

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

**PELIGRO DE REMOCIONES EN MASA
E INUNDACIONES
DE LAS CIUDADES DE VALPARAÍSO,
VIÑA DEL MAR Y CONCÓN,
REGIÓN DE VALPARAÍSO**

Luis López M.
Renate Wall Z.
Magdalena Prat M.

TEXTO Y ANEXOS



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA

INFORME REGISTRADO IR-05-29

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

2005

**PELIGRO DE REMOCIONES EN MASA E INUNDACIONES DE LAS CIUDADES DE VALPARAÍSO,
VIÑA DEL MAR Y CONCÓN**

Escala 1: 10.000

Inscripción No.

©Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Santa María 0104, Casilla 10465,
Santiago, Chile.

Director Nacional: Luis Sougarret S.

Subdirectora Nacional de Geología: Renate Wall Z.

Derechos reservados: Prohibida su reproducción.

Edición

Este informe no ha sido editado en conformidad con los estándares y/o nomenclatura de la
Subdirección de Geología del SERNAGEOMIN.

Coordinador de Publicaciones: Aníbal Gajardo C.

Referencia bibliográfica

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

Índice

INTRODUCCIÓN	
OBJETIVOS	1
METODOLOGÍA.....	1
ANTECEDENTES GEOGRÁFICOS E HISTÓRICOS	2
GEOLOGIA DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
ROCAS METAMÓRFICAS.....	4
ROCAS SEDIMENTARIAS	4
Formación Navidad.....	4
Estratos de Potrero Alto	4
DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS.....	4
Depósitos litorales y eólicos actuales.....	4
Depósitos eólicos antiguos.....	5
Depósitos fluviales	5
Depósitos fluviales antiguos.....	5
Depósitos marinos	5
ROCAS INTRUSIVAS	5
Intrusivos del Paleozoico.....	5
Intrusivos del Jurásico.....	6
GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	6
PELIGROS GEOLÓGICOS.....	8
INUNDACIONES	8
Inundación por desborde de cauces naturales	8
Inundación por desborde de cauces artificiales.....	8
Inundación por marejadas.....	9
Inundación por Tsunami.....	9
REMOCIONES EN MASA.....	10
Remociones en masa no canalizadas	13
Flujos de barro y/o detritos canalizados	15
Análisis de estabilidad de taludes	16
Recurrencia de Remociones y validación de criterios de peligrosidad geológica.....	19
SOCAVAMIENTOS	22
CONCLUSIONES.....	22
REFERENCIAS.....	24

Índice de figuras

Fig. 1 Vista hacia el sur desde Mirador Portales de los cerros de Valparaíso.....	2
Fig. 2 Modificación del borde costero en Valparaíso.....	3
Fig. 3 Diagramas de roseta de tres líneas de vuelo en la zona de estudio.....	7
Fig. 4 Diagrama de roseta de las orientaciones preferenciales de estructuras.....	7
Fig. 5 Fallas normales en talud de ruta Troncal Sur.....	7
Fig. 6 Muro desarenador en quebrada Jaime, entre cerros Mariposa y La Cruz	9
Fig. 7 Inundaciones y remociones en masa por año.....	11
Fig. 8 Autoconstrucción en ladera de pendiente fuerte.....	12
Fig. 9 Talud costero en camino Reñaca-Concón.....	14
Fig.10 Caída de rocas desde talud rocoso en la subida Av. Francia.....	14
Fig.11 Ploteo de principales sets de fracturas en talud de Av. Alemania.....	17
Fig.12 Ploteo de principales sets de fracturas en talud de subida Av. Francia	17
Fig.13 Ploteo de los principales sets de fracturas en talud rocoso.....	18
Fig.14 Ploteo de los principales sets de fracturas en talud rocoso.....	18
Fig.15 Zonificación de recurrencias de remoción en masa.....	21
Fig.16 Vista del relieve y construcciones en la zona 3, quebrada Colo-Colo.....	22

Anexos

Anexo I Tabla de eventos históricos de inundación en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón.

Anexo II Tabla de eventos históricos de remoción en masa en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón.

Anexo III Tabla de eventos históricos de socavamiento en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón.

Mapas (fuera de texto)

Mapa 1: Peligro de inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. Escala 1:10.000.

Mapa 2: Peligro de remociones en masa de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. Escala 1:10.000.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio geológico-ambiental realizado en el área urbana de las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, fue elaborado como una herramienta de planificación territorial, con el fin de prevenir y/o mitigar efectos producidos por Inundaciones, Remociones en masa y Socavamientos, tanto en la Zona Urbana Consolidada (ZUC), como en la Zona Urbana Propuesta (ZUCP), cuyos límites, aportados por el MINVU de la V Región de Valparaíso, han sido incorporados a la cartografía de este informe.

OBJETIVOS

- Elaborar una cartografía a escala 1:10.000 de la zona urbana de las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, que contemple las áreas de peligro geológico por Inundación, Socavamiento y Remoción en masa.
- Ingresar a la cartografía de peligros geológicos los eventos catastróficos históricos registrados en un catastro histórico previamente realizado, esto como una forma de detectar zonas de recurrencia y además validar las interpretaciones finales.
- Generar o aportar un esquema que considere un mínimo de parámetros a evaluar y que conduzcan a una escala normada de niveles de peligro geológico, apuntando las causas de ocurrencia de los fenómenos naturales para finalmente emitir una recomendación que mitigue sus efectos en el ambiente.

METODOLOGÍA

Se creó un catastro histórico de los sitios de ocurrencia de inundaciones, socavamientos y remociones en masa en el área de estudio (Valparaíso, Viña del Mar y Concón) entre los años 1851 y 2002, cuyos puntos fueron ubicados geográficamente. De 235 eventos de inundación se logró ubicar el 69%, de 59 eventos de socavamiento el 72% y de 333 remociones en masa el 51% (Anexos I y II).

A partir de la fotointerpretación de tres líneas de vuelo (FONDEF, 1:20.000, líneas 5, 6 y 7, año 1994) se determinaron los principales lineamientos desarrollados en el área de estudio.

Posteriormente se realizó una campaña de terreno tendiente a revisar el sector urbano de las tres ciudades antes señaladas, con énfasis en los sectores mencionados con mayor frecuencia en el catastro histórico de desastres naturales. Dicho trabajo de terreno contempló un análisis de la litología, reconocimiento de estructuras geológicas, medición de las pendientes topográficas de los accidentes morfológicos más importantes e identificación de los peligros geológicos del área.

Finalmente se integraron los antecedentes geológicos previos, geográficos, históricos, estructurales y observaciones de terreno para la elaboración de mapas de peligro de inundación, socavamiento y remoción en masa a escala 1:10.000.

ANTECEDENTES GEOGRÁFICOS E HISTÓRICOS

Los principales rasgos morfológicos de la zona de estudio corresponden al desarrollo de cordones de cerros de variada altitud, un notorio control estructural de la orientación de los valles y a la existencia de sectores llanos en el área costera, actualmente ocupados por zonas urbanas. Tal es el caso de Valparaíso que en forma de anfiteatro se encuentra limitado por numerosos cerros de alturas entre 150 y 300 m s.n.m. que exhiben una fuerte disección longitudinal con quebradas profundas, largas y, en general, escarpadas (Fig. 1).

En Viña del Mar, la llanura que ocupa la ciudad se encuentra cruzada por el estero Marga Marga y está limitada por cordones de cerros al norte y sur con similares altitudes a los de Valparaíso, los cuales muestran también altos niveles de erosión y el desarrollo de quebradas profundas con fuerte pendiente topográfica.

En Reñaca el sector céntrico se emplaza en un valle de orientación E-W, disectado por el estero homónimo, pero la erosión en los cerros aledaños es notoriamente menor que en las zonas anteriores y las altitudes fluctúan entre los 100 y 200 m s.n.m.

