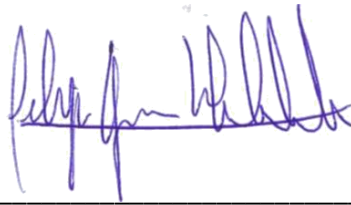


ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

Modificación al Plan Regulador Comunal de Lo Barnechea
"MPRC-LB-30 PROYECTO NIDO DE ÁGUILAS"



Febrero 2024



FELIPE GARCÍA-HUIDOBRO COVARRUBIAS
Profesional Responsable del Estudio Fundado de Riesgos

Índice de Contenido

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	Marco jurídico	8
1.2	Alcance y limitaciones	9
1.3	Objetivos	10
1.4	Ubicación del área de estudio.....	10
1.5	Metodología general del estudio	12
1.5.1	Recopilación y revisión de antecedentes	13
1.5.2	Elaboración de líneas de base	13
1.5.3	Catastro de peligros	14
1.5.4	Diagnóstico de peligros	14
1.5.5	Modelación de peligros	14
1.5.6	Elaboración de mapas de peligros	14
1.5.7	Definición de áreas de riesgo y recomendaciones.....	15
2	INUNDACIONES TERRESTRES	16
2.1	Catastro	16
2.2	Diagnóstico.....	23
2.3	Susceptibilidad	25
3	REMOCIONES EN MASA	27
3.1	Catastro	28
3.2	Flujos de barro y/o detritos.....	35
3.2.1	Diagnóstico	35
3.2.2	Susceptibilidad	36
3.3	Procesos de ladera	38
3.3.1	Diagnóstico.....	38
3.3.2	Susceptibilidad	39
4	SISMICIDAD	40
4.1	Catastro	40
4.2	Diagnóstico.....	41
5	VOLCANISMO	41
5.1	Catastro	41
5.2	Diagnóstico.....	45
6	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	46
6.1	Zonificación de la susceptibilidad	46
6.2	Definición de las áreas de riesgo.....	48
6.3	Conclusiones y recomendaciones específicas.....	49
6.3.1	Inundaciones	49
6.3.2	Flujos de barro y/o detritos.....	50
6.3.3	Procesos de ladera	50
6.3.4	Sismicidad.....	50
6.3.5	Volcanismo	51
7	BIBLIOGRAFÍA.....	52
8	APÉNDICES	56

Índice de Figuras

Figura 1-1 Contexto territorial del sector sujeto a modificación MPRC-LB-30	11
Figura 1-2 Predios y ubicación de sector modificado	12
Figura 1-3 Metodología general del estudio	13
Figura 2-1 Catastro de Inundaciones ocurridas en la comuna de Lo Barnechea	22
Figura 2-2 Obra de canalización para la quebrada El Gabino	23
Figura 2-3 Franjas de Restricción en predio del CPEIP	24
Figura 2-4 Obras de mitigación para la quebrada Los Pitufos	24
Figura 2-5 Mapa de susceptibilidad de inundación por desborde de cauces	27
Figura 3-1 Catastro de remociones en masa ocurridas en la comuna de Lo Barnechea	34
Figura 3-2 Mapa de susceptibilidad de remoción en masa por flujos de barro y/o detritos.....	37
Figura 3-3 Mapa de susceptibilidad de remoción en masa por procesos de ladera.....	40
Figura 5-1 Centros y depósitos volcánicos en contexto regional con el área urbana de la comuna.	43
Figura 6-1 Esquema del daño provocado por eventos de inundación por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad.	47

Índice de Tablas

Tabla 1-1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC.	9
Tabla 1-2 Categorías en el análisis del nivel de amenaza y susceptibilidad comparable	15
Tabla 2-1 Catastro de inundaciones en el “Área Urbana Bajo Cota 1.000 m.s.n.m.”	17
Tabla 3-1 Catastro de remociones en masa de procesos de ladera y eventos de flujos de barro y/o detritos	29
Tabla 5-1 Volcanes activos de la Región Metropolitana.	42
Tabla 5-2 Historia Eruptiva Volcán Tupungatito	44
Tabla 5-3 Historia Eruptiva Complejo Volcánico San José	44
Tabla 5-4 Historia Eruptiva Volcán Maipo.....	45
Tabla 6-1 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad	46
Tabla 6-2 Criterios de definición de las áreas de riesgo en el área del proyecto (escala 1:1.000) según el artículo 2.1.17 de la OGUC para cada peligro estudiado.	48

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Estudio Fundado de Riesgos de la modificación del Plan Regulador Comunal de Lo Barnechea “**MPRC-LB-30 PROYECTO NIDO DE ÁGUILAS**” (en adelante **MPRC-LB-30**), e incluye las metodologías y antecedentes utilizados en el estudio, las líneas de base necesarias para la elaboración del estudio, un catastro de los peligros geológicos relevantes para el estudio, un diagnóstico de cada uno de ellos y su zonificación por susceptibilidad.

Los resultados de este trabajo corresponden a la identificación y zonificación de las áreas susceptibles a ser afectadas por un peligro natural de acuerdo a las definiciones expuestas en el Apéndice A “Definiciones de peligro y riesgo usadas en este estudio”. Éstos se presentan en mapas de riesgos y cuadros de resumen, de acuerdo a la nomenclatura propuesta por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (en adelante OGUC). La zonificación aquí presentada sirve de base para definir las zonas de riesgo y zonas no edificables para la formulación de los respectivos instrumentos de planificación territorial (IPT).

1.1 Marco jurídico

La 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, las “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, puesto que la zonificación fue realizada a partir de mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el Apéndice A “Definiciones de peligro y riesgo usadas en este estudio”).

En la tabla 1-1 se presentan los peligros naturales definidos en el artículo 2.1.17 de la OGUC y la homologación con la nomenclatura internacional utilizada por este informe. A continuación, se presenta la definición de estos peligros geológicos y sus criterios de zonificación.

- Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC: *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 con las definiciones utilizadas en este informe, el Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de inundaciones terrestres e inundaciones litorales. Dentro de inundaciones terrestres se incluyen las inundaciones por desborde de cauces e inundaciones por anegamientos, de las cuales la comuna de Lo Barnechea sólo presenta condiciones para ser afectada por las inundaciones por desborde de cauces.

- Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC: Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.

El Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa, analizados separadamente como: (1) flujos de barro y detritos, (2) procesos de ladera, entendidos como aquellos desplazamientos de masas de tierra o rocas que se encuentran en pendiente que ocurren debido a la inestabilidad de los materiales que forman la ladera (incluyendo caída de bloques, deslizamientos y retrocesos de laderas).

- Apartado 3 del artículo 2.1.17 de la OGUC: Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.

Dentro de este apartado definido por la OGUC se analizan conceptualmente los procesos endógenos internos de la tierra, es decir, sismicidad y volcanismo.

Tabla 1-1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC.

“Áreas de riesgo” según artículo 2.1.17 de la OGUC	Peligros Geológicos estudiados en este informe		Descripción conceptual	Análisis
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	Inundaciones terrestres	Por desborde de cauce	Apéndice B.2.1	Capítulo 2
		Anegamiento		
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa	Flujos de barro y/o detritos.	Apéndice B.2.2	Capítulo 3
		Procesos de ladera		
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Sismicidad		Apéndice B.1.1	Capítulo 4
	Volcanismo		Apéndice 0	Capítulo 5

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A LA NORMATIVA 2.1.17.

1.2 Alcance y limitaciones

Este trabajo corresponde al Estudio Fundado de Riesgos y forma parte de la modificación MPRC-LB-30 del Plan Regulador Comunal de Lo Barnechea, que tiene por objetivo definir “áreas de riesgo” según lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC.

En este estudio se precisa la definición de las áreas de riesgos definidas en el Plan Regulador Metropolitano de Santiago, especialmente en lo referido a inundación, según la metodología que se describe en la sección 1.5. Esta metodología consiste en definir áreas de riesgo a partir de la

susceptibilidad asociada a los peligros identificados en el área estudiada, que a su vez se define a partir de las características del territorio y el clima, el catastro de peligros que ha afectado al territorio y los resultados de modelaciones numéricas.

Las principales limitaciones que tiene la metodología aplicada son: (1) no fue posible incorporar al documento la totalidad de información documentada, específicamente algunos Ordinarios, (2) no se contó con un registro sistemático de los peligros que han afectado a la comuna, (3) la información disponible no permite hacer un análisis riguroso de los períodos de retorno asociados a los diferentes procesos, y (4) este estudio se elaboró a escala 1:1.000, lo que implica que no es posible analizar peligros resultantes de procesos de escala aproximada a 1 m o menores.

1.3 Objetivos

El objetivo de este trabajo es la elaboración del Estudio Fundado de Riesgos, relativo a los peligros de origen natural, que acompañe y entregue criterios para el desarrollo de la modificación al Plan Regulador Comunal de Lo Barnechea, MPRC-LB-30.

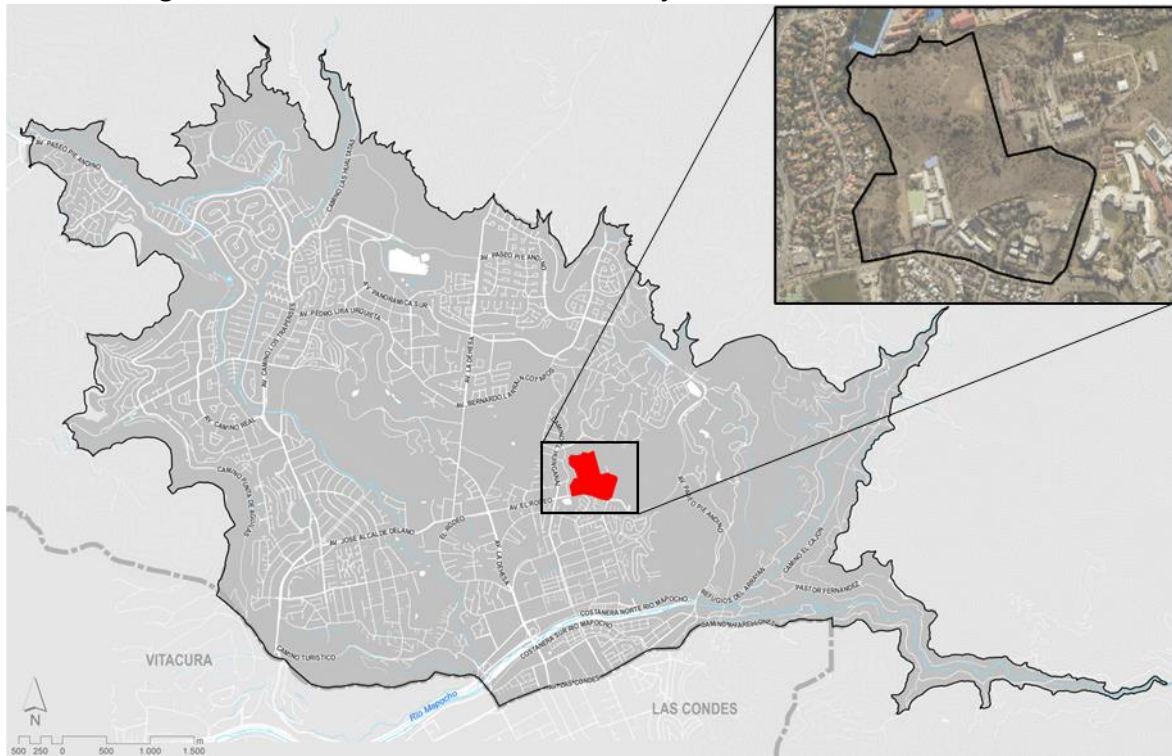
Asociado al objetivo propuesto, es necesario reconocer y delimitar las áreas de riesgos, de acuerdo con las definiciones expuestas en el artículo 2.1.17 de la OGUC, que han de ser incorporadas y/o adecuadas en el desarrollo de la mencionada modificación. Los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC son:

- Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.
- Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
- Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas

El objetivo de esta etapa es identificar y delimitar áreas de riesgos naturales (geológicos) del área del Proyecto “Nido de Águilas” a escala 1:1.000.

1.4 Ubicación del área de estudio

El sector sujeto a modificación, identificado en la siguiente ilustración, se encuentra ubicado en el sector de El Huinganal al suroriente del “Área Urbana Bajo Cota 1.000 m.s.n.m.” (Figura 1-1), la cual forma parte de la comuna de Lo Barnechea, Región Metropolitana. Este sector tiene una vocación de uso preferentemente habitacional, con la excepción de los establecimientos educativos que se concentran en torno al territorio sujeto a modificación, y la presencia de usos mixtos en los predios que enfrentan Av. El Rodeo.

Figura 1-1 Contexto territorial del sector sujeto a modificación MPRC-LB-30

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

El estudio de modificación MPRC-LB-30 del Plan Regulador Comunal de Lo Barnechea abarca una superficie de 17,7 ha donde se emplazan 9 predios (Figura 1-2), de los cuales sólo 2 mantienen sus condiciones actuales y los 7 restantes reciben modificaciones: 5 acogen cambios de zonificación y 4 acogen afectaciones de utilidad pública para conformar vialidad proyectada:

- Predio **Rol 3597-798**, correspondiente al terreno Nido de Águilas ubicado en Camino Nido de Águilas 14.520, que acoge un cambio de zonificación.
- Predio **Rol 4155-028**, correspondiente al terreno del Colegio Polivalente San Rafael, ubicado en Av. El Rodeo 13.680, que acoge parte de una afectación de utilidad pública asociada a una apertura vial.
- Predio **Rol 0516-AVP**, ubicado en Av. El Rodeo 13.566 y 13.600, corresponde al Área Verde Pública donde se ubica el Parque El Huinganal y acoge un cambio de zona.
- Predio **Rol 3597-615**, correspondiente al terreno del Colegio Bertait College, ubicado en Av. El Rodeo 13.710 (Lote 1-A), que no acoge ningún cambio.
- Predio **Rol 3597-620**, ubicado en Av. El Rodeo Interior 13.754 (Lote 6), que acoge un cambio de zona y parte de una afectación de utilidad pública asociada a una apertura vial.
- Predio **Rol 3597-621**, ubicado en Av. El Rodeo Interior 13.762 (Lote 7), que acoge un cambio de zona y parte de una afectación de utilidad pública asociada a una apertura vial.
- Predio **Rol 3597-624**, ubicado en Av. El Rodeo 13.798 (Lote 9A), que acoge parte de una afectación de utilidad pública asociada a una apertura vial.
- Predio **Rol 3597-625**, ubicado en Av. El Rodeo Interior 13.770 (Lote 8A), que acoge parte de una afectación de utilidad pública asociada a una apertura vial.
- Predio **Rol 3597-90649**, correspondiente al Condominio “Los Prados de La Dehesa”, ubicado en Av. El Rodeo Interior 13.738 (Lote 4+5), que no acoge ningún cambio.

