, por lo tanto más destructiva, pero a la vez que por construcción y morfología presentan resistencia al avance del agua lo que disminuye un poco la distancia de avance del maremoto en la zona misma de las dunas (Reckendorf, 1998). Otros peligros están relacionados a la alta permeabilidad de las dunas, que permite que cualquier contaminante vertido sobre ellas llegue fácilmente a otros sectores dañando cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

La vegetación que se desarrolla en forma nativa en los sistemas dunarios tiende a cubrir la superficie e inhibe el desplazamiento de material, lo que a largo plazo aumenta la cohesión y estabiliza el sistema. Esto disminuye la velocidad de crecimiento y desplazamiento de los campos dunarios. En sentido de lo recién expresado, en estas áreas es necesario restringir el tipo de actividades que puedan generar efectos negativos sobre la vegetación nativa de los campos dunarios, como lo es la extracción de arena o el paso de vehículos todo terreno (New South Wales Government, (1990), disponible en <http://www.environment.gov.au/coasts/publications/nswmanual/index.html>). Por ejemplo se estima que el paso de unos 50 vehículos por el mismo sector en un año es suficiente para evitar el desarrollo de vegetación. La utilización de vegetación exógena para el control de dunas ha sido aplicada, pero los resultados no han sido óptimos debido a la menor resiliencia de la vegetación introducida frente al ataque del viento, mar y otros agentes erosivos. Además, la vegetación introducida normalmente desplaza a la nativa y afecta negativamente el ecosistema asociado (New South Wales Government, (1990), disponible en <http://www.environment.gov.au/coasts/publications/nswmanual/index.html>) (Reckendorf, 1998).

Normalmente las medidas de mitigación de estos problemas, o amenazas, son más caros que prevenirlos utilizando la planificación del uso de los sectores con dunas activas, restringiendo su uso y actividades a desarrollar, con el fin de evitar lo más posible la intervención antrópica sobre los campos dunarios (New South Wales Government, (1990), disponible en <http://www.environment.gov.au/coasts/publications/nswmanual/index.html>)

3.3 Resumen de Peligros Geológicos

En el CUADRO N° 3-5 se incluyen los principales peligros geológicos y la escala de las distintas fuentes de información asociadas a cada uno.

CUADRO N° 3-5 Resumen Peligros Geológicos a ser estudiados y su escala de trabajo

PELIGRO	DESCRIPCIÓN	PELIGROS ASOCIADOS	ESCALA	ZONIFICACIÓN A PARTIR DE:
Volcánico	El peligro volcánico, se asocia a los procesos asociados a la erupción de un volcán. Aunque en general, los centros volcánicos se encuentran emplazados donde la densidad demográfica es baja, los productos asociados a una erupción volcánica pueden tener alcances de centenares de kilómetros.	Lluvia de Tefra y proyectiles balísticos	>1:100.000	Antecedentes Históricos y Comparación con Otras zonas
		Flujos Piroclásticos	1:50.000	Antecedentes Históricos, Mapas de Acumulación, Mapas Geológicos
		Escurrimiento de Lavas	1:50.000	Antecedentes Históricos, Mapas de Acumulación, Mapas Geológicos
		Remociones en masa y lahares	1:50.000	Antecedentes Históricos, Mapas de Acumulación, Mapas Geológicos
		Sismicidad	>1:100.000	Antecedentes históricos
Remociones en Masa	Procesos en las que un volumen de roca o suelo es transportado por procesos gravitacionales. Se reconocen 2 tipos principales, los deslizamientos y las Caídas de Rocas. Su alcance es en general limitado, y debe ser tratado como un peligro geológico local (escala <1:10.000). El estudio a detalle se realizará dentro de las zonas urbanas.	Deslizamientos	1:2.000	Interpretación de Fotografías aéreas, Mapa Geológico, Mapa Geomorfológico, Métodos Bayesianos.
		Desprendimiento o Caída de Rocas	1:2.000	Interpretación de Fotografías aéreas, Mapa Geológico, Mapa Geomorfológico, Métodos Bayesianos.
Flujos e Inundaciones	Análisis de los principales peligros asociados a eventos pluviométricos extremos, los flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones', e inundaciones. Aguas arriba se tratarán a una escala 1:50.000 o 1:25.000, dependiendo de los datos disponibles y en las zonas urbanas a una escala 1:5.000	Flujos de Detritos	1:2.000	Interpretación de Fotografías aéreas, Mapa Geomorfológico y Mapa Geológico.
		Inundaciones por desborde	1:2.000	Antecedentes Históricos, Interpretación de Fotografías aéreas, Mapa Geomorfológico y Mapa Geológico.
		Inundaciones por anegamiento	1:2.000	Antecedentes Históricos, Interpretación de Fotografías aéreas, Mapa Geomorfológico y Mapa Geológico.
Sismicidad	Se analizarán los principales eventos sísmicos y los peligros asociados a ellos.	Movimientos de Terreno	>1:100.000	Antecedentes Históricos y Comparación con Otras zonas

Fuente: Elaboración Propia.

4 MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

4.1 Marco Geodinámico

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente (FIGURA N° 4-1), donde la Placa Oceánica de Nazca subducta a la Placa Continental Sudamericana bajo su margen occidental (Uyeda, 1979). Esta subducción, cuya tasa actual de convergencia se estima en 8 cm/año (DeMets, et al., 1994), se reconoce activa desde, al menos, el Jurásico (Ramos, et al. (1986), Mpodozis y Ramos (1989)) y ha tenido variaciones en la tasa de convergencia durante el Eoceno – Mioceno que van desde 5 a 15 cm/año (Somoza, 1998).

El área de estudio se encuentra alrededor de los 32°S, enmarcado dentro del esquema de segmentación andina como una zona de subducción plana (Mpodozis y Ramos (1989), Charrier, et al. (2007), FIGURA N°4-2), que se caracteriza por un ángulo bajo de subducción (~10°) entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana (~10°) (Isaacks (1988), Mpodozis y Ramos (1989), Ramos, et al. (2002)), y en la que se destacan las siguientes características:

- a) La costa Oeste de la placa Sudamericana tiene, al norte de los 33°S, un rumbo aproximado NS, mientras que al sur de los 33° la costa posee un rumbo aproximado N20°E
- b) No se aprecia el desarrollo de una depresión central al norte de los 32°S, en cambio se presentan valles transversales en el antearco.
- c) No hay registro de volcanismo cuaternario en la Cordillera Principal entre los 27°S y los 32°S.
- d) En Argentina al norte de los 32°S se desarrollan las Sierras Pampeanas, que están asociadas a una intensa sismicidad cortical superficial en Argentina y al ensanchamiento del orógeno.

La subducción a lo largo de Chile se caracteriza por presentar terremotos de gran magnitud, estructuras tectónicas de gran escala, fenómenos directamente relacionados con la dinámica que genera la placa subductada, ubicada debajo del arco magmático (Barrientos (1980) y (1997)).

FIGURA N° 4-1 Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico, se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33° S. La línea verde señala la fosa, lugar donde subducta la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas



FUENTE: Elaboración propia

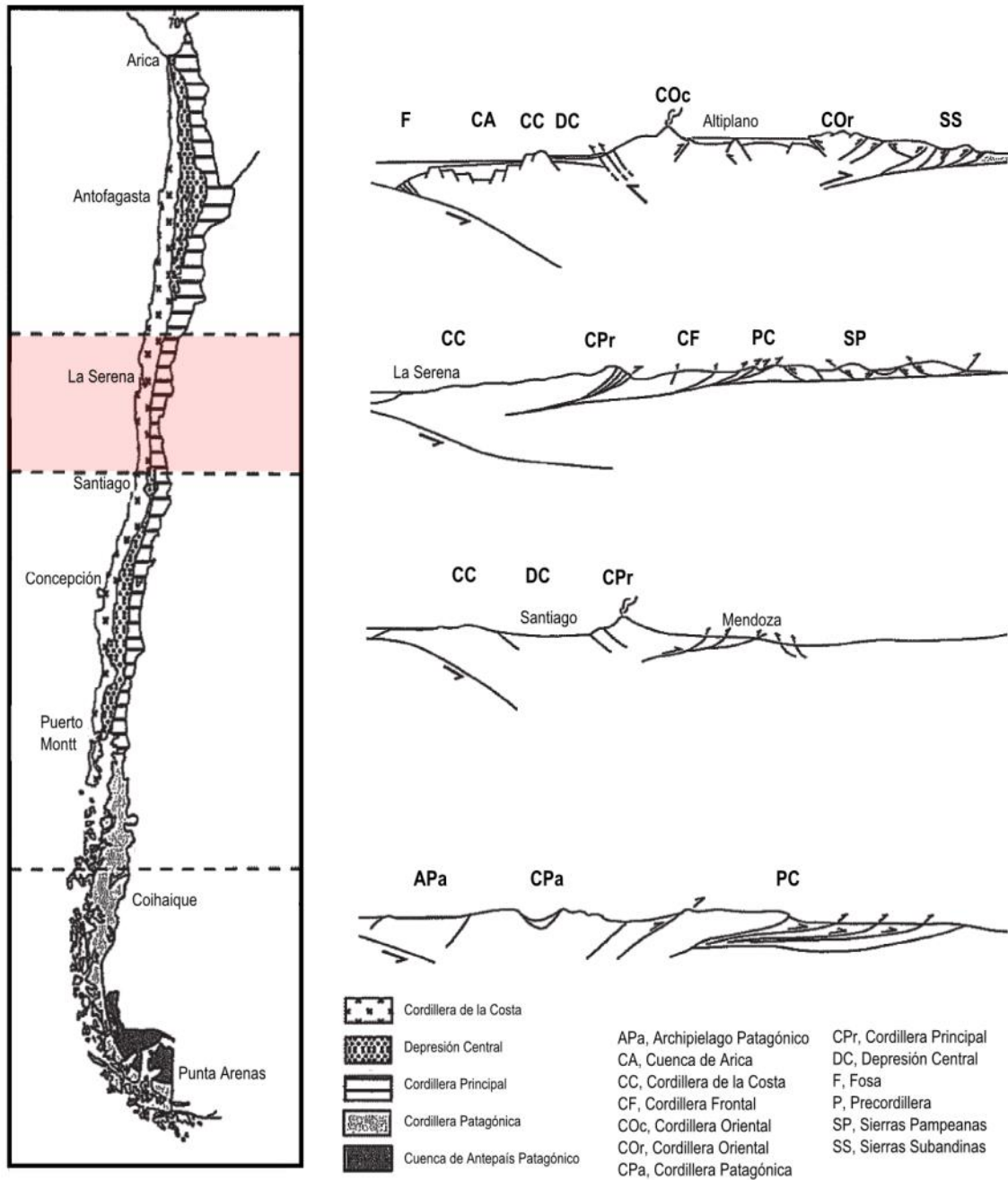
4.2 Marco Geomorfológico

La comuna de Concón se ubica en la zona de transición entre el flanco occidental de la Cordillera de la Costa y las planicies litorales (FIGURA N° 4-6 y FIGURA N° 4-7). Para la franja costera comprendida entre Concón y Quintay ($32^{\circ}55'$ - $33^{\circ}15'$ S), (Castro & Brignardello, 1997) han definido 6 unidades geomorfológicas, las que caracterizan de la siguiente manera:

4.2.1 Unidad Montañosa

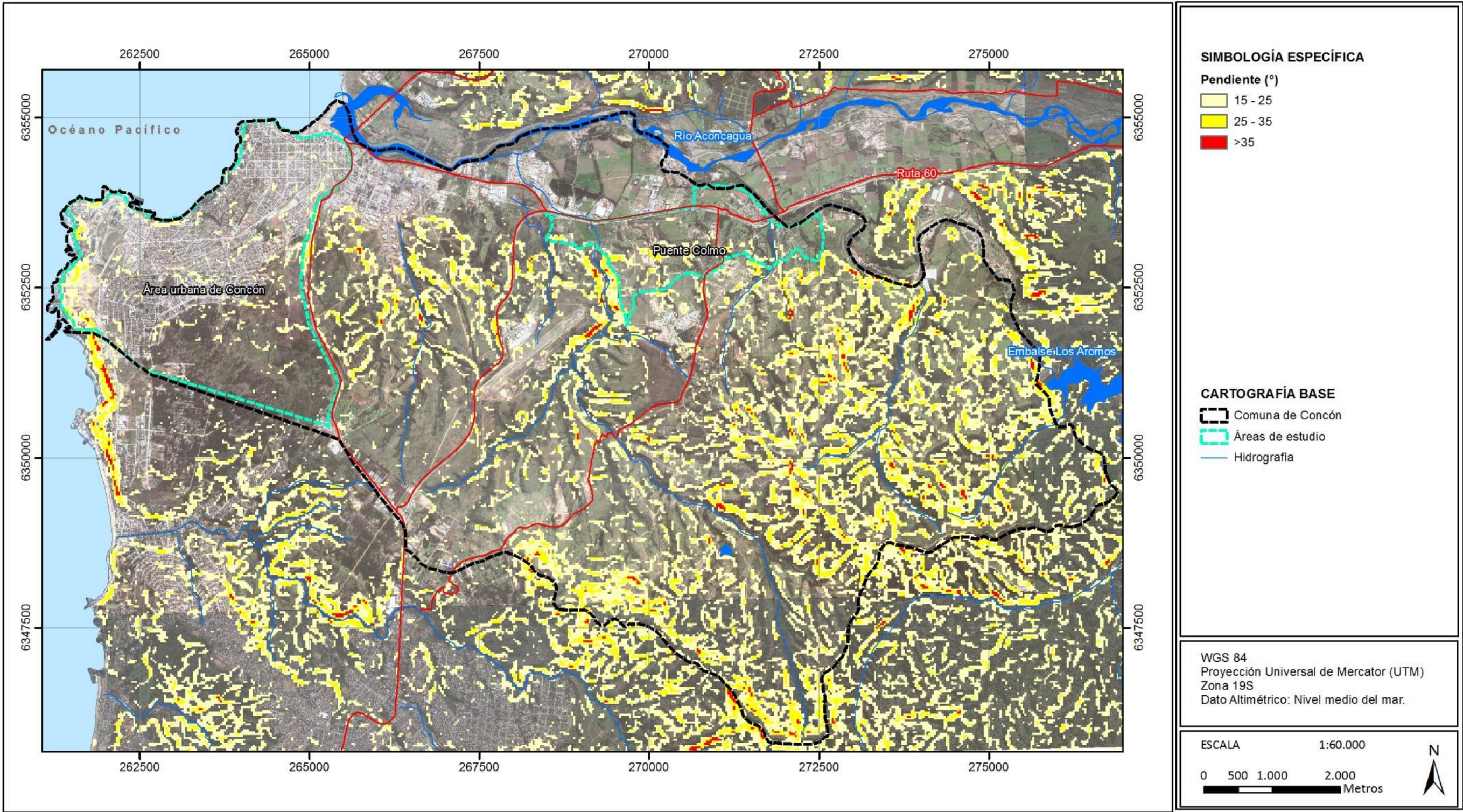
Corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, con cordones y estribaciones que se proyectan hacia el borde costero, hasta entrar en contacto con los relieves subhorizontales de las Planicies Litorales. Esta unidad se encuentra intensamente disectada y afectada por fuertes procesos erosivos y de nivelación del relieve, dando el aspecto de lomajes suaves en algunas áreas. La forma de las laderas tiende a ser convexa, con pendientes regulares que oscilan entre los 15° y 35° (FIGURA N° 4-3). En la Unidad Montañosa las remociones en masa profundas son frecuentes, gatilladas por las precipitaciones intensas y condicionadas por rupturas de pendientes o cambios litológicos en la continuidad de las laderas y favorecidas por la disminución de la cobertura vegetal. Por otro lado, los movimientos en masa superficiales, así como los procesos de erosión laminar y lineal se observan sólo en las laderas desnudas y de menor inclinación de la pendiente. En cuanto a la exposición de las laderas, se constató que los procesos erosivos son más frecuentes en aquellas orientadas al Norte y Noroeste (FIGURA N° 4-4).

FIGURA N° 4-2 Esquema de la segmentación andina. La franja coloreada representa la zona de subducción plana. El área de estudio se ubica en el margen inferior de esta franja.



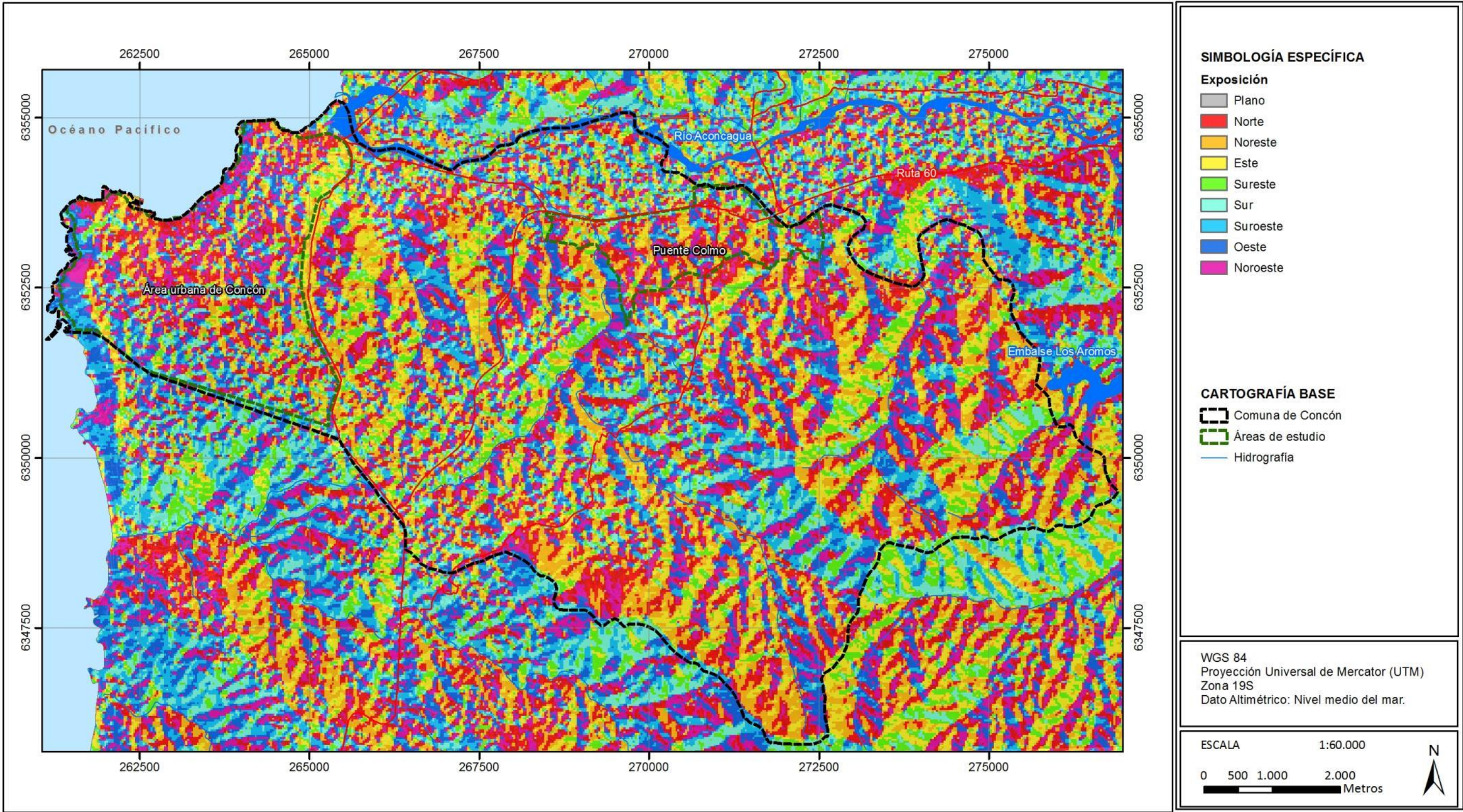
Fuente: (Charrier, et al., 2007)

FIGURA Nº 4-3 Carta de pendientes Concón



FUENTE: Elaboración propia en base a modelo de elevación AsterGDEM

FIGURA Nº 4-4 Carta de exposición de ladera Concón



FUENTE: Elaboración propia en base a modelo de elevación AsterGDEM

4.2.2 Unidad de Planicies Litorales

Son superficies abrasivo-acumulativas, labradas sobre rocas del basamento granítico. Presentan una topografía relativamente tabular, inclinada levemente hacia el oeste. Desde su contacto con la Cordillera de la Costa es posible distinguir tres niveles principales de terrazas marinas separadas por acantilados fósiles de abrupta pendiente. La terraza más alta se ubica entre los 320 y 360 m de altitud, la terraza intermedia entre los 230 y 280 m y el nivel más bajo presenta alturas que fluctúan entre los 20 y 90 m (FIGURA N° 4-5). En algunos sectores del borde costero se pueden identificar niveles intermedios de escasa extensión y separados por escarpes menores y poco abruptos. El manto edáfico de esta unidad se encuentra fuertemente lixiviado, sustentado sobre roca muy alterada por la meteorización granular, formando maicillo hasta varios metros de profundidad.

4.2.3 Unidad Fluvial

En esta unidad morfológica se incluyen geoformas de sedimentación y acumulación fluvial, fluvio-marina y fluvio-lacustre. El principal curso de agua en la comuna de Concón lo constituye el río Aconcagua, el cual presenta un amplio desarrollo de terrazas fluviales, pudiendo distinguirse hasta cuatro niveles, las que son coalescentes con las terrazas marinas hasta 9 km al interior de la desembocadura. Su lecho actual muestra una extensión de 2 km junto a la desembocadura, donde se desarrolla una zona húmeda litoral.

4.2.4 Unidad Dunaria

Esta unidad morfológica incluye las formas de acumulación eólicas actuales e inactivas. El campo dunario de Concón, que abarca un área de aprox. 21 km², está constituido por dunas fósiles semiestabilizadas, siendo las más antiguas de edad Pleistoceno. Éstas presentan una cobertura eólica de topografía acolinada y sobre ellas se desarrollan dunas holocenas en forma de ola. Dichas dunas reactivadas permanecen colgadas sobre un acantilado semiestabilizado desprovistas de una playa de alimentación, por lo que poseen una gran fragilidad.