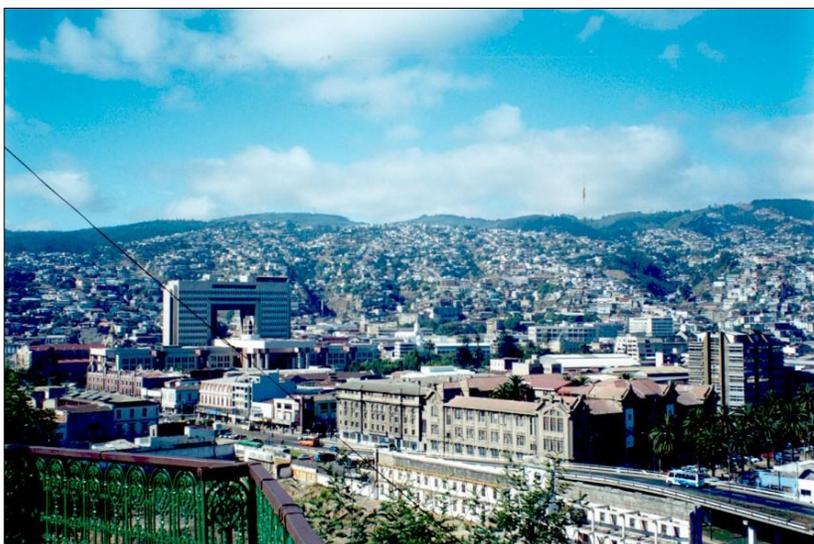


Figura 1. Vista hacia el sur desde Mirador Portales de los cerros de Valparaíso. En el extremo derecho de la imagen se observa la zona baja de quebrada Jaime al final de avenida Francia.

Por último, desde Reñaca a Concón se desarrolla una zona de suaves lomajes con moderados niveles de erosión y solamente en el sector costero se presenta un acantilado de gran pendiente topográfica y en la ciudad de Concón la única llanura es ocupada por la Refinería de Petróleo de Concón, quedando gran parte del radio urbano en un área amplia de moderada a leve pendiente topográfica.

La hidrografía del área de estudio cuenta con múltiples cuencas hidrográficas de extensión superficial de tipo local encausadas en las múltiples quebradas que llegan hasta los llanos costeros. En Valparaíso se cuentan 6 cuencas hidrográficas de importancia que drenan hacia el sector céntrico de la ciudad como las de Cajilla-Clave, Tomás Ramos, Cumming-Almte. Montt, Ferrari, Avda. Francia, y Las Zorras. Según antecedentes históricos, a finales del siglo XIX y

comienzos del XX comenzó en Valparaíso la tarea de encauzar bajo la ciudad el drenaje natural proveniente de estas cuencas para crear más áreas ocupables debido al aumento de la población, con lo cual se construyeron cauces que conducían el agua lluvia hasta el mar y muros desarenadores encargados de retener el sedimento arrastrado por el agua. Desde 1913 comenzó el abovedamiento del estero de Las Delicias y sobre él se construyó la avenida Argentina (Álvarez, 2001).

La situación de Viña del Mar es similar, con importantes cuencas que drenan hacia el 'plan'. En el extremo sur, las principales son de Agua Santa, Quinta Vergara, Forestal y de Chorrillos que poseen cauces artificiales que drenan hacia el estero Marga Marga. Al norte del plan de la ciudad se reconocen las cuencas de Limonares, Los Aromos, Miraflores y del sector Sausalito.

En el camino a Reñaca es drenada hacia el mar la cuenca de Las Salinas. En Reñaca, el estero del mismo nombre constituye el drenaje principal y la cuenca hidrográfica es de mayor longitud que las anteriores.

Finalmente, en el sector de Concón la influencia más notoria la tiene el río Aconcagua, pero de igual forma existen cuencas hidrográficas locales de orientación N-S que drenan hacia el Aconcagua.

Una relevante información de tipo histórico y que tuvo incidencia en la geografía del borde costero de Valparaíso fue que en el período 1848 hasta 1885, con el objeto de ampliar el 'plan' de la ciudad, se rellenó el borde costero y el principal aporte lo constituyó la Av. Brasil entre Plaza Aníbal Pinto y Av. Argentina, ganándose 6,3 hectáreas al mar (Fig. 2).



Figura 2. Modificación del borde costero en Valparaíso. En color oscuro superficie rellenada a fines del siglo XIX. (B. Mannheim, director de Obras Portuarias 1876, publicado por Recaredo Santos Tornero, 1884; in Álvarez, 2001).

GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las rocas y sedimentos no consolidados que afloran en el área de trabajo, corresponden a eventos geológicos desarrollados desde el Paleozoico al Reciente.

ROCAS METAMÓRFICAS

Corresponden a las rocas del Complejo Metamórfico Valparaíso del Paleozoico Superior, integradas por rocas foliadas de protolito plutónico y sedimentario en menor proporción y son intruidas por granitoides paleozoicos (Gana *et al.*, 1996), sus afloramientos se ubican en la costa, al oeste de Valparaíso.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Formación Navidad

Secuencia sedimentaria marina fosilífera de edad Mioceno-Plioceno, medianamente consolidada constituida por limolitas, areniscas arcillosas, areniscas de grano muy fino a grueso, bancos de conglomerados, areniscas muy finas grises, bancos de coquinas y calizas. Se disponen sobre granitoides paleozoicos en contacto depositacional e infrayacen a sedimentos eólicos, aluviales y suelo cuaternario (Gana *et al.*, 1996). En Viña del Mar afloran al norte del sector céntrico y en la zona de Forestal.

Estratos de Potrero Alto

Son depósitos sedimentarios medianamente consolidados de conglomerados, areniscas y limolitas con restos vegetales mal preservados de probable edad Mioceno? o Plioceno-Pleistoceno? Estos estratos continentales de tipo aluvial poseen contacto depositacional sobre unidades intrusivas paleozoicas y jurásicas y se encuentran cubiertos por sedimentos aluviales y suelos cuaternarios (Gana *et al.*, 1996). Puntos de afloramiento de esta secuencia se encuentran en Viña del Mar en sector Limonares, Los Aromos, Miraflores y Viña del Mar Alto y en Valparaíso en cerro O'Higgins.

DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Depósitos litorales y eólicos actuales

Son depósitos no consolidados de playa del Holoceno, compuestos por arenas y gravas bien redondeadas. En las cercanías de Concón y Reñaca se presentan sedimentos de arenas amarillas, grano fino de dunas activas.

Depósitos eólicos antiguos

Corresponden a sedimentos no consolidados de dunas inactivas del Holoceno cubiertas por vegetación y con emplazamientos urbanos entre Reñaca y Concón.

Depósitos fluviales

Son sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos. En el cauce del río Aconcagua se identifican gravas bien redondeadas y arenas bien seleccionadas. En los esteros Marga Marga y Reñaca predominan los sedimentos tipo arena.

Depósitos fluviales antiguos

Corresponden a sedimentos no consolidados de terrazas de gravas, arenas y limos del Holoceno, ubicadas a alturas de 3 a 30 m con respecto al curso fluvial actual (Gana *et al.*, 1996).

Depósitos marinos

Son sedimentos marinos a transicionales del Pleistoceno-Holoceno, constituidos por limos, arenas y gravas con niveles coquinoídeos. Su morfología aterrazada se reconoce hasta 5 km al este de la costa actual bajo la cota 25 m (Gana *et al.*, 1996) y en el área de estudio corresponde al suelo de fundación de Viña del Mar.

ROCAS INTRUSIVAS

Dentro de los cuerpos plutónicos emplazados en el área de estudio se cuentan intrusivos paleozoicos y jurásicos diferenciándose estos últimos entre sí por diferentes características composicionales y texturales. Estos complejos plutónicos corresponden la litología que cubre la mayor parte del territorio de las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón.

Intrusivos del Paleozoico

Los intrusivos paleozoicos son tonalitas y granodioritas, monzodioritas y sienogranitos (Gana *et al.*, 1996). Los distintos tipos litológicos presentan contactos gradacionales y su afloramiento es en franjas N-S al sur de Viña del Mar entre Agua Santa y Forestal y al norte de dicha ciudad desde Sausalito a Concón.

Intrusivos del Jurásico

El cuerpo intrusivo más antiguo del Jurásico está compuesto por anfibolitas, gneises anfibólicos, dioritas, monzodioritas foliadas y gabros. Son rocas de color gris oscuro a medio, grano medio a fino (Gana *et al.*, 1996). Principalmente, afloran en los cerros que rodean Valparaíso y en un sector al este del 'plan' de Viña del Mar.