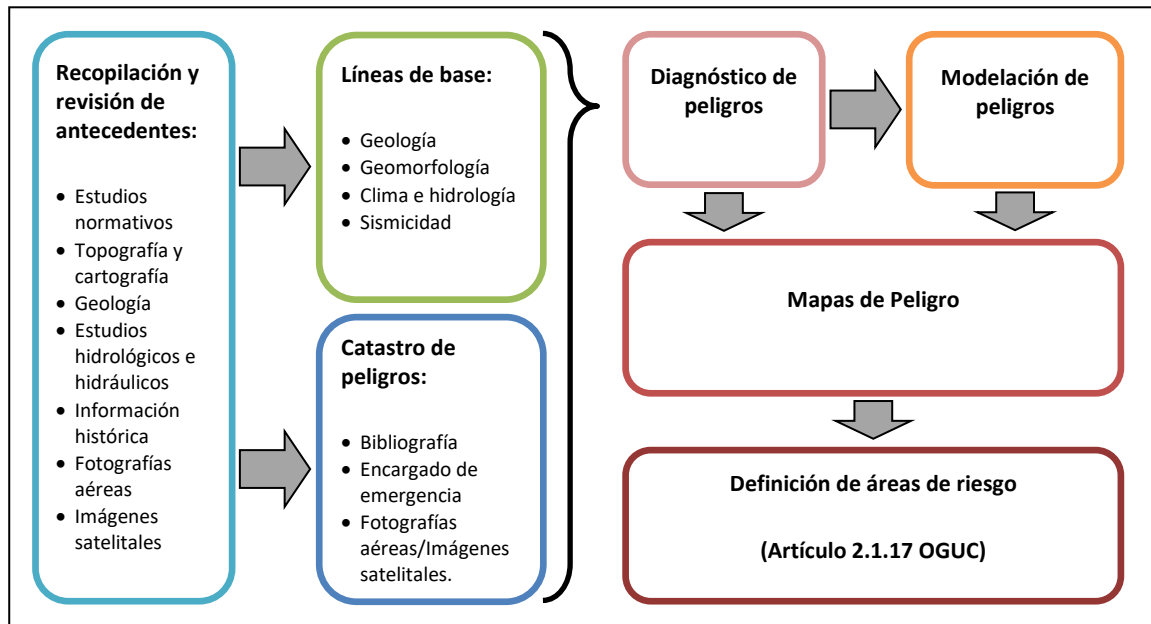
Figura 1-2 Predios y ubicación de sector modificado



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

1.5 Metodología general del estudio

En función de los objetivos propuestos, la metodología de este estudio está orientada a identificar, caracterizar y delimitar las áreas que presenten peligro por causas naturales que pudieran afectar a la población y/o su infraestructura asociada dentro del área de estudio; además de aquellas áreas ocupadas por la población, se considerarán aquellas donde se puedan establecer nuevas poblaciones u obras de infraestructura, según corresponda, para, de esta forma, definir las áreas de riesgo, según la definición de la OGUC (Figura 1-3). A continuación, se describen de manera general las actividades que se realizaron para elaborar este estudio.

Figura 1-3 Metodología general del estudio

1.5.1 Recopilación y revisión de antecedentes

Se recopilaron y revisaron los antecedentes que entregó la municipalidad, que fueron relevantes para la elaboración del presente estudio. Adicionalmente, se utilizó información disponible en instituciones públicas y privadas. La información recopilada es:

- Estudios de peligro con carácter normativo.
- Información topográfica y cartográfica, ya sea levantada para este estudio o en alguno anterior.
- Cartografía geológica de la comuna.
- Estudios hidrológicos e hidráulicos.
- Información histórica y estudios de carácter técnico relativos a peligros que han afectado a la comuna.
- Fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Los antecedentes recopilados, son la base para el desarrollo de este trabajo, y se complementaron con información generada durante el estudio. Ellos se utilizaron para la elaboración de las líneas de base y para definir las metodologías más adecuadas al territorio en análisis.

1.5.2 Elaboración de líneas de base

Se elaboraron líneas de base para caracterizar factores que se relacionan con la ocurrencia de los peligros que pueden afectar al sector del proyecto “Nido de Águila”, para identificar aquellas zonas que son más propensas a su ocurrencia y estimar, aunque sea de manera general, la recurrencia de estos peligros. De esta forma, la línea de base para el estudio fundado de riesgos considera las siguientes componentes:

- Geología: En ella se identifica y caracteriza los materiales y estructuras presentes en el territorio estudiado.
- Geomorfología: Reconoce y describe las formas presentes en el área del proyecto, y cuantifica sus parámetros morfométricos.
- Clima e hidrología: En ella se caracterizan las precipitaciones y las cuencas aportantes, junto con la red de drenaje. A partir de esto se cuantifican los caudales esperados para la comuna.
- Sismicidad: Identifica las distintas fuentes sísmicas que pueden afectar al territorio comunal.

1.5.3 Catastro de peligros

Se elaboraron cuadros con los eventos peligrosos que han afectado a la comuna de Lo Barnechea, que contendrán, en la medida que sea posible, tipo de peligro, fecha de ocurrencia, tipo y magnitud de evento gatillante, daños y fuentes de información utilizados. La información contenida en estos cuadros se utilizará para elaborar los diagnósticos de cada uno de los peligros estudiados y, en los casos que corresponda, para calibrar modelos que se utilicen. Las fuentes de información a utilizar serán:

- Fuentes bibliográficas.
- Reunión con el equipo encargado de emergencia comunal.
- Revisión de fotografías aéreas e imágenes satelitales.
- Visita a terreno.

1.5.4 Diagnóstico de peligros

La información recopilada y generada se sistematizó, para definir las áreas donde existen condiciones para que ese peligro las afecte. El resultado es un análisis de los factores condicionantes, que permiten identificar los sectores que presentan condiciones más favorables para la ocurrencia del peligro y desencadenantes, para así estimar la recurrencia de los eventos del peligro en cuestión, de cada uno de los peligros reconocidos a partir de la información disponible y las características físicas de los peligros estudiados. Además, a partir de este diagnóstico, se diferenciaron los peligros que se pueden zonificar a escala del proyecto, de aquellos que no son zonificables.

1.5.5 Modelación de peligros

El diagnóstico permitió definir las áreas en donde se necesita contar con más información para definir las zonas con condiciones favorables para ser afectadas por los peligros. La modelación de peligros delimita las áreas afectadas por eventos de diferentes magnitudes y recurrencias, entendiendo que los eventos de mayor magnitud tienen una recurrencia menor. Los peligros modelados son remociones en masa e inundaciones.

1.5.6 Elaboración de mapas de peligros

A partir de los factores condicionantes reconocidos en la actividad anterior y, en los casos que correspondiera, de los modelos numéricos, se definieron criterios objetivos que permitieran asignar un nivel de susceptibilidad en el territorio. En términos generales, se asignó un grado de susceptibilidad 'muy alta' a aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir un

evento del peligro analizado, una susceptibilidad ‘alta’ a aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y susceptibilidad ‘moderada’ a las áreas afectadas por eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero si otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas. En el Tabla 1-2 se comparan los grados de susceptibilidad anteriormente propuestos con las categorías establecidas por la SUBDERE. Estos criterios se representaron gráficamente mediante mapas de peligro que representan gráficamente los diferentes niveles de susceptibilidad.

Tabla 1-2 Categorías en el análisis del nivel de amenaza y susceptibilidad comparable

Estratificación		Descripción	Probabilidad	Susceptibilidad comparable
Muy probable	5	Ocorre más de una vez por año	1,0	Muy alta
Bastante probable	4	Ocorre una vez entre 1 y 10 años	0,99 – 0,10	Muy alta
Probable	3	Ocorre una vez entre 10 y 50 años	0,10 – 0,02	Alta
Poco probable	2	Ocorre una vez entre 50 y 100 años	0,02 – 0,01	Alta o moderada
Improbable	1	Ocorre cada 100 y más años	<0,01	Moderada

FUENTE: MODIFICADO DE “GUÍA ANÁLISIS DE RIESGOS NATURALES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL” (SUBDERE, 2011)

1.5.7 Definición de áreas de riesgo y recomendaciones

Una vez que se tienen los mapas de susceptibilidad, se definen las “áreas de riesgo” de acuerdo a lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC. Para ello, se asignó esta categoría en función de los mapas de peligros generados anteriormente y de los criterios utilizados para asignar cada categoría. Adicionalmente, se establecieron recomendaciones de carácter general con respecto a los criterios de uso de suelo en el área estudiada, a partir del nivel de peligrosidad representada por los resultados de las modelaciones o, en su defecto, mediante los distintos niveles de susceptibilidad.

2 INUNDACIONES TERRESTRES

Este peligro se denomina inundaciones terrestres, en el sentido de que estas ocurren “tierra adentro”: las aguas dulces anegan territorios al interior de los continentes. Dentro de las inundaciones terrestres estudiadas, se encuentran:

- **Inundaciones por desborde de cauces:** Este tipo de fenómeno ocurre cuando los cauces de ríos, esteros o quebradas desbordan su cauce natural.
- **Inundaciones por 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.

2.1 Catastro

En la Tabla 2-1 se presenta un catastro construido a partir de los antecedentes revisados durante el desarrollo de este trabajo para inundaciones que han afectado el área del proyecto o la comuna. Cabe mencionar que, en los archivos de prensa, sobre todo en los más antiguos, se utiliza un lenguaje impreciso, que no permite diferenciar los eventos de inundación por desborde de cauces con anegamientos, e incluso con flujos de barro y/o detritos. Por lo tanto, los eventos catastrados deben ser interpretados considerando dicha imprecisión.

Se destacan entre los eventos de inundación los años 1953, 1982, 1986 y 1987 que coinciden con años del Fenómeno del Niño. En estas ocasiones el río Mapocho sufrió grandes inundaciones que provocaron daños a la infraestructura y a vidas humanas. Los eventos que pudieron ser ubicados geográficamente con mayor precisión se grafican en la Figura 2-1.

Tabla 2-1 Catastro de inundaciones en el “Área Urbana Bajo Cota 1.000 m.s.n.m.”

Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
DC01	1544	Primavera	Inundación	Río Mapocho	X	Desbordes del río Mapocho	Petit-Breuilh (2004)
DC02	1574	Julio	Inundación	Río Mapocho	X	Desbordes del río Mapocho	Petit-Breuilh (2004) y Urrutia y Lanza (1993)
DC03	1581	Junio	Inundación	Río Mapocho	X	Desbordes del río Mapocho	Petit-Breuilh (2004) y Urrutia y Lanza (1993)
DC04	1597	Invierno	Inundación	Río Mapocho		Desbordes del río Mapocho y en casi todos los ríos de la zona central de Chile	Petit-Breuilh (2004)
DC05	1607	Invierno	Inundación	Río Mapocho	X	Lluvias torrenciales provocaron desbordes en el río Mapocho.	Petit-Breuilh (2004)
DC06	1609	Marzo	Inundación	Río Mapocho		Desborde del río Mapocho	Petit-Breuilh (2004)
DC07	1618	¿?	Inundación	Río Mapocho	X	Desborde del río Mapocho	Petit-Breuilh (2004)
DC08	1620	Junio	Inundación	Río Mapocho		Desborde del río Mapocho. Importantes pérdidas en infraestructura	Petit-Breuilh (2004)
DC09	1650	Junio-Julio	Inundación	Río Mapocho	X	Desborde del río Mapocho. Daños en infraestructura y construcciones	Petit-Breuilh (2004)
DC10	1660	Agosto	Inundación	Río Mapocho		Desbordes del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC11	1687		Inundación	Río Mapocho	X	Desbordes del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC12	1688		Inundación	Río Mapocho	X	Desbordes del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC13	1694	Primavera	Inundación	Río Mapocho	X	Desbordes del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC14	1722	Invierno	Inundación	Río Mapocho		Desbordes del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC15	1744	¿?	Inundación y RM	Río Mapocho	X	Inundaciones en el río Mapocho y aluviones por lluvias torrenciales	Petit-Breuilh (2004)
DC16	1748	30 abril	Inundación	Río Mapocho	X	Inundaciones en el río Mapocho por lluvias torrenciales. Destrucción de puentes	Petit-Breuilh (2004) y Urrutia y Lanza (1993)
DC17	1764	7 nov.	Inundación y RM	Río Mapocho		Inundaciones y aluvión por el río Mapocho	Petit-Breuilh (2004)
DC18	1779	Otoño	Inundación y RM	Río Mapocho		Aluviones en el río Mapocho.	Petit-Breuilh (2004)
DC19	1783	16 junio	Inundación y RM	Río Mapocho	X	Rotura en el cauce del río Mapocho. Inundación y derrumbes. Daños en viviendas cercanas al río	Petit-Breuilh (2004)