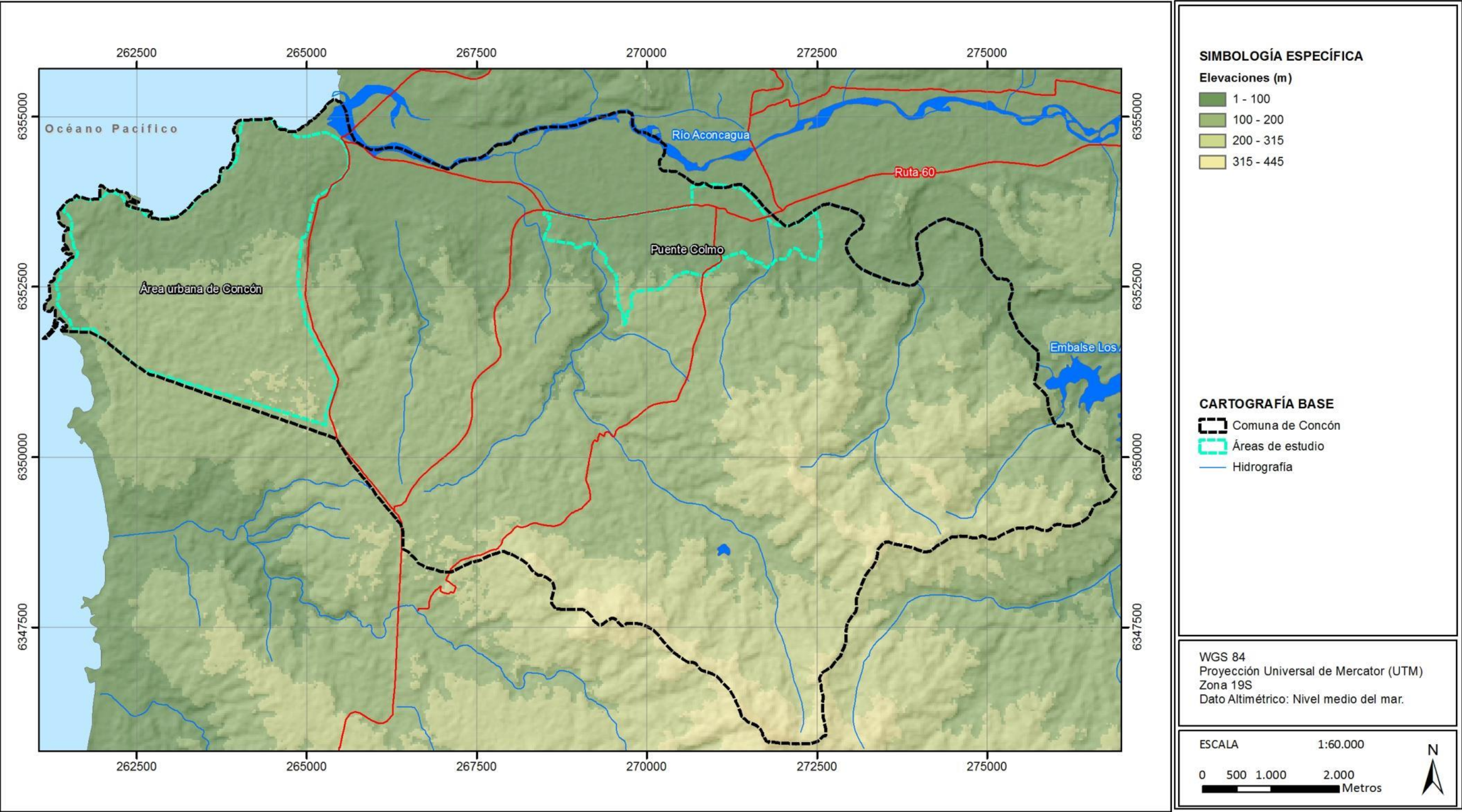
4.2.5 Unidad de Borde Costero

Esta unidad está compuesta por costas acantiladas y playas arenosas y rocosas. Los acantilados son de origen tectónico y retocados por la acción abrasiva del mar, presentando formas rectilíneas. Las playas arenosas son las más comunes y las playas rocosas están constituidas por cantos rodados y bolones en los sectores donde el acantilado se acerca al mar.

4.2.6 Unidad de Plataforma Continental

Esta unidad corresponde a una franja estrecha, con inclinaciones variables, sobre la cual se depositan materiales terrígenos moderadamente finos (arenas y limos gruesos)

FIGURA Nº 4-5 Carta de elevaciones Concón



FUENTE: Elaboración propia

4.3 Marco Geológico

En la comuna de Concón afloran unidades de rocas y depósitos no consolidados cuyo rango de edades abarca desde el Paleozoico hasta el Holoceno (ver FIGURA N° 4-6 y FIGURA N° 4-7). Cada una de estas unidades se describe a continuación.

4.3.1 Unidades de Roca

4.3.1.1 Unidad Cochoa

Corresponde a un conjunto de tonalitas, granodioritas, monzodioritas y sienogranitos (Gana, 1996), de grano medio a grueso, de edad Paleozoico (Rivano, et al., 1993). Los distintos tipos litológicos presentan contactos gradacionales y afloran como franjas elongadas en dirección norte-sur (Lépez, 2005).

4.3.1.2 Superunidad Mincha (Unidad Cavilolén y Unidad Tranquila)

Complejo plutónico de edad jurásica. Su composición es básica a intermedia, y está integrado por sienogranitos, dioritas cuarcíferas de piroxeno-hornblenda-biotita, tonalitas de hornblenda-biotita y gabros subordinados de colores gris oscuro a medio y grano medio a fino (Gana, 1996).

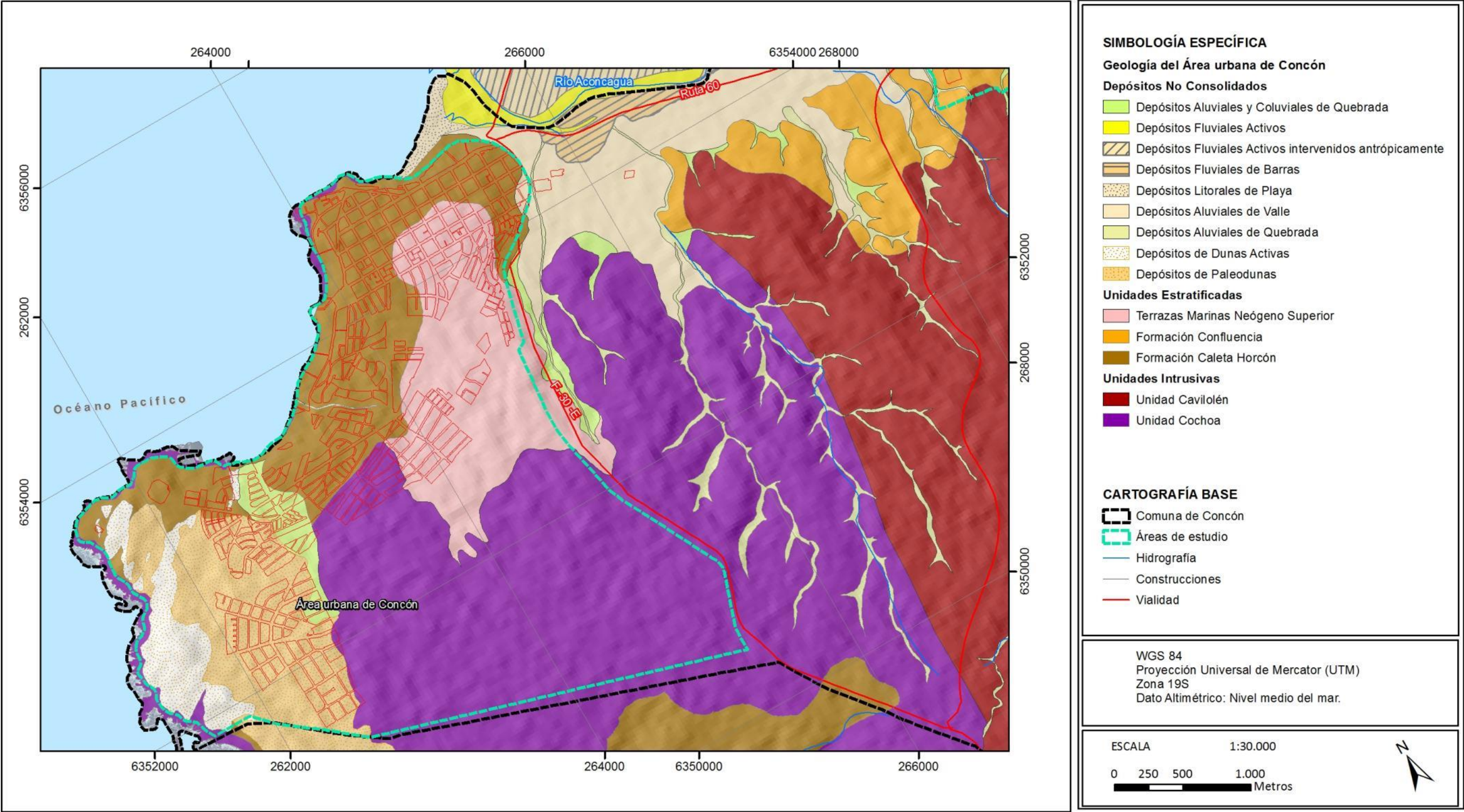
4.3.1.3 Formación Ajial

Unidad volcánica continental del Jurásico Inferior-Jurásico Medio, compuesta por lavas andesíticas y depósitos piroclásticos ácidos e intermedios, con intercalaciones de areniscas y lutitas. Gran parte de esta unidad se encuentra afectada por metamorfismo de contacto, causado por intrusivos jurásicos (Gana, 1996).

4.3.1.4 Formación Caleta Horcón

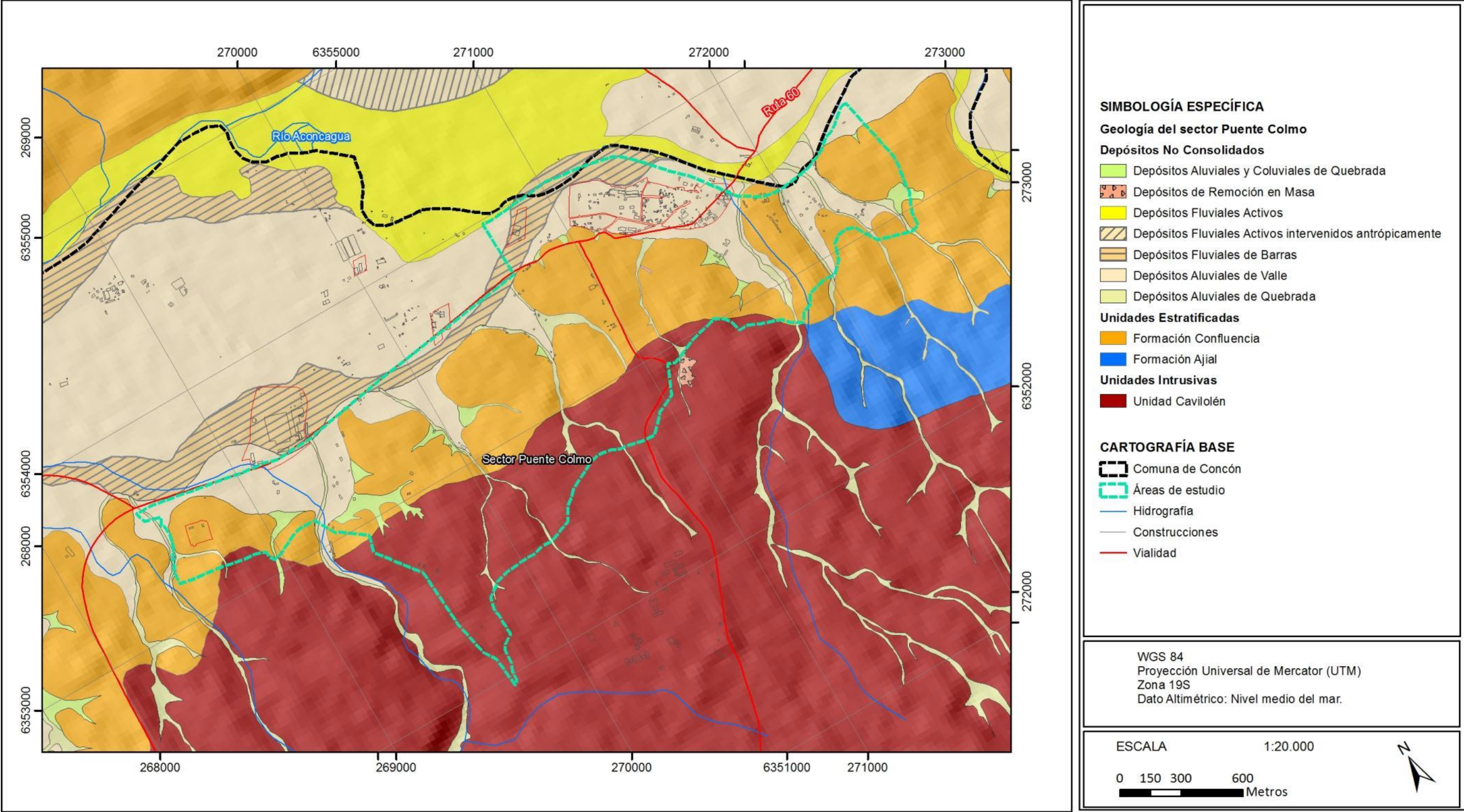
Unidad compuesta por un conjunto de areniscas, limolitas y arcillolitas, poco consolidadas, de color amarillento pardusco, con contenido fosilífero. Se encuentran parcialmente cementadas y presentan intercalaciones de gravas y rodados de rocas porfídicas. (Rivano, et al., 1993) plantean que la Formación Caleta Horcón se depositó en un ambiente marino transicional.

FIGURA N° 4-6 Mapa Geológico y Geomorfológico del área urbana de Concón



FUENTE: Elaboración propia en base a SERNAGEOMIN (2002)

FIGURA N° 4-7 Mapa Geológico y Geomorfológico de Puente Colmo



4.3.1.5 Formación Confluencia (Estratos de Potrero Alto)

Corresponde a un conjunto de conglomerados, brechas, areniscas y limolitas poco consolidadas, con restos de vegetales mal preservados. En esta unidad (Gana, 1996) distinguen facies predominantemente continentales aluviales, en parte transicionales, las que engranan hacia el oeste con los estratos marinos superiores de la Formación Caleta Horcón.

4.3.2 Depósitos No Consolidados

4.3.2.1 Depósitos eólicos antiguos (Depósitos de paleodunas)

Arenas de color pardo que se encuentran conformando dunas fósiles, estabilizadas y con reactivación.

4.3.2.2 Depósitos eólicos activos (Depósitos de Dunas Activas)

Corresponden a arenas finas amarillas que conforman las dunas activas del área de estudio.

4.3.2.3 Depósitos de litorales de playa

Son gravas y arenas bien redondeadas que yacen en las playas del área de estudio, especialmente hacia el norte de la desembocadura del río Aconcagua, donde se desarrolla una amplia playa elongada en dirección norte-sur, compuesta por arenas grises.

4.3.2.4 Depósitos Fluviales Activos

Se componen de gravas bien redondeadas y arenas bien seleccionadas que se encuentran rellenando el valle del río Aconcagua (Lépez, 2005). Se diferencian depósitos fluviales activos y depósitos fluviales activos intervenidos antrópicamente (antiguo lecho del río), los que tienen su desarrollo en el sector de Puente Colmo (FIGURA N° 4-7).

4.3.2.5 Depósitos Fluviales Antiguos

Corresponden a depósitos aterrazados, compuestos por gravas, arenas y limos, ubicados a alturas entre 3 y 30 m sobre el cauce actual (Gana, 1996).

4.3.2.6 Depósitos Aluviales

Corresponden a gravas, arenas y limos que se encuentran relleno de los fondos de las quebradas y valles, conformando abanicos aluviales en sus desembocaduras.

4.3.2.7 Depósitos Coluviales

Sedimentos de muy mala selección, que incluyen desde bloques hasta arcillas, interdigitados con lentes de arenas y gravas generados por pequeños cursos de agua, permanentes o esporádicos (Gana, 1996). Yacen en los sectores de cabeceras de quebradas y en las laderas escarpadas de los cerros del área de estudio.

5 INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

En base a la revisión bibliográfica, se realizó un inventario de peligros geológicos en los sectores dentro de la Comuna de Concón, que abarcan los sectores del área urbana de Concón y Puente Colmo, y de los sectores más cercanos que dan características de estos sucesos en torno a la cuenca del río Aconcagua. Tal como se indica a lo largo de este capítulo, los peligros geológicos descritos dan cuenta de eventos de remociones en masa, inundaciones, sismos y volcanismo.

5.1 Remociones en Masa

En este ítem se presenta, de acuerdo a lo revisado en bibliografía, el registro de Flujos de Barro, Deslizamientos Multirrotacionales; y se incluye el proceso activo de los sedimentos de dunas.

De acuerdo al registro de remociones en masa de Hauser (2000), se presentan en la zona de estudio, eventos de remociones en masa, los cuales se han desarrollado en épocas de mayores lluvias o en la época invernal.

En el CUADRO N° 5-1 se incluye un catastro histórico de remociones en masa que han ocurrido en la comuna de Concón, de acuerdo a Lépez et al. (2005).

5.1.1 Flujos de Barro

Los eventos que suelen suceder en la zona, corresponden a flujos de arena que afectan al litoral en los sectores de Reñaca y Concón, invadiendo la calzada del camino entre Viña del Mar y Concón. Bajo condiciones de lluvias mayores de 5 mm en 24 horas, suelen desarrollarse estos repentinos flujos o golpe o torrente de arena (García Yague, 1978), que ocurren en taludes de terrazas costeras empinadas, constituidas por paleodunas con escasa cementación, que comprometen las fundaciones y por ello la estabilidad de algunas viviendas (Hauser, 2000).

5.1.2 Deslizamientos Multirrotacionales

Además, anualmente en la época invernal, particularmente en Las Salinas y Concón, se desarrollan eventos de deslizamientos multirrotacionales, que suceden en depósitos de paleodunas, conformados por arenas con escasa compactación, alta permeabilidad y muy sensibles a la erosión.

Estos deslizamientos son los condicionantes para los posteriores y voluminosos flujos arenosos (Hauser, 2000). En la FIGURA N° 5-1 se muestra un sector del talud costero donde se ha producido caída de bloques de roca y deslizamientos de arena.

CUADRO N° 5-1 Catastro histórico de remociones en masa que han afectado a la comuna de Concón

Tipo de fenómeno	Fecha	Ubicación	Descripción de Daños
Deslizamiento	14 de junio, 1972	Las Salinas, Las Cañitas y Costa Brava	Derrumbes en varios puntos de ruta Viña del Mar-Concón
Deslizamiento	25 de junio, 1992	Camino Viña del Mar-Concón	En varios puntos del camino se produjeron deslizamientos que cayeron a la calzada
Flujo de barro-detritos	8 de julio, 1996	Camino costero a la altura de Los Castaños	Gran cantidad de barro y piedras obstaculizó camino costero
Socavamiento	22 de junio, 1997	Calle Segunda Transversal, sector Las Gaviotas. Calle Las Elenas	Rompimiento de una matriz de Esval produjo un agujero de 500 m de largo, 7 m de ancho y 4 m de profundidad. Inminente peligro de hundimiento de 20 viviendas. Arrastre de lodo afectó a viviendas, calle e infraestructura pública
Deslizamiento	6 de septiembre, 1997	Sector Punta de Piedra, camino costero entre Viña del Mar y Concón	Ruta parcialmente inhabilitada
Flujo de barro	30 de julio, 2001	Calle Magallanes n°511, sector Los Romero	Lodo y agua ingresaron a vivienda
Flujo de barro	4 de junio, 2002	Villa Concón II y Villa Aconcagua	Desde zona de obras habitacionales en Lomas de Montemar sobrevino flujo de barro hacia zonas bajas, producto de acumulación de material
Socavamiento	4 de junio, 2002	Calle Barros, Pedro de Valdivia y Cortéz	Terrenos mal compactados y rellenos con tierra fueron erosionados, socavándose calles

Fuente: Lépez et al. (2005)

FIGURA N° 5-1 Talud costero en camino Reñaca-Concón en que se observa caída de bloques de roca y deslizamientos de arena.



Fuente: López et al. (2005)

5.1.3 Dunas Activas y Zonas de Erosión acentuada

Las Dunas de Concón se localizan al norte de Viña del Mar, (Paskoff & Manríquez, 2004) entre punta Concón y punta Montemar. De acuerdo a (Rivano, et al., 1993) este campo de dunas se extendería a 600 m al sur del estero Reñaca (FIGURA N° 5-2).

Según (Paskoff & Manríquez, 2004), el campo de dunas (FIGURA N° 5-3) se conforma principalmente por dunas estabilizadas, presentándose en un menor porcentaje sectores de dunas activas, cuyas arenas estabilizadas se remueven por efecto del viento. Las primeras se presentan estabilizadas por vegetación (FIGURA N° 5-4), mientras las segundas presentan dos unidades principales. Una se constituye frente a Punta Cabras, compuesta por dunas activas transversales sin vegetación, las cuales se disponen perpendiculares a los vientos provenientes desde el suroeste (FIGURA N° 5-5). Son dunas disimétricas, con flanco de barlovento poco inclinado y un flanco de sotavento fuerte (30° a 35°). La otra unidad corresponde a dunas longitudinales, alineadas de suroeste a noroeste ubicándose en el sector de punta Concón. Las crestas de estas dunas son paralelas y están cubiertas por un matorral bajo.

FIGURA N° 5-2 Localización de las dunas de Concón según Paskoff & Manríquez (2004) y Rivano et al (1993)



FIGURA N° 5-3 Campo de dunas ubicadas sobre una terraza marina alta de 80 msnm, en contacto con la costa rocosa



Fuente: Fotografía de María Verónica Andrade Oyarzún
(<http://www.sociedadgeologica.cl/dunas-de-concon>).