Es un complejo plutónico de composición básica a intermedia integrado por dioritas cuarcíferas de piroxeno-hornblenda-biotita, con tonalitas de hornblenda-biotita y gabros subordinados, de colores gris oscuro a medio y grano medio a fino (Gana *et al.*, 1996), aflora en Viña del Mar al norte y NE de Miraflores.

Un tercer y último plutón de edad jurásica, más joven que los anteriores se compone de tonalitas y granodioritas de anfíbola-biotita colores gris claro, grano medio con escasas inclusiones microdioríticas (Gana *et al.*, 1996), constituye la unidad más oriental de afloramiento.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la zona costera de la Quinta Región es notorio el control estructural en el trazado de los principales valles. Tal es el caso del valle del estero Marga Marga de rumbo aproximado N50°W paralelo a fallas regionales de desplazamiento transcurrente siendo interpretada la estructura "falla Marga Marga" como una falla transcurrente sinistral (Thorson, 1999). Fallas de este tipo al igual que en otras regiones del país son estructuras antiguas (fallas del basamento) que han sufrido reactivación de su movimiento con desplazamiento tanto de rumbo como en el manto.

El análisis de lineamientos de fotografías aéreas correspondientes a tres líneas de vuelo que cubren el área costera de la zona de estudio muestra dos orientaciones preferenciales de estructuras, con rumbos prácticamente a 90° entre si un primer set N45°W y otro N45°E (Fig. 3). Los diagramas de roseta de la figura 3 muestra los lineamientos que se observan en la líneas de vuelo 5, 6 y 7 (1994, escala 1:20.000) que desde oeste a este cubren el área costera de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. Se hace notorio que hacia el este aumenta el número de orientaciones preferenciales de estructuras conservándose las orientaciones N45°W y N45°E y en la línea de vuelo más oriental se observa un set de estructuras N-S.

La figura 4 exhibe el diagrama de roseta de las estructuras medidas en terreno; se conservan similares los sets N45°W y N45°E y NS, con una diferencia en la orientación NE-SW, pero, en general, se correlacionan bastante bien los lineamientos deducidos de fotografías aéreas y las estructuras identificadas en terreno.

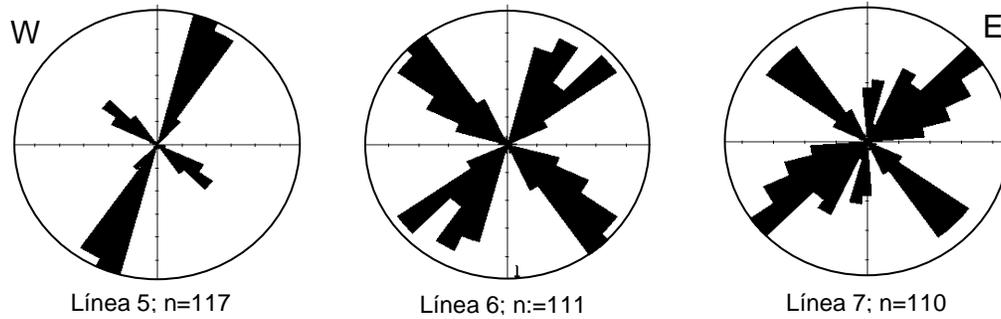


Figura 3. Diagramas de roseta de tres líneas de vuelo en la zona de estudio, el valor de n indica el número de lineamientos representados.

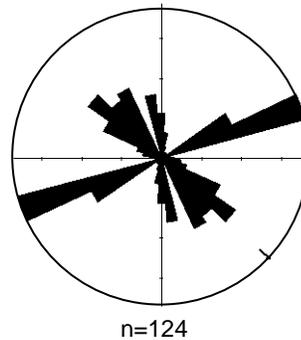


Figura 4. Diagrama de roseta de las orientaciones preferenciales de estructuras identificadas en terreno, que muestra un vector medio N45°W que indica que la mayor parte de las estructuras tiene orientaciones cercanas a ese valor

Una particularidad en el tectonismo de la zona es la tectónica de fallas con desplazamiento en el manto como la identificada en el curso del estero Marga Marga cercano al puente ferroviario (Fig. 5) con fallas normales de orientación N80°E/45°N y N85°W/50°S.



Figura 5. Fallas normales en talud de ruta Troncal Sur. En el costado sur falla N85°E/45°N y en el costado norte falla N85°W/50°S.

PELIGROS GEOLÓGICOS

La recopilación de antecedentes históricos (ver Anexos I y II con tabla de eventos históricos en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón) y observaciones de terreno, permitió dividir los peligros geológicos en cuatro grupos, aquellos vinculados a inundaciones, remociones en masa, fracturamiento y socavamientos.

INUNDACIONES

Se identificaron tres procesos de inundación en el área urbana de Valparaíso, Viña del Mar y Condón: *Inundaciones por desborde de cauces naturales* o crecidas de ríos y esteros, *Inundaciones por desborde de cauces artificiales* de la red de drenaje urbano e *Inundaciones por efecto de marejadas* en el sector costero y olas de *tsunami*. La zonificación de áreas de peligro y puntos de registro histórico de inundaciones se presentan en el Mapa 1 (fuera de texto). El Anexo I contiene la tabla de eventos históricos de inundaciones del área de estudio.

Inundación por desborde de cauces naturales

La causa principal de este tipo de inundaciones, por desborde de ríos y esteros, es la gran cantidad de precipitación pluvial. En general, la recurrencia de grandes avenidas de cauces fluviales importantes como lo son el río Aconcagua y estero Marga Marga es de 30 a 40 años. Se identificaron zonas de Moderado y de Bajo a Moderado peligro. La zona de Moderado peligro corresponde a áreas planas cercanas al cauce fluvial, más altas que éste y que han registrado inundaciones de 2 a 3 veces en 100 años. La zona de Bajo a Moderado peligro corresponde a áreas planas más altas que la anterior de mayor lejanía al cauce y solo se ha visto afectada por inundaciones una vez en 100 años. Además, por fotointerpretación se delimitaron posibles áreas susceptibles a sufrir inundaciones asignándose a este nivel de peligro.

En Viña del Mar fue posible delimitar una zona de Alto peligro, que corresponde al cauce del estero Marga Marga, el que es ocupado como sitio de estacionamiento de vehículos. En años lluviosos el estero ocupa todo el ancho de su cauce, generándose las consecuentes dificultades.

Recomendaciones generales para evitar daños derivados de estos eventos, incluye el no ocupar los lechos de los ríos o esteros y evitar, en lo posible, destinar para construcción de hospitales y escuelas aquellas áreas de moderado peligro

Inundación por desborde de cauces artificiales

La causa principal de este tipo de inundación, también se debe a la intensa precipitación. En Valparaíso y Viña del Mar se verifica la existencia de una red de canales (red de drenaje urbano), que conducen el agua lluvia bajo la ciudad hacia el mar y hacia el estero Marga Marga. Un primer desborde e inundación ocurre en los muros desarenadores, instalados en las principales quebradas de los cerros, los cuales se ven colapsados por la gran cantidad de sedimento acumulado y el agua que proviene de la escorrentía de dichas quebradas, que sobrepasa dicho muro e inunda las calles pendiente abajo acompañándose de un gran volumen de barro y arena. Las calles involucradas en esta inundación poseen un peligro Extremadamente Alto con 3 a 4 inundaciones en 10 años. Un segundo desborde ocurre en el 'plan' de las ciudades (alejado de los cerros), por el colapso de los cauces artificiales,

imposibilitados de evacuar un caudal demasiado alto de agua, con lo cual los cauces literalmente 'revientan' e inundan las arterias cercanas, lo que otorga un peligro Muy Alto, con 1 a 2 eventos en 10 años.

Recomendaciones para prevenir esta inundación, incluyen un efectivo monitoreo del estado de colmatación de los muros desarenadores en época invernal para su posterior limpieza (Fig. 6) y estudiar la factibilidad de aumentar el diámetro de los cauces artificiales para incrementar el caudal efectivo de porteo.