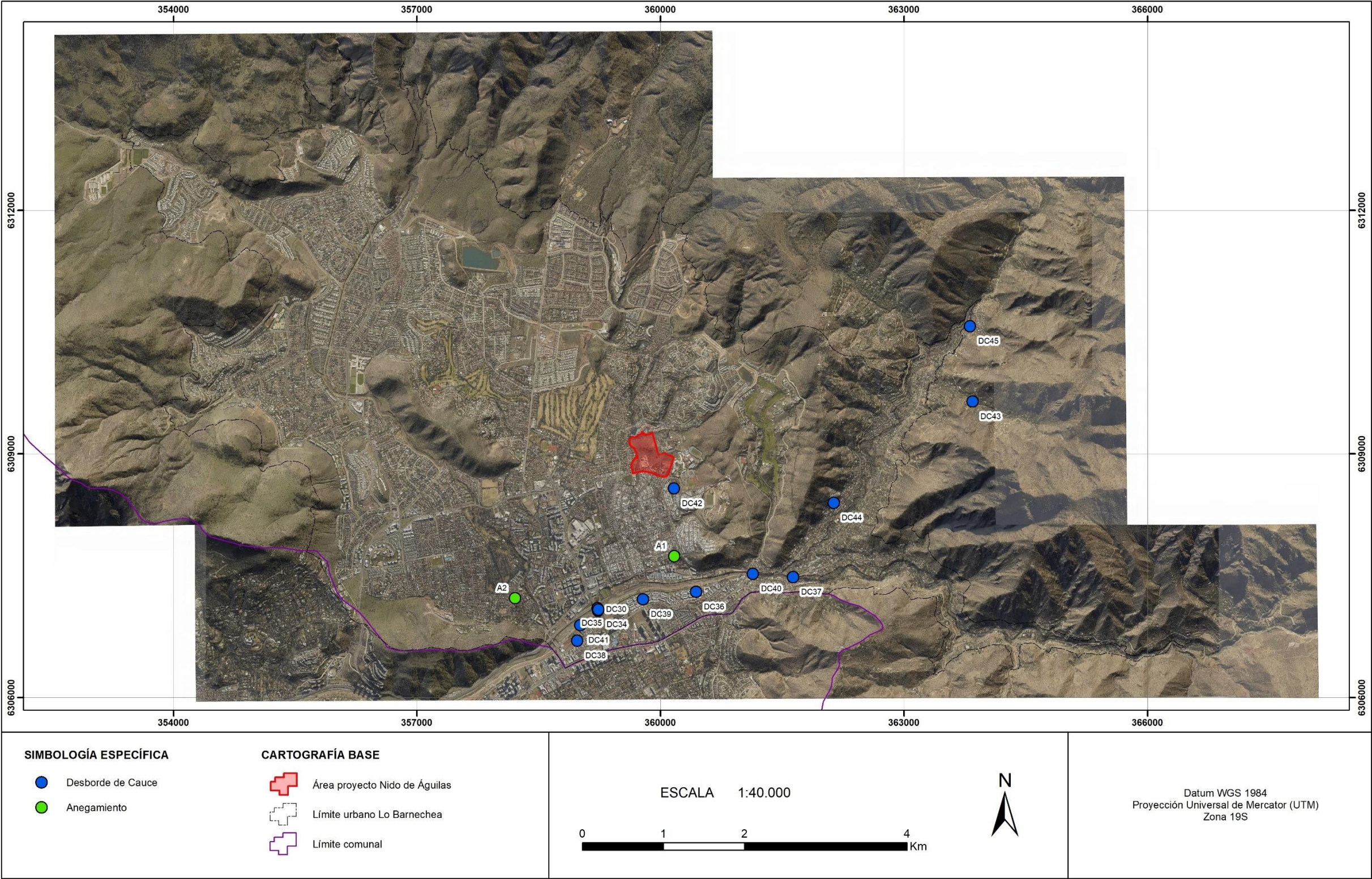
Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
DC20	1827	Invierno	Inundación	Río Mapocho	X	El río Mapocho se desbordó afectando principalmente a los que vivían en sus riberas y dejando personas fallecidas	Petit-Breuilh (2004)
DC21	1850	24 junio	Inundación	Río Mapocho	X	Destrucción de un puente por inundaciones en el río Mapocho deja alrededor de 9 personas fallecidas.	Petit-Breuilh (2004) y Urrutia y Lanza (1993)
DC22	1856	Marzo	Inundación	Río Mapocho		Desbordes del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC23	1877	17 julio	Inundación	Río Mapocho	X	Desborde del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC24	1888	Agosto	Inundación	Río Mapocho	X	Desborde del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC25	1912	Junio	Inundación	Río Mapocho	X	Desborde del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC26	1934	Mayo-Junio	Inundación	Río Mapocho		Desborde del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC27	1941	Agosto	Inundación y RM	Camino a Farellones	X	Temporal dejó a esquiadores aislados en Farellones. Desbordes del río Mapocho. En el asentamiento minero Pérez Caldera un rodado mató a 8 personas	Urrutia y Lanza (1993)
DC28	1949	Mayo	Inundación	Río Mapocho		Desborde del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC29	1953	20 de agosto	Inundación	Río Mapocho	X	Desde el día 19 de Agosto un fuerte temporal afectó la zona central y en menor intensidad al sur de Chile. En Santiago hubo centenares de personas que fueron evacuadas desde poblaciones ribereñas debido a desbordes del río Mapocho, del canal San Carlos, y del Zanjón de la Aguada. Las lluvias comenzaron la madrugada del 19 de Agosto y continuaron los siguientes dos días lo que provocó varios cortes de luz en comunas de la ciudad. En Lo Barnechea el primer día 200 personas fueron llevadas al Estadio Nacional y los días posteriores 14 familias también fueron evacuadas.	Urrutia y Lanza (1993). Diario El Ilustrado (1953)
DC30	1958	Junio	Inundación y RM	Río Mapocho en puente que unía Lo Barnechea con Las Condes	X	Destrucción del puente que unía Lo Barnechea con Las Condes dejó personas aisladas. Casas sólidas del sector alto se inundaron con las aguas del Mapocho, que rebasó las ventanas y dejó completamente inutilizados los automóviles dentro de las propiedades al ser tapados por agua y barro	Urrutia y Lanza (1993)
DC31	1969	Junio	Inundación	Río Mapocho	X	Desbordes del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)

Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
DC32	1970	Julio	Inundación	Río Mapocho	X	Desbordes del río Mapocho	Urrutia y Lanza (1993)
DC33	1980	22 de feb.	Inundación	Sector del Arrayán		Vecinos del sector informaron que el río Mapocho experimentó una súbita crecida, que en El Arrayán alcanzó a un metro y medio, arrastrando piedras, árboles y tierra lo que podría dañar modestas viviendas del sector de Lo Barnechea. Hubo cuatro desaparecidos, quedaron aisladas 300 personas, y 8 vehículos fueron arrastrados.	El Mercurio
DC34	1982	27 de jun.	Inundación	Puente nuevo, antiguo acceso entre las comunas de Las Condes y Lo Barnechea	X	En la comuna de Las Condes, el Puente nuevo, que sirve de acceso a Lo Barnechea, fue dañado por el río, el cual además cubrió una población de tránsito habitada por más de 200 familias. Según relato de vecina del sector, el río se llevó 8 casas durante la crecida. Se cortaron el camino a Farellones y Ñilhue, y los puentes El Arrayán, La Pirámide, Lo Curro y La Dehesa. El evento fue de 96 horas de precipitaciones y 126,3 mm de agua caída.	El Mercurio https://www.memoriasdelsigloxx.cl/601/w3-article-3403.html Catálogo Desinventar (https://www.desinventar.org/es/database)
DC35	1982	29 de jun.	Inundación	Calle Monseñor Escrivá de Balaguer. Puente La Dehesa	X	En el barrio alto, la zona más devastada por las inundaciones fue la comprendida por las calles Lo Arcaya, Monseñor Escrivá de Balaguer, Joaquín Cerda, Manquehue Norte y Espoz. En la comuna de Las Condes se registraron 370 damnificados. El Puente La Dehesa se quebró en dos partes, y tiene parte de su base destruida. Incluso uno de sus accesos está completamente inutilizado.	El Mercurio
DC36	1986	15 al 17 de Jun.	Inundación	Río Mapocho, sector Lo Barnechea.	X	Registro de viviendas destruidas en las riberas del Mapocho.	3w.memoriasdelsigloxx.cl (consulta: 2/08/2013)
DC37	1986	17 de jun.	Inundación	Sectores de las poblaciones Las Lomas, San Antonio y Quinchamalí. Puente San Enrique. Calle Monseñor Escrivá de Balaguer. El Arrayán.	X	1050 familias damnificadas a raíz del desborde del río Mapocho. Se registra un muerto al intentar cruzar el puente San Enrique. Las Personas afectadas fueron albergadas en distintos colegios de la comuna de Las Condes. El puente San Enrique fue destruido en la ribera norte. Se derrumbó el terraplén del puente "Pastor Fernández", ubicado en la calle Pastor Fernández con La Puntilla. En el Arrayán, a la altura del puente Ñilhue, un camino secundario resultó cortado.	El Mercurio

Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
DC38	1986	18 de jun.	Inundación	Calle Monseñor Escrivá de Balaguer	X	Los habitantes de las casas ubicadas en la avenida Monseñor Escrivá debieron abandonar sus viviendas debido a la inundación y contratar equipos para bombear el agua que escurrió hacia los subterráneos y primeros pisos de sus hogares.	El Mercurio
DC39	1987	14-18 de julio	Inundación	Riberas del río Mapocho, poblaciones Las Lomas y San Antonio.	X	Desborde del Mapocho que afectó poblaciones ribereñas de Lo Barnechea. Inundaciones en viviendas pertenecientes a las poblaciones Las Lomas Uno y Dos, San Antonio y Quinchamalí. Desalojo de poblaciones ribereñas al Mapocho en Lo Barnechea (problemas en Lo Curro)	El Mercurio
DC40	1989	23 de ago.	Inundación	Puente San Enrique		Debido a desborde del río Mapocho se inundó la población San Antonio afectando el puente San Enrique.	Catálogo Desinventar (https://www.desinventar.org/es/database)
	2003	Jul.	Inundación	Lo Barnechea		Doce viviendas resultaron con daños menores.	ONEMI
A1	2005	Ago.	Inundación	Villa Cerro 18 con pasaje Gómez.	X	Calles anegadas por precipitaciones ocurridas entre el 25 y 28 de Agosto del 2005.	ONEMI
	2005	Sept.	Inundación	Lo Barnechea		Se reportaron 207 damnificados y albergados.	ONEMI
DC41	2009	Ago.	Inundación y RM	Río Mapocho, sector campamento Juan Pablo II, Lo Barnechea.	X	Desborde del río Mapocho produjo deslizamiento de tierra que afectó al campamento Juan Pablo II, en sector puente Las Hualtatas.	ONEMI
DC42	2009	6 de sept.	Inundación	Quebrada Nido de Águilas, pasajes El tiuque, El chuncho y calle Los zorzales	X	Inundación en los pasajes El tiuque, El Chuncho y calle Los zorzales, producto del afloramiento de aguas pertenecientes a las napas de la quebrada Nido de Águilas.	Entrevista Sr. Gerardo Silva, Departamento de emergencias, municipalidad de Lo Barnechea
DC43	2009	6 de sept. (Síntesis del evento)	Inundación	Quebrada Del Ñilhue, Quebrada Huallalolén, Quebrada Novillo Muerto, Quebrada seca, Quebrada Nido de Águilas.		Desborde de las cuencas asociadas al cerro Pochoco. Desborde de la Quebrada Del Ñilhue, con resultado de 2 viviendas destruidas y 2 personas fallecidas; Desborde de la quebrada Huallalolén, con resultado de 4 viviendas destruidas; Desborde de la quebrada Novillo Muerto, con resultado de 5 viviendas destruidas.	Entrevista Sr. Gerardo Silva, Departamento de emergencias, municipalidad de Lo Barnechea

Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
DC44	2010	6 de jun.	Inundación y RM	Camino El refugio del Arrayán, sector canal La poza.		Se registraron doce casas anegadas, severos daños estructurales en el colegio Anglo American International School. Un muro de sustento del canal, que cruza de oriente a poniente el cerro La Poza, cedió con la presión del agua, arrastrando gran cantidad de lodo y piedras.	3w.La tercera.cl (consulta: 1/08/2013)
DC45	2012	14 de abr.	Inundación	Camino El cajón nº 20.200, Quebrada El arrayán.		Una emergencia se produjo en la noche del viernes en una zona montañosa de Lo Barnechea alto, a causa del desborde de un río que dejó un total de 6 personas atrapadas. No se registraron daños a la propiedad ni heridos.	3w.BioBiochile.cl (consulta: 1/08/2013)

Figura 2-1 Catastro de Inundaciones ocurridas en la comuna de Lo Barnechea



2.2 Diagnóstico

Los antecedentes históricos contenidos en el catastro levantado, las características geológicas y geomorfológicas de la comuna (Apéndice C) y la hidrología (Apéndice D) son indicadores de que los cauces del área corresponden a zonas inundables o potencialmente inundables por eventos de desbordes de cauces, con distinta frecuencia y magnitud. Las principales diferencias radican en aspectos como: tipo de escorrentía del cauce (permanente o intermitente), evidencias de eventos ocurridos en el periodo catastrado, presencia de terrazas alledañas, y el tipo de depósito que rellena el cauce.

En el área del proyecto existen tres quebradas, que se describen a continuación en orden de importancia decreciente.

La principal de ellas es la quebrada El Gabino, que escurre principalmente de norte a sur, se encuentra al oeste del área de intervención del proyecto y tiene grados importantes de intervención en otros sectores de la comuna, pero que en el entorno del proyecto presenta una menor cantidad de obras destinadas a canalizarla y no tiene tramos entubados (Figura 2-2).

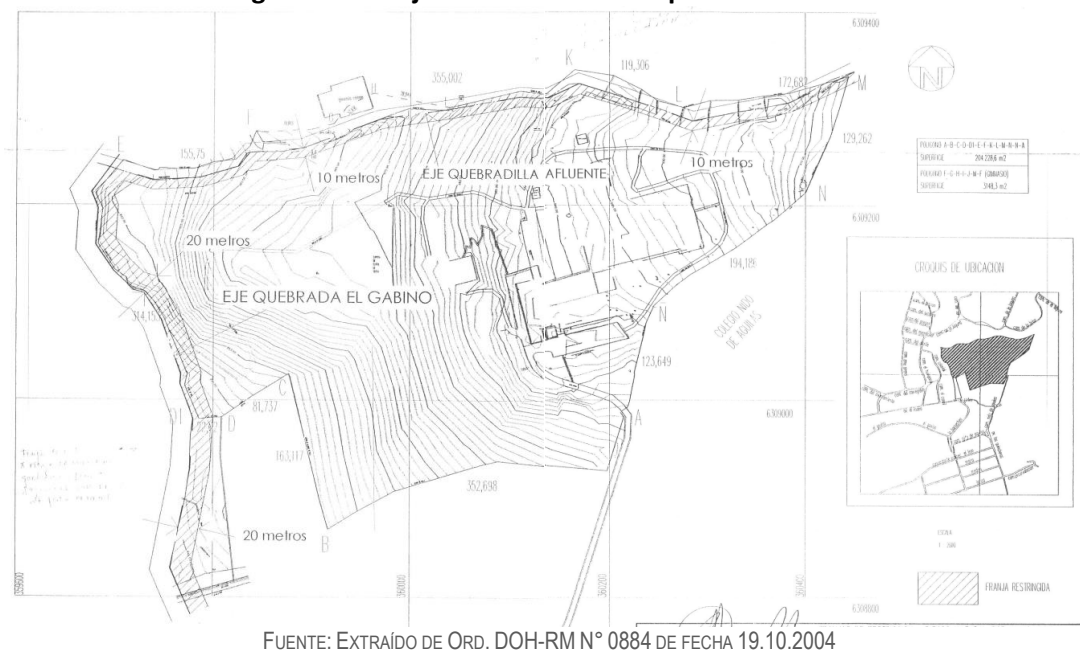
Figura 2-2 Obra de canalización para la quebrada El Gabino



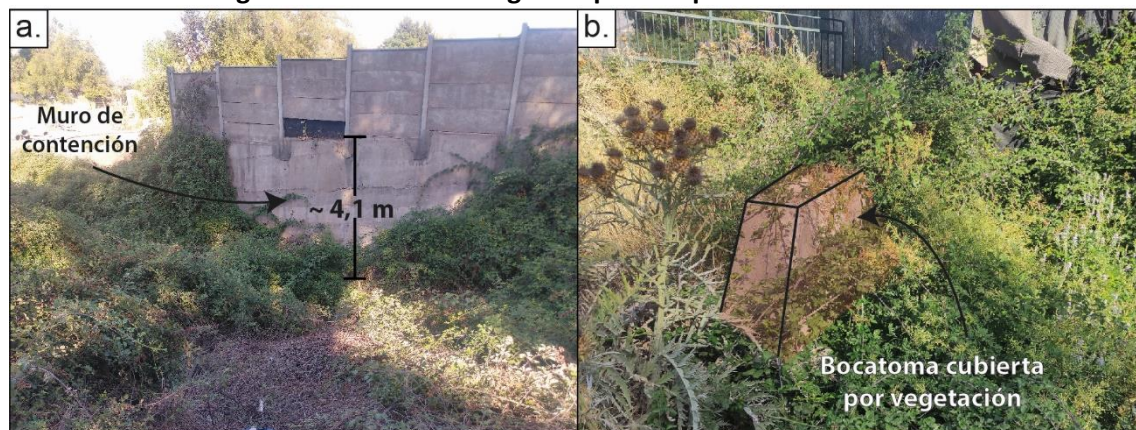
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

Este cauce cuenta con una franja de restricción por riesgo de inundación de 20 m a cada lado de su eje hidráulico, de acuerdo con lo expresado en Ord. DOH-RM N° 0884 de fecha 19.10.2004 (Figura 2-3).