FIGURA N° 5-4 Dunas estabilizadas por vegetación



Fuente: Fotografía de María Verónica Andrade Oyarzún
(<http://www.sociedadgeologica.cl/dunas-de-concon>).

FIGURA N° 5-5 Dunas activas transversales sin vegetación en Punta Cabras



Fuente: Fotografía de María Verónica Andrade Oyarzún
(<http://www.sociedadgeologica.cl/dunas-de-concon>).

Según López et al. (2005), las dunas activas de Concón comprenden una zona de Alto Peligro. Los mismos autores detallan que la falta de cohesión de estos depósitos posibilita la generación de deslizamientos y flujos de arena. Su compresibilidad es mala y ante cargas sufren asentamientos diferenciales, provocando inestabilidad de pavimentos; asentamientos de terreno por humedad; falla de cimientos, agrietamiento de murallas y descuadre de estructuras. Las construcciones próximas o en el sector de dunas se verían afectadas por sedimentos sueltos en movimiento y alta deflación, permitiendo el excavamiento de las fundaciones y el ingreso de estos sedimentos en patios y terrenos habitados.

5.2 Inundaciones Terrestres

En la comuna de Concón gran influencia tiene el río Aconcagua, principal cuenca hidrográfica de la región de Valparaíso, debido a que en esta zona urbana se ubica la desembocadura de su cauce.

Los fenómenos de inundaciones terrestres en Concón, de acuerdo a lo revisado en la bibliografía, están relacionados principalmente con desbordes del río Aconcagua, y con los sucesos de maremotos que se asocian a terremotos de gran magnitud que han afectado a la zona, y cuyas aguas suelen adentrarse fuertemente al continente por el sector de la desembocadura. Según los antecedentes disponibles, las zonas afectadas corresponden principalmente a los sectores aledaños al cauce del río Aconcagua y a segmentos de la planicie litoral. En el CUADRO N° 5-2 se incluye un catastro histórico de inundaciones terrestres que han afectado a la comuna de Concón.

El régimen del río Aconcagua es pluvio-nival, cuyo caudal normalmente aumenta en la estación de verano, producto de los deshielos y en los meses de invierno. Las principales crecidas invernales se deben a intensas lluvias producto de fuertes temporales y a aumentos en la elevación de la isoterma cero en la zona cordillerana, lo que genera un aumento brusco del área aportante a la cuenca.

En el sector de la desembocadura la cuenca es plana, conformando un delta. La pendiente del cauce es muy baja, dada a la gran cantidad de sedimentos continentales que trae el río. Uno de los esteros que tributan en el Aconcagua, es el estero Limache, que define en parte el límite oriente de la comuna. Este estero es de régimen esencialmente pluvial.

En el curso bajo del río Aconcagua, específicamente en el sector Tabolango, ubicado aguas arriba de Concón, el caudal medio anual es de 57 m³/s, variando entre medias mensuales de 102 m³/s en diciembre, a 36 m³/s en mayo (Neoventus-Ilustre Municipalidad de Concón, 2010)

Las inundaciones en la zona, comprometen principalmente a los sectores aledaños al cauce del Río Aconcagua. De acuerdo a Lépez et al. (2005), en general, para los cauces fluviales importantes de la zona costera de la región de Valparaíso, como es el río Aconcagua, la recurrencia de grandes avenidas es de 30 a 40 años.

CUADRO N° 5-2 Inventario de inundaciones del valle del río Aconcagua, cercanas a la desembocadura que afectan a Concón y zonas aledañas, y de temporales que han afectado a la región.

Fecha	Observaciones
08-Junio-1823	Un fuerte temporal afectó a Valparaíso, prolongándose por dos días. El mar azotó construcciones situadas cerca de la playa, destruyendo paredes, cercos, inundando muchas viviendas. Las fuertes lluvias llenaba los cauces de las quebradas que bajaban al puerto, destruyendo casas construidas en ellas, arrastró puentes.
Fines de Mayo a Inicios de Junio-1827	Fuertes lluvias afectaron al país desde Copiapó hasta Curicó. Particularmente en Quillota, el río se desbordó, inundando grandes extensiones de terrenos agrícolas, y viviendas ubicadas en las partes bajas. En Valparaíso, el viento y el agua que bajó por las quebradas destruyeron un gran número de viviendas, causando la muerte de muchas personas. 150 edificios céntricos fueron fuertemente dañados.
10 - Marzo -1856	Un frente de mal tiempo produjo inundaciones por lluvias torrenciales. Importantes pérdidas económicas y en infraestructuras; daños de consideración en La Serena, Coquimbo, Ovalle, Valparaíso y Santiago.
25 al 27-Mayo-1875	A causa de lluvias torrenciales se produjeron inundaciones en Valparaíso, las cuales destruyeron el muelle del aseo y el acueducto de ladrillo del matadero. Se taparon algunos cauces y se dañaron los edificios municipales. La Esmeralda varó en la playa.
Julio-1900	Los primeros días de julio, un primer frente de mal tiempo dejó a Valparaíso inundado. La mayoría de los cauces se desbordaron, el sistema de trenes se suspendió y las comunicaciones telegráficas se cortaron en algunas localidades del país. A mediados del mes un segundo temporal afectó a la zona centro del país. En Valparaíso se desbordaron nuevamente los cauces y en Quillota se inundó el sector llamado El Bajío.

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS
ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE CONCON

Fecha	Observaciones
1-10 de Julio- 1904	Un fuerte temporal afectó al puerto de Valparaíso, dejándolo sumido en un mar de fango y lodo. Se salieron cauces del barrio el Almendral, del centro y del puerto. Los esteros Las Delicias, San Francisco, y Hospital, también se desbordaron. Se destruyeron casas, las cuales quedaron con arena con más de 50cm de altura. Más de una decena de personas murieron por lo derrumbes o ahogadas. . El tranvía también suspendió a causa del desborde del estero De Jaime. El mar inundó el malecón, el cual quedó destruido frente a la estación Bellavista.
Invierno 1905	Un fuerte temporal con intensas lluvias y vientos, afectó a Valparaíso. Se desbordaron esteros, cauces. El Almendral fue el barrio más afectado. En algunos sectores el agua subió más de un metro y en otros sectores llegó hasta el piso de los tranvías. Hubo un derrumbe en el cerro Barón suspendiendo el sistema de tranvías. También hubo cortes del sistema eléctrico para las calles y varios ascensores suspendieron su servicio por pequeños derrumbes. La plaza Sotomayor quedó convertida en una laguna.
Mayo-1912	Un temporal azotó a gran parte del país. En Valparaíso hubo derrumbes en distintos sectores de la ciudad. Se suspendieron los servicios de ascensores, y tranvías. Se inundaron casas y bodegas.
Mayo-1913	Se desencadenó un fuerte temporal en la zona central de Chile. Se desbordaron algunos cauces, con el estero de Las Delicias. El servicio de tranvías en Valparaíso y Viña del Mar se interrumpió.
20 al 23 de Junio-1914	Un temporal en Valparaíso causó salida de cauces y desbordos de los esteros, dejando sedimentos de arenas de más de un metro de altura. El desborde del estero de Las Delicias fue el que causó mayores daños. En Viña del Mar se derrumbaron parte de los cerros interrumpiendo la circulación de los tranvías. Además se desbordó el estero.
Mayo 1915	Temporales de viento y lluvia afectaron desde La Serena hasta Temuco. En Valparaíso la mayoría de las calles céntricas se inundaron. En Viña del Mar quedó dañada la estación Miramar. El cauce el Cerro inundó varias calles y parte de la población Vergara.
6-7 de Mayo-1919	Fuerte temporal de lluvias y viento azotó a la zona central del país. En Valparaíso se desbordaron cauces y esteros, inundando todo el área plana de la ciudad. El puerto tuvo grandes daños. El camino de Valparaíso a Viña del Mar se anegó. Se hundieron embarcaciones.
	Un frente de mal tiempo con fuertes vientos, lluvias, y nieve azotó la zona central del país. En Valparaíso hubo interrupción del servicio telegráfico hacia el sur, y hacia la Calera. En Viña del Mar se desbordó un estero, inundando zonas del sector céntrico. También hubo un derrumbe en los cerros de Chorrillos.
3 de Junio-1924	Fuertes marejadas azotaron las costas de Valparaíso, Quintero, Matanzas, Coquimbo, Atacama, Antofagasta. En Valparaíso el sector de la playa Las Torpederas sufrió destrozos, los muelles, y el camino de Viña del Mar a Concón.
Junio 1926	Fuertes temporales azotaron la zona centro del país, causando daños en Valparaíso y los pueblos y ciudades cercanos al puerto. Hubo derrumbes, que trajeron como consecuencia la muerte de 18 personas. En el cerro el Barón se produjeron deslizamientos. Se inundaron zonas céntricas de la ciudad, y hubo marejadas que provocaron daños en embarcaciones. En la Calera hubo sectores que se inundaron a causa del desborde del río Aconcagua. En Viña del Mar se inundó la población El Salto.
Junio-1928	Fuertes lluvias causaron daños en edificios, huertos y puentes de Valparaíso. Hubo tres muertos ahogados en el mar, por las fuertes corrientes de los barrancos.
12 y 13 de Julio-1930	Un fuerte temporal azotó la zona centro del país. En Viña del Mar se desbordaron dos cauces provocando anegamientos, se interrumpió el tráfico, se interrumpió la energía eléctrica. En Valparaíso se desbordaron esteros y cauces, inundándose las calles céntricas.
17 Mayo a 4 de Junio 1934	Este frente de mal tiempo azotó al país desde Copiapó hasta Magallanes. En Valparaíso y Viñas del Mar hubo derrumbes de cerros, y las calles quedaron cubiertas de arena por el desborde de los cauces. En Quillota, el río Aconcagua arrasó con las defensas de concreto e inundó dos veces a La Calera.
19 de Julio 1936	Un temporal causó daños en Valparaíso. Se vio afectado el malecón, la vía férrea. Se derrumbó parte del cerro La Cruz. En Viña del Mar una persona murió por el fuerte oleaje del mar. Se rompieron los muros de defensa de la avenida del Mar. El servicio telefónico en Concón se interrumpió.
Agosto 1941	Un temporal causa derrumbes en Valparaíso, específicamente en el cerro Ramaditas, en avenida Elías. En La Calera, el río Aconcagua arrasó con 40 metros de defensas, inundando parte de la ciudad.
6 a 9 Agosto 1944	Un temporal de viento, lluvia y nieve se desató en la zona centro-sur de Chile. En Valparaíso grandes olas, vientos huracanados y lluvias torrenciales hicieron naufragar algunas embarcaciones. Se produjo un derrumbe en el barro Las Zorras y se destruyeron las casa ubicadas a orillas del mar, en el sector de Los Lilines. También hubo derrumbes en el cerro El Barón.
Junio 1951	Un frente de mal tiempo afectó a la zona de Valparaíso, con lluvias y vientos huracanados. Las marejadas violentas hundieron varias embarcaciones. La avenida Costanera perdió jardines.
Mayo-Agosto 1953	Un temporal de vientos huracanados y fuertes lluvias afectó al país. En Valparaíso el mar arrasó con la costanera, y se hundieron embarcaciones. En Viñas del Mar la avenida Libertad se convirtió en un río. En Quintero el viento dañó los techos de las casas. El 18 de agosto se desarrolló otro temporal que afectó a la zona central. Las personas en Valparaíso y Viñas del Mar, debieron transitar con el agua hasta las rodillas. Se inundaron instalaciones de la refinería de Concón .
18 al 20 de Mayo 1957	Un temporal azotó el norte chico y la zona central del país. En Valparaíso el mar asoló la costanera, llegando hasta las calles Errázuriz y Edwards, en el centro de la ciudad.
Junio de 1958	Un violento temporal se desató en la zona central. En Valparaíso se produjeron varios derrumbes que destruyeron casas. EN Viñas del Mar las calles se transformaron en ríos. El camino longitudinal al sur se cortó en varios sectores por desbordos de ríos y destrucción de algunos puentes.
Junio de 1961	Los primeros días de Junio se desencadena temporal de viento y lluvia entre Valparaíso y Ancud que dura más de setenta horas, acompañado de una tromba marina en Concepción, con caminos destruidos, viviendas dañadas, puentes destrozados y decenas de familias damnificadas.

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS
ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE CONCON

Fecha	Observaciones
23 de Junio de 1962	Temporal que dura setenta y dos horas azota la zona centro sur, dejando seis muertos, varios heridos, rodados de nieve, viviendas derrumbadas, naufragios y centenares de casas inundadas. En Valparaíso dos personas mueren a causa de un deslizamiento y se hunde un barco, además de vagones de ferrocarril arrasados por el mar, inundación de las calles céntricas. En el sector del puerto, el viento arrasa con los techos de viviendas de familias humildes.
Julio de 1963	Frente de mal tiempo aísla Viña del Mar de Valparaíso a consecuencia de derrumbes producidos en avenida España.
Julio – Agosto de 1965	Fuerte temporal de viento y lluvia de larga duración azota desde Atacama a Aysen. En Valparaíso tres personas mueren, vario heridos y centenares de damnificados por derrumbes de casas producto del exceso de agua, lo cual ocurre debido a los daños ocurridos durante el sismo de marzo del mismo año. Se desbordan ríos y mas de sesenta derrumbes en los cerros destruyen viviendas y generan anegamiento en Valparaíso. Viña del Mar queda sin defensas costeras, se inundan edificios ubicados en el borde costero y el nivel del estero Marga Marga sobrepasa los puentes. Miles de damnificados en la región, los cuales son reubicados en escuelas, estadios y recintos públicos en general.
Junio de 1969	Frente de mal tiempo se extiende desde Los Vilos hasta Puerto Montt. En Concon se desborda el río Aconcagua, se corta el camino entre Valparaíso y Viña del Mar, ocurren derrumbes, y se vuelan techumbres dejando daños en la población.
Julio de 1970	Frente de mal tiempo que dura más de tres días azota desde Illapel hasta Puerto Montt. En Valparaíso llueve por más de cien horas sin parar, ocurriendo catorce derrumbes, los cuales dejaron dos mil personas anegadas y población aislada en los cerros Playa Ancha y Placeres
Junio de 1971	Un temporal de viento, lluvia y nieve azota entre las provincias de Coquimbo y Magallanes, prolongándose por más de una semana. En Valparaíso parte de la población sufre el anegamiento de sus casas.
21-22 de Mayo de 1974	Zona centro del país se ve afectado por frente de mal tiempo. En Valparaíso fallecen dos personas, ocurren derrumbes en los cerros destruyendo y anegando viviendas. El puerto es cerrado por nueve días.
28 de junio de 1974	Desbordes del río Aconcagua en Concón
10-13 de Julio de 1975	Temporal azota zona centro del país. En Valparaíso, derrumbes dañan viviendas dejando cientos de damnificados.
23 de julio de 1977	Desbordes del río Aconcagua en sector de desembocadura en Concón. 25 familias damnificadas
20 de julio de 1978	El río Aconcagua se desbordó aislando a 5 familias en el sector Independencia
25-28 de Junio de 1982	Sistema frontal se extiende desde la IV hasta la VII región. Personas quedan damnificadas en Valparaíso, San Antonio y Quillota, además de ocurrir daños a obras sanitarias, principalmente por la salida de cauces. El río Aconcagua se desbordó, dejando personas aisladas en Concón y Tabolango.
Julio de 1983	Frente de mal tiempo afecta la zona centro-norte del país. En Viña del Mar quince vehículos quedan atrapados por un derrumbe de los cerros colindantes.
Julio 1984	En Reñaca y Valparaíso hubo importantes pérdidas económicas por inundación en la zona cercana al estero Marga-marga.
24-28 de Mayo de 1986	Frente de mal tiempo afecta zona centro del país. En Valparaíso, aluviones provocan la muerte de cuatro personas, mientras que San Antonio, Llole y Lo Gallardo se desbordan esteros, generando daños de diversa magnitud.
15 de julio de 1987	Río Aconcagua se desbordó en Concón, en sector del Puente Aconcagua y de desembocadura "Boca"
16 de julio de 1987	Río Aconcagua se desbordó, inundando el sector norte de la refinería de petróleo de Concón
Junio de 1991	Temporal afecta el país entre las regiones II y VI. En Valparaíso y Viña del Mar, lluvia y vientos provocan la pérdida de la techumbre a decenas de viviendas, inundaciones y aluviones.
6 de mayo de 1993	Inundación con agua, barro, flujos de piedras, troncos y desechos traídos por deshielos anticipados. En la comuna de Concón resultaron afectados el sector Las Vegas y Concón.
6 de julio de 1996	Completo anegamiento en la calle n°4 de Concón
7 de agosto de 1999	Inundación afectó tramo de ruta Concón-Reñaca, en su tramo inmediato a Escipión Borgoño
12 de septiembre de 1999	Casas en el camino Concón-Reñaca resultaron inundadas con más de 50 cm de agua
30 de julio de 2001	Inundación de calles y viviendas en sector Los Romero de Concón
3 de junio de 2002	Vecindario inundado con cerca de 1 m de agua y barro en sector Los Romero de Concón. Desbordes del río Aconcagua y del estero Limache afectaron al sector "La Isla" y Villa Independencia de Concón ³

Fuente: Elaboración propia a partir de Urrutia & Lanza (1993), Petit-Breuilh (2001) y López et al. (2005)

³ <http://www.mercuriovalpo.cl/site/edic/20020603205825/pags/20020604000350.html>

5.2.1 Inundaciones costeras por efectos de maremotos y marejadas.

De acuerdo al registro histórico revisado, en la zona de estudio se han presenten fenómenos de marejadas y maremotos. Para las marejadas, López et al. (2005) indican que la frecuencia de estos eventos es inusual. En el catastro recopilado, se presentan frentes de mal tiempo que han provocado marejadas, describiendo daños en la costa de Valparaíso y Viña del Mar, y algunos en el camino desde Viña del Mar a Concón (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Además, fuertes marejadas cuyo origen han sido tsunamis, también han afectado a la bahía de Valparaíso.

En relación a los tsunamis, según López et al. (2005), históricamente se conoce la ocurrencia de 5 terremotos que afectaron la bahía de Valparaíso. Estos se registraron el 13 de Mayo de 1647, 8 de Julio de 1730, 19 de Noviembre de 1822, 16 de Agosto de 1906 y el último ocurrido el 3 de Marzo de 1985. Los eventos de 1906 y 1985 son los mejor documentados, sin embargo, sólo el de 1906 dio origen a un maremoto.

En el CUADRO Nº 5-3 se incluye un registro histórico de los maremotos que han afectado a la zona costera de Concón, de acuerdo a los registros de Urrutia y Lanza (1993) y López et al. (2005).

CUADRO Nº 5-3 Descripción histórica de inundaciones costeras por maremotos que han afectado la zona de estudio y a regiones cercanas.

Fecha	Observaciones
Terremoto del 13 de Mayo de 1647	Se indica que este terremoto afectó a la zona central del país. Los pescadores de las costas indicaron que hubo fuertes marejadas y que los obligaron a subir a los cerros.
Terremoto 8 de Julio de 1730	Un fuerte terremoto afectó desde La Serena a Valdivia. El sismo no dejaba sostenerse en pie a las personas, dejando en ruinas a varias ciudades del país. Los daños en la costa, aumentaron considerablemente a causa de un maremoto. Los mayores efectos fueron en el sector El Almendral de Valparaíso. El maremoto destruyó las paredes del Castillo Blanco. Desaparecieron casas ubicadas cercanas al mar.
Terremoto 19 de Noviembre de 1822	Este terremoto se sintió desde Illapel a Chiloé. La ciudad de Valparaíso fue la más afectada, la ruina fue total.
Sismo del 13 de agosto 1868	Un fuerte sismo afectó las regiones ubicadas entre Ica (Perú) y Tarapacá, sintiéndose hasta Valparaíso. Un fuerte maremoto fue la consecuencia de este terremoto, afectando toda la costa del Pacífico hasta Chiloé. En Valparaíso hubo fuertes marejadas.
Terremoto del 16 de Agosto de 1906	Este sismo de magnitud 8.2 y con epicentro entre Limache y Valparaíso. Este terremoto generó un tsunami moderado o marejada importante. En Concón hubo serios daños a la vivienda y el mar subió por la desembocadura del río Aconcagua hasta más allá del nivel de las mareas altas.
Terremoto del 10 de noviembre de 1922	Un fuerte terremoto de magnitud 8.2 y profundidad de 25 km afectó a las ciudades de Vallenar y Coquimbo. Este terremoto generó un tsunami moderado o marejada importante, causando en Valparaíso fuertes marejadas.
Maremoto 1º abril de 1946	A causa de un terremoto sucedido al sureste de la isla Unimak, en el archipiélago de las Aleutianas, se desarrolló un maremoto que afectó al litoral chileno. En Valparaíso las olas avanzaron hasta 100 m sobre el camino y las viviendas costeras, y los pescadores perdieron todo el material de trabajo.
Terremoto de 3 de Marzo de 1985	Este terremoto afectó la zona centro del país. Causando daños principalmente a casas, caída de puentes, interrupción del agua potable, electricidad, daño en pavimentos. No hay registros de maremoto asociado.

Fuente: Elaboración propia a partir de Urrutia y Lanza (1993) y López et al. (2005).

5.3 Sismicidad

5.3.1 Antecedentes Históricos

La costa oeste de Sudamérica está delineada por el borde oriental de la placa tectónica Sudamericana y se caracteriza por su sismicidad debido a su encuentro con la placa tectónica de Nazca. Estos aspectos producen un alto nivel de acoplamiento mecánico en la zona de contacto, permitiendo la acumulación de grandes niveles de energía que ocasionan grandes terremotos, generando una banda sísmica activa muy angosta (100-150 kilómetros de ancho) y profundidad variable (entre 5 y 150 Km. de profundidad) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. En la zona de estudio, el contacto entre ambas placas se extiende hasta alrededor de los 40 - 53 km de profundidad (Tassara, et al., 2006).