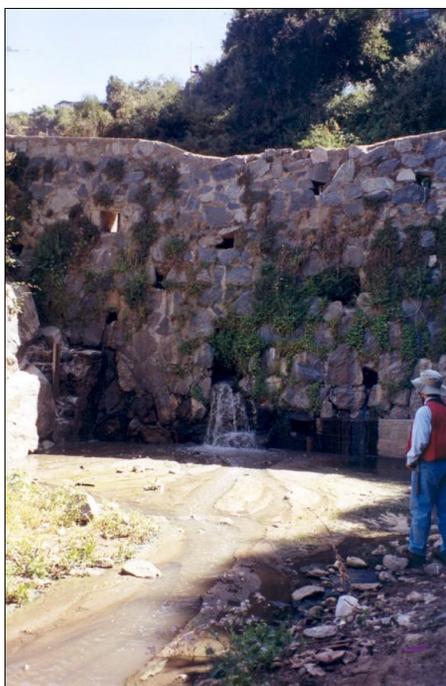


Figura 6. Muro desarenador en quebrada Jaime, entre cerros Mariposa y La Cruz, sin problemas de colmatación pues el agua de la quebrada drena por el desagüe inferior.

Inundación por marejadas

Es un fenómeno de inusual ocurrencia, pero existen registros históricos de tales eventos en el área costera. Dependiendo de la importancia de las instalaciones costeras a proteger, se recomienda la construcción de malecones o enrocados de grandes dimensiones en los sectores indicados en el mapa de inundaciones. Una recurrencia de este fenómeno no ha sido posible establecer a partir del registro histórico, debido a lo aleatorio del proceso de marejadas por tormenta (definido por la dirección e intensidad del viento), por lo que se estableció como un peligro Moderado.

Inundación por Tsunami

Las zonas afectadas por una posible inundación debida a un tsunami se tomaron de una simulación numérica realizada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. Dicha simulación integra datos topográficos, batimétricos información urbana de la ciudad y sísmicos. Históricamente se conoce la ocurrencia de 5 terremotos que generaron ondas de tsunami en 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. Esta simulación consideró el área comprendida entre los 33° 03' 21'' 32° 56' 27'' de latitud sur y entre los 71° 31' 30'' y 71° 39' 00'' de longitud oeste y no cubre el área costera entre Reñaca y la desembocadura del río Aconcagua (SHOA, 1999).

Cabe destacar, con relación a los niveles de inundación señalados en el mapa de peligros que, en la realidad, podrían ocurrir algunas variaciones respecto a los resultados de la simulación, puesto que el modelo numérico aplicado no considera aspectos hidrodinámicos asociados a la disipación de la energía del tsunami al llegar a la costa, debido a construcciones civiles tales como muelles edificios u otras obras (SHOA, 1999). A partir de la recurrencia documentada de este fenómeno, se define un nivel de peligro Bajo a Moderado para las áreas que pueden verse afectadas por una ola de tsunami de las características modeladas.

Como recomendación es necesario no destinar el área urbana abarcada por la inundación por tsunami para construcción de escuelas, hospitales u otro tipo de edificación que involucre la permanencia de una alta densidad de ocupantes o moradores. Así como también es necesaria una correcta señalización de las vías de evacuación y efectuar medidas tendientes a educación y concienciación de la ciudadanía sobre la correcta forma de reacción ante la ocurrencia de un terremoto y posterior tsunami.

REMOCIONES EN MASA

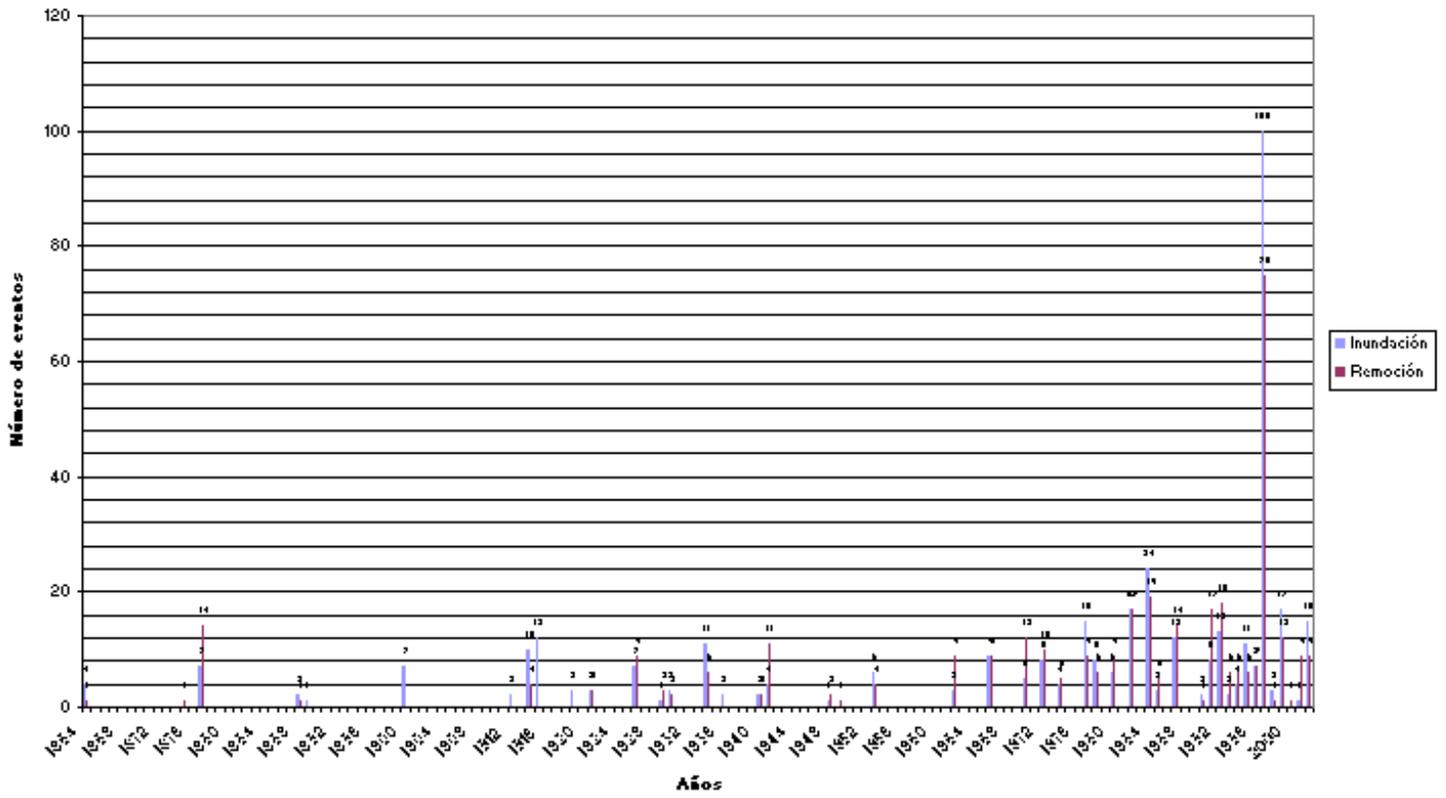
En la delimitación de las zonas en las que existe posibilidad de generación de remociones en masa (deslizamientos, flujos de barro y/o detritos y caídas de roca), es necesario analizar, en primer lugar, los factores que influyen en este peligro. Dichos factores o parámetros a evaluar son: 1. Pendiente topográfica, 2. Tipo litológico, 3. Fracturamiento de la roca, 4. Agua (cantidad de lluvia caída en el área), y, 5. Actividad humana (factor antrópico).

De estos cinco factores se puede considerar a la *pendiente topográfica*, el *tipo litológico* y el fracturamiento como factores fijos, el *agua* y la *actividad humana* como factores variables. La acción de estos últimos no es constante en el tiempo. de la roca solo es aplicable a una muy pequeña porción del área asociada a los taludes costeros de la zona de estudio y su influencia no es global.

Respecto de los factores variables, se puede decir que la cantidad de agua caída es directamente proporcional a la ocurrencia de remociones en masa. El gráfico de la figura 7 muestra que los registros históricos de inundaciones (asimilables a períodos de alta precipitación pluvial en la zona) y la cantidad de eventos de remociones en masa se correlacionan bastante bien, ya que en años lluviosos la cantidad de remociones en masa también fue alta. Notorio es el caso del año 1997 con 100 inundaciones registradas, en que la cantidad de remociones en masa superó los 70 eventos. Por otro lado, el análisis de las recurrencias, indica que estas son mayores en zonas con relieve más escarpado.

Figura 7 (Página siguiente). Inundaciones y Remociones en masa por año.