La segunda quebrada corresponde al estero (o afluente) La Rucia, que escurre principalmente de este a oeste, es un tributario de la quebrada El Gabino, se encuentra al norte del área de intervención del proyecto. Este cauce presenta un bajo grado de intervención y cuenta con una franja de restricción por riesgo de inundación de 10 m a cada lado de su eje hidráulico, de acuerdo con lo expresado en Ord. DOH-RM N° 0884 de fecha 19.10.2004 (Figura 2-3).

Figura 2-3 Franjas de Restricción en predio del CPEIP

La tercera quebrada es Los Pitufos, que escurre principalmente de norte a sur y se encuentra al este del área de intervención del proyecto. Al llegar a Av. El Rodeo, este cauce es entubado (tubos de cemento centrifugado de base plana de 800 mm de diámetro). Este cauce no cuenta con una faja de protección definida por la DOH. En el tramo, el cauce se encuentra intervenido por la presencia de un muro de contención de a lo menos 4 metros de altura en su ribera occidental (Figura 2-4).

Figura 2-4 Obras de mitigación para la quebrada Los Pitufos

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

Los factores condicionantes para este tipo de amenaza corresponden a las características ya descritas, donde una morfología que permita el encauce de aguas ya sean ríos, esteros o quebradas, determina los sectores susceptibles a ser afectados por inundaciones por desborde de cauces. Esta aseveración es respaldada por el catastro, las observaciones de terreno y por la opinión de los encargados de seguridad de la comuna.

En la comuna de Lo Barnechea existen varios tranques en operación (La Dehesa 1 y 2, La Poza y Larraín, también conocido como El Rodeo) y uno drenado (Los Trapenses). Ninguno de ellos presenta condiciones para generar inundaciones en el área del proyecto.

Por otro lado, no existen datos concretos sobre inundaciones por anegamiento en el área del proyecto. La morfología de la zona, caracterizada por altas pendientes, elevaciones, y desnivel no reúne las condiciones necesarias para que este peligro sea de relevancia. Por ello, el peligro de inundaciones por anegamiento no se ha zonificado.

Con respecto a los factores desencadenantes, la ocurrencia de lluvias intensas corresponde al principal desencadenante natural, que puede activar tanto una pequeña parte de la red, sin escorrentía, o aumentar el caudal normal de un cauce activo, tal como lo evidencia el catastro. Lo anterior, permite determinar que todos los cauces deben tener algún grado de susceptibilidad de inundaciones, independiente del tamaño o forma de la cuenca aportante.

Por último, el Reglamento de la Ley N° 21.202 (Decreto 15 del Ministerio del Medio Ambiente, 30 de julio de 2020), elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente, define como humedal urbano a *“todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano”*. Bajo esta definición, parte importante de las quebradas y todos los tranques que se encuentran en el Área Urbana Bajo Cota 1.000 m.s.n.m. pueden ser catalogados como humedales urbanos. A la fecha de la elaboración de este informe, se han declarado los siguientes humedales urbanos:

- Humedal Urbano Tranque La Poza (Resolución Exenta N° 1267 del 11/11/2021 del Ministerio del Medio Ambiente)
- Humedal Urbano Embalse Larraín (Resolución Exenta N° 533 del 07/06/2021 del Ministerio del Medio Ambiente)
- Humedal Urbano Tranque La Dehesa 1 y 2 (Resolución Exenta N° 533 del 07/06/2021 del Ministerio del Medio Ambiente)
- Humedal Urbano Los Trapenses (Resolución Exenta N° 727 del 19/07/2021 del Ministerio del Medio Ambiente).
- Humedal Urbano Humedal Estero Las Gualtatas (Resolución Exenta N°962 del 17/08/2022 del Ministerio del Medio Ambiente).

También se encuentran en proceso de declaratoria los siguientes humedales:

- Estero del Arrayán y sus afluentes (Ordinario Alcaldicio N°34/2022 de fecha 19/01/2022).
- Quebradas sector Los Litres (Ordinario Alcaldicio N°276/2022 de fecha 29/06/2022).

2.3 Susceptibilidad

La zonificación de la susceptibilidad de inundaciones por desborde de cauces considera cauces activos e inactivos, además incorpora las características geomorfológicas obtenidas a partir del mapa geológico del área, el catastro de eventos históricos y los resultados de los modelos construidos en este estudio. La metodología que se describe a continuación entrega resultados

sobre áreas de referencia que se encuentran susceptibles a ser inundadas como respuesta a factores desencadenantes. Las áreas susceptibles graficadas en los mapas elaborados no consideran periodo de retorno, sin embargo, esta variable temporal es considerada dentro de la elaboración del modelo hidrológico de la sección anterior.

Se utilizaron cinco fuentes de información para definir los diferentes grados de susceptibilidad: (1) levantamiento topográfico utilizado para este estudio, (2) declaración de zonas inundables mediante ordinarios, y (3) geología y geomorfología de la zona estudiada. Según estos antecedentes se asignaron diferentes grados de susceptibilidad según los criterios que se describen a continuación.

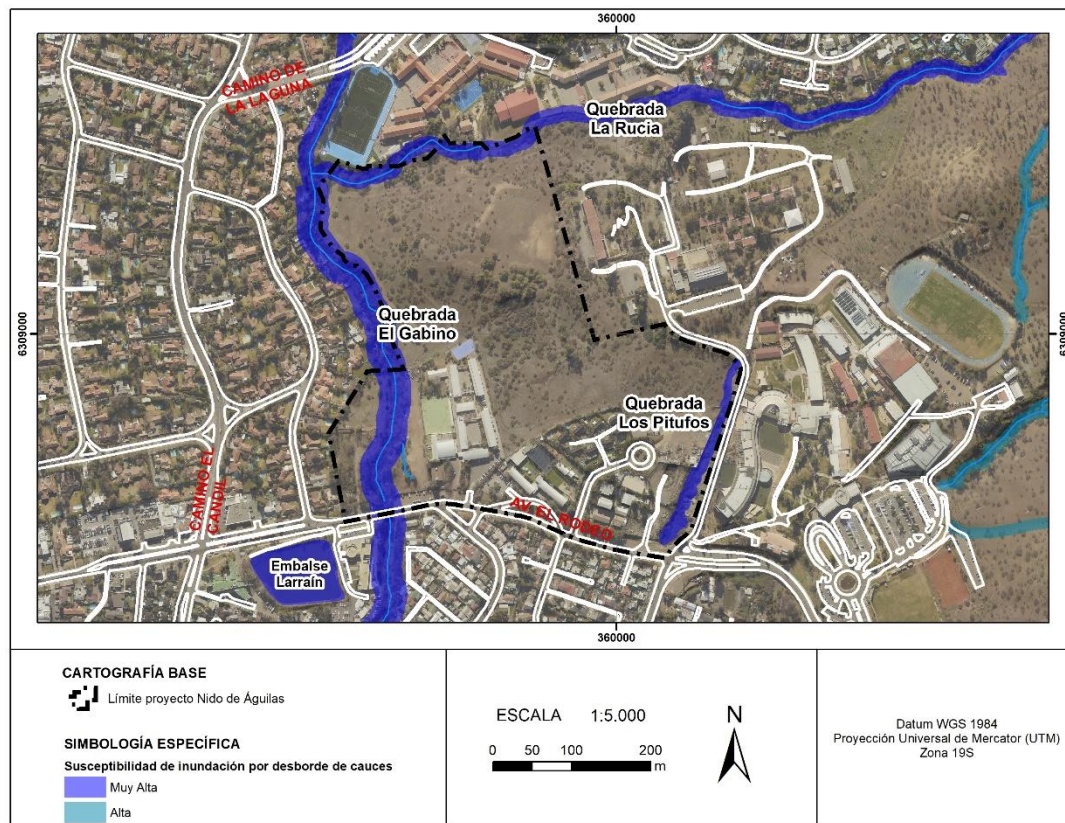
Se consideraron las declaraciones de zonas inundables mediante Ordinarios de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) y la Dirección General de Aguas (DGA), además de la SEREMI Ministerio de Vivienda y Urbanismo de la Región Metropolitana. Estos documentos definieron fajas en Las quebradas El Gabino y La Rucia. A dichas fajas se les asignó una susceptibilidad Muy Alta.

En la quebrada Los Pitufos, como no se cuenta con una delimitación oficial del área de restricción, se observó en terreno el área que presenta condiciones favorables para inundarse, considerando factores como la morfología del cauce y la cuenca aportante. A partir de estos antecedentes, se definió una zona inundable y se le asignó una susceptibilidad de inundación Muy Alta.

De esta forma, se definió la susceptibilidad según los siguientes criterios (Figura 2-5):

Susceptibilidad Muy Alta: Faja medida desde el eje de las quebradas El Gabino y La Rucia hacia cada lado, con un ancho de 20 y 10 m, respectivamente, y zona de inundación definida en función de la morfología del cauce en la quebrada Los Pitufos.

Figura 2-5 Mapa de susceptibilidad de inundación por desborde de cauces



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

3 REMOCIONES 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. El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007). Para los fines de este informe, las remociones en masa se han separado en dos tipos principales: “Procesos de ladera” y “Flujos de barro y/o detritos”.

- **Procesos de ladera:** Este tipo de peligro se subdivide en dos categorías que afectarían al área de estudio: caída de rocas y deslizamientos. La caída de rocas corresponde a bloques de rocas o suelo que 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). Los deslizamientos corresponden a masas de suelo o roca que 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).
- **Flujos de barro y/o detritos:** Los flujos de detritos, referidos comúnmente como “aluviones”, son un tipo de 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, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 2002).

3.1 Catastro

En el Tabla 3-1 se presenta un catastro construido a partir de los antecedentes revisados durante el desarrollo de este trabajo para eventos de procesos de ladera y flujos de barro y/o detritos que han afectado a la comuna, las cuales se ilustran en la Figura 3-1. Cabe mencionar que, en los archivos de prensa, sobre todo en los más antiguos, se utiliza un lenguaje impreciso que confunde los eventos de flujos de barro y/o detritos con eventos de inundación por desborde de cauces e incluso con anegamientos. Por lo tanto, los eventos catastrados deben ser interpretados considerando dicha imprecisión. Por otra parte, debido a esta imprecisión, se ha elaborado un único catastro para los diferentes tipos de remociones en masa.

En los eventos aluvionales catastrados, el río Mapocho y las zonas cercanas a la quebrada El Arrayán sufrieron grandes inundaciones por flujos de barro y detritos que provocaron daños a la infraestructura y a vidas humanas.

Tabla 3-1 Catastro de remociones en masa de procesos de ladera y eventos de flujos de barro y/o detritos

Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
	1536		RM	Río Mapocho		Después de algunos años de sequía se produjo un copioso aluvión por el cauce del río Mapocho.	Petit-Breuilh (2004)
	1723	25 junio	RM	Río Mapocho	X	Inundaciones en el río Mapocho y aluviones por lluvias torrenciales	Petit-Breuilh (2004)
	1744	¿?	RM e Inundación	Río Mapocho	X	Inundaciones y aluvión por el río Mapocho	Petit-Breuilh (2004)
	1764	7 noviembre	RM e Inundación	Río Mapocho		Aluviones en el río Mapocho.	Petit-Breuilh (2004)
	1779	Otoño	RM e Inundación	Río Mapocho		Rotura en el cauce del río Mapocho. Inundación y derrumbes. Daños en viviendas cercanas al río	Petit-Breuilh (2004)
	1783	16 junio	RM e Inundación	Río Mapocho	X	Temporal dejó a esquiadores aislados en Farellones. Desbordes del río Mapocho. En el asentamiento minero Pérez Caldera un rodado mató a 8 personas	Urrutia y Lanza (1993)
	1941	Agosto	RM e Inundación	Camino a Farellones	X	Destrucción del puente que unía Lo Barnechea con Las Condes dejó personas aisladas. Casas sólidas del sector alto se inundaron con las aguas del Mapocho, que rebasó las ventanas y dejó completamente inutilizados los automóviles dentro de las propiedades al ser tapados por agua y barro	Urrutia y Lanza (1993)
F08	1958	Junio	RM e Inundación	Río Mapocho en puente que unía Lo Barnechea con Las Condes	X	Tres precarias viviendas se cayeron al río. Sus habitantes ya habían sido evacuados.	Urrutia y Lanza (1993)
	1980	20 al 23 de Feb.	RM	Quebrada El arrayán.		Debido a lluvias se generaron deslizamientos en Farellones, cayeron 42.4 cm de nieve.	Catalogo Desinventar.org
	1992	30 de agosto	RM	Farellones		Se registra un deslizamiento en el kilómetro 3 de la ruta G-21	Sr. Gerardo Silva, Departamento de emergencias, municipalidad de Lo Barnechea