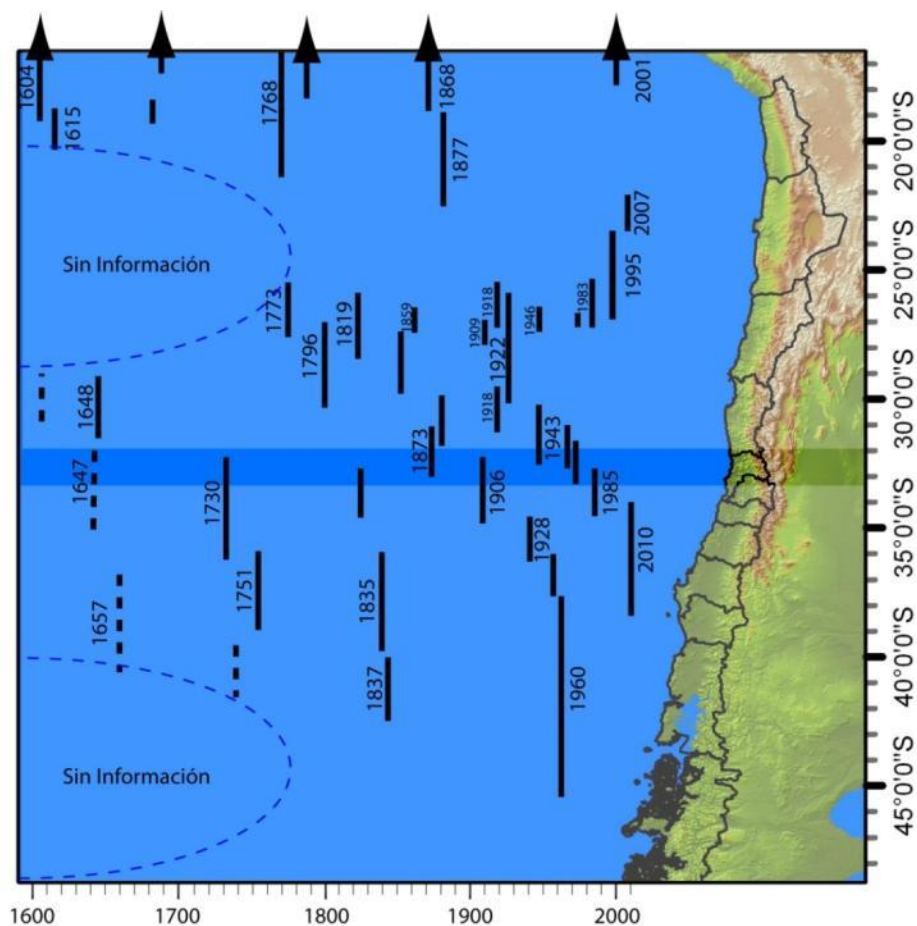
La costa de Chile históricamente ha sido afectada por grandes terremotos, varios acompañados de maremotos destructivos. En la FIGURA N° 5-6 se grafican los más importantes sismos de subducción que han ocurrido en el período histórico.

Por las condiciones geológicas de Chile, históricamente ha sido afectado por grandes terremotos. En el área de estudio esto queda evidenciado en el registro de terremotos intraplaca de profundidad intermedia, tales como los de 1965 y 1971, y terremotos interplaca tipo thrust, por ejemplo, los terremotos 1647, 1730, 1873, 1906, 1943 y 1985 (Lara & Rauld, 2003). Los principales eventos que han afectado al área de estudio se presentan en el CUADRO N° 5-4. También sismos de magnitud cercana a 7, con características de terremoto han afectado a la zona, como por ejemplo el de 1822.

Los terremotos ocurridos en Chile previamente al año 1960 no fueron registrados mediante sismómetros modernos, por lo que no poseen información instrumental que permita determinar sus características. Por lo tanto, las áreas de ruptura de los terremotos previos a dicha fecha han sido estimados en otros estudios utilizando los datos históricos de intensidad de daño mediante la metodología propuesta por (Kausel, 1992).

En el CUADRO N° 5-5, se presenta un resumen del registro histórico general de los sismos que han afectado al área de estudio. Esta información es obtenida desde Urrutia y Lanza (1993) y y Pettit-Breuilh (2001).

FIGURA N° 5-6 Terremotos de subducción históricos con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura. En línea continua las zonas de ruptura bien identificadas, en línea discontinua las zonas de ruptura inferidas a partir de datos históricos



Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 5-4 Datos de terremotos históricos de magnitud superior a 7.5 ocurridos en la zona.

Latitud	Longitud	Profundidad	MagnitudAprox.	Año	Mes	Día
-33.05	-71.63	-	8.9	1730	07	07
-33 aprox.	-72	25	8.2	1906	08	16
-32.01	-71.17	50 a 60	7.6	1965	03	28
-32.45	-71.57	60	7.7	1971	07	08
-33.24	-72.04	33	7.7	1985	03	03

Fuente: Elaboración propia en base a Catálogo NEIC

CUADRO N° 5-5 Descripción histórica de sismos que han afectado la zona de estudio y a regiones cercanas.

Fecha (Año/mes/día)	Zona del epicentro	Latitud/ Longitud	Prof.	Intensidad/ MagnitudAprox.	Descripciónsucesos	Referencia
1575-03-17	Santiago- Valparaíso, La Ligua	32°-34°S/ -	-	VIII / 7.5	Dstrucción parcial de Santiago, desplome de murallas y casas	(Petit-Breuilh, 2001)
1647-05-13	Santiago y Centro de Chile	32°-36°		X / 8.5	Ruina de los edificios públicos y privados de la ciudad de Santiago que en esta fecha tenía unas 300 casas. Se sintió en gran parte del Perú y en Valdivia. Dstrucción de Valparaíso, ruina en el valle de Quillota. El río de Aconcagua quedó seco en la desembocadura, a la altura de Concón.	(Petit-Breuilh, 2001) y (Urrutia & Lanza, 1993)
1657-07-09	Santiago- La Ligua	32°-34°/ -		VIII / -	El mar se presentó agitado desde el amanecer en toda la costa de Valparaíso.	(Petit-Breuilh, 2001)
1688-07-12	Santiago- La Ligua			VII /	En Valparaíso, el mar se presentó muy agitado desde el amanecer. Ruinaparcial de Santiago debido al terremoto	(Petit-Breuilh, 2001)
1722-05-24	Valparaíso- Santiago	32°-34°			Se maltrataron algunas casas de Santiago debido a un temblor fuerte. En Valparaíso se desplomó el castillo que servía de fuerte ante los corsarios	(Petit-Breuilh, 2001)
1730-07-08	Santiago- Valparaíso y todo el centro del país.	-33.05/- 71.63	-	8.9	Es considerado uno de los mayores sismos que han afectado el territorio de Chile, con magnitud estimada entre 8.5 y 9. El fuerte movimiento produjo daños entre La Serena-Coquimbo y Chillán. Y un maremoto afectó la zona centro y sur de Chile. Ruina de Santiago y del Almendral en Valparaíso, donde el mar se llevó 80.000 fanegas de trigo.	(Petit-Breuilh, 2001) y (Urrutia & Lanza, 1993)
1751-05-25	Concepción / Chile	34°-38°		IX-X / 8.5	Cuarta destrucción de Concepción. Ruina de todas las ciudades y pueblos de la costa sur. Chillán y Talca destruidas. Posteriormente se reedificaron en mejor sitio. Daños en Valparaíso debido al tsunami, se destruyó el fuerte llamado "El Castillo"	(Petit-Breuilh, 2001) y (Urrutia & Lanza, 1993)
1769	Valparaíso	32°-34°			Temblor que causó daños en la Iglesia de San Francisco de Valparaíso.	(Petit-Breuilh, 2001)
1775-03-17	Valparaíso	32°-34°			Sentido en Valparaíso	(Petit-Breuilh, 2001)
1822-11-19	Valparaíso- Santiago	32°-34°		IX / 8.5	Sismo que fue sentido desde Illapel hasta Chiloé. Valparaíso y Quillota fueron afectados, falleciendo en la primera 66 personas. Se produjo un maremotomoderado.	(Petit-Breuilh, 2001)
1822-11-22 y 25	Valparaíso- Santiago	32°-34°		VII-VIII	Réplicas del día 19 de noviembre. Daños en Valparaíso (barrio del Almendral). Grandes perjuicios en Casablanca, Quillota, Limache y posiblemente en Juan Fernández. Grietas en la desembocadura del río Aconcagua	(Petit-Breuilh, 2001)
1829-09-26	Valparaíso- Santiago Foco de La Ligua	32°-34°		VIII	Un temblor fuerte se sintió en Valparaíso	(Petit-Breuilh, 2001)
1851-04-02	Zona Central de Chile	32°-34°			En Valparaíso el barrio Almendral fue el que más tuvo daños. En Viña del Mar el suelo se hundió en varias parte, frotando agua de las grietas. En Quillotalas casas particulares tuvieron daños de consideración.	(Urrutia & Lanza, 1993)

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS
ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE CONCON

1851-04-02	Santiago-Casablanca Foco La Ligua	32°-34°		VIII / 7-7.5	Daños en Santiago y Valparaíso. Se sintió en Talcahuano, Talca, Mendoza, Copiapó y Cobija	(Petit-Breuilh, 2001)
1871-05-21	Santiago-Valparaíso	32°-34°			En Santiago quedaron afectadas algunas iglesias y hubo casas destruidas. Grandes daños en Valparaíso y en toda la línea de costa. En Chillán y alrededores, casas arruinadas	(Petit-Breuilh, 2001)
1873-07-08	Valparaíso/ Centro de Chile	32°-34°		VIII	Fuertes sacudidas en Santiago. En La Ligua se arruinaron casi todas las construcciones. El sismo se sintió hasta Chiloé	(Petit-Breuilh, 2001)
1874-10-26	Santiago-Chile Central	32°-34°		VIII	Gran temblor con epicentro en Valparaíso que abarcó una considerable extensión de territorio	(Petit-Breuilh, 2001)
1880-08-14	Valparaíso-Coquimbo	30° - 32°		VIII / 7-7.5	Daños de consideración en las construcciones de Quillota	(Petit-Breuilh, 2001)
1885-12-11	Norte de Chile				A causa del terremoto varias ciudades de la costa norte de Chile sufrieron daños, especialmente Iquique. Del mismo modo fueron afectadas Arica, Tacna, La Serena y Valparaíso	(Petit-Breuilh, 2001)
1896-03-14	Valparaíso-Santiago	32°-34°		VII	Daños en numerosos edificios de Valparaíso y de Santiago. En Valparaíso se cayeron murallas en mal estado y se agrietaron otras. Se sintió en Mendoza y Tucumán	(Petit-Breuilh, 2001)
1906-08-16	Limache y Valparaíso	-33 aprox. / -	25	- / 8.2	Importantes daños materiales en el centro de Chile que afectaron principalmente a Valparaíso y a los pueblos aledaños. Hubo más de dos mil personas fallecidas. En Concón hubo serios daños a las viviendas y el mar subió por la desembocadura del río Aconcagua, más allá del nivel de altas mareas	(Petit-Breuilh, 2001), (Urrutia & Lanza, 1993)
1927-04-14	Santiago	32°-34°		VIII / -	Se sintió entre Antofagasta y Valdivia., con mayor intensidad en Santiago, Valparaíso, San Fernando, Los Andes. En Valparaíso y Viña del Mar se interrumpió el suministro de electricidad, y hubo daños en viviendas y negocios.	(Urrutia & Lanza, 1993)
1930-10-07	Quillota-LlayLay, Valle del Aconcagua. Foco de La Ligua	32°-34°		VIII / -	Este temblor se sintió desde Antofagasta hasta Angol. Los mayores daños fueron en Quillota, LlayLay, La Calera y alrededores	(Petit-Breuilh, 2001)
1965-03-28	La Ligua	-32.01 / -71.17	50 a 60 km	7.6	Terremoto de la Cuesta de las Chilcas. Zona de Ruptura: 80 km. Largo: 560 km	(Petit-Breuilh, 2001), (Urrutia & Lanza, 1993)
1971-07-08	Valparaíso-Chile Central Foco de La Ligua	-32.45 / -71.57	60	7.7	En la costa se produjeron marejadas. Zona de Ruptura: 135 km. Afectó principalmente las zonas de Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso y Santiago. El epicentro se ubicó en los treinta y dos grados y veintisiete minutos de latitud sur y setenta y un grado treinta y cuatro minutos de longitud	(Petit-Breuilh, 2001), (Urrutia & Lanza, 1993)
1985-03-03		-33.24 / -72.04	33	7.7	El movimiento se sintió desde la III y IX región. Su epicentro se ubicó en la latitud treinta y tres grados, catorce minutos y veinticinco segundos, y longitud de setenta y dos grados, dos minutos y veinticuatro segundos. Con este terremoto hubo destrucción de viviendas que causaron víctimas fatales, destrucción de pavimentos, caída de puentes.	(Petit-Breuilh, 2001), (Urrutia & Lanza, 1993)

Fuente: Elaboración propia en base a Urrutia y Lanza (1993) y Pettit-Breuilh (2001)

5.3.2 Sismos registrados por la red sismológica mundial.

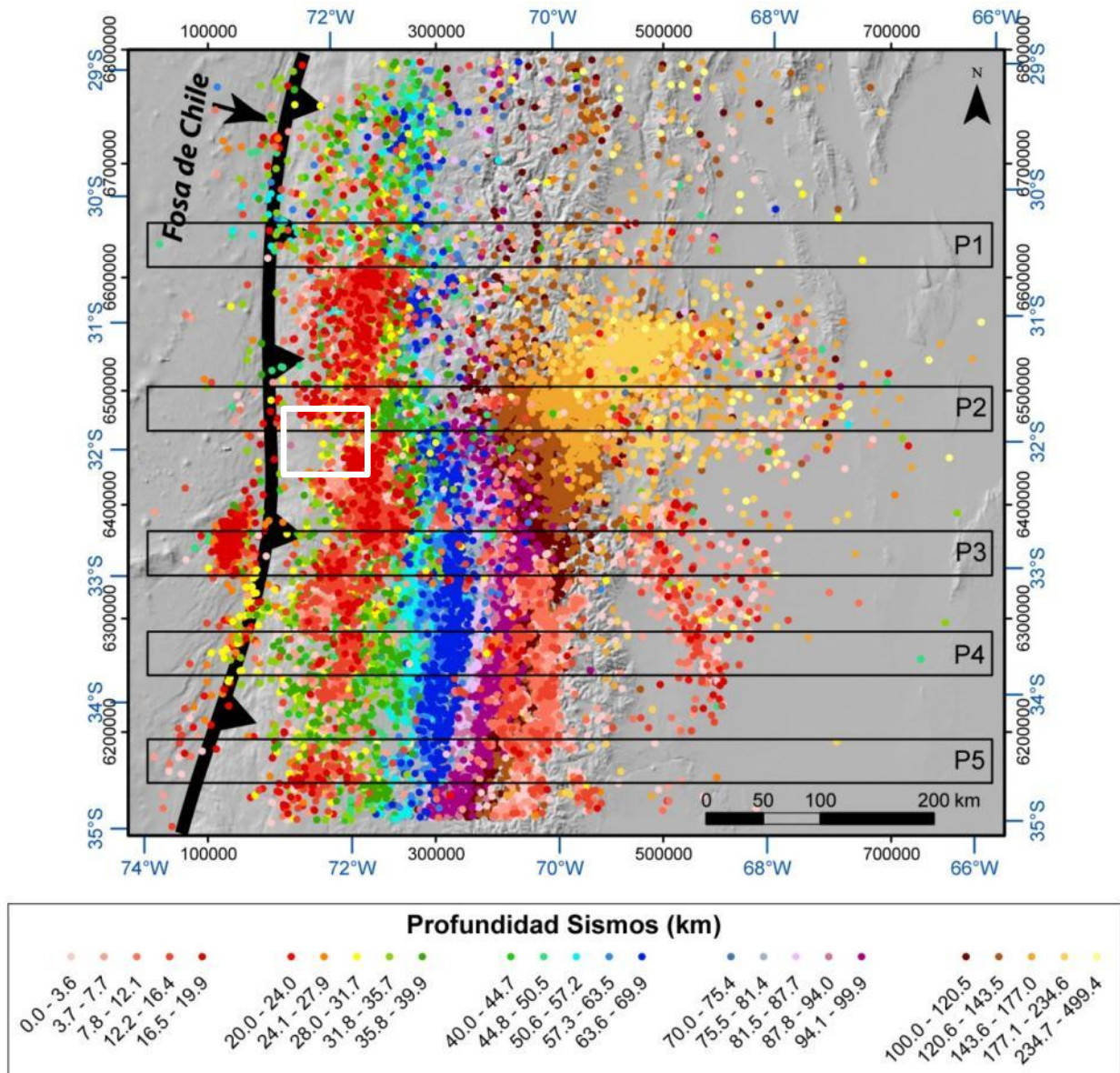
En la FIGURA N° 5-7, se presenta la sismicidad registrada por la red sismológica internacional, con magnitudes superiores a 3 entre los años 1973 y 2010.

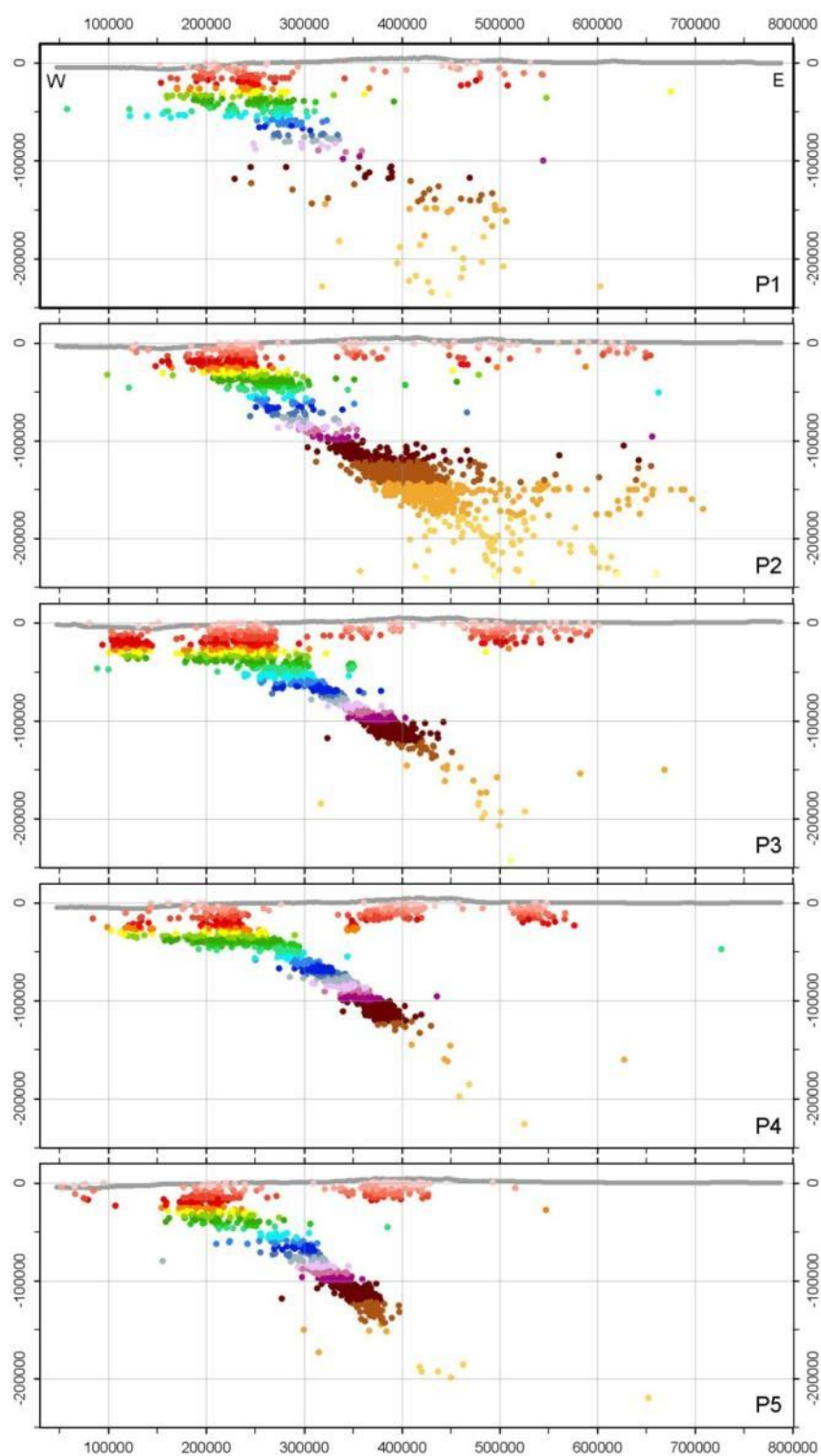
De la distribución de los sismos es posible realizar una serie de observaciones respecto a la distribución espacial de la sismicidad entre los 29°S y los 34°S.

- 1) La mayor parte de la sismicidad se dispone en una línea paralela a la costa y en los primeros 30 km de profundidad. Esta sismicidad es la que se produce en la interfaz de subducción (sismos interplaca) y prácticamente no muestra variaciones latitudinales. Ejemplo de este tipo de sismos es el ocurrido en 1985 cuya profundidad y magnitud fueron de 33 km y MW = 7.7 respectivamente.
- 2) Al sur de los 31°S hay una gran cantidad de sismos ubicados bajo los 60 km, estos son los sismos intraplaca de profundidad intermedia. La mayor concentración de este tipo de actividad, a la latitud en la cual se enmarca el área de estudio (FIGURA N° 5-7), significa un aumento en la probabilidad de ocurrencia en esta zona de sismos de tales características, en comparación a las zonas que se ubican al norte de los 31°S. Ejemplos de este sismo es el de 1965, los cuales tuvieron profundidades entre los 50 y 60 km, y magnitud MW = 7.6 y que afectó fuertemente la zona en estudio.
- 3) Desde los 32° S hacia el sur en la figura se aprecia una gran cantidad de eventos sísmicos superficiales, de profundidad menor a 20 km, especialmente en la zona cordillerana, los que están asociados a los procesos de deformación actualmente activos.

Se observa que la región que enmarca la zona de estudio se encuentra regida por diferentes tipos de sismos, de intraplaca de profundidad intermedia, interplaca y superficiales, los cuales denotan la dinámica que se ejerce en la interacción de ambas placas, en la cual una subducta a la otra.