Inundaciones y Remociones en masa por año



El efecto de la actividad humana, aunque está ligado a niveles socioeconómicos (autoconstrucción de viviendas en zonas de peligro), se puede minimizar al efectuar un eficiente control de la construcción en zonas no aptas, lo cual es un tema difícil de abordar, teniendo en cuenta la sobresaturación habitacional en los cerros de Valparaíso y Viña del Mar, tal como se observa en la figura 8 con una vivienda instalada en una alta pendiente topográfica. También, dentro de la actividad humana se debe precaver lo que históricamente ha sucedido en las áreas de construcciones de gran tamaño (edificios, obras civiles), en que la acumulación de materiales (tierra, roca), en zonas inestables ha generado remociones catastróficas en las ciudades. Así también, se conoce la ocurrencia de una remoción de flujo de barro y detritos en Valparaíso (aluvión en quebrada Yungay, en 1888), debido a que una represa artificial que obstruyó el drenaje de la quebrada, colapsó generando un flujo que arrasó viviendas y diversas instalaciones urbanas, contabilizándose 42 víctimas fatales.



Figura 8. Autoconstrucción en ladera de pendiente fuerte

Respecto de los factores fijos, la litología de la zona de estudio consiste en depósitos aluviales semiconsolidados, rocas altamente fracturadas, suelo residual de la meteorización de rocas intrusivas, metamórficas y sedimentarias y depósitos de dunas activas e inactivas, cuya competencia será un factor a determinar.

Porcentualmente, la mayor parte del terreno corresponde a suelo residual tipo maicillo arcilloso por meteorización de rocas intrusivas, cuya competencia es baja en húmedo, pero aumentada con la presencia de cobertura vegetal que estabiliza el suelo en zonas de pendiente alta. A su vez, la competencia de las arenas de dunas inactivas se propone igualarla a la del suelo residual granítico, ya que entre Reñaca y Concón el terreno posee cobertura vegetal y las pendientes son, en general, moderadas a bajas. La competencia de los depósitos semiconsolidado de conglomerados, areniscas y limolitas de los Estratos de Potrero Alto, afectados por cierto grado de meteorización con generación de suelo residual, se puede asumir semejante a la competencia de las paleodunas inactivas y suelo residual granítico. Además, a partir del registro histórico, se puede observar que la localización geográfica de eventos de remoción en masa es relativamente homogénea, en su dispersión, y la generación de

remociones incluye sectores con suelo residual de origen intrusivo, sedimentario y metamórfico lo que indica similares aptitudes para la generación de remociones en masa.

En consecuencia, en el área, los únicos sectores que poseerían una notoria diferencia de competencia respecto a los primeros tres tipos de suelo de fundación descritos, corresponde a las dunas activas del suroeste de Concón y los taludes costeros de roca fracturada.

Al asumir similar competencia para los tres primeros suelos de fundación, el factor fijo de la pendiente topográfica queda como la principal variable a considerar en prácticamente toda la zona de estudio.

Remociones en masa no canalizadas

Considerando solamente la pendiente topográfica en laderas como factor generador de remociones en masa, es posible dividir el área en tres niveles de peligro (Bajo a Nulo, Moderado y Alto), verificándose la ocurrencia de Deslizamientos, Flujos de barro y/o detritos y Reptaciones (ver Mapa 2, fuera de texto).

Los deslizamientos corresponden al fenómeno de remoción en masa de mayor ocurrencia en el área de estudio. Se genera en mantos meteorizados arcillosos con o sin presencia de fragmentos rocosos, semi-saturados en agua, en laderas de cerros con pendientes superiores a 15°. En este proceso gravitacional una porción o fragmento de ladera se desplaza sobre una superficie soporte o guía y dicho volumen de material tiene una tendencia a conservar su geometría entre el inicio y el final del desplazamiento. Los puntos de ocurrencia histórica de este fenómeno tienden a localizarse en las áreas de peligro alto o en su cercanía (ver Mapa 2, fuera de texto y Anexo 2) y en menor cantidad en áreas de peligro moderado.

Las áreas de Bajo a Nulo peligro, comprenden una pendiente topográfica menor a 15°, no existiendo restricción a la edificación.

Las áreas de Moderado peligro, poseen pendiente topográfica entre 15° a 40°, lo que configura una zona de pendiente moderada a fuerte, potencialmente inestable ante intervenciones en el terreno, sin los resguardos apropiados. En estas áreas se desarrolla el manto meteorizado superficial derivado del intemperismo de rocas intrusivas (principalmente), metamórficas y sedimentarias. Dicho manto está constituido por un material pardo-rojizo formado por un limo arenoso con cantidades variables de arcilla (Grimme, 1964), que alcanza un espesor de 5 a 10 m. Este material con alto contenido de arena se clasifica entre los suelos coherentes. Esto significa que es compresible bajo cargas, originándose asentamientos que se producen rápidamente (Grimme, 1964). Su resistencia es bastante buena en estado seco, condición en la cual su consistencia es semisólida a sólida, sin embargo con poca humedad el material se aproxima al límite líquido y se desliza aún en pendientes suaves y, sobre todo, ofrece poca resistencia a la erosión (Grimme, 1964). Se recomienda realizar fundaciones profundas en las pendientes superiores a 30°, muros de contención con un eficiente drenaje que impida un exceso de presión sobre el talud por acumulación de agua, cortes de terreno apropiados (altura baja y en ángulo consistente con la altura y tipo de suelo) y protección de la cobertura vegetal, evitando exponer el suelo a erosión. En cortes del terreno la pendiente segura que se puede efectuar variará entre 40° y un máximo de 45° (Grimme, 1964), dependiendo del grado de meteorización del terreno. En estas zonas se registra una recurrencia de 2 eventos de remoción en 10 años.

Las áreas de Alto peligro comprenden sectores de pendientes superiores a 40° . En pendientes sobre 70° en el acantilado costero se generan caídas de roca y colapso de materiales inestables, como rellenos antrópicos o suelo residual mezclado con fragmentos de roca no meteorizada. El fuerte fracturamiento del macizo rocoso en las zonas de acantilado costero, también favorece remociones en masa en forma de caídas de roca (Figs. 9 y 10). La recurrencia en estas áreas es de 3 a 4 eventos en 10 años.



Figura 9. Talud costero en camino Reñaca-Concón en que se observa caída de bloques de roca y deslizamientos de arena.

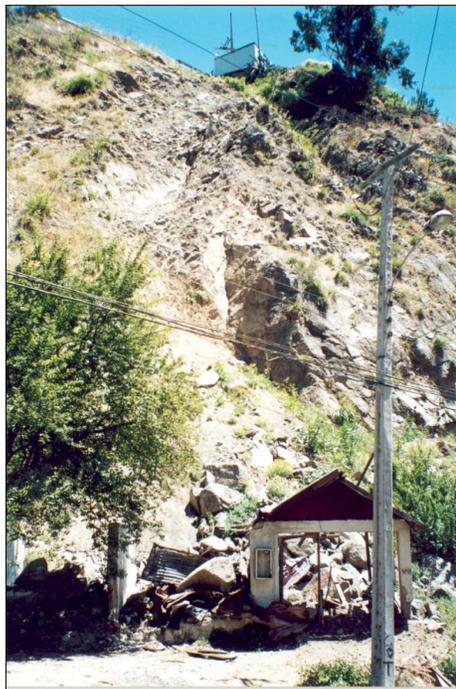


Figura 10. Caída de rocas desde talud rocoso en la subida avenida Francia

Relacionadas a taludes de altas pendientes, especialmente, superiores a los 70°, se asocian zonas de acumulación de caída de rocas y colapso de materiales no consolidados de Moderado a Alto peligro a los pies de los taludes costeros de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. En la figura 9 se observan los efectos de desprendimientos de roca a los pies de un talud de alta pendiente. Otro ejemplo constituye los desprendimientos rocosos del 23 de agosto de 2002 en Av. España, frente al cerro Barón, cuando el desprendimiento de material de relleno antrópico, maicillo y grandes bloques de roca granítica, generó un depósito de aproximadamente 1.000 m³, que obstruyó por varios días el tránsito por dicha vía.