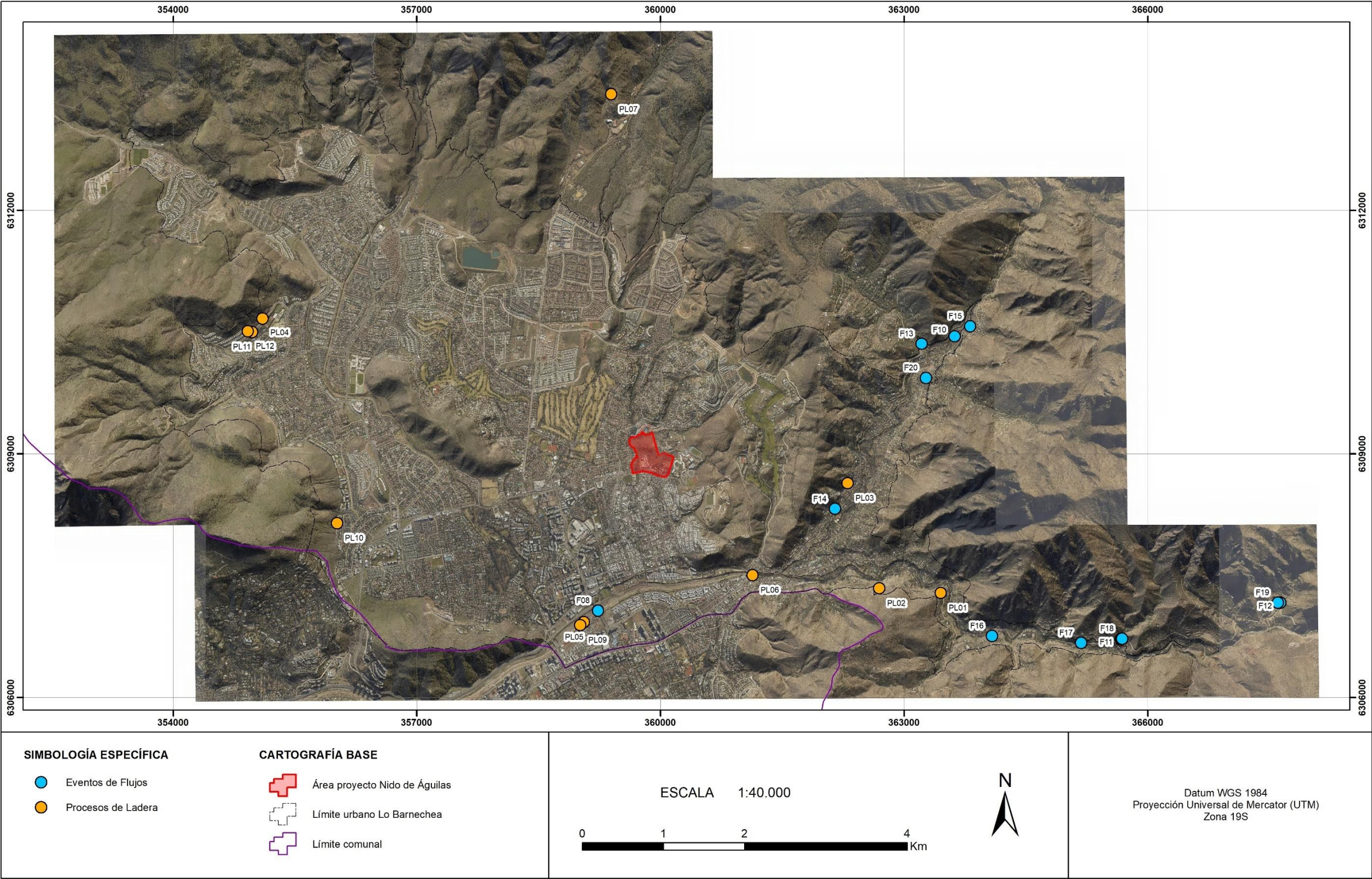
Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
PL01	1997	SE	RM	Kilómetro 3, ruta G.21, camino a Farellones	X	Se produce un deslizamiento en el kilómetro 2 de la ruta G-21	Sr. Gerardo Silva, Departamento de emergencias, municipalidad de Lo Barnechea
PL02	2000	SE	RM	Kilómetro 2 de la ruta G-21		Un deslizamiento de 3 toneladas de tierra y piedras afectaron el camino El Cerro en el sector del Arrayán, el material fue removido por las lluvias.	Catalogo Desinventar.org
PL03	2004	14 de noviembre	RM	Camino El Cerro, El Arrayán.		En Lo Barnechea, el caudal del Mapocho socavó la orilla sur del curso de agua, lo que no acontece comúnmente, y afectó un campamento donde vivían cerca de 15 familias.	www.emol.cl (consulta: 1/08/2013)
PL04	2005	18 de ago.	RM	Ribera sur del río Mapocho, Lo Barnechea.		Se produce un deslizamiento en la calle Punta de Águila, a la altura del colegio Everest, el cual implicó la rotura del camino.	Sr. Gerardo Silva, Departamento de emergencias, municipalidad de Lo Barnechea
PL05	2005	26 y 27 de agosto	RM	Ribera izquierda del río Mapocho, entre los puentes La Dehesa y San Francisco		"Se socavó la base del relleno artificial sobre el cual está emplazado el campamento Juan Pablo II. A lo largo de aproximadamente 50 m, se produjeron colapsos parciales originando el retroceso del escarpe de 8 m de alto y Casi vertical, destruyendo algunas viviendas de material ligero. Además, se generó una franja de 4 m de ancho de agrietamiento desde el escarpe al interior del	
PL06	2005	26 y 27 de agosto	RM	Aguas arriba del puente San Enrique		La sección del caudal del río Mapocho se elevó hasta un máximo de 2 m en segmentos encajonados y hasta 1,5 m en segmentos más abiertos. Aguas arriba del puente San Enrique (La Querencia), el caudal fluvial transportó troncos de eucaliptos de hasta 20 m de largo y produjo un socavamiento de la base del corte vertical en gravas de relleno del lado izquierdo (sur). Como consecuencia de ello colapsaron algunas edificaciones de madera del sector.	Naranjo & Hauser (2005)

Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
F10	2007	10 de ago.	RM	Camino El refugio del Arrayán, sector canal La poza, calle Las Higueras.		Agua, nieve, árboles y rocas arrasaron con todo lo que encontraron a su paso, cuenta Flavia Valentino, la principal damnificada del alud que la madrugada de ayer afectó a cuatro casas en la calle Las Higueras, en Lo Barnechea. Pasadas las 4:30 horas, un kilómetro más arriba, la caída de un árbol de 6 metros de altura rompía una de las paredes del canal La Poza, originando una avalancha.	www.EMOL.cl (consulta: 1/08/2013)
PL07	2007	agos.	RM	Club Ecuestre Internacional		Deslizamiento rotacional, cárcavas y grietas relleno de camino	Arenas (2007).
	2007	SE	RM	Cerro Blanco	–	Se produjeron deslizamientos menores	Sr. Gerardo Silva, Departamento de emergencias, municipalidad de Lo Barnechea
	2009	23 de julio	RM	El Colorado		Un alud se generó por malas condiciones climáticas afectado la zona del El Colorado.	Catalogo Desinventar.org
F11	2009	6 de sept.	RM	Kilómetros 6 (quebrada Ñilhue), 9 y 11 de la ruta G-21, camino a Farellones.	X	El desplazamiento del kilómetro seis habría arrastrado a varios vehículos y afectado a unas cinco casas del sector. Al momento de la edición de la noticia se registra 1 muerto y 3 desaparecidos. El alud tendría un ancho de 80 metros y se habría desplazado por la ladera de los cerros unos 150 metros abajo.	www.Elrancahuaso.cl (consulta: 1/08/2013)
F12	2009	6 de sept.	RM	Quebrada seca, altura del kilómetro 7	X	Un alud produjo el colapso de obras de arte.	Sr. Gerardo Silva, Departamento de emergencias, municipalidad de Lo Barnechea
F13	2009	6 de sept.	RM	Quebrada Novillo muerto, Quebrada Huallalolén.	X	En la quebrada Novillo Muerto, el alud arrasó cuatro viviendas de cuidadores de parcela, donde hubo pérdida material y drama humanitario.	http://jdvelarrayan.blogspot.com/search?updated-max=2009-12-28T19:11:00-03:00&max-results=14&start=14&by-date=false (consulta: 1/09/2019)

Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
PL09	2009	Ago.	RM e Inundación	Río Mapocho, sector campamento Juan Pablo II, Lo Barnechea.	X	Desborde del río Mapocho produjo deslizamiento de tierra que afectó al campamento Juan Pablo II, en sector puente Las Hualtatas.	ONEMI
PL10	2010	27 Feb	RM	Calle Aguas Claras, ladera oriental cerro Manquehue		Caída de rocas gatillada por el terremoto que afectó a la zona centro sur del país. Se estima un peso aproximado de 3 toneladas para el bloque caído, el cual generó daños en un muro de contención y sobre la calzada de la calle interior del loteo Manquehue Oriente	Fernández (2010)
F14	2010	6 de jun.	RM e Inundación	Camino El refugio del Arrayán, sector canal La poza.		Se registraron doce casas anegadas, severos daños estructurales en el colegio Anglo American International School. Un muro de sustento del canal, que cruza de oriente a poniente el cerro La Poza, cedió con la presión del agua, arrastrando gran cantidad de lodo y piedras.	www.la tercera.cl (consulta: 1/08/2013)
PL11	2010	19 de jun.	RM	Camino Punta de Águilas, ladera oriental cerro Manquehue		Se produjo caída de rocas luego de las intensas precipitaciones del día anterior (al menos 30 mm de agua acumulada), afectando a viviendas ubicadas en la ladera que no contaban con ningún tipo de protección. Los bloques cayeron desde el sector alto, rebotaron en la calle y golpearon la parte alta de la pared que separa las viviendas de la calle Camino Punta del Águila, cayendo al jardín de las mismas y a la piscina de una de ellas.	Fernández (2010)
F16	2012	17 de jun.	RM	Kilómetro 4,5 de la ruta G-21, camino a Farellones.		Cinco viviendas dañadas y 27 personas aisladas. Un camión quedó atrapado en la ruta. ONEMI decretó alerta amarilla para las comunas de Lo Barnechea y San José de Maipo por inestabilidad potencial en laderas de cerros y quebradas.	https://www.emol.com/noticias/nacional/2012/06/17/546036/alud-en-farellones.html
PL12	2013	Mayo	RM	Calle punta de Águila, a la altura del colegio Everest.	—	Se observaron deslizamientos de hasta 4 metros de la calzada de camino Punta de Águila, a aprox. 200 m de los afloramientos de agua ocurridos en los años 2004 y 2005.	Sr. Gerardo Silva, Departamento de emergencias, municipalidad de Lo Barnechea

Código	Año	Fecha	Tipo de Evento	Sector	Año ENSO	Descripción	Referencia
F17	2016	17 de abr.	RM	Kilómetro 5-6 de la Ruta G-21 camino a Farellones		Se registró un deslizamiento de barro que cortó el camino y dejó a 60 personas aisladas. En el sector también se suspendió el servicio de agua potable, lo que afecta a más de 800 personas.	https://www.emol.com/noticias/Nacional/2016/04/17/798387/Lluvias-en-zona-centro-dejan-deslizamientos-de-tierra-cortes-de-caminos-y-provoca-aumento-de-caudales-en-rios.html https://www.t13.cl/noticia/nacional/ltimo-balance-de-la-Onemi-Lluvias-dejan-284-personas-damnificadas-y-83-viviendas-con-dano-mayor
F18 F19 F20	2021	30 y 31 de enero	RM	Rutas G21 y G-245 y El Arrayán		Lluvia de verano en las comunas de Lo Barnechea y San José de Maipo provocó aluviones en las quebradas Ñilhue, Seca, La Ermita, La China, Huallalolén y otras quebradas menores, además del estero Manzanito (sector Puente Corral Quemado).	https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/datafiles/15993.pdf

Figura 3-1 Catastro de remociones en masa ocurridas en la comuna de Lo Barnechea



3.2 Flujos de barro y/o detritos

Las remociones de tipo flujo son procesos gravitacionales controlados usualmente por condiciones meteorológicas anómalas en zonas susceptibles a la generación de procesos de ladera, como por ejemplo deslizamientos de suelo y/o roca que se pueden fluidizar canalizando el material hacia zonas urbanas a través del cauce de una quebrada.

Estos procesos son altamente peligrosos dadas las altas velocidades que pueden alcanzar y las largas distancias que pueden recorrer, generando uno de los riesgos más dañinos para la población circundante a quebradas con potencial de generación de este tipo de fenómenos.

3.2.1 Diagnóstico

Los eventos de tipo flujo se asocian a fenómenos meteorológicos intensos en zonas susceptibles a deslizamientos superficiales de suelo que puedan alcanzar cauces o donde existen depósitos de material que pueden fluidizarse como consecuencia de estas precipitaciones. También se asocian a cauces de alta pendiente, donde el material puede alcanzar gran energía y con ello desplazarse grandes volúmenes de material y/o distancias. Entre los factores geológicos/geomorfológicos que condicionan la ocurrencia de flujos de detritos y/o barro se consideran el tamaño de la cuenca aportante, la pendiente de las laderas adyacentes a cauces de quebradas y la disponibilidad de material para ser transportado, tanto como laderas con posibilidad de generación de deslizamientos superficiales o depósitos de remociones en masa no consolidados. Adicionalmente, la intensidad de los flujos de barro y/o detritos también se relaciona con la pendiente de los cauces por donde circulan, ya que esta determina la energía disponible para transportar materiales y, por lo tanto, la velocidad y facilidad con la que podría transportar el material disponible en los cauces y/o laderas.

De esta forma, para determinar las zonas que pueden ser afectadas por este peligro, se han tomado en consideración los resultados de las líneas de base de geología y geomorfología (Apéndice C) y de hidrología (Apéndice D), y el catastro de remociones en masa, obtenido a partir de antecedentes bibliográficos, reuniones con el equipo encargado de emergencia comunal y observaciones realizadas en terreno.

Las zonas favorables para la generación de este peligro se asocian a quebradas dependientes altas, con importantes cuencas aportantes al área estudiada. En la zona existen dos quebradas capaces de generar flujos de detritos y/o barro, las cuales son El Gabino y La Rucia. Ambas quebradas provienen de cuencas que se encuentran en el cordón montañoso al norte del estero El Arrayán, las cuales son de medianas dimensiones, con pendientes relativamente bajas asociadas a la existencia de remociones en masa antiguas en el sector y en el catastro no se cuenta con eventos de flujos. En caso de que estas quebradas generasen flujos, tenderían a depositar la mayor proporción de material detrítico en la misma cuenca y, en casos más desfavorables, el flujo puede continuar por el cauce y desembocar en sus zonas bajas donde existen medidas de mitigación.