FIGURA N° 5-7 Mapa regional con la sismicidad registrada entre 1973 y 2010 del Catálogo NEIC, junto a perfiles de sismicidad. El área de estudio está indicada con rectángulo blanco.





Fuente: Elaboración propia en base a Catálogo NEIC

5.3.3 Principales fuentes sísmicas reconocidas en el área de estudio.

El perfil en el cual se ubica el área de estudio (FIGURA N° 5-6), permite reconocer tres fuentes sismogénicas principales, que son: interplaca, intraplaca de profundidad intermedia y eventos corticales superficiales (ver FIGURA N° 3-3 en 3.1.1 Sismicidad)

5.3.3.1 Sismos Interplaca tipo Thrust

Corresponden a aquellos eventos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana. Este tipo de eventos alcanzan grandes magnitudes. Ejemplos de estos sismos que han afectado fuertemente a la zona del presente estudio corresponden a los de 1906 y 1985, cuyas magnitudes fueron de $MW = 8.2$ y $MW = 7.7$ respectivamente. Esta zona por lo tanto, se considera una fuente activa que puede generar terremotos destructivos en la zona.

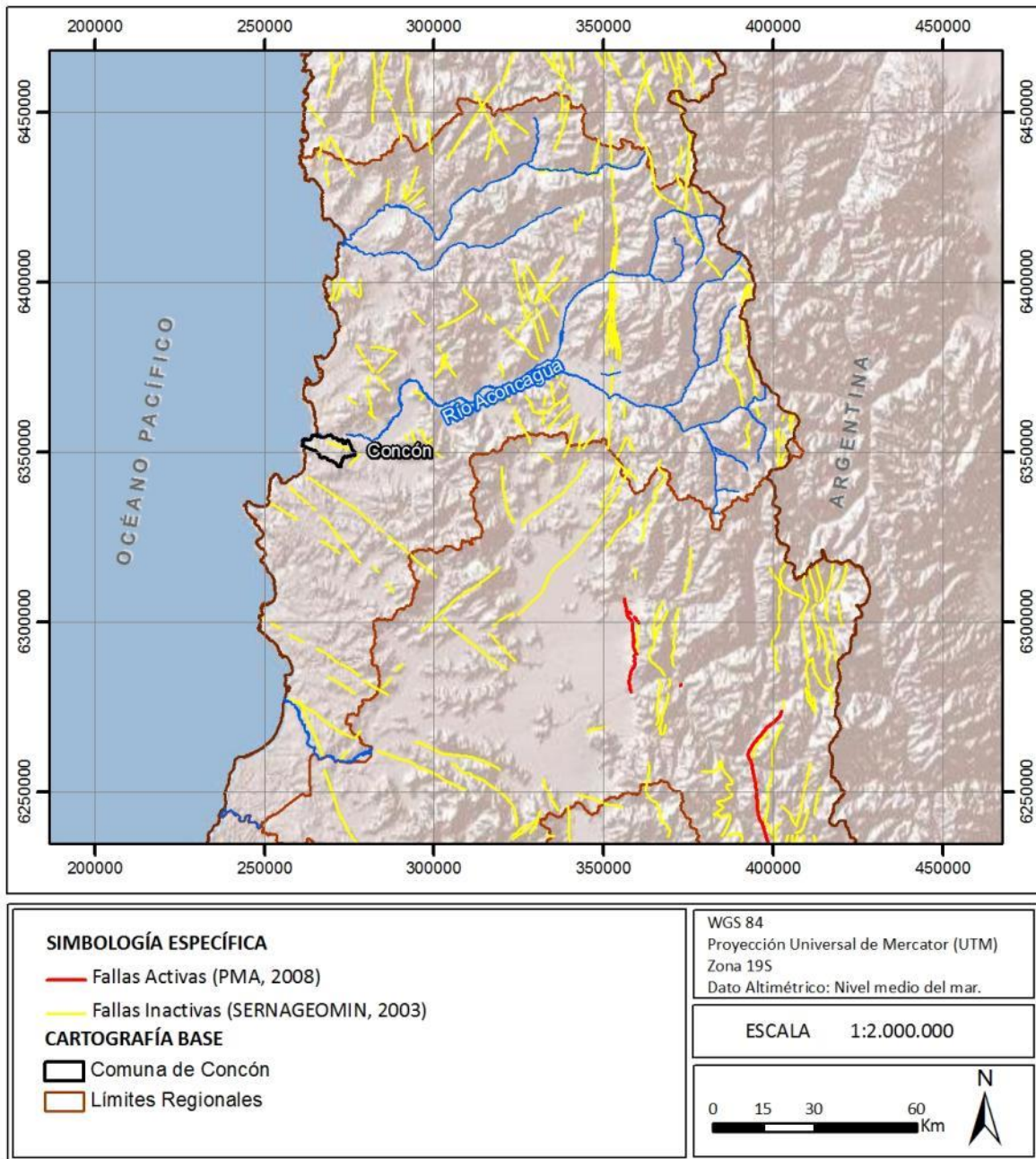
5.3.3.2 Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia

Esta fuente está compuesta por sismos que ocurren dentro de la placa de Nazca. Las profundidades de estos sismos son mayores a 50 km y llegan hasta los 150-200 km. Recientemente, se ha puesto en evidencia que este tipo de eventos poseen notorias diferencias con los de contacto interplaca en las características de la fuente, reflejándose en mayores daños producidos en la zona epicentral y altas aceleraciones máxima reportadas. Los sismos que han causado mayor daño en la zona de estudio corresponden a sismos de estas características, como el sismo de 1965. Además el aumento en la concentración de estos sismos registrados al sur de los 31° de latitud sur, abarcando la zona de estudio (cercana a los 32° sur) permite considerar que la zona tiene el potencial de generar grandes terremotos como los ya mencionados.

5.3.3.3 Sismos Corticales

Corresponde a sismos producidos por fallas superficiales, cuyos focos se encuentran a una profundidad menor a 30 km, y están asociados a fallas geológicas activas en superficie. De acuerdo al mapa construido en base a SERNAGEOMIN (2003) y a (PMA-GCA, 2007) (FIGURA N° 5-7), que recopila antecedentes generales de fallas, no se observan fallas activas en la región que afecten el área de estudio. Esto se contrapone con los registros instrumentales de sismicidad que se observan en la FIGURA N° 5-3, los cuales dan cuenta que los sismos corticales aparecen en aumento desde los 32° de latitud hacia el sur, especialmente hacia el sector cordillerano. En particular, en la latitud en que se enmarca la zona de estudio se identifica una importante sismicidad cortical, la que está representada en los sismos ocurridos en profundidades menores a 20 km. Estos sismos evidencian que los procesos de formación de Los Andes se encuentran activos y que liberan esfuerzos, en forma de sismos, en fallas corticales activas. Por lo tanto, a pesar que hasta el momento no haya sido reconocida evidencia de fallas activas que tengan deformación superficial (FIGURA N° 5-8), y por ende no haya cartografía de éstas, se considera que este tipo de sismicidad puede ser producto de fallas activas sin expresión superficial.

FIGURA N° 5-8 Fallas activas cercanas al área de este estudio.

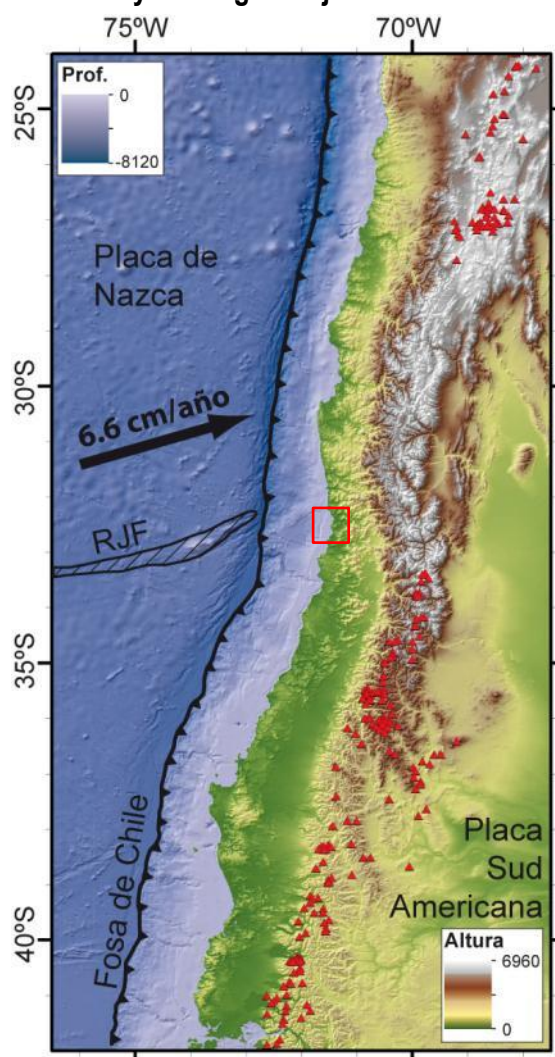


Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN (2003) y PMA (2007)

5.4 Volcanismo

El área de estudio se encuentra ubicada en el segmento de subducción subhorizontal que se desarrolla entre 27° S y 33°30' S, el que se conoce como zona de subducción plana (flat slab). Como se explicó en el Capítulo 4.1 “Marco Geodinámico” este sector se caracteriza por la ausencia de la Depresión Central, el desarrollo de valles fluviales transversales y la ausencia de actividad volcánica reciente. Los volcanes más próximos al área de estudio corresponden al volcán Ojos del Salado, ubicado en las cercanías de Copiapó y perteneciente a la Zona Volcánica Central, y el volcán Tupungatito, asociado a la zona Volcánica Sur y ubicado al norte de Santiago en las nacientes de la cuenca del río Maipo (FIGURA N° 5-9).

FIGURA N° 5-9 Ubicación centros volcánicos próximos al área de estudio. Triángulos rojos indican la ubicación de volcanes y rectángulo rojo la ubicación del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

6 DIAGNÓSTICO Y ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS QUE PUEDEN AFECTAR EL ÁREA DE ESTUDIO

Los peligros reconocidos en la zona de estudio se pueden diferenciar en dos grupos:

- Peligros No Zonificables: a escala comunal (escala de trabajo mayor a 1:50.000): casos en los que no se pueden zonificar a escala urbana o que requerirían estudios de mayor detalle para poder determinar una zonificación de la susceptibilidad.
- Peligros Zonificables: a escala comunal (escala de trabajo menor a 1:25.000): casos en los que se puede categorizar la susceptibilidad y por lo tanto determinar una zonificación de la misma (PLANO N°1 y N°2 fuera de texto).

6.1 Peligros No Zonificables

6.1.1 Peligro Sísmico

Considerando lo discutido anteriormente se puede concluir que el área de estudio ha sido afectada por sismos importantes, al igual que casi todo Chile. Dado que estos fenómenos son recurrentes y propios de la dinámica de subducción en que se encuentra Chile, no debe descartarse la ocurrencia de grandes sismos en la planificación a mediano y largo plazo. Particularmente para el área de estudio, el resultado del análisis anterior indica que el peligro sísmico del área se debe considerar uniforme, lo que no justifica una zonificación por generación de sismos.

Tanto para los sismos de profundidad intermedia como los sismos corticales, sus características y recurrencias son poco conocidas. Sin embargo, las evidencias recolectadas apuntan a que la zona puede ser afectada por sismos de ambos tipos. Los sismos de profundidad intermedia se registran en todo el país, la mayor parte corresponde a sismos de magnitud pequeña, para la zona los datos sísmicos señalan la ocurrencia de estos sismos, por lo que no se puede descartar un evento de magnitud importante en el futuro.

6.1.2 Peligro Volcánico

El peligro volcánico no sería una amenaza directa en la zona, dada la ausencia de centros volcánicos al norte de los 33°S y al sur de los 27° S. Por lo anterior, no se considera este peligro para la zonificación, ya que en la cuenca del río Aconcagua no existen volcanes activos y la comuna de Concón se encuentra a más de 160 km del volcán activo más cercano (volcán Tupungatito). Sin embargo, erupciones fuera del área de estudio podrían causar efectos indirectos sobre el área, como problemas de transporte o abastecimiento.

6.2 Peligros Zonificables

6.2.1 Peligro de Inundaciones Terrestres y Flujos de Detritos o Barro

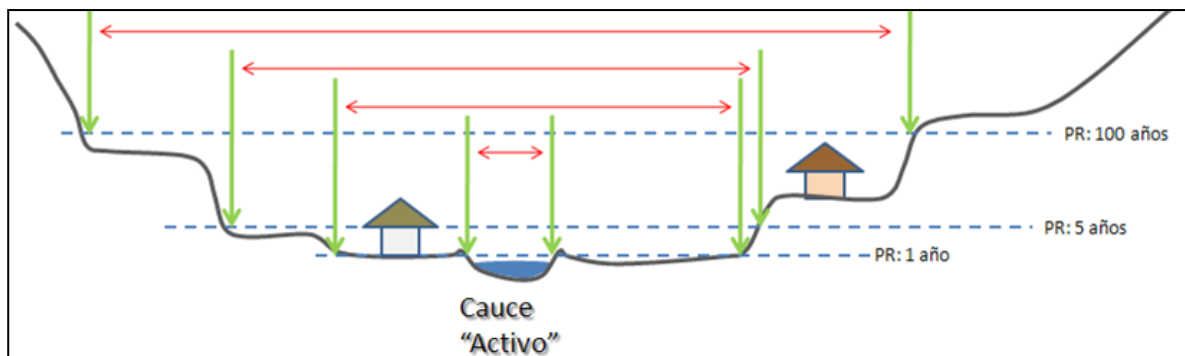
Las principales inundaciones que han afectado al área de estudio tienen relación con eventos meteorológicos extremos, los que se han producido en años en que se manifestó el Fenómeno de El Niño, como por ejemplo el año 1997. Estos eventos de precipitaciones extraordinarias han originado inundaciones en Concón por desbordes en el sector de la desembocadura del río Aconcagua y en el estero Limache.

Tomando en cuenta los antecedentes históricos, consideraciones geológicas y el estudio de López et al. (2005), se determinó la siguiente zonificación de *susceptibilidad* (FIGURA N  6-2 y FIGURA N  6-3):

- **Zonas de Alta Susceptibilidad:** sectores de cauces fluviales naturales de ríos, esteros y quebradas. Geológicamente corresponden a depósitos fluviales activos del río Aconcagua y del estero Limache y depósitos aluviales de quebradas.
- **Zonas de Moderada Susceptibilidad:** sectores de cauces antiguos, barras y terrazas fluviales. Geológicamente corresponden a los depósitos fluviales activos intervenidos antrópicamente (sector de Puente Colmo) y sectores de depósitos aluviales de valle.
- **Zonas de Baja Susceptibilidad:** corresponden a los sectores ribereños que no pertenecen a ninguna de las categorías anteriores, pero que han sido afectados por inundaciones en el pasado, de acuerdo al registro de inundaciones históricas realizado por López et al. (2005).

Un parámetro importante para el mapeo de las zonas susceptibles es el “período de retorno” o “intervalo de recurrencia”, que es la probabilidad de ocurrencia de un evento de una magnitud dada en un período de tiempo determinado. Por ejemplo, en la FIGURA N  6-1 se muestra el perfil transversal de un río, destacando el cauce principal y los distintos niveles de terrazas fluviales. Las líneas discontinuas azules muestran la altura de inundación con su período de retorno en años. Un período de retorno de un año significa que estadísticamente cada año se inundará ese sector, un período de retorno de 5 años, significa que la zona en esta área de influencia deberá inundarse una vez cada 5 años (es decir, una probabilidad de 1/5 o 20% anual). Las áreas bajo un período de retorno de 100 años, implica que deberían inundarse una vez cada 100 años (probabilidad 1/100 o 1% anual).

FIGURA N° 6-1 Áreas de Inundación y Período de Retorno (PR). Las líneas discontinuas azules muestran la cota de inundación, las flechas verdes y rojas son referenciales para indicar el ancho del área de inundación y los límites



Fuente: Elaboración propia

Dentro de los alcances del presente estudio no se incluye la realización de estudios hidrológicos y/o hidráulicos que serían necesarios para el cálculo de períodos de retorno. Esto se debe a que para generar modelos hidráulicos que permitan definir zonas afectadas por inundaciones para diferentes períodos de retorno se requeriría trabajar a escala 1:500 ó 1:100. Además se necesitarían una gran cantidad de parámetros que, por la escala de trabajo del PRC (1:2.500) y los alcances de este estudio, no están disponibles (anchuras, alturas, calados, resguardos de canal, coeficientes de Manning (rugosidad), caudales, etc.), datos que serían necesarios para cada cauce a analizar. Un estudio hidráulico de estas características y profundidad no está dentro de los alcances ni plazos de este estudio.

Considerando lo anterior, para poder asociar la zonificación de susceptibilidad realizada con períodos de retorno, se revisaron diversos estudios hidrológicos del río Aconcagua y se realizó un inventario de inundaciones que han afectado a la comuna de Concón. Los estudios hidrológicos e hidráulicos consultados fueron los siguientes:

- Thorson, R. 1999. The Aconcagua River, Selected Geologic Topics. Universidad Técnica Federico Santa María. Informe Inédito, 42 pp.
- AC Ingenieros Consultores, 2000. Estudio Integral y Digitalización del Río Aconcagua.
- Cadepe-Idepe Consultores-DGA. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Aconcagua. Ministerio de Obras Públicas, DGA.
- DGA. 2004. Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Aconcagua. Informe Técnico, 70 pp.
- OHL Concesiones Chile S.A, 2004. Estudio de Hidrología e Hidráulica del Río Aconcagua, Sector El Olivo
- AES Gener, 2009. Estudio hidrológico e hidráulico de crecidas en el río Aconcagua, Central termoeléctrica Los Vientos.

Los datos de períodos de retorno para ciertas áreas de inundación que se encuentran disponibles en los estudios revisados corresponden a sectores altos y medios de la cuenca del río Aconcagua y no a su desembocadura, que en este caso constituye la zona de interés.

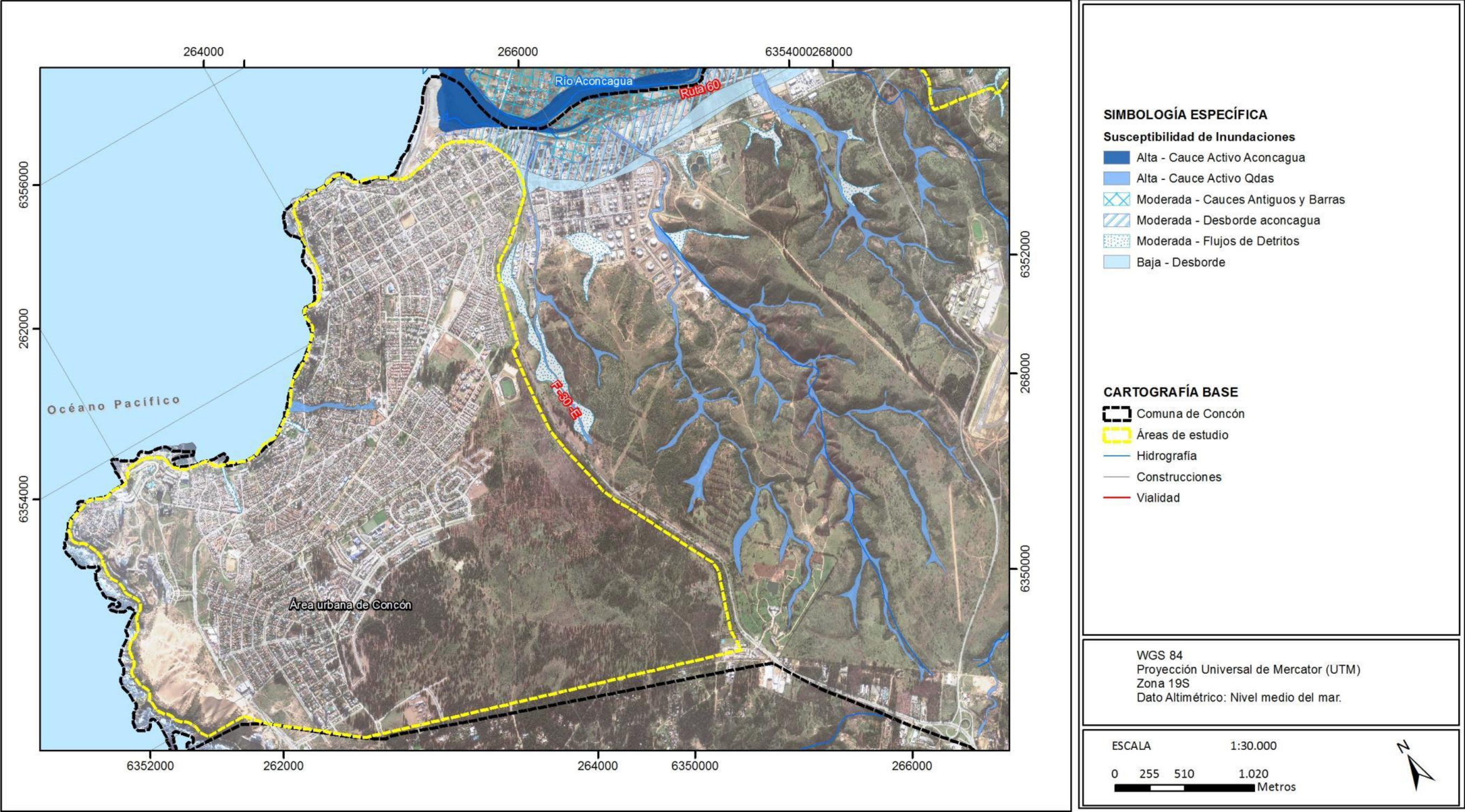
La información con que se cuenta para relacionar períodos de retorno con zonas de inundación en el área de interés, es la publicada por Lépez et al. (2005), (trabajo realizado por el SERNAGEOMIN), la cual está basada en antecedentes históricos únicamente. La zonificación de inundaciones realizada por estos autores está dada por los siguientes criterios:

- **Zonas de Moderado Peligro:** áreas planas cercanas al cauce fluvial, más altas que el cauce y que han registrado 2 a 3 inundaciones en 100 años.
- **Zonas de Moderado a Bajo Peligro:** áreas planas de mayor altura que las anteriores que sólo se han visto afectadas por 1 inundación en los últimos 100 años.