Finalmente, las dunas activas comprenden una zona de Alto peligro, en la cual la pendiente topográfica no es relevante. Las dunas activas se encuentran depositadas sobre rocas intrusivas al norte de Reñaca y sur de Concón, cubren un área de 0,57 km², y corresponden a depósitos eólicos de arena grano medio a fino. No se desarrolla una cobertura vegetal sobre ellas por lo que están en movimiento debido al viento. Su falta de cohesión posibilita la generación de deslizamientos y flujos de arena. Su compresibilidad es mala y ante cargas sufre asentamientos diferenciales, lo cual no le confiere propiedades como suelo de fundación, siendo incapaz de sostener edificaciones. Construcciones próximas al sector de dunas se verían afectadas por sedimento suelto en movimiento; alta deflación (extracción, transporte y retransporte de las arenas por el viento generando excavamiento de fundaciones, invasión de patios y casas, inestabilidad de pavimentos y postación); asentamientos de terreno por humedad (hundimientos por compactación o movilización del subsuelo arenoso asociados a filtraciones y riego); falla de cimientos, agrietamiento de murallas y descuadre de estructuras (marcos de puertas y ventanas).

Flujos de barro y/o detritos canalizados

Las remociones en masa del tipo flujos de barro y/o detritos, se generan en situaciones de altas tasas de precipitación en corto tiempo o también durante lluvias prolongadas.

Este tipo de peligros geológicos se producen en zonas de máxima incisión vertical por erosión, debido a escorrentía superficial, que se desarrollan en forma lineal conformando líneas de erosión torrencial en laderas de cerros de *morfometría cóncava* en que se verifica la concentración y encauzamiento de la escorrentía y se originan quebradas de tamaño variable. Situación opuesta a lo que ocurre en laderas de cerros de forma *convexa* que resultan ser más estables y menos erosionables. La recurrencia de eventos histórico, el carácter erosivo de los primeros accidentes morfológicos y el consecuente transporte de material asociado contribuyen a distinguir a estos sectores como de Alto peligro en pendientes sobre 40° (líneas de máxima incisión). Se distinguen áreas de Moderado a Alto peligro donde las quebradas poseen pendientes entre 15 y 40°, actuando como canal de transporte y de depositación del material erodado. En estos sectores también se puede producir erosión, cuando el caudal del agua y el volumen de sedimento transportado es muy alto. Se recomienda restringir o controlar la edificación en las zonas descritas.

Aunado al transporte de material se produce acumulación de los productos erodados, lo cual generalmente ocurre en la zona final de dichas líneas erosivas al llegar a sectores llanos o de baja pendiente, generalmente, menor a 15°, definidas como áreas de Moderado a Bajo peligro, con recurrencias de 1 evento en 10 años. Sin embargo, en quebradas de gran extensión y ancho ubicadas, tanto en los cerros de Valparaíso como en Viña del Mar, existe la presencia de zonas de acumulación en replanos ubicados a media ladera, frecuentemente sobre la cota 80 o

100 m s.n.m. Estos sectores deben ser considerados como probables sitios de embancamiento por obstrucción del drenaje si ocurriese la conformación de represas naturales con escombros, basura y restos de árboles, lo cual puede generar avalanchas de barro sobre las áreas bajas, situación similar a lo ocurrido en Valparaíso el 11 de Agosto de 1888 cuando una represa artificial ubicada en la quebrada Yungay colapsó y sobrevino un flujo de barro y detritos que arrasó viviendas y causó 42 víctimas fatales.

En el mapa de peligros geológicos adjunto se identifican las ya mencionadas líneas de erosión, que a su vez corresponden a líneas de transporte de material, delimitándose también las áreas de acumulación en zonas de baja pendiente topográfica con peligro moderado a bajo y recurrencia de 1 evento en 10 años. En este último punto es necesario distinguir que a los pies de los taludes costeros de Valparaíso, Viña del Mar y Concón se estableció una franja de acumulación de material principalmente debida a desprendimientos rocosos tal como lo que aconteció el 23 de Agosto de 2002 en avenida España, frente a cerro Barón, cuando el desprendimiento de material de relleno antrópico, maicillo y grandes bloques de roca granítica generó un depósito de aproximadamente 1000 m³ que obstruyó por varios días el tránsito en dicha vía.

Como todos estos procesos erosivos, de transporte y acumulación están motivados por la acción de inusuales cantidades de agua, no son claramente cuantificables en cuanto a los efectos destructivos que ocasionan y a la recurrencia absoluta de dichos eventos. Pero es claro que en inviernos lluviosos la susceptibilidad a la ocurrencia de flujos de barro encauzados en estas líneas erosivas y de transporte, es mayor. También influyen en la cantidad de material erodado y transportado, la deforestación de las laderas de cerros y la acumulación de basura en el fondo de las quebradas, siendo un punto de vital interés el controlar la utilización de las quebradas como vertederos y evitar, en lo posible, la deforestación de zonas con potentes capas de suelo residual, en especial las de suelo arcilloso.

Análisis de estabilidad de taludes

La estabilidad de los taludes en roca fresca o con un grado de meteorización, se determinó midiendo la disposición espacial de las fracturas en relación al talud que las contiene.

En la intersección de Avenida Alemania y calle El Sauce (261328 E y 6352597 N, WGS 84) se observa un talud (355°/60°) con roca intrusiva intensamente meteorizada y fracturas de orientación 290°/60°, 330°/75°, 80°/60° y 190°/65° (Dirección de manteo/manteo) (Fig. 11).

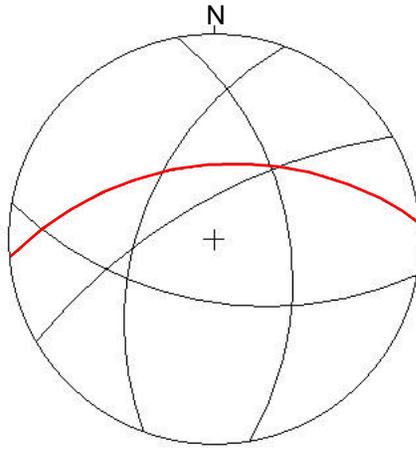


Figura 11. Ploteo de principales sets de fracturas en talud de avenida Alemania con calle El Sauce (Proyección equiareal, Hemisferio inferior, Red de Schmidt). Orientación de talud en línea roja.

En la representación gráfica de las fracturas anteriormente mencionadas y el plano de talud, se observa el desarrollo de 3 cuñas rocosas, de las cuales dos tienen líneas de intersección en la dirección de manto del talud con peligro de generar un deslizamiento de las cuñas en dirección norte.

En la subida de avenida Francia (255870 E y 6339934 N, WGS 84) un talud de orientación $110^{\circ}/80^{\circ}$, exhibe fracturamiento intenso con sets $210^{\circ}/50^{\circ}$, $270^{\circ}/90^{\circ}$, $25^{\circ}/30^{\circ}$, $250^{\circ}/70^{\circ}$, $210^{\circ}/53^{\circ}$ y $110^{\circ}/63^{\circ}$; (Dirección de manto/manteo) (Fig. 12).

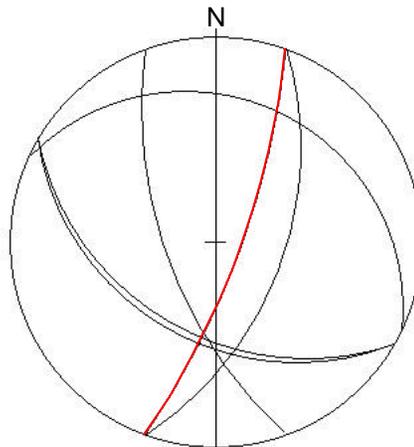


Figura 12. Ploteo de principales sets de fracturas en talud de subida avenida Francia (Proyección equiareal, Hemisferio inferior, Red de Schmidt). Orientación de talud en línea roja.

Se observa una intersección de múltiples planos, que generan líneas de intersección de cuñas con buzamiento al sur, situación estructural muy favorable al desprendimiento o deslizamiento de rocas a través de dichos planos y, además, se desarrollan fracturas de similar rumbo y menor ángulo de manteo que el talud.