Un fenómeno adicional a tener en cuenta es que un cauce pueda ser bloqueado por procesos de ladera (deslizamiento o caída de bloques). Este bloqueo natural puede represar temporalmente el cauce aguas arriba, y luego, al colapsar la represa, desencadenar en un flujo de mayores dimensiones aguas abajo.

En Chile, el principal factor desencadenante para los flujos de barro y/o detritos son eventos meteorológicos anómalos de alta intensidad, ya sea en forma de precipitaciones muy copiosas en un tiempo muy corto o precipitaciones moderadas a intensas en un tiempo muy largo, que afectan localmente a las quebradas y modifican las condiciones de saturación de las laderas, desestabilizando el material detrítico disponible en ellas, transportándolo aguas abajo.

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. Recientemente (durante las últimas décadas) se han instalados pluviógrafos que miden la intensidad instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora); de momento, solo se dispone de registros más sostenidos en el tiempo de precipitaciones diarias (mm en 24 horas). Esto dificulta los análisis que ponen en relación estas variables, ya que a veces basta una lluvia extremadamente intensa de corta duración, para generar un flujo de detritos de proporciones considerables, y alto poder destructivo.

Otro factor desencadenante corresponde a la altura de la línea de nieve, ya que condiciona la superficie que captará precipitaciones líquidas, aumentando la susceptibilidad de generación de procesos de laderas en la cuenca aportante. Este factor es particularmente importante en los meses de verano, cuando caen precipitaciones con altas temperaturas. En el actual escenario de cambio climático, las precipitaciones asociadas al fenómeno conocido como “invierno altiplánico” cada vez pueden llegar con mayor frecuencia hasta más al sur, y por lo tanto, cada vez debieran ser más recurrentes las precipitaciones de verano en la comuna.

Es importante mencionar que los flujos de detritos y/o barro son fenómenos complejos, que dependen en gran medida de las condiciones de las cuencas aportantes al momento que éstos ocurren, y según distintos escenarios, las quebradas se pueden comportar de diferentes maneras. Los fenómenos tipo flujo pueden variar en la concentración de sólidos que transportan, el tipo de material (barro y/o detritos) y la magnitud del evento, dependiendo de los distintos escenarios posibles en la zona de estudio.

3.2.2 Susceptibilidad

Los factores que ejercen mayor impacto sobre la generación de flujos de barro y/o detritos, y que al mismo tiempo pueden ser aplicados de manera adecuada a la escala de análisis de este estudio, corresponden a las pendientes, tanto de laderas como de los canales de las quebradas, el nivel de incisión de los cauces y el tamaño de las cuencas hidrográficas, además de la existencia de eventos catastrados en el área. Por ello, la base para la zonificación de estos procesos corresponde a dichos elementos condicionantes. Para el análisis de susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos se consideró la siguiente metodología y criterios de zonificación:

1. Se determinaron las áreas de generación a partir del geoprocesamiento del modelo de elevación digital en donde se delimitan las cuencas hidrográficas y se calculan las superficies de quebradas de la zona de estudio.
2. A los cauces principales, esteros y cauces de quebradas se atributan, preliminarmente, con un grado de susceptibilidad alta, asumiendo que todos los canales son susceptibles a transportar un flujo de detritos.
3. Abanicos aluviales y terrazas fluviales adyacentes se atributan con grados de susceptibilidad moderada.

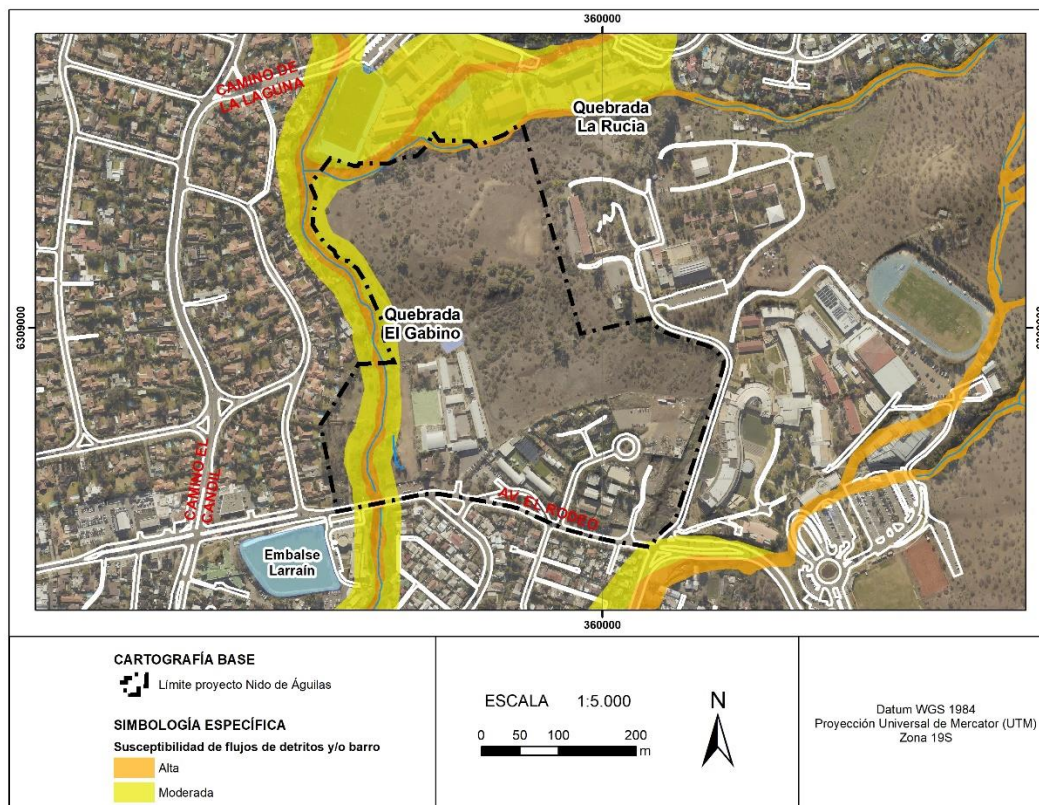
4. Para quebradas que presenten catastro de eventos aluvionales y/o que posean cuencas hidrográficas de grandes dimensiones (superiores a 1,5 km²) y pendientes superiores a 20° desde su nacimiento al ápice de su abanico aluvial, se aumentó su nivel de susceptibilidad en un grado, asimismo los abanicos y terrazas fluviales adyacentes a ellas.

Los procesos anteriores dan como resultado un producto vectorial que representa los diferentes grados de susceptibilidad muy alta, alta y moderada dando origen a las siguientes categorías de susceptibilidad (Figura 3-2):

- **Susceptibilidad Alta de flujos de barro y/o detritos:** corresponde a cauces de quebradas con potencial de generación de flujos, pero pendientes en su cauce entre 10° a 20° y sin eventos registrados en la zona, así como abanicos aluviales y terrazas fluviales adyacentes a cauces con susceptibilidad muy alta de generación de flujos de barro y/o detritos.
- **Susceptibilidad Moderada de flujos de barro y/o detritos:** corresponde a cauces en zonas con pendientes menores a 10° con baja potencialidad de generación de flujos, pero que pueden transportar eventos aluvionales. Además de terrazas fluviales y abanicos aluviales adyacentes a zonas con susceptibilidad alta de flujos de detritos.

La escala de trabajo para el mapeo de susceptibilidad fue de 1:1.000, observándose una susceptibilidad alta y moderada de remoción en masa por flujos de barro y/o detritos en el deslinde norte y poniente del sector sujeto a modificación, asociado al cauce principal de la quebrada El Gabino (deslinde poniente) y a su afluente quebrada La Rucia (deslinde norte).

Figura 3-2 Mapa de susceptibilidad de remoción en masa por flujos de barro y/o detritos



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

3.3 Procesos de ladera

3.3.1 Diagnóstico

La caída de bloques se asocia a la existencia de discontinuidades en la roca, con condiciones de inestabilidad favorables para que los fragmentos caigan a través de un talud. Entre los factores condicionantes se diferencian aquellos que determinan la probabilidad de ocurrencia de los que controlan el nivel de daño generado. Entre los primeros; se cuenta la existencia de afloramientos de rocas, la orientación y la frecuencia de discontinuidades, y la pendiente del talud formado por afloramientos de roca fresca en superficie. En este estudio, los factores que se han considerado como determinantes para la ocurrencia de este peligro son la existencia de afloramientos y la pendiente del territorio alrededor del área afectada por el proyecto. Entre los factores que controlan el nivel de daño se encuentra el tamaño de los bloques que caen y la distancia vertical recorrida por estos. En general, a mayores pendientes y relieve, las laderas presentan una mayor tendencia a la inestabilidad (y por lo tanto, a la generación de caída de bloques) y los bloques desprendidos a alcanzar mayores distancias en sentido horizontal (mayor alcance).

Los deslizamientos pueden ocurrir de varias formas, dependiendo de las propiedades del material y las características geológicas y geomorfológicas del entorno, sin embargo, uno de los principales controles de este peligro corresponde a la pendiente del territorio. En esta zona, el alcance de los deslizamientos está fuertemente controlado por el relieve entre el punto de generación y el cauce al fondo de las cuencas: a mayor desnivel, mayor será la posibilidad de alcanzar mayores distancias.

La caída de bloques y los deslizamientos pueden ser abordados de una manera conjunta, mediante el concepto de “proceso de laderas”, porque ambos peligros comparten en gran parte los factores condicionantes. Estos procesos dan cuenta de la dinámica propia de las laderas montañosas a escala de tiempo geológico, en el sentido de que la exposición continua a los agentes de meteorización propicia la erosión de los materiales superficiales (ya sea mediante la forma de caída de rocas o deslizamiento). En este sentido, la susceptibilidad asociada a procesos de ladera busca dar cuenta de todos los lugares que podrían verse afectados por la evolución dinámica natural de las laderas, y que al mismo tiempo sean representables a la escala de este estudio, según distintos grados o categorías. Por último, tal como se describió en las secciones anteriores, los procesos de ladera están determinados principalmente por las características geológicas del terreno, las pendientes y el relieve de las laderas.

En cuanto a los factores desencadenantes para los procesos de ladera, se identifican dos principales: los grandes sismos; y los eventos meteorológicos extremos, que disminuyen la cohesión de los materiales geológicos. En ambos casos, los sectores susceptibles ven acrecentados los factores que los hacen inestables, de tal manera que los materiales que componen las laderas pueden llegar a caer pendiente abajo.

En consecuencia, para determinar las zonas que pueden ser afectadas por este peligro, se tomaron en consideración los resultados de las líneas de base de geología y geomorfología (Apéndice C) y de hidrología (Apéndice D), el catastro de remociones en masa.

3.3.2 Susceptibilidad

Como se explicó anteriormente, los factores que ejercen mayor injerencia sobre la ocurrencia de los procesos de ladera, y que al mismo tiempo pueden ser aplicados de manera adecuada a la escala de análisis de este estudio, corresponden al tipo de unidad litológica, las pendientes y el relieve de las laderas. Por ello, la base para la zonificación de estos procesos corresponde a dichos elementos condicionantes.

Para el análisis de susceptibilidad de procesos de ladera, la metodología considera los siguientes pasos y criterios de zonificación:

1. Determinación de las áreas de generación a partir del geoprocesamiento digital del *raster* de pendientes derivado de la topografía levantada para este estudio. Este análisis contempló la clasificación de las pendientes considerando los intervalos propuestos por Esaki et al. (2005). Así, los intervalos de categorización de pendientes utilizados fueron: 0°-15°, 15°-25°, 25°-35° y >35°, a los que se denominaron como 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Posteriormente, a partir de una serie de algoritmos de geoprocesamiento se procedió a la suavización automatizada de las categorías de pendientes 1, 2, 3 y 4, a modo de disminuir el ruido propio de un *raster* de este tipo dada la resolución del modelo de elevación digital del cual se deriva.
2. A modo de incluir, en cierto modo, las variables geotécnicas y geométricas dadas por el tipo de unidad geológica y el relieve topográfico en el cual se exponen, se procedió con la ponderación en 1 de las categorías 1, 2, 3, si estas áreas yacían sobre las unidades geológicas de la Formación Abanico (OIMa) o de depósitos de remoción en masa (PIHrm), ambas unidades expuestas en paisajes montañosos con relieve topográfico importante y presentando, generalmente, calidad geotécnica regular (ver Apéndice C).
3. Para permitir una correcta aplicabilidad en planificación de la cobertura de susceptibilidad obtenida hasta este punto, se procedió a una edición final de carácter manual de aquellas zonas que, aun habiendo ejecutado los pasos anteriores, todavía presentaban ruido innecesario o anchos reducidos menores a 100 m (zonas con pequeños y persistentes polígonos aislados, bordes de polígonos irregulares o con embahiamientos estrechos, etc.).