Al comparar las categorías definidas en el estudio de Lépez et al. (2005) y el presente estudio, se observa que las zonas de “Moderado peligro” coincidirían espacialmente con las de “Moderada Susceptibilidad” y las zonas de “Moderado a Bajo Peligro” coincidirían con la zonificación de “Baja Susceptibilidad” (ver FIGURA N° 6-2 y FIGURA N° 6-3).

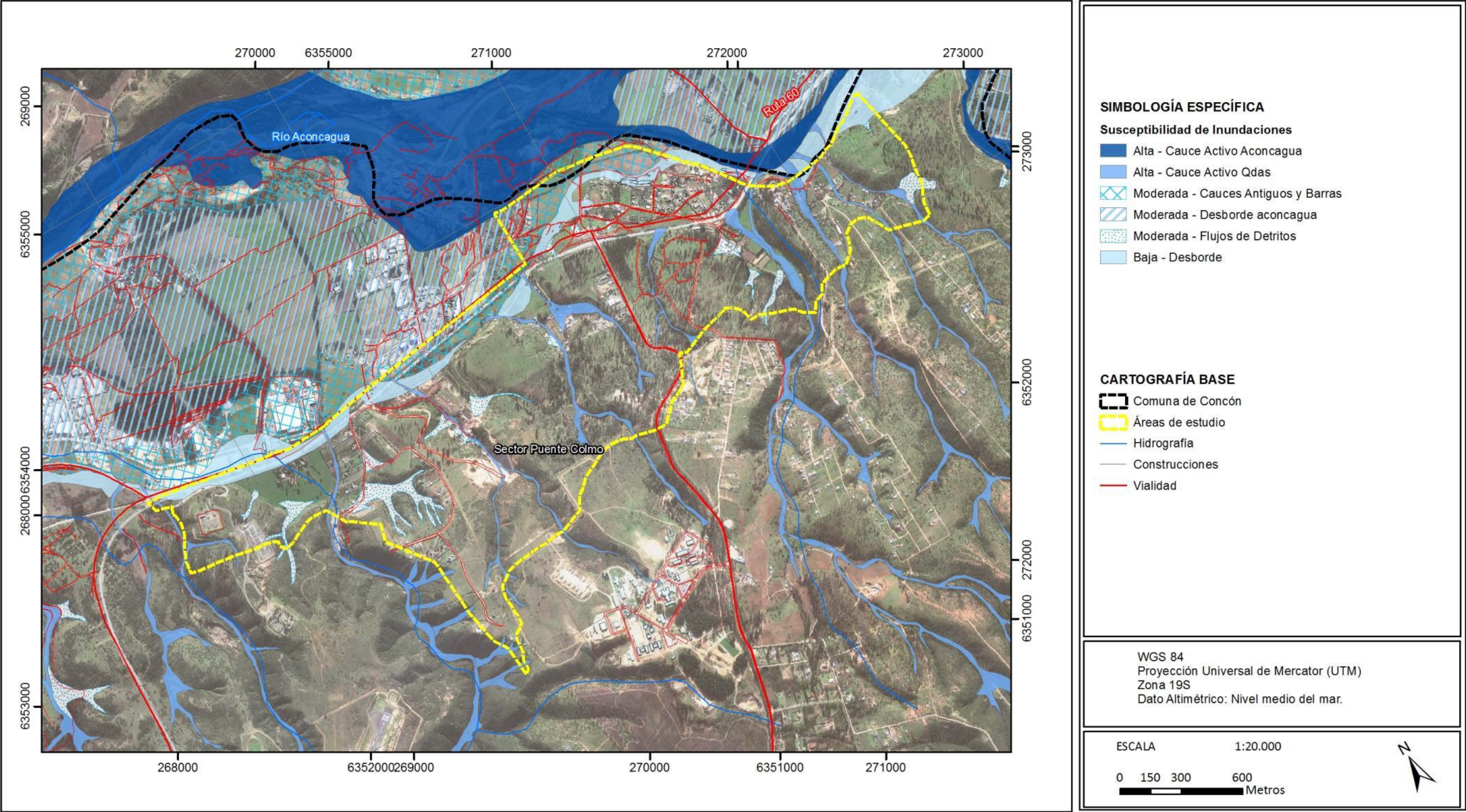
A partir de todo lo anterior, se concluye que los sectores afectados por inundaciones para un período de retorno de 100 años, son todas las zonas definidas como susceptibles de inundación en el presente estudio (Zonas de Alta, Moderada y Baja Susceptibilidad de Inundación por Desbordes del Río Aconcagua).

FIGURA N° 6-2 Zonas de susceptibilidad de inundaciones Concón



Fuente: Elaboración propia

FIGURA Nº 6-3 Zonas de susceptibilidad de inundaciones Puente Colmo



Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Peligro de Inundaciones Costeras asociadas a Maremotos

Para determinar cuáles son los sectores susceptibles de ser inundados en caso de un maremoto, se consideraron los antecedentes históricos disponibles (0

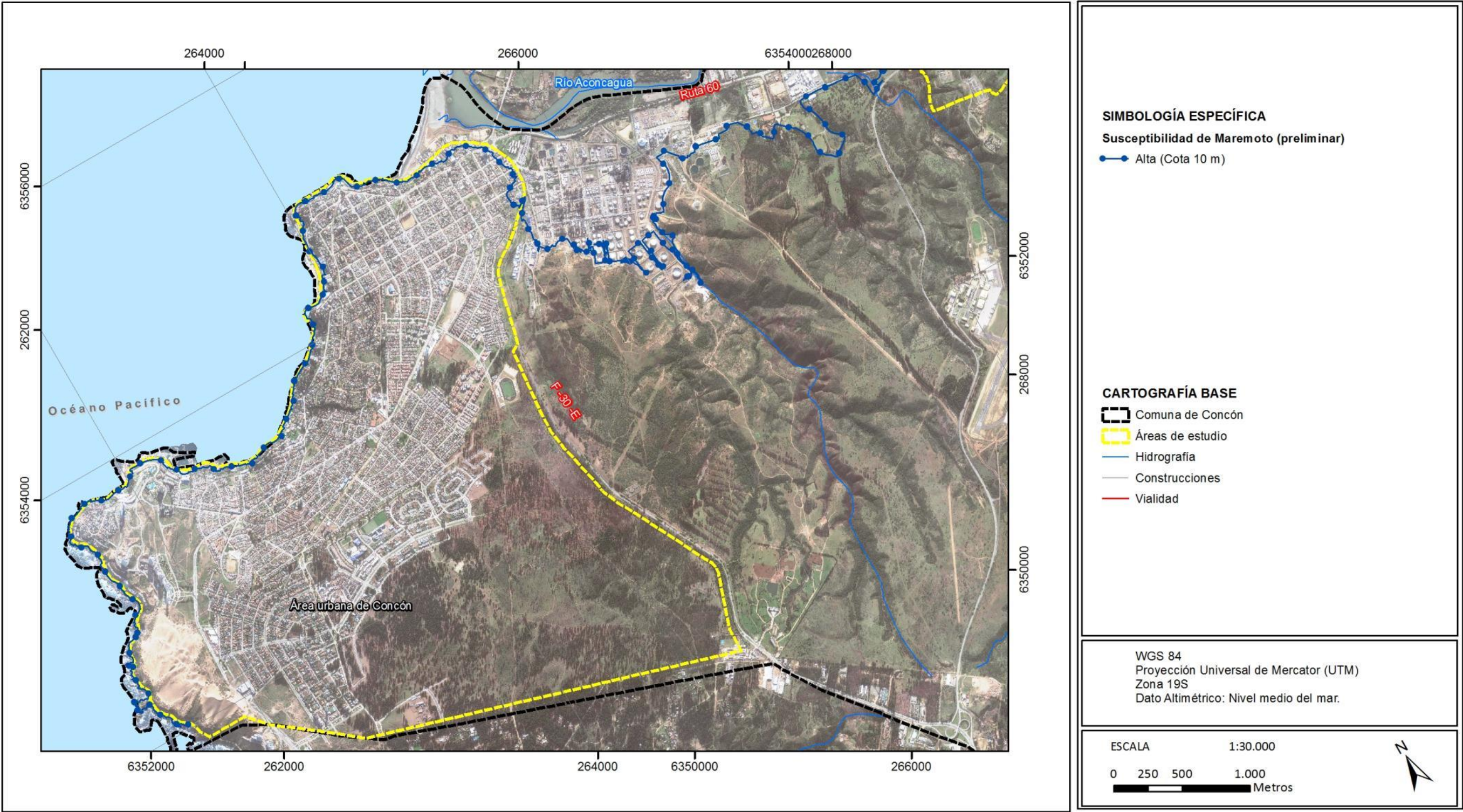
Inundaciones costeras por efectos de maremotos y marejadas.), y de manera referencial, los mapas de inundación por tsunamis publicados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada SHOA (1999) para la ciudad de Valparaíso, basados en el maremoto de 1906.

A partir de lo anterior, se definieron las siguientes categorías de susceptibilidad de inundación por maremotos (FIGURA N° 6-4 y FIGURA N° 6-5):

- **Zonas de Alta Susceptibilidad:** sectores ubicados bajo la cota 10 m.
- **Zonas de Moderada Susceptibilidad:** sectores ubicados entre las cotas 10 y 20 m

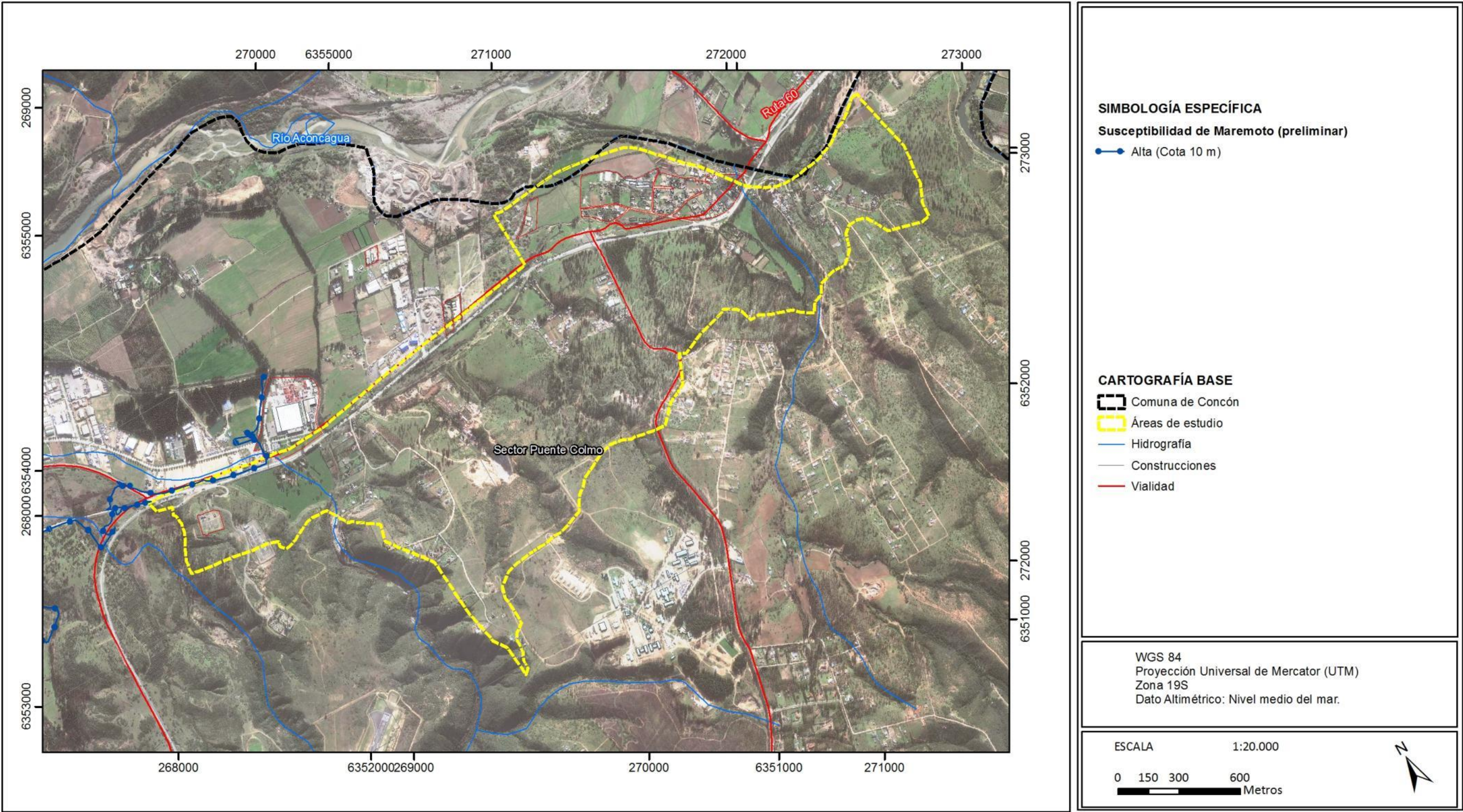
Es muy importante mencionar que las inundaciones producidas por maremotos generalmente no presentan un patrón totalmente coincidente con las curvas de nivel, ya que la altura de inundación depende de muchos otros factores además de la topografía. Sin embargo, considerando los alcances de este estudio y el hecho de que no se cuenta con datos batimétricos del sector de Concón, se ha propuesto esta zonificación referencial para Concón. Para obtener un mapa más preciso de inundaciones por maremotos resulta necesario realizar estudios más específicos, los que deben incluir levantamientos topográficos y batimétricos de detalle en los sectores costeros y simulaciones basadas en modelos numéricos.

FIGURA N° 6-4 Zonas de susceptibilidad de maremotos Concón



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 6-5 Zonas de susceptibilidad de maremotos Puente Colmo



Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Peligro de Remociones en Masa

En el área de estudio se reconoce la ocurrencia de remociones en masa de tipo deslizamientos multirrotacionales, caídas de bloques, flujos de barro o detritos y deslizamientos de arenas, fenómenos que han provocado efectos sobre la población. Lo anterior indica que en variados sectores de la comuna de Concón se dan condiciones favorables para la ocurrencia de dichos fenómenos.

Los deslizamientos principalmente están asociados a laderas poco estables, especialmente en los sectores de dunas, debido a la escasa a nula cohesión que presentan.

La definición de zonas de susceptibilidad para este peligro se dividió en susceptibilidad de generación y susceptibilidad de alcance de remociones en masa (ver FIGURA N° 6-6 y FIGURA N° 6-7).

Las categorías de susceptibilidad fueron definidas basándose en los criterios utilizados por López et al. (2005) en el mapa “Peligro de remoción en masa e inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso”. El trabajo y mapa de López et al. (2005), realizados por el SERNAGEOMIN, se consideran dos grupos de remociones en masa: los flujos de barro y/o detritos canalizados (incluidos en el presente estudio en la zonificación de inundaciones en el subcapítulo 6.2.1 “Peligro de Inundaciones Terrestres y Flujos de Detritos o Barro”) y por otra parte, los deslizamientos, flujos de barro y/o detritos no canalizados, reptación, caída de roca y colapso de materiales inestables. Estos últimos son los que se consideran en el presente subcapítulo y se originan principalmente en laderas de cerros o sectores con pendientes topográficas altas, constituidos por suelos residuales o rocas fracturadas.

En relación a las unidades geomorfológicas, estas sectores se observan principalmente asociados a los cerros constituidos por rocas de las unidades intrusivas Caviolén y Cochoa, y las unidades estratificadas Formación Confluencia, Formación Caleta Horcón y las Terrazas Marinas del Neógeno Superior (ver FIGURA N° 4-6 y FIGURA N° 4-7). La zonificación de generación y alcance de remociones en masa presentada en este informe se basa en el mapa de López et al. (2005), corregido y adecuado a la cartografía 1:5.000 proporcionada para el presente estudio.

Los criterios utilizados para definir la zonificación de generación y alcance de remociones en masa y su relación específica en cada caso con las unidades geomorfológicas, se describen en el

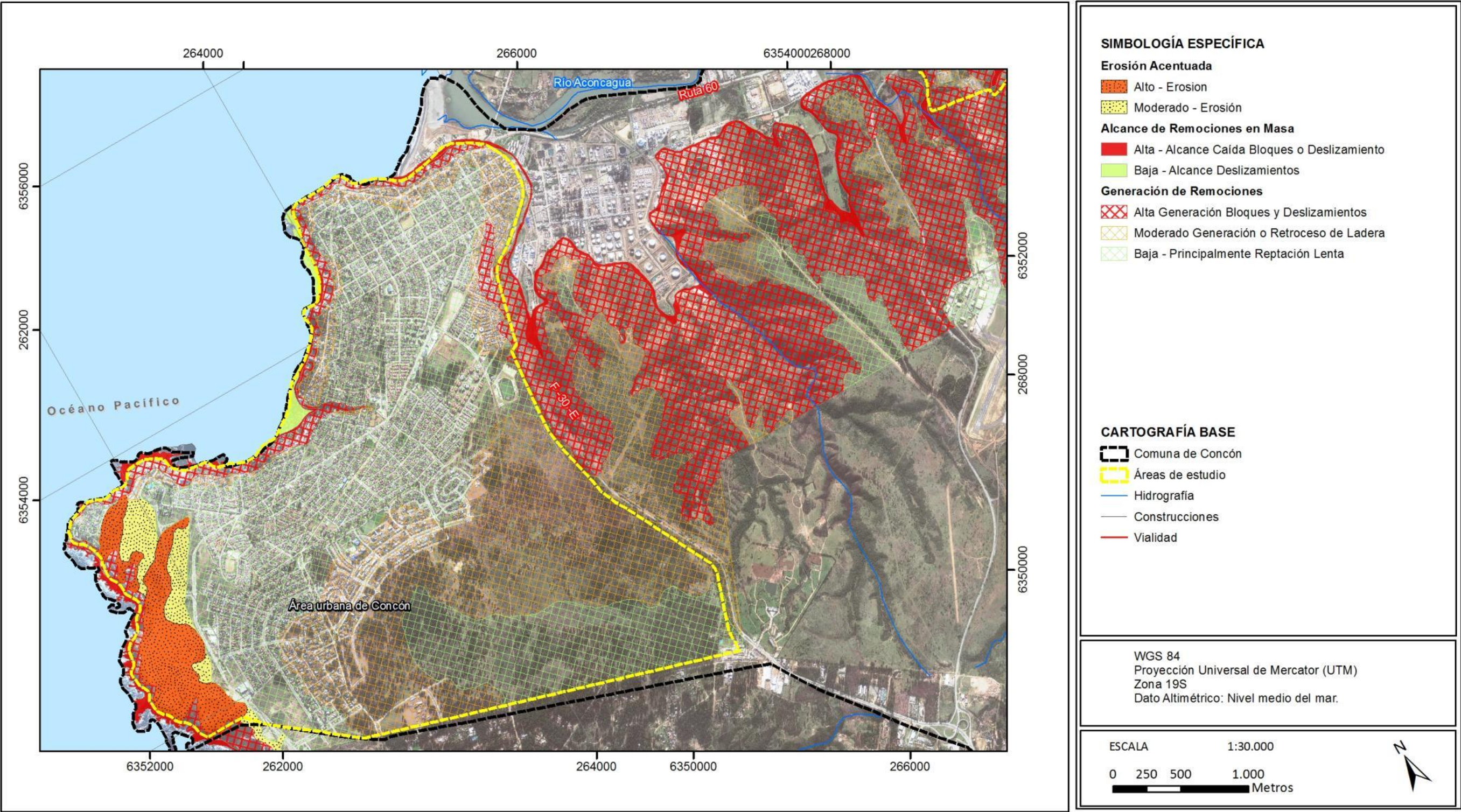
CUADRO N° 6-1.