En un talud intensamente fracturado ($120^{\circ}/80^{\circ}$), del acantilado costero, frente a playa Las Torpederas (253517 E y 6343861 N), se midieron 10 sets de fracturas de orientaciones

220°/80°, 160°/70°, 160°/20°, 65°/90°, 165°/87°, 45°/35°, 255°/90°, 340°/90°, 330°/65° y 330°/90° (Dirección de manteo/manteo) (Fig. 13).

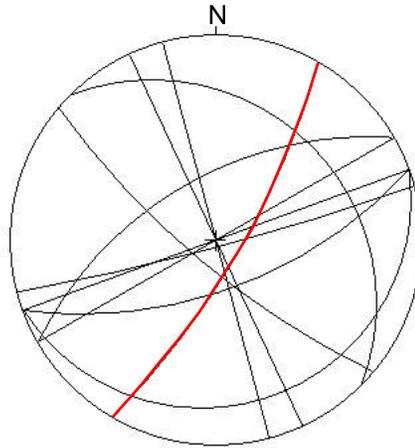


Figura 13. Ploteo de los principales sets de fracturas en talud rocoso frente a playa Las Torpederas (Proyección equiareal, Hemisferio inferior, Red de Schmidt). Orientación de talud en línea roja.

En este sector existen planos de fractura con menor ángulo de manteo que el talud y mantean en similar dirección que el talud, fracturas verticales de rumbo cercano al del talud pueden generar desprendimientos hacia la zona no confinada (hacia el talud).

En el talud costero de la ruta a Concón (261328 E y 6352597 N, WGS 84), se observó roca intrusiva con el desarrollo de 4 sets de fracturas principales 150°/60°, 220°/90°, 95°/60° y 260°/90° (Dirección de manteo/manteo) (Fig. 14).

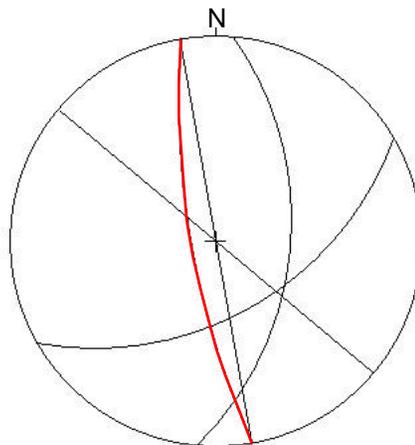


Figura 14. Ploteo de los principales sets de fracturas en talud rocoso de ruta a Concón (Proyección equiareal, Hemisferio inferior, Red de Schmidt). Orientación de talud en línea roja.

La configuración de fracturas, muestra planos con posibilidad de generar deslizamientos y desprendimientos rocosos por vuelco en planos con ángulo de manteo alto, pero menor al del talud y en dirección opuesta al manteo de este.

Los sets de fracturas que se estudiaron respecto a su estabilidad, muestran claramente la situación de alto peligro, vinculado al fracturamiento de roca en los taludes costeros y taludes en laderas de los cerros.

Recurrencia de Remociones y validación de criterios de peligrosidad geológica

La existencia de diferencias en la distribución de eventos históricos de remoción en masa (ver Anexo 2 de Registro de Remociones históricas en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón), permite dividir el área de estudio en 7 zonas (Fig. 15), con 4 áreas en Valparaíso, dos en Viña del Mar y una entre Viña del Mar y Concón. En las cuatro áreas de los cerros de Valparaíso se comprobó que:

- La recurrencia en polígonos de peligro alto es mayor en la zona con relieve más escarpado y de mayor altitud, como el caso de la zona 3, que comprende quebrada Jaime (Francia), cerros Mariposa, La Cruz y O'Higgins entre otros.
- Se verifica baja recurrencia (zonas de peligro alto) en áreas de relieve con menores pendientes como sector 1 (Playa Ancha), sector 4 (cerros Barón, Placeres y Esperanza). En el caso del sector 2, que es de relieve escarpado se asume falta de información de eventos de remoción.
- En el resultado final de recurrencias, se observa una mayor consistencia o validez de los valores (para áreas de alto y moderado peligro), en subzonas con información histórica de más de tres décadas y que incluyan datos de las décadas de 1990, 1980 y 1870 (períodos de alta precipitación que reflejan los puntos más altos en los siglos XIX y XX).
- El promedio ponderado de recurrencias para áreas de peligro moderado es de 2 eventos en 10 años. En el caso de áreas de peligro alto dicho promedio ponderado es de 3 a 4 eventos en 10 años. Las zonas de canal de transporte y depositación del material erodado, que se enmarca en áreas de pendiente entre 15° y 40°, en el fondo de las quebradas con moderado a alto tienen recurrencias de 2 eventos en 10 años.
- La existencia de zonas con distinta recurrencia de eventos de remoción en masa (para un mismo nivel de peligro), permiten decir que, íntimamente ligados a la pendiente topográfica como factor discriminante de niveles de peligrosidad geológica, están el factor antrópico y la disponibilidad de agua (alta pluviometría). En aquellas áreas de relieve sinuoso se observa, además, una alta densidad habitacional (Fig. 16) y en los períodos de registro histórico de altas precipitaciones, los eventos de remoción en masa fueron los más altos. Es decir, en áreas de mayor pendiente topográfica y alta intervención antrópica y con alta saturación acuosa del suelo, el peligro de remociones en masa es más alto.

- Valores anómalamente altos de recurrencias, calculados a partir de la base de datos de registros históricos, se deben a escasa cantidad de información, ya que con información en períodos cortos de tiempo (menos de 3 décadas), que no incluyen datos de los períodos de alta pluviosidad de cada siglo (décadas de 1990, 1980 y 1870), la recurrencia es alta. Por el contrario, en períodos largos de tiempo (más de 3 décadas) la recurrencia es más baja (promedio ponderado), ya que se compensan los valores de las décadas de precipitación pluvial alta con la de los años normales.

- A pesar de la existencia de zonas con distinta peligrosidad, se conserva un mismo nivel de peligro para toda el área de estudio, ya que la pendiente topográfica (factor fijo), es el único valor cuantificable y los factores variables, en especial el antrópico, son los que aumentan la recurrencia en dichas áreas.

- En sectores de pendiente inferior a 15° con peligro bajo a nulo se registran eventos ligados a reblandecimientos de terreno y derrumbes de edificaciones, fundamentalmente antiguas.

En los cerros que rodean Viña del Mar (zonas 5 y 6), el cálculo de recurrencias es anómalamente alto debido a la poca cantidad de datos que se dispone, que además abarcan un corto período de tiempo, con lo cual no se puede establecer una comparación con las recurrencias calculadas para Valparaíso, pero se asumen más bajas que en esta última ciudad.

Para la zona 7, entre Viña del Mar y Concón los sitios de eventos de remociones en masa son escasos, esto se vincula a la topografía del área (relieve poco sinuoso) y a la baja densidad de edificación y, por consiguiente, de intervención antrópica.