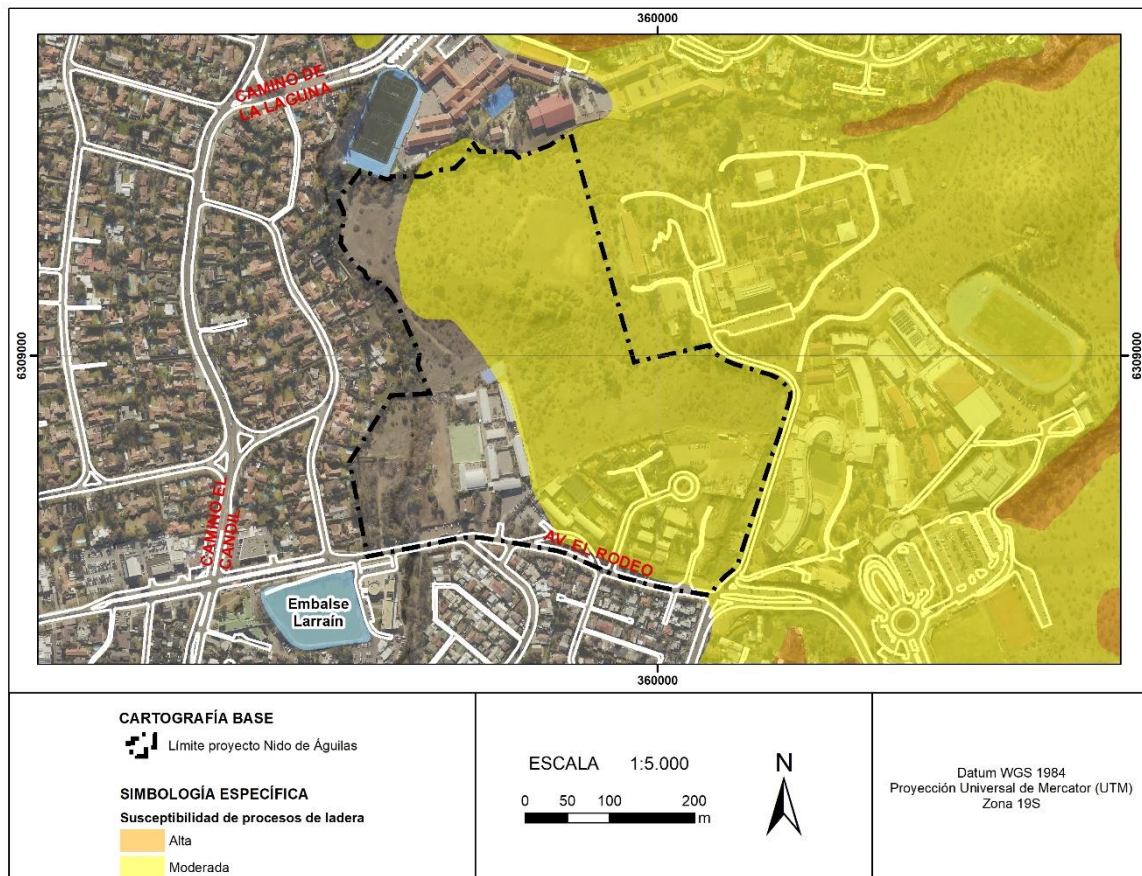
La consecución de los procesos anteriores da como resultado un producto vectorial que representa los diferentes grados de susceptibilidad muy alta, alta y moderada dando origen a las siguientes categorías de susceptibilidad:

- **Susceptibilidad Muy Alta de procesos de ladera:** corresponde a zonas con laderas naturales o taludes con pendientes por encima de 35°. También incluye las laderas naturales o taludes con pendientes entre 25° y 35°, que se desarrollen sobre la Formación Abanico.
- **Susceptibilidad Alta de procesos de ladera:** corresponde a zonas con laderas naturales o taludes cuyas pendientes en el intervalo entre 25° y 35°. También incluye las laderas naturales o taludes con pendientes entre 15°-25°, que se desarrollen sobre la Formación Abanico.
- **Susceptibilidad Moderada de procesos de ladera:** corresponde a zonas con laderas naturales o taludes con pendientes en el intervalo entre 15° y 25°.

Bajo estos criterios, en el área del proyecto sólo se identifican zonas de susceptibilidad moderada de procesos de laderas.

La escala de trabajo para el mapeo de susceptibilidad fue de 1:1.000, observándose una susceptibilidad moderada de remoción en masa por procesos de ladera en la mayor parte del sector sujeto a modificación, con excepción del sector poniente aledaño al cauce de la quebrada El Gabino, emplazado debajo de la cota 850 m.s.n.m (Figura 3-3).

Figura 3-3 Mapa de susceptibilidad de remoción en masa por procesos de ladera



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

4 SISMICIDAD

4.1 Catastro

En la línea de base de la sismicidad (Apéndice D) se identifica una gran cantidad de sismos que han ocurrido en una zona que pueden sentirse o producir efectos en el área del proyecto. Estos registros son el resultado de recopilaciones históricas y de registros instrumentales. De esta forma, la amenaza sísmica en la comuna de Lo Barnechea se asocia a tres tipos de sismos:

- Sismos de interplaca, ocurridos en el contacto entre las placas Sudamericana y Nazca, con altas intensidades como consecuencia de un terremoto de gran magnitud a una escala regional, donde destacan los terremotos que afectaron a la zona en 1730, 1906, 1985 y 2010.

- Sismos intraplaca de profundidad intermedia, con epicentro en la plaza de Nazca bajo la depresión intermedia, cuyos efectos pueden ser muy destructivos, como los ocurridos en 1965 y 1971.
- Sismos corticales, asociados a actividad que ocurre en el interior de la Placa Sudamericana, como resultado del movimiento a través de estructuras como fallas activas. De ellas, no se cuenta con registro histórico, pero sí con registro instrumental.

4.2 Diagnóstico

Las fuentes sismogénicas descritas anteriormente generan terremotos que afectan al territorio a una escala regional, en particular, los sismos interplaca que corresponden a los que ocurren con mayor frecuencia y magnitud y se encuentran considerados en la norma sísmica. Sin embargo, respecto a los intraplaca no se tiene suficiente información debido a que no han ocurrido muchos en el país. En este mismo sentido, la amenaza asociada a este tipo de sismos no se puede zonificar en el marco de este estudio.

Por último, se tienen los sismos corticales o generados por fallas activas, entre estas estructuras cordilleranas destaca la Falla San Ramón, cuya traza ha sido identificada y delimitada de forma detallada entre los ríos Mapocho y Maipo, por ende, no se ha reconocido en la comuna de Lo Barnechea.

Debe tenerse en consideración que la traza de la estructura solo se asocia al peligro de ruptura en superficie de la falla, pero áreas cercanas podrían verse afectadas por aceleraciones suficientes para producir daños en infraestructura en casos de eventos de gran magnitud generados por la falla, lo que sí podría ocurrir dentro del área del proyecto.

En conclusión, el área del proyecto se encuentra expuesta a la amenaza sísmica de tres fuentes sismogénicas. Sin embargo, en el caso de dos de las fuentes, el alcance de este estudio a escala de detalle de 1:1.000 no permite que se pueda zonificar esta amenaza a la escala urbana. Para la tercera, si bien podría zonificarse la amenaza a una escala adecuada, no existe información suficiente para hacerlo, y se requieren estudios específicos al respecto.

5 VOLCANISMO

Chile se dispone en la zona de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, en la costa occidental del Océano Pacífico, que se caracteriza por concentrar una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca. En particular, el área de estudio se ubica en el extremo norte del segmento denominado Zona Volcánica Sur (ZVS) desarrollado a lo largo de 1400 km del margen andino, desde los 33,3°S (Volcán Tupungatito) hasta los 45,9°S (Volcán Hudson).

5.1 Catastro

La comuna de Lo Barnechea abarca parte del sector cordillerano de la Región Metropolitana, por lo tanto, corresponde a una de las zonas urbanas relativamente cercanas a centros volcánicos del Gran Santiago. Existen tres volcanes considerados activos por el SERNAGEOMIN en la región, estos son: Volcán Tupungatito, Complejo Volcánico San José, y Volcán Maipo, de los cuales solo los dos

primeros se encuentran monitoreados por la Red Nacional de Vigilancia Volcánica. Estos tres volcanes tienen las características que se resumen en el Tabla 5-1.

Tabla 5-1 Volcanes activos de la Región Metropolitana.

Volcán	Tipo de Volcán	Coordenadas		Ranking de Peligrosidad ¹	Distancia
		Longitud	Latitud		
Tupungatito	Estratovolcán	-69.802	-33.401	22	60 Km
San José	Estratovolcán	-69.894	-33.790	21	68 Km
Maipo	Estratovolcán	-69.828	-34.166	47	106 Km

FUENTE: RED NACIONAL DE VIGILANCIA VOLCÁNICA (2015).

Además de estos tres centros volcánicos, existen otros inactivos (Tupungato, Cerro Negro, Piuquenes, Marmolejo, La Engorda), que se muestran en la Figura 5 1. Al norte de los 33° el segmento volcánico no presenta actividad volcánica reciente debido a su contexto geodinámico de subducción plana. La historia eruptiva del Volcán Tupungatito, del Complejo Volcánico San José y del Volcán Maipo se presenta en el Tabla 5-2, el Tabla 5-3 y el Tabla 5-4, respectivamente.

¹ Considera la peligrosidad, relacionada con características del volcán y sus erupciones, y la vulnerabilidad, que se asocia a factores relacionados con la población y la infraestructura que podrían ser afectados.

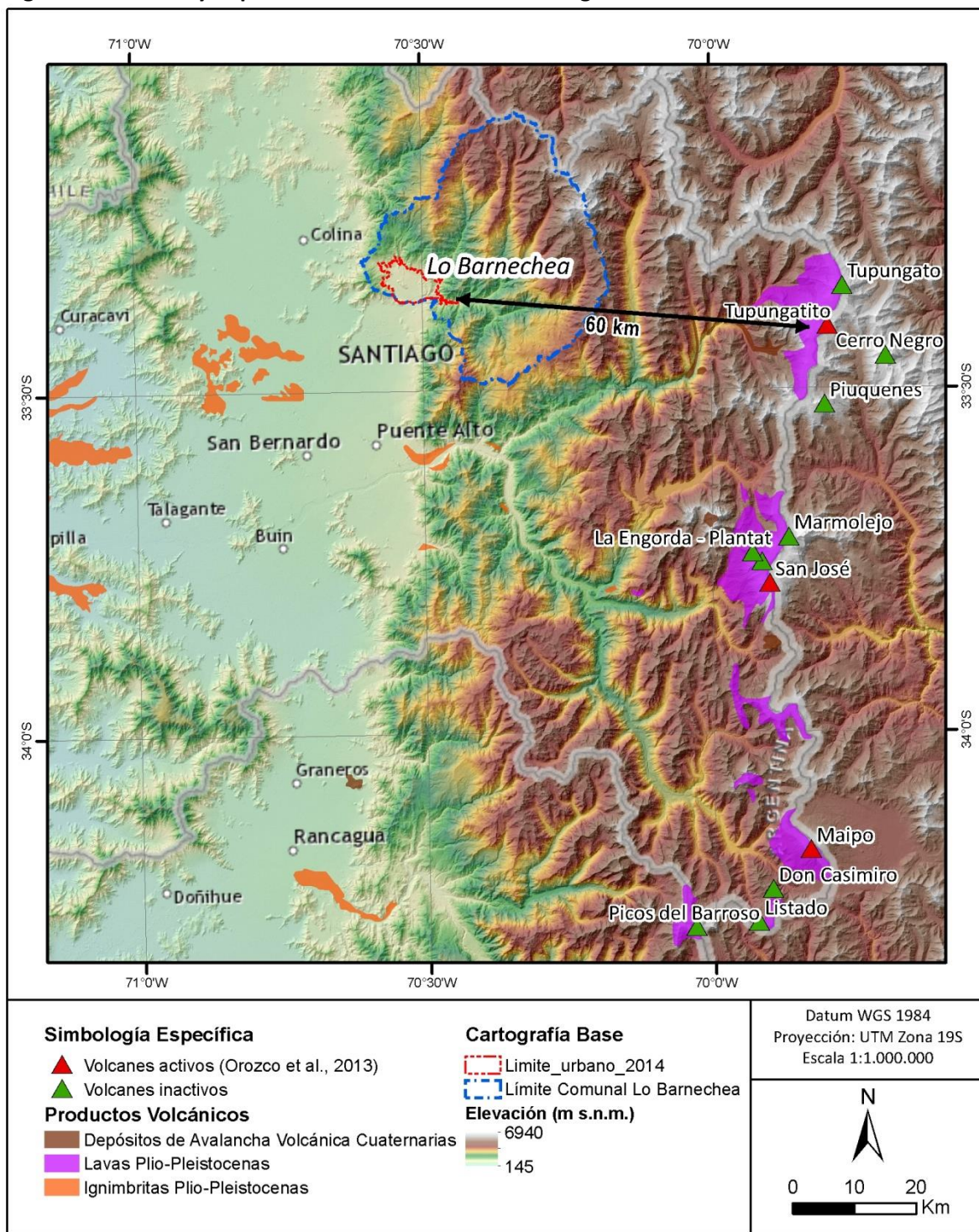
Figura 5-1 Centros y depósitos volcánicos en contexto regional con el área urbana de la comuna.

Tabla 5-2 Historia Eruptiva Volcán Tupungatito

Fecha Inicio	Fecha Término	Certeza de la erupción	VEI	Evidencia
28/11/1987	30/11/1987	Confirmada	2	Observaciones históricas
20/01/1986	20/11/1986	Confirmada	1	Observaciones históricas
10/01/1980	11/01/1980	Confirmada	2	Observaciones históricas
02/07/1969 +- 182 d	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
03/08/1964	19/09/1964	Confirmada	2	Observaciones históricas
05/05/1961 +- 4 d	16/08/1961 +- 15 d	Confirmada	2	Observaciones históricas
15/07/1960 +- 5 d	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
16/10/1959	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
26/03/1959 +- 5 d	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
16/01/1958 +- 15 d	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
1946	1947	Confirmada	2	Observaciones históricas
1925	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
15/02/1907	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
04/1901	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
01/1897	12/04/1897	Confirmada	2	Observaciones históricas
1889	1890	Confirmada	2	Observaciones históricas
1881	Desconocido	Incierta		Observaciones históricas
1861	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
1835	Desconocido	Incierta	2	Observaciones históricas
1829	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas

FUENTE: INSTITUTO SMITHSONIANO, GLOBAL VOLCANISM PROGRAM.

Tabla 5-3 Historia Eruptiva Complejo Volcánico San José

Fecha Inicio	Fecha Término	Certeza de la erupción	VEI	Evidencia
02/07/1960 +- 182 d	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
02/07/1959 +- 182 d	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
1895	1897	Confirmada	2	Observaciones históricas
1889	1890	Confirmada	2	Observaciones históricas
1881	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
1838	Desconocido	Confirmada	1	Observaciones históricas
19/11/1822	1838	Confirmada	2	Observaciones históricas

FUENTE: INSTITUTO SMITHSONIANO, GLOBAL VOLCANISM PROGRAM.

Tabla 5-4 Historia Eruptiva Volcán Maipo

Fecha Inicio	Fecha Término	Certeza de la erupción	VEI	Evidencia
1912	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
1908	Desconocido	Incierta	2	-
28/10/1905	30/10/1905	Confirmada	2	Observaciones históricas
1881	Desconocido	Incierta		-
24/08/1869	Desconocido	Incierta	2	-
1837	Desconocido	Incierta		-
1835	Desconocido	Incierta		-
1833	Desconocido	Incierta	2	-
16/02/1831	Desconocido	Incierta	2	-
26/09/1829	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
01/03/1826	Desconocido	Confirmada	2	Observaciones históricas
1822	Desconocido	Incierta		-
1788	Desconocido	Incierta		-

FUENTE: INSTITUTO SMITHSONIANO, GLOBAL VOLCANISM PROGRAM.