CUADRO Nº 6-1 Criterios utilizados para la zonificación de susceptibilidad de remociones en masa

	Generación	Alcance
Alta	Zonas con pendientes mayores a 40° (basado en Lépez et al. (2005), ajustado a la cartografía 1:5.000). Coincidentes con las áreas escarpadas y pendientes altas en cerros al este del área urbana de Concón y en Puente Colmo constituidos por las unidades Cochoa, Cavilolén y la Formación Confluencia y con los acantilados costeros constituidos por la Formación Caleta Horcón.	Zonas de acumulación de materiales provenientes de sectores de alta susceptibilidad de generación (basado en Lépez et al. (2005), ajustado a la cartografía 1:5.000). Se ubican hacia la base de los cerros al este del área urbana de Concón y en Puente Colmo (constituidos por las unidades Cochoa, Cavilolén y la Formación Confluencia) y en la base de los acantilados costeros constituidos por la Formación Caleta Horcón.
Moderada	Zonas con pendientes entre 15° y 40° (basado en Lépez et al. (2005), ajustado a la cartografía 1:5.000). Coincidentes con las pendientes moderadas en cerros al este del área urbana de Concón y en Puente Colmo constituidos por las unidades Cochoa, Cavilolén y la Formación Confluencia y con los acantilados costeros constituidos por la Formación Caleta Horcón. Esta zona es adyacente a la de Susceptibilidad de Generación Alta.	Zonas ubicadas pendiente abajo de las zonas de alta susceptibilidad de alcance (basado en Lépez et al. (2005), ajustado a la cartografía 1:5.000). Los sectores son adyacentes a la base de los cerros y acantilados descriptos en la categoría anterior.
Baja	Zonas con pendientes menores a 15° (basado en Lépez et al. (2005), ajustado a la cartografía 1:5.000). Coincidentes con los sectores altos y planos de los cerros al este del área urbana de Concón y en Puente Colmo constituidos por las unidades Cochoa, Cavilolén y la Formación Confluencia y con las áreas planas urbanas de Concón (construida sobre la unidad Cochoa, Formación Caleta Horcón y las Terrazas Marinas del Neógeno Superior. Esta zona es adyacente a la de Susceptibilidad de Generación Moderada.	-----

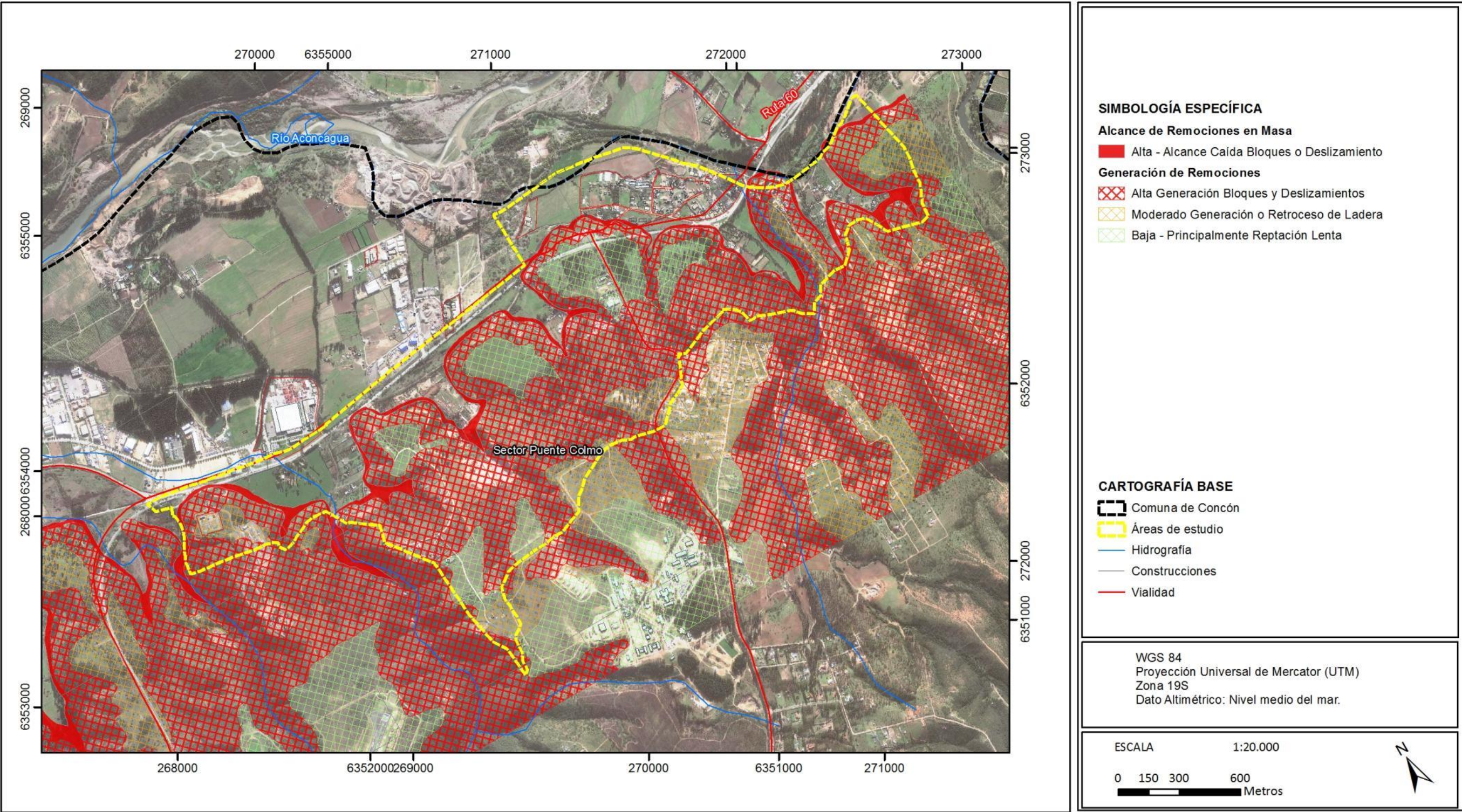
Fuente: Elaboración propia basado en Lépez et al. (2005)

FIGURA Nº 6-6 Zonas de susceptibilidad de remociones en masa y erosión acentuada del área urbana de Concón



Fuente: Elaboración propia

FIGURA Nº 6-7 Zonas de susceptibilidad de remociones en masa del sector de Puente Colmo



Fuente: Elaboración propia

6.2.4 Peligro de Erosión Acentuada en Sectores de Dunas

En la zona de estudio se reconocieron sectores de dunas activas y dunas antiguas. Estos depósitos poseen una muy baja a nula cohesión, por lo que son susceptibles de ser afectados por la erosión. Además, las dunas que presentan reactivación se encuentran en movimiento, ya que los sedimentos que las constituyen están sujetos a una constante removilización.

Debe considerarse que la formación y movilización de las dunas litorales en Chile tiene relación con la orientación norte-sur de las costas y con el predominio de los vientos marinos del suroeste, y por lo tanto, estos vientos interactúan oblicuamente con la costa, determinando un predominio de avance o crecimiento de estas dunas hacia el norte (Paskoff & Manríquez, 2004). Además, los cambios en la morfología o posición de las dunas pueden indicar variaciones de la aridez, la velocidad y la dirección de los vientos o perturbaciones generadas por el hombre (Vance, et al., 2005).

Paskoff & Manríquez (2004) indican que la reactivación de las dunas (dunas activas descritas anteriormente), no parece de origen climático, ya que la lluvia es lo suficientemente abundante (promedio de 450mm) y la humedad bastante alta (promedio 75%) para que se desarrolle una cubierta vegetal. Por lo tanto, estos autores suponen que la activación de estas dunas colgadas se deben a acciones antrópicas, remontándose desde la época colonial (pastoreo, corte de leña), trayendo como consecuencia la exposición del suelo y por ende el desencadenamiento de procesos erosivos eólicos sobre las dunas. Hoy en día la frecuencia de vehículos motorizados sobre las dunas acelera la reactivación de los procesos de erosión eólicos sobre ellas.

Se debe tener en cuenta que en el sector de punta Concón, donde se ha determinado por Paskoff & Manríquez (2004), una de las zona de dunas longitudinales activas con vegetación, existen en la actualidad asentamientos humanos. Así mismo, bajo la conclusión de estos mismos autores de que la reactivación de la erosión eólica de estas dunas se ha originado principalmente por acciones antrópicas, es de esperar que nuevas intervenciones provocasen efectos en la actividad de las dunas.

De acuerdo a lo observado en imágenes satelitales del 2008, 2010 y 2011 (FIGURA N° 6-8), se logran distinguir movimientos de las dunas transversales de punta Cabra, enmarcándose principalmente dentro del mismo campo.

Por otro lado, a través del análisis de la fotografía aérea Hycon del 1955 de la zona de estudio se ha determinado que en el sector de las dunas, frente a punta Cabra, existe una prolongación en la zona noreste de los sedimentos de las dunas, sin presentar vegetación. Si realizamos una comparación con las imágenes satelitales 2008 y 2011, éstas dan cuenta, en el mismo sector detallado, de que existe intervención antrópica a través de la construcción de edificios, los cuales cortan la elongación de la duna hacia el noreste. Si se contrastan estas dos últimas imágenes, se puede apreciar que al sur de los edificios construidos existen movimientos de la duna. En la imagen del 2011 se observan áreas que actualmente están cubiertas por arenas, pero que en la imagen del 2008, presentaban vegetación (FIGURA N° 6-9).

A partir de lo anterior, se puede inferir que la intervención humana en la construcción de estos edificios, unida a la influencia eólica suroeste, ha influenciado en la variación del sector noreste de la duna. Los

edificios estarían comportándose como un obstáculo que permitiría la acumulación de arenas al sur de estos.

Luego, los sectores de dunas activas (depósitos eólicos activos) corresponden a sectores con una alta susceptibilidad de ser afectados por procesos erosivos, mientras que los sectores de dunas estabilizadas (depósitos eólicos antiguos) representan zonas frágiles, que en caso de ser intervenidas pueden reactivarse. Considerando lo anterior, se definieron las siguientes categorías de susceptibilidad de erosión acentuada (FIGURA N° 6-6):

- **Alta Susceptibilidad de Erosión Acentuada:** Sectores de dunas activas.
- **Moderada Susceptibilidad de Erosión Acentuada:** Sectores de dunas estabilizadas.

El mapeo de las dunas activas y dunas estabilizadas fue realizado a partir de la fotografía aérea del HYCON del año 1955 (ver FIGURA N° 6-10).

6.2.4.1 Valor de las Dunas de Concón como Geosítio

La Sociedad Geológica de Chile (SGCh) actualmente está llevando a cabo una campaña para reconocimiento y valoración del Patrimonio Geológico de Chile, tema que actualmente es desconocido dentro del país. El Patrimonio Geológico es un recurso natural no renovable que constituye un bien común y forma parte inseparable del patrimonio natural y cultural de la humanidad (Fernandez & Guirado, 2001).

Por ello la SGCh, está realizando una recopilación de antecedentes para nombrar zonas dentro de Chile que sean consideradas como geosítios. Los geosítios son afloramientos o varios afloramientos vecinos que poseen un valor geológico que debe ser preservado. Este valor está dado por su interés geológico, mineralógico, paleontológico, estructural, petrológico, paisajístico, geomorfológico, etc. La preservación de un geosítio, contribuirá a la difusión de valores de la ciencia, y para preservar para las generaciones futuras sitios importantes para la ciencia, la cultura y la sociedad.

En particular las Dunas de Concón han sido definidas por la SGCh como un geosítio con un valor paisajístico, geológico, geomorfológico y estructural. Las Dunas de Concón son sedimentos eólicos pleistocénicos (2,3 millones de años – 10.000 años) y holocénicos (10.000 años al presente, los que están depositados sobre la Formación Horcón).

Si bien es cierto que existen ciertos sectores de este campo de dunas que son activas, existen zonas que son dunas estabilizadas que no reciben sedimentos desde la playa y tampoco del mismo material de las dunas, lo que las convierte en unidad geomorfológica muy frágil (Castro, 2001). Es por ello que estas dunas necesitan de protección, ya que las intervenciones antrópicas sobre ellas pueden reactivar su erosión. Además, en general, las dunas juegan un rol importante en muchos ecosistemas (boreales, semi-áridos, desérticos, costeros) al brindar controles morfológicos e hidrológicos sobre los gradientes biológicos. El seguimiento del movimiento de dunas, por ejemplo en zonas costeras, ha ayudado a evaluar el impacto ambiental de actividades antrópicas (Vance, et al., 2005).

FIGURA N° 6-8 Imágenes satelitales de las dunas de Concón de los años 2008, 2010 y 2011

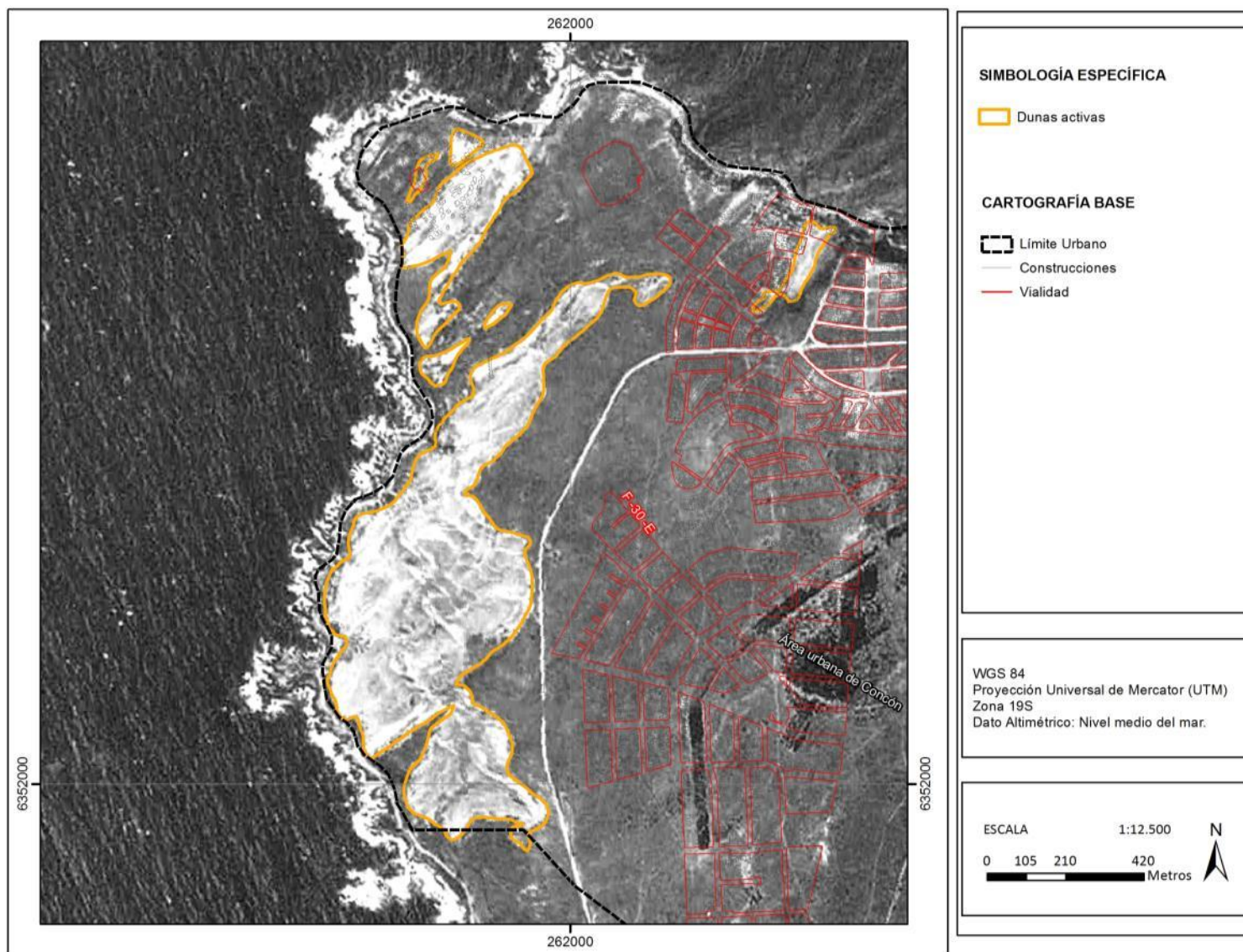


Fuente: Imágenes satelitales de GoogleEarth

FIGURA N° 6-9 Contraste de la situación de las dunas frente a Punta Cabra entre el año 2008 y 2011. Se observa avance hacia el norte de la duna y reactivación indicada por la disminución de vegetación



FIGURA N° 6-10 Mapeo de dunas activas en base a fotografía aérea HYCON del año 1955



Fuente: Elaboración propia

7 SÍNTESIS DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS ANALIZADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En el CUADRO N° 7-1, CUADRO N° 7-2, CUADRO N° 7-3, CUADRO N° 7-4, CUADRO N° 7-5 y CUADRO N° 7-6 se incluye un resumen los peligros geológicos analizados en el área de estudio, con una breve descripción, el detalle del inventario de los eventos recopilados o reconocidos y la metodología para la zonificación de susceptibilidad asociada a cada peligro. En los Planos N°1 y N°2 fuera de texto se sintetizan las zonas susceptibles a ser afectadas por los peligros zonificables dentro de las localidades estudiadas.

CUADRO N° 7-1 Síntesis de peligro sísmico para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación

Peligro	SISMICIDAD
Descripción	Este peligro está asociado a la zona de subducción de la Placa de Nazca por debajo de la Sudamericana. Los sismos que se analizaron son los de "costa afuera" asociados a extensión por abombamiento, sismos asociados al contacto interplaca, sismos de intraplaca de profundidad intermedia y sismos superficiales por fallas en la placa Sudamericana. Se analizaron los principales eventos sísmicos y los peligros asociados a ellos
Peligros Asociados	Movimientos de terreno
Factores Desencadenantes	Dinámica de subducción del borde Pacífico del continente Sudamericano
Inventario	El área de estudio, según los registros históricos ha sido directamente afectado por al menos 5 sismos de magnitud estimada mayor a 7.5 (1730, 1906, 1965, 1971 y 1985). En la zona se ha registrado instrumentalmente (con instrumentos disponibles a partir de 1973) una muy intensa actividad sísmica. En la comuna no hay registro de evidencias de fallas superficiales activas.
Metodología de Zonificación	La sismicidad no es zonificable a escala local para los alcances de este estudio. En base a antecedentes históricos, mapas de intensidades y comparación con otras zonas, se pueden realizar algunas estimaciones
Zonas Susceptibles	El área de estudio ha sido afectada por sismos importantes, al igual que casi todo Chile. Dado que estos fenómenos son recurrentes y propios de la dinámica de subducción en que se encuentra Chile, no debe descartarse la ocurrencia de grandes sismos por subducción en la planificación a mediano y largo plazo. Tanto para los sismos de profundidad intermedia como los sismos corticales, sus características y recurrencias son poco conocidas. Sin embargo, las evidencias recolectadas apuntan a que la zona puede ser afectada por sismos de ambos tipos. Los sismos de profundidad intermedia se registran en todo el país, la mayor parte corresponde a sismos de magnitud pequeña, para la zona los datos sísmicos señalan la ocurrencia de estos sismos, por lo que no se puede descartar un evento de magnitud importante en el futuro.

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 7-2 Síntesis de peligro volcánico para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación

Peligro	VOLCANISMO
Descripción	El peligro volcánico, se asocia a los procesos relacionados con la erupción de un volcán. El área de estudio se encuentra ubicada en el segmento de subducción subhorizontal que se desarrolla entre 27° S y 33°30' S, el que se conoce como zona de subducción plana (flat slab). Cómo se explicó en el Capítulo 4.1 "Marco Geodinámico" este sector se caracteriza por la ausencia de actividad volcánica reciente, sin embargo, los productos asociados a una erupción volcánica pueden tener alcances de centenares de kilómetros
Peligros Asociados	Lluvia de Tefra y Projectiles Balísticos Flujos Piroclásticos Esgurrimiento de Lavas Remociones en Masa y Lahares Sismicidad
Factores Desencadenantes	Dinámica de subducción del borde Pacífico del continente Sudamericano
Inventario	El área de estudio se caracteriza por la ausencia de actividad volcánica reciente. Los volcanes más próximos al área de estudio corresponden al volcán Ojos del Salado, ubicado en las cercanías de Copiapó y perteneciente a la Zona Volcánica Central, y el volcán Tupungatito, asociado a la zona Volcánica Sur y ubicado al norte de Santiago en las nacientes de la cuenca del río Maipo (FIGURA N° 5-9).
Metodología de Zonificación	El volcanismo no es zonificable a escala local para los alcances de estudio.
Zonas Susceptibles	El peligro volcánico no sería una amenaza directa en la zona, dada la ausencia de centros volcánicos al norte de los 33°S y al sur de los 27° S. Por lo anterior, no se considera este peligro para la zonificación, ya que en la cuenca del río Aconcagua no existen volcanes activos y la comuna de Concón se encuentra a más de 160 km del volcán activo más cercano (volcán Tupungatito). Sin embargo, erupciones fuera del área de estudio podrían causar efectos indirectos sobre el área, como problemas de transporte o abastecimiento.

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 7-3 Síntesis de peligro de inundaciones para el área de estudio, descripción, ineventario, metodología y zonificación

Peligro	INUNDACIONES TERRESTRES Y FLUJOS
Descripción	Este peligro está asociado a eventos pluviométricos extremos, produciendo inundaciones por desborde de cauce o anegamientos. Asociados a estos eventos pueden presentarse flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones'
Peligros Asociados	Inundaciones por Desborde de Cauces Inundaciones por Anegamiento Flujos de Detritos
Factores Desencadenantes	Eventos pluviométricos extremos
Inventario	Los fenómenos de inundaciones terrestres en Concón, de acuerdo a lo revisado en la bibliografía, están relacionados principalmente con desbordes del río Aconcagua y del estero Limache. Según los antecedentes disponibles, las zonas afectadas corresponden principalmente a los sectores aledaños al cauce del río Aconcagua. En el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se incluye un catastro histórico de inundaciones terrestres que han afectado a la comuna de Concón. El régimen del río Aconcagua es pluvio-nival, cuyo caudal normalmente aumenta en la estación de verano, producto de los deshielos y en los meses de invierno. Las principales crecidas invernales se deben a intensas lluvias producto de fuertes temporales y a aumentos en la elevación de la isoterma cero en la zona cordillerana, lo que genera un aumento brusco del área aportante a la cuenca. El estero Limache es de régimen esencialmente pluvial. Las inundaciones en la zona, comprometen principalmente a los sectores aledaños al cauce del Río Aconcagua. De acuerdo a López et al. (2005), en general, para los cauces fluviales importantes de la zona costera de la región de Valparaíso, como es el río Aconcagua, la recurrencia de grandes avenidas es de 30 a 40 años.
Metodología de Zonificación	Las inundaciones que más comúnmente afectan a las áreas urbanas de la Comuna de Concón son ocasionadas por desbordes del río Aconcagua y del estero Limache, por lo que la zonificación se dividió en tres categorías (FIGURA N° 6-2 y FIGURA N° 6-3): <u>Susceptibilidad Alta:</u> depósitos fluviales activos del río Aconcagua y del estero Limache y depósitos aluviales de quebradas. <u>Susceptibilidad Moderada:</u> depósitos fluviales activos intervenidos antrópicamente (sector de Puente Colmo) y sectores de depósitos aluviales de valle. <u>Susceptibilidad Baja:</u> sectores ribereños que no pertenecen a ninguna de las categorías anteriores, pero que han sido afectados por inundaciones en el pasado, de acuerdo al registro de inundaciones históricas realizado por López et al. (2005).