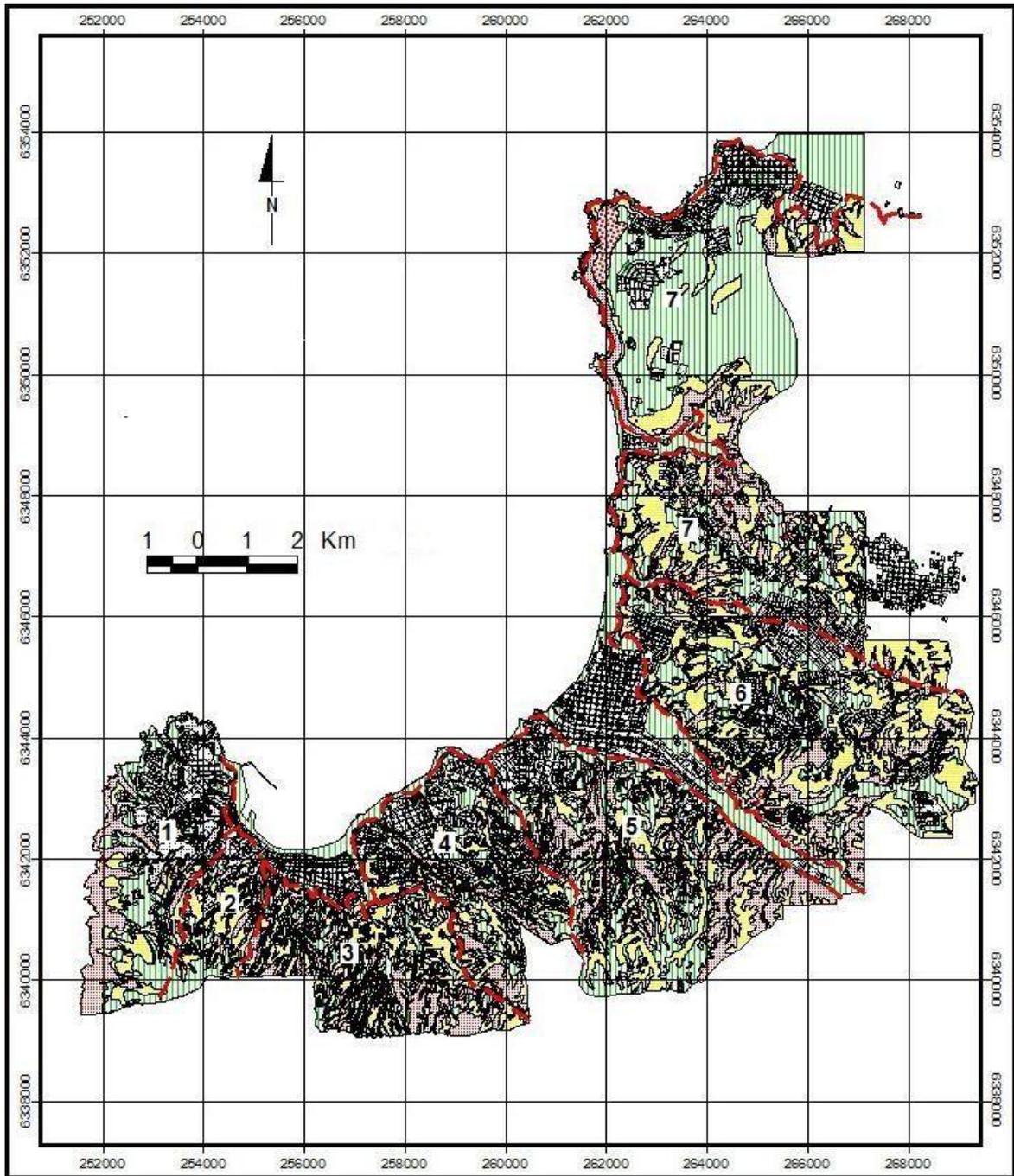


Figura 15. Zonificación de recurrencias de remoción en masa para Valparaíso, Viña del Mar y Concón.



Figura 16. Vista del relieve y construcciones en la zona 3, quebrada Colo Colo.

SOCAVAMIENTOS

Este tipo de evento, en el área del presente estudio, se vincula a la acción erosiva de ríos y de marejadas en la costa y que afecta infraestructura urbana. La posibilidad de impedir los efectos en instalaciones cercanas a riberas de ríos o en zonas costeras radica en proteger las curvas de cursos fluviales con enrocados o gaviones así como en las bases de puentes y en la costa la instalación de muros de protección y malecones. También se registran eventos de socavamiento en los cerros, pero siempre ligado a quebradas y un flujo de agua que erosiona. Tales sitios están indicados en el mapa de riesgo con la simbología de puntos con socavamientos históricos (Mapa 2, fuera de texto y Anexo III).

CONCLUSIONES

- Los lineamientos identificados en el área de estudio exhiben orientaciones preferenciales $N45^{\circ}E$ (más desarrollada) y $N45^{\circ}W$ (segunda en importancia) y un tercer set N-S menos marcado.

- De oeste a este los sets de estructuras se hacen más variados en su orientación, ya que en el área occidental se muestran seis sets y hacia el oriente se desarrollan hasta 12 familias de estructuras.

- Las orientaciones de estructuras medidas en terreno (diaclasas y fallas) son consistentes con las orientaciones preferenciales de los lineamientos, pero para la configuración de estructuras medidas, el rumbo $N45^{\circ}W$ representa el Vector Medio, es decir, corresponde al promedio de las estructuras más desarrolladas.

- La presencia del desarrollo de una dispersión moderada en la orientación de sets de fracturas indica que todos los taludes del área de estudio se ven afectados por fracturamiento polidireccional, lo que aumenta el grado de peligrosidad de dichos taludes.

- Los factores que influyen en la ocurrencia de remociones en masa son: la pendiente topográfica, tipo litológico considerados como *factores fijos* más la presencia de agua y la actividad humana considerados como *factores variables*. La fracturación de las rocas es un factor fijo, pero al estar circunscrito a un área muy pequeña de la zona de estudio no es de gran influencia en un aspecto global pero si en lo local.

- Del registro histórico de inundaciones y remociones en masa se desprende que en años lluviosos (alto número de inundaciones) las remociones en masa son más frecuentes, o sea existe una proporcionalidad directa entre agua disponible y remociones en masa.

- La gran parte de los eventos de remociones en masa se origina en el sector medio a bajo de los cerros, al pie de los mismos comienzan los eventos de inundación acompañados de barro y en el sector llano de las ciudades se verifican inundaciones sin gran cantidad de barro.

- En el sector de acantilados costeros se desarrollan desprendimientos de roca, flujos de barro y/o detritos y colapso de materiales inestables.

- En las zonas de suelo residual granítico se generan principalmente deslizamientos y menormente flujos de barro.

- En el área ocupada por dunas activas son frecuentes los flujos de arena.

- En los sitios de afloramiento de depósitos de gravas y areniscas son recurrentes los flujos de barro y detritos.

- En el área de estudio, de los factores que influyen en el peligro a la generación de remociones en masa la pendiente topográfica es el más relevante ya que el tipo litológico es relativamente constante al estar cubierta la mayor parte de la zona por suelos de fundación de similar competencia y debido a las características no constantes (variables) de la cantidad de agua disponible y de la influencia de la actividad humana.

- El promedio ponderado de recurrencias para áreas de peligro muy alto es de 2 eventos en una década y para zonas de peligro alto es de 3 a 4 eventos en una década. En el caso de áreas de peligro extremadamente alto, dicho promedio ponderado es de 3 a 4 eventos en 10 años. Las zonas de canal de transporte y depositación del material erodado, que se enmarca en áreas de pendiente entre 15° y 40°, en el fondo de las quebradas, de peligro moderado a alto tienen recurrencias de 2 eventos en 10 años. Las zonas de acumulación al final de quebradas presentan recurrencias de 1 evento en 10 años, con peligro moderado a bajo.

- Laderas de cerros de *morfometría cóncava* facilitan la concentración y encauzamiento de la escorrentía superficial, conformándose líneas erosivas que originan quebradas. Situación opuesta a lo que ocurre en laderas de cerros de forma *convexa* que resultan ser más estables que las anteriores y menos erosionables.

- Al considerar que existe un control estructural en el trazado de las quebradas y existiendo un notorio alineamiento de eventos históricos de remoción en masa en Valparaíso,

se podría vincular el desarrollo de franjas de remociones en masa a dichas estructuras geológicas. Sin embargo, tal situación no es clara, pues dichas quebradas también poseen laderas de alta pendiente, por lo cual el factor pendiente topográfica, por sí solo, puede estar ligado a dicho alineamiento de eventos.

- Los sectores de mayor recurrencia de eventos de remoción en masa, son las zonas de relieve escarpado como el sector 3 de Valparaíso, el talud costero a un costado de Avda. España y el sector de barrio Limonares en Viña del Mar.

REFERENCIAS

Álvarez, L. 2001 (Publicación electrónica). Origen de los Espacios Públicos en Valparaíso: el discurso higienista y las condiciones ambientales en el siglo XIX. <http://www.uchile.cl/facultades/arquitectura/urbanismo/revurbanismo/n4/alvarez/alvarez.html>

Gana, P.; Wall, R. & Gutiérrez, P. 1996. Mapa geológico del área Valparaíso-Curacaví. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos N° 1, 20 p., 1 mapa escala 1:100.000.

Grimme, K. y Álvarez, L. 1964. El suelo de fundación de Valparaíso y Viña del Mar, Provincia de Valparaíso – Geología del área Valparaíso-Viña del Mar, Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín n° 16, Santiago de Chile, 58 pp.

Thorson, R. 1999. La falla “Marga Marga” Viña del Mar-Chile. Inédito, Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, 41 pp.