Peligro	INUNDACIONES TERRESTRES Y FLUJOS
Zonas Susceptibles	<u>Susceptibilidad Alta</u>: sectores de cauces fluviales naturales de ríos, esteros y quebradas. <u>Susceptibilidad Moderada</u>: sectores de cauces antiguos, barras y terrazas fluviales. <u>Susceptibilidad Baja</u>: sectores ribereños que no pertenecen a ninguna de las categorías anteriores, pero que han sido afectados por inundaciones en el pasado

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 7-4 Síntesis de peligro de maremotos para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación

Peligro	MAREMOTOS
Descripción	Los maremotos corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energía y tamaño que se producen cuando algún fenómeno extraordinario, como un terremoto, desplaza verticalmente una gran masa de agua
Peligros Asociados	Inundaciones costeras
Factores Desencadenantes	Terremotos, erupciones volcánicas subacuáticas, deslizamientos costeros o subacuáticos
Inventario	Históricamente se conoce la ocurrencia de 5 terremotos que afectaron la bahía de Valparaíso. Estos se registraron el 13 de Mayo de 1647, 8 de Julio de 1730, 19 de Noviembre de 1822, 16 de Agosto de 1906 y el último ocurrido el 3 de Marzo de 1985. Los eventos de 1906 y 1985 son los mejor documentados, sin embargo, el de 1985 no dio origen a un maremoto. En el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se incluye un registro histórico de los maremotos que han afectado a la zona costera de Concón, de acuerdo a los registros de Urrutia y Lanza (1993) y Lépez et al. (2005).
Metodología de Zonificación	Se consideraron los antecedentes históricos disponibles (ver capítulo 0 Inundaciones costeras por efectos de maremotos y marejadas.), y de manera referencial, los mapas de inundación por tsunamis publicados por el SHOA (1999) para la ciudad de Valparaíso, basados en el maremoto de 1906. Se definieron las siguientes categorías de susceptibilidad de inundación por maremotos (FIGURA N° 6-4 y FIGURA N° 6-5) <u>Zonas de Alta Susceptibilidad:</u> sectores ubicados bajo la cota 10 m. <u>Zonas de Moderada Susceptibilidad:</u> sectores ubicados entre las cotas 10 y 20 m Es muy importante mencionar que las inundaciones producidas por maremotos generalmente no presentan un patrón totalmente coincidente con las curvas de nivel, ya que la altura de inundación depende de muchos otros factores además de la topografía. Sin embargo, considerando los alcances de este estudio y que no se cuenta con datos batimétricos del sector de Concón, se ha propuesto esta zonificación referencial. Para obtener un mapa más preciso de inundaciones por maremotos resulta necesario realizar estudios más específicos, los que deben incluir levantamientos topográficos y batimétricos de detalle en los sectores costeros y simulaciones basadas en modelos numéricos.
Zonas Susceptibles	Sectores costeros bajos, ubicados a menos de 20 m.

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 7-5 Síntesis de peligro de remociones en masa para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación

Peligro	REMOCIONES EN MASA	
Descripción	Este peligro está asociado a volúmenes de roca o suelo que son transportados por procesos gravitacionales. Se reconocen dos tipos principales, los deslizamientos y las caídas de rocas. Su alcance es en general limitado, y debe ser tratado como un peligro geológico local	
Peligros Asociados	Deslizamientos Desprendimientos o Caídas de Rocas	
Factores Desencadenantes	Eventos pluviométrico o sísmicos, intervención antrópica	
Inventario	De acuerdo al registro de remociones en masa de Hauser (2000), en la zona de estudio se han registrado eventos de remociones en masa, los cuales se han desarrollado en épocas de mayores lluvias. En el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se incluye un catastro histórico de remociones en masa que han ocurrido en la comuna de Concón, de acuerdo a López et al. (2005).	
Metodología de Zonificación	Se definieron zonas susceptibles a generar procesos de remoción en masa, principalmente asociadas a las pendientes de las laderas y zonas susceptibles a ser alcanzadas por estos fenómenos (FIGURA N° 6-6 y FIGURA N° 6-7).	
	GENERACIÓN	ALCANCE
	<u>Susceptibilidad Alta:</u> sectores con pendientes mayores a 40°	<u>Susceptibilidad Alta:</u> Zonas de acumulación de materiales provenientes de sectores de alta susceptibilidad de generación
	<u>Susceptibilidad Moderada:</u> sectores con pendientes entre 15° y 40°	<u>Susceptibilidad Moderada</u> Zonas ubicadas pendiente abajo de las zonas de alta susceptibilidad de alcance
Zonas Susceptibles	<u>Susceptibilidad Baja:</u> sectores con pendientes menores a 15° (reptación lenta)	-----
	Los deslizamientos están asociados principalmente a laderas poco estables, especialmente en las zonas de altas pendientes y en los sectores de dunas, debido a la escasa a su baja a nula cohesión.	

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 7-6 Síntesis de peligro de erosión acentuada para el área de estudio, descripción, inventario, metodología y zonificación

Peligro	EROSIÓN ACENTUADA
Descripción	Este peligro está asociado a depósitos poco cohesivos de dunas.
Peligros Asociados	Erosión, Avance de Dunas, Remociones en Masa
Factores Desencadenantes	Vientos, eventos hidrometeorológicos extremos, sismos, intervención antrópica
Inventario	Las Dunas de Concón se localizan al norte de Viña del Mar, (Paskoff & Manríquez, 2004) entre punta Concón y punta Montemar. De acuerdo a (Rivano, et al., 1993) este campo de dunas se extendería a 600 m al sur del estero Reñaca (FIGURA N° 5-2). Según (Paskoff & Manríquez, 2004), el campo de dunas (FIGURA N° 5-3) se conforma principalmente por dunas estabilizadas, presentándose en un menor porcentaje sectores de dunas activas, cuyas arenas estabilizadas se remueven por efecto del viento. Las primeras se presentan estabilizadas por vegetación (FIGURA N° 5-4), mientras las segundas presentan dos unidades principales. Una se constituye frente a Punta Cabras, compuesta por dunas activas transversales sin vegetación, las cuales se disponen perpendiculares a los vientos provenientes desde el suroeste (FIGURA N° 5-5). Son dunas disimétricas, con flanco de barlovento poco inclinado y un flanco de sotavento fuerte (30° a 35°). La otra unidad corresponde a dunas longitudinales, alineadas de suroeste a noroeste ubicándose en el sector de punta Concón. Las crestas de estas dunas son paralelas y están cubiertas por un matorral bajo.
Metodología de Zonificación	A partir de la revisión de antecedentes bibliográficos y el análisis de imágenes satelitales se puede inferir que la intervención humana ha influenciado el comportamiento de las dunas, reactivando sectores que se encontraban estabilizados. Los sectores de dunas activas (depósitos eólicos activos) corresponden a sectores con una alta susceptibilidad de ser afectados por procesos erosivos, mientras que los sectores de dunas estabilizadas (depósitos eólicos antiguos) representan zonas frágiles, que en caso de ser intervenidas pueden reactivarse. Considerando lo anterior, se definieron las siguientes categorías de susceptibilidad de erosión acentuada (FIGURA N° 6-6):

Peligro	EROSIÓN ACENTUADA
	<u>Alta Susceptibilidad:</u> Sectores de dunas activas. <u>Moderada Susceptibilidad:</u> Sectores de dunas estabilizadas. El mapeo de las dunas activas y dunas estabilizadas fue realizado a partir de la fotografía aérea del HYCON del año 1955.
Zonas Susceptibles	Sectores de dunas. Es importante mencionar que las dunas de Concón corresponden a un Geosito reconocido por la Sociedad Geológica de Chile, debido a su alta fragilidad (Castro et al., 2001) y a su valor geopatrimonial.

Fuente: Elaboración propia

8 RECOMENDACIONES

En el siguiente CUADRO N° 8-1 se presenta una síntesis de los peligros reconocidos en el área, los criterios utilizados para la zonificación de susceptibilidad y las recomendaciones para la zonificación urbana de las áreas susceptibles.

Se recomienda con respecto a los peligros geológicos que se implementen sistemas de alerta temprana y evacuación en caso de eventos meteorológicos que puedan generar inundaciones o remociones en masa (flujos de detritos, deslizamientos y caídas de bloques). Este sistema debe contemplar un plan de emergencia que debe ser comunicado adecuadamente a la comunidad y debe ser periódicamente practicado, bajo la responsabilidad y coordinación de encargados comunales y provinciales de protección civil, con la participación de las comunidades.

Para mitigar los riesgos asociados a remociones en masa e inundaciones, se recomienda controlar el escurrimiento de aguas superficiales, su intercepción, captación, conducción y descarga controlada hacia cauces establecidos. Todo esto con una asesoría técnica-profesional apropiada. Sería importante realizar estudios geotécnicos detallados para zonas de remoción en masa a escala 1:500, analizando los parámetros físicos de las rocas o sedimentos en cada sector susceptible. La escala de trabajo de este estudio es 1:2.500, por lo tanto, se entrega un análisis general del área dentro de las localidades estudiadas que es útil como primer resultado, pero no se considera dentro de los objetivos de este informe una evaluación de detalle como la que sería necesaria.

Se recomienda zonificar como no edificables los sectores ubicados sobre zonas de susceptibilidad alta y moderada de ser afectadas por deslizamientos y caída de bloques, y las zonas de susceptibilidad alta de inundación por maremoto y alta por erosión acentuada.

Con respecto a las inundaciones, se recomienda realizar estudios hidrológicos detallados para generar una cartografía de las zonas susceptibles a ser afectadas por inundaciones de junto con los períodos de retornos asociados, lo que permite definir zonas de riesgo. Para las áreas susceptibles a estos fenómenos se debe condicionar la utilización a resultados de estudios de detalle, realizados por profesionales especializados en el tema, que determinen el tipo de medidas de mitigación y su adecuado dimensionamiento a los factores locales y tamaño de proyecto. Además, se propone realizar estudios de detalle, que incluyan la instalación de piezómetros para medir cómo se comportan los suelos frente a períodos de precipitación intensos con el objetivo de poder determinar el comportamiento geomecánico del suelo y poder generar alertas tempranas a la población. En terrenos altamente susceptibles de ser afectados por estos peligros se deberá proponer usos sólo con fines recreativos y prohibir la utilización de estas áreas con fines habitacionales.

Finalmente, se recomienda realizar capacitaciones a la población con respecto a los peligros geológicos, considerando sus causas y consecuencias. En caso que la autoridad no pueda dar una alerta oportuna, la educación y conocimiento acerca de los diferentes peligros y riesgos geológicos puede salvar vidas debido ya que condiciona a una reacción correcta y autónoma por parte de la población. Como ejemplo podemos citar lo ocurrido durante el terremoto y maremoto del 27 Febrero de 2010, en la zona centro sur de Chile, donde los pobladores de varias localidades se alejaron de la costa por cuenta propia después del sismo.

CUADRO N° 8-1 Criterios utilizados para definir la zonificación de susceptibilidad y la zonificación urbana recomendada para cada caso

Peligro	Susceptibilidad	Criterios	Zonificación Urbana	
			Área No Consolidada	Área Consolidada
Maremoto	Alta	Sectores ubicados bajo la cota 10 m	Restricción Uso área verde	Riesgo (2.1.17). Excluir equipamiento esencial
	Moderada	Sectores ubicados entre las cotas 10 y 20 m	Mitigación con Normas Urbanísticas	Mitigación con Normas Urbanísticas
Inundación	Alta	Sectores de cauces fluviales naturales de ríos, esteros y quebradas. Geológicamente corresponden a depósitos fluviales activos del río Aconcagua y del estero Limache y depósitos aluviales de quebradas.	Restricción Uso área verde	Restricción Uso área verde
	Moderada	Sectores de cauces antiguos, barras y terrazas fluviales. Geológicamente corresponden a los depósitos fluviales activos intervenidos antrópicamente (sector de Puente Colmo) y sectores de depósitos aluviales de valle.	Riesgo (2.1.17) Excluir equipamiento esencial	Riesgo (2.1.17). Excluir equipamiento esencial
	Baja	Corresponden a los sectores ribereños que no pertenecen a ninguna de las categorías anteriores, pero que han sido afectados por inundaciones en el pasado, de acuerdo al registro de inundaciones históricas realizado por Lépiz et al. (2005)	Mitigación con Normas Urbanísticas	Mitigación con Normas Urbanísticas
Remociones en Masa	Alta	Generación (pendientes >40°), Alcance (Zonas de acumulación de materiales provenientes de sectores de alta susceptibilidad de generación)	Restricción Uso área verde	Riesgo (2.1.17). Excluir todo tipo de equipamiento
	Moderada	Generación (pendientes entre 15° y 40°), Alcance (Zonas ubicadas pendiente abajo de las zonas de alta susceptibilidad de alcance)	Restricción Uso área verde	Riesgo (2.1.17). Excluir todo tipo de equipamiento
	Baja	Generación (reptación lenta) (pendientes menores a 15°)	Mitigación con Normas Urbanísticas	Mitigación con Normas Urbanísticas
Erosión Acentuada	Alta	Sectores de dunas activas	Restricción Uso área verde (Protección Patrimonio Geológico)	Riesgo (2.1.17)
	Moderada	Sectores de dunas estabilizadas	Riesgo (2.1.17)	Riesgo (2.1.17)

Fuente: Elaboración propia

9 REFERENCIAS

- Antinao, J., Fernández, J., Naranjo, J. & Villarroel, P., 2002. *Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones en la Cuenca de Santiago*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental, No. 2, 1 mapa escala 1:100.000.
- Barrientos, S., 1980. *Regionalización sísmica de Chile MSc thesis*, Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Barrientos, S., 1997. Central Chile: An example of quasi-static crustal behaviour. *The Island Arc*, Volumen 6, pp. 281-287.
- Bloom, A., 1998. *Geomorphology: a systematic analysis of late Cenozoic landforms..* Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Castro, C. & Brignardello, L., 1997. Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de la franja costera entre Concón y Quintay (32°55' S y 33°15' S).. *Revista de Geografía del Norte Grande*, 24:, pp. 113-125.
- Castro, C. C. M. Z. A., 2001. Indicadores geomorfológicos de la fragilidad de paleodunas.. *Revista de Geografía de Norte Grande*, Volumen 28, pp. 11-24..
- Centeno, J., Fraile, M., Otero, M. & Pividal, A., 1994. *Geomorfología Práctica. Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental..* Madrid: Ed. Rueda.
- Charrier, R., Pinto, L. & Rodríguez, M., 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En: T. Moreno & W. Gibbons, edits. *The Geology of Chile*. Londres: Geological Society of London, pp. 21-114.
- Costa, J., 1984. Physical geomorphology of debris flows. In Developments and Applications of Geomorphology. En: J. E. Costa & P. J. Fleisher, edits. *Developments and Applications of Geomorphology*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 268-317.
- Cruden, D. & Varnes, D., 1996. *Landslide types and processes*, Washington D.C.: Special Report 247: Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board.
- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D. & Stein, S., 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters*, 21(20), pp. 2191-2194.
- Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L. & Llorente-Isidro, M., 2008. *Mapas de Peligrosidad por avenidas e inundaciones: Guía metodológica para su elaboración*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia No. 1, 190 pág.
- Fernandez, J. & Guirado, J., 2001. Geodiversidad y patrimonio geológico en Andalucía.. *Medio Ambiente , Consejería de Medio Ambiente, Sevilla*, Volumen 37, pp. 24-33.

Gana, P. W. R. G. A., 1996. *Mapa Geológico del Área de Valparaíso-Curacaví. Regiones de Valparaíso y Metropolitana. Mapas Geológicos No.1, escala 1:100.000.*, s.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería..

García Yague, A., 1978. Modern Methodused in study of mass movements.. En: *Boletín Landslides and other mass movements*. s.l.:International Association of Engineering Geology, pp. 65-71.

González-Ferrán, O., 1995. *Volcanes de Chile*. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 410 pág.

Government, N. S. W., 1990. *Coastline Management Manual*. Sydney, Australia: NSW Gobernment Printer.

Hauser, A., 1985. Flujos aluvionales de 1870 y 1896 ocurridos en la ladera norte del volcán Yates, X Región: su implicancia en la evaluación de riesgos naturales. *Revista Geológica de Chile*, Volumen 25-26, pp. 125-133.

Hauser, A., 1997. *Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 49, 47 pág.

Hauser, A., 2000. *Remociones en masa en Chile*. 2da ed. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.

Iida, K., 1963. A relation of earthquake energy to tsunami energy and the estimation of the vertical displacement in a tsunami source,. *J. Earth, Sci.*, 2(1), pp. 49-67.

Isaacks, B., 1988. Uplift of the Central Andes plateau and bending of the Bolivian Orocline.. *Journal of Geophysical Research*, Volumen 93, pp. 3211-3231.

Kausel, E. & R. D., 1992. Relaciones entre parámetros focales y macrosísmicos de grandes terremotos chilenos.. *Revista Geofísica*, Volumen 37, pp. 36 - 194., Volumen 37, pp. 36-194.

Keeper, D., 1984. Landslides cuased by earthquakes. *Geological Society of América Bulletin*, 95(4), pp. 406-421.

Keller, E. & Blodgett, R., 2004. *Riesgos Naturales*. Madrid: Pearson Education S.A., 448 pág.

Lara, L. & Rauld, R., 2003. *Diagnóstico de la geología ambiental de las grandes ciudades de Chile.*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 182 pág.

Lépez, L., Wall, R. & Prat, M., 2005. *Peligro de Remociones en Masa e inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viñas del Mar y Concón, Región de Valparaíso.*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Lépez, L. W. R. P. M., 2005. *Peligro de remoción en masa e inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso. Informe Registrado, IR-05-29, 24 p., 3 anexos, 2 mapas en 6 hojas, escala 1:10.000*, s.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Martin, G. & Lew, M., 1999. *Recommended Procedures for Implementation of DMG Special Publication 117: Guidelines for Analyzing and Mitigating Liquefaction Hazards in California*. Los Angeles: Southern California Earthquake Center, University of Southern California, 63 pág.

Mpodozis, C. & Ramos, V. A., 1989. *The Andes of Chile and Argentina In: Ericksen, G. E.; Cañas, M. T.; Reinemund, J. A. (eds) Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Energy Resources. Circum-Pacific Council for Energy and Hydrothermal Resources, American Association of Pet.* 11 ed. Houston, Texas: Earth Science Series.

Myers, B. & Brantley, S., 1995. *Hazardous phenomena at volcanoes*, Vancouver, Washington.: USGS Open File Report, pág. 95-231.

Naranjo, J. & Varela, J., 1996. *Debris and mud flows that affected the eastern area of Santiago on May 3, 1993*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 47, 42 pág.

Neoventus-Ilustre Municipalidad de Concón, 2010. *Actualización Plan de Desarrollo Comunal 2010-2014, Comuna de Concón*, s.l.: 62 pp..

Paskoff, R. & Manríquez, H., 2004. *Las dunas de las costas de Chile*. Santiago: Instituto Geográfico Militar.

Petit-Breuilh, M., 2001. *Desastres naturales y ocupación del territorio en hispanoamérica [Siglos XVI al XX]*, s.l.: Universidad de Huelva, Arias Montano (n.70): 341 p., il, Huelva. .

Pierson, T. & Scott, K., 1985. Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research*, 21(10), pp. 1511-1524.

PMA-GCA, 2007. *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p..

Pye, K. & Tsoar, H., 2009. *Aeolian sand and sand dunes*.. Berlin: Springer-Verlag.

Ramos, V. A., Cristallini, E. & Pérez, D. J., 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, Volumen 15, pp. 59-78.

Ramos, V. A. y otros, 1986. Paleozoic Terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, pp. 855-880.

Reckendorf, F., 1998. Geologic Hazards of development on sand dunes along the Oregon coast. En: *Environmental, groundwater, and engineering geology: Applications from Oregon*. Southwest Washington Coastal Erosi: SWCES Publication N° 24.

Rivano, S., Sepulveda, P., Boric, R. & Espineira, D., 1993. *Geología del Área Quillota-Portillo*. N°73, Santiago: Sernageomin.

Rivano, S., Sepúlveda, P., Boric, R. & Espiñeira, D., 1993. *Hojas Quillota y Portillo. 1:250.000*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Rivano, S., Sepúlveda, P., Boric, R. & Espiñeira, D., 1993. *Hojas Quillota y Portillo. Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000.*, s.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería..

Sancho, C., 1997. Los mapas de riesgos. En: J. Peña, ed. *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Zaragoza: Geomorfa, pp. 181-200.

Scholz, C., 1990. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge: Cambridge University Press, 439 pág.

Sepúlveda, S., Murphy, W., Jibson, R. & Petley, D., 2005. Seismically-induced Rock Slope Failures Resulting from Topographic Amplification of Strong Ground Motions: The Case of Pacoima Canyon, California.. *Engineering Geology*, Volumen 80, pp. 336-348.

Sepúlveda, S. & Serey, A., 2009. Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the 21st of April 2007 Aisén earthquake, Southern Chile (45.5°S).. *Andean Geology*, 36(1), pp. 131-136..

Sepúlveda, S. y otros, 2010. Landslides induced by the April 2007 Aysén Fjord earthquake, Chilean Patagonia.. *Landslides*, pp. doi: 10.1007/s1034VI-010-0203-2.

SERNAGEOMIN, 2003. *Mapa Geológico de Chile, Versión Digital*, Santiago: Publicación Geológica Digital, N°4. Santiago, Servicio Nacional de Geología y Minería..

SHOA , 1999. *Carta de Inundación por Tsunami, Bahía deValparaíso, escala 1:10.000*, s.l.: s.n.

Somoza, R., 1998. Updated Nazca (Farallon)- South America relative motions during the last 40 My: implication for mountain building in the central Andean region.. *Journal of Soth American Earth Sciences*, Issue 11, pp. 211-215.

Sruoga, P., 2002. *El volcanismo reciente y riesgo asociado en la Provincia de Mendoza*, Mendoza: IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales, pág. 255-259.

Tassara, A., Götze, H.-J., Schimdt, S. & Hackney, R., 2006. Three dimensional density model of the Nazca plate and the Andean continental margin. *Journal of Geophysical Research*, 111(B9), p. B09404.

Urrutia, R. & Lanza, C., 1993. *Catástrofes en Chile 1541 - 1992*. Santiago: La Noria.

Vance, R., Wolfe, S. & Lancaster, N., 2005. *Morfologías y actividad de dunas*. s.l.:s.n.

Varnes, D., 1978. *Slope movement types and processes*, Washington, D.C.: Special report 17VI: Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board.

Western Washington University, 2011. *RELIEF GLOBE SLIDES*. [En línea]
Available at: <http://www.smate.wvu.edu/teched/geology/GeoHaz/global/globe-17.jpg>
[Último acceso: 28 11 2011].

Wiegel, R., 1970. Tsunamis. In. En: *Earthquake Engineering*. Engelwood Cliffs, N. J.: Prentice Hall,, N.J., pp. 253-306.