5.2 Diagnóstico

La ausencia de material de origen volcánico que se aprecia en el mapa geológico y la Figura 5-1, y que se constató durante la visita a terreno, indican que el área del proyecto no ha sido afectada por actividad volcánica en tiempos recientes. Por otra parte, la amenaza volcánica asociada a erupciones de carácter explosivo extremo, como la que generó la unidad geológica conocida como Ignimbrita Pudahuel (Stern, y otros, 1994), producida por el colapso de la caldera El Diamante, y cuyos depósitos se encuentran incluso en la Cordillera de la Costa, no son un peligro para la comuna, debido a que la mayor parte de los peligros relacionados con el volcanismo se expanden a través de los cauces, y los tres centros volcánicos más cercanos no tienen conexión hidráulica con el área estudiada.

De esta forma, el único peligro relacionado con volcanismo que realmente podría afectar al territorio estudiado es la caída de tefra. Con respecto a este peligro, debe tenerse en consideración que el viento en la zona de estudio tiene una dirección predominante hacia el noreste, lo que reduce la probabilidad de que la tefra se dirija hacia la zona estudiada, aunque no lo descarta, porque también existen épocas en que el viento se dirige hacia el suroeste y oeste. En consecuencia, aunque es posible que en caso de ocurrir una erupción caiga tefra sobre la comuna de Lo Barnechea, la cantidad de material que se puede acumular no debiera ser peligroso para las personas o infraestructura, por lo que a este peligro se le asigna una susceptibilidad moderada de manera homogénea en toda el área estudiada.

En función de lo descrito en los párrafos precedentes, no es necesario construir mapas de zonificación para los peligros relacionados con el volcanismo.

6 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Una vez identificados los peligros, definidos los grados de susceptibilidad y el alcance territorial de ellos, es necesario incorporar estos resultados en los instrumentos de planificación. Esto debe realizarse a través de la aplicación del artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y/o tomando otras medidas de planificación acordes a las atribuciones que otorga la LGUC y la OGUC a los Instrumentos de Planificación Territorial, como, por ejemplo, la diferenciación de usos de suelo y regulación de la forma e intensidad de su ocupación.

6.1 Zonificación de la susceptibilidad

Para definir los criterios que permitan incorporar los peligros naturales dentro de la presente modificación, es necesario tener claros los criterios utilizados en la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. En este sentido, en el Cuadro 6-1 se resumen los factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y los elementos metodológicos con los que se asignó la distribución espacial de la susceptibilidad, los que son descritos en detalle en los capítulos 0, 3 y 5.

Tabla 6-1 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad

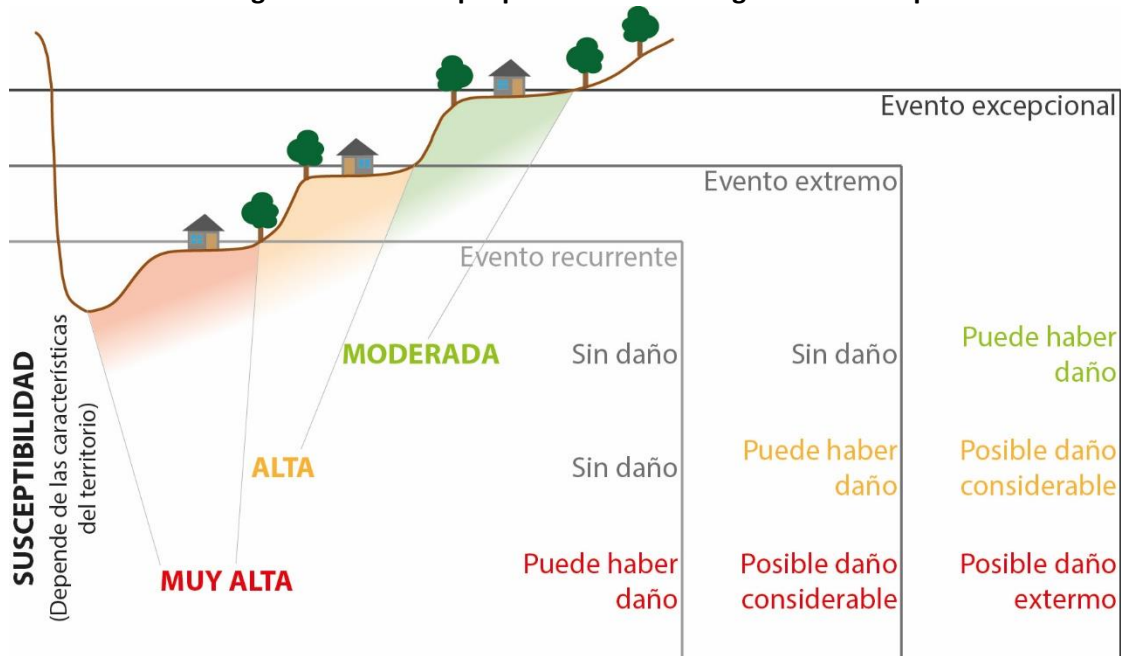
Peligro	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
Inundaciones por desborde de cauce	- Características morfológicas de la red de drenaje - Obras para mitigar el peligro	- Lluvias intensas	- Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Modelos hidráulicos - Observaciones de terreno
Flujos de barro y/o detritos	- Morfología de las quebradas y sus zonas de descarga. - Características de la cuenca aportante (tamaño, pendiente, altura, materiales).	- Lluvias intensas	- Observaciones de terreno - Catastro - Características morfológicas de la red de drenaje (pendiente, forma de los cauces) - Modelos de flujo
Procesos de ladera	- Pendientes - Material que compone la ladera (geología)	- Sismos - Lluvias intensas - Viento	- Pendiente del terreno - Catastro de remociones en masa - Unidades geológicas asociadas a procesos de ladera
Sismicidad	- Existencia de fallas activas - Características de los depósitos (efecto de sitio)	- Sismos	- No se zonificó a escala de comuna

Peligro	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
Volcanismo (caída de ceniza)	- Distancia a los centros eruptivos - Morfología de la red hidrográfica - Dirección del viento	- Erupciones	- No se zonifica a escala de comuna

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2022)

Es muy relevante comprender que la categorización de susceptibilidad se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno dado en un área determinada, pero corresponde a una categorización cualitativa, de carácter relativo, y no cuantitativa. Pese a que el concepto de susceptibilidad no contempla la cuantificación de períodos de retorno, ni probabilidades de ocurrencia, sí estipula niveles que indican de manera relativa la frecuencia con que ocurre un cierto fenómeno. En este sentido, las zonas de ‘muy alta’ susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir cualquier evento del peligro analizado, las zonas de ‘alta’ susceptibilidad serán aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y las de ‘moderada’ susceptibilidad se asocian a eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero si otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas. Por otra parte, mientras la magnitud de un evento sea más intensa, se producirán daños mayores, y al mismo tiempo, los daños serán más importantes en la medida que mayor sea la susceptibilidad del territorio, de la forma que se ejemplifica en la Figura 6-1 para el caso de las inundaciones por desborde de cauce. En consecuencia, se recomienda que, mientras mayor sea la susceptibilidad de un área específica, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

Figura 6-1 Esquema del daño provocado por eventos de inundación por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

6.2 Definición de las áreas de riesgo

Para los peligros que es posible zonificar en este estudio de modificación MPRC-LB-30 del Plan Regulador Comunal de Lo Barnechea, desde la perspectiva de la relación entre la magnitud de un evento, su recurrencia y el daño generado, y con el fin de homologar las categorías de susceptibilidad al lenguaje de la OGUC, se propone aplicar el concepto de área de riesgo establecido en el artículo 2.1.17 a las zonas de ‘muy alta’ y ‘alta’ susceptibilidad de cada uno de los peligros, pero no a las zonas de susceptibilidad ‘moderada’ (Tabla 6-2). Pese a esto, no se debe considerar que las zonas de susceptibilidad moderada no puedan ser afectadas por los peligros analizados.

No se propone aplicar diferencias de criterios entre las áreas de riesgo relacionadas con flujos e inundaciones. Por lo tanto, se puede definir una única área de riesgo para ambas amenazas.

En cuanto a la sismicidad, aunque se le ha asignado una susceptibilidad ‘alta’ de manera homogénea, las normas chilenas NCh 433 (“Diseño sísmico de edificios”) y la NCh 2369 (“Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”) definen las exigencias de diseño que deben cumplir diferentes tipos de edificaciones debido al peligro sísmico, con herramientas más eficientes que las que ofrece la OGUC. Por lo tanto, no se ha aplicado la definición de área de riesgo para este peligro.

Finalmente, se asignó susceptibilidad moderada de forma homogénea a los peligros relacionados con el volcanismo, por lo que, aplicando el mismo criterio que en el caso de los peligros que se pueden zonificar, no se aplicó la definición de área de riesgo.

Tabla 6-2 Criterios de definición de las áreas de riesgo en el área del proyecto (escala 1:1.000) según el artículo 2.1.17 de la OGUC para cada peligro estudiado.

PELIGRO GEOLÓGICO ESTUDIADO EN ESTE TRABAJO	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	“Áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 de la OGUC
Inundaciones por desborde de cauces	MUY ALTA	Faja medida desde el eje de las quebradas El Gabino y La Rucia hacia cada lado, con un ancho de 20 y 10 m, respectivamente, y zona de inundación definida en función de la morfología del cauce en la quebrada Los Pitufos.	X
Flujos de barro y/o detritos	ALTA	Cauces de quebradas con potencial de generación de flujos, pero pendientes en su cauce entre 10° a 20° y sin eventos registrados en la zona, así como abanicos aluviales y terrazas fluviales adyacentes a cauces con susceptibilidad muy alta de generación de flujos de barro y/o detritos.	X
	MODERADA	Cauces en zonas con pendientes menores a 10° con baja potencialidad de generación de flujos, pero que pueden transportar eventos aluvionales. Además de terrazas fluviales y abanicos aluviales adyacentes a zonas con susceptibilidad alta de flujos de detritos.	

PELIGRO GEOLÓGICO ESTUDIADO EN ESTE TRABAJO	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	“Áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 de la OGUC
Procesos de ladera	MODERADA	Zonas con laderas naturales o taludes con pendientes en el intervalo entre 15°y 25°.	
Sismicidad	ALTA	De acuerdo con el nivel de conocimiento actual, el territorio de la comuna se encuentra expuesto de manera homogénea a este peligro.	
Volcanismo	MODERADA	La susceptibilidad asociada a este proceso es moderada en toda el área estudiada.	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2023)

6.3 Conclusiones y recomendaciones específicas

La comuna de Lo Barnechea, por el hecho de estar ubicada en el borde de una zona montañosa, se encuentra expuesta a la ocurrencia de muchos peligros en prácticamente la totalidad de su territorio. Por esta razón, la extensión del territorio urbano debe ocurrir de manera controlada, para evitar que estos peligros afecten a la población.

En este escenario, la modificación MPRC-LB-30 considera dos medidas destinadas a gestionar el riesgo en el sector sujeto a modificación:

- a. **Restricción al desarrollo urbano:** corresponden a aquellas áreas en que se restringe la urbanización y/o construcción en el territorio. Las disposiciones normativas de la modificación propuesta se orientan a consolidar áreas verdes o usos complementarios al área verde.
- b. **Habilitación condicionada:** se orienta a los sectores que permiten su habilitación, condicionada solamente a la ejecución de obras de mitigación por parte de los particulares – urbanizadores, en cumplimiento con lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC.

Aunque en este estudio no se hace una verificación al respecto, se hace notar que para que las obras de mitigación funcionen adecuadamente se necesita que cuenten con las mantenciones que ellas requieren.

En un escenario de cambio climático, el análisis de los peligros que pueden afectar a la comuna se hace en condiciones de incertidumbre. Aunque en este trabajo no se hace un análisis detallado al respecto, algunos factores que pueden afectar el análisis son la incertidumbre respecto a la cantidad de precipitaciones, la ubicación del límite entre la zona de precipitaciones líquidas y sólidas y el estado de conservación de la vegetación.

6.3.1 Inundaciones

Como la mayor parte de la red de drenaje ha sido modificada, ya sea mediante obras de contención en el mismo lugar o por modificaciones del trazado, en caso de que la cantidad de agua supere la

capacidad de los cauces, el excedente no necesariamente seguirá los cauces y existirá un nivel de incertidumbre importante respecto de las zonas por donde escurriría el agua.

Las pendientes relativamente altas que se encuentran en la mayor parte del territorio favorecen el escurrimiento a través de la superficie e impiden que se formen zonas de acumulación de agua. Este estudio sólo incorpora las obras terminadas a la fecha en que se realizó.

6.3.2 Flujos de barro y/o detritos

Los flujos o aluviones son procesos diferentes de las inundaciones, y ambos peligros no se comportan de igual manera. En este sentido, aunque las obras de mitigación reducen el riesgo asociado a este peligro, no han sido diseñadas para esto, y, en caso de ocurrir un flujo, podrían ser superadas. Según los modelos numéricos, esto podría ocurrir en algunos sectores, ubicados en las terrazas del río Mapocho, donde los flujos pueden superar las medidas de contención diseñadas para inundaciones. Una consecuencia de esta situación es que las medidas de mitigación podrían generar una falsa sensación de seguridad respecto de los peligros.

6.3.3 Procesos de ladera

Los factores considerados para definir la susceptibilidad asociada a este peligro fueron la pendiente del terreno, la presencia de afloramientos de roca y la existencia de unidades geológicas de mala calidad geotécnica (Formación Abanico) o asociadas a grandes remociones en masa (megadeslizamientos) ocurridas en el pasado.

Las zonas susceptibles a estos peligros se concentran mayoritariamente en las laderas de las zonas montañosas y de los cerros isla, aunque también se pueden encontrar en algunos cauces. Pese a lo anterior, en el área del proyecto no se identificaron zonas donde se justifique definir áreas de riesgo asociados a procesos de ladera.

En general, el territorio estudiado se encuentra más expuesto a caídas de rocas que a deslizamientos.

6.3.4 Sismicidad

En la comuna de Lo Barnechea, existen tres mecanismos sísmicos:

- Sismos interplaca. A ellos se orienta la normativa sísmica.
- Sismos interplaca de profundidad intermedia.
- Sismos corticales. En la comuna se han reconocido sismos corticales que se asocian a las estructuras del frente cordillerano occidental como, por ejemplo, la falla de San Ramón.

Respecto a los sismos corticales, y en particular respecto de aquellos relacionados con la falla de San Ramón, sus efectos con potencial impacto corresponden a ondas sísmicas que pueden afectar a las estructuras con una mayor intensidad que lo previsto por las normas.

Sin embargo, no corresponde restringir el uso del territorio ya que, a partir de los insumos y antecedentes disponibles, no ha sido posible delimitar la traza de la falla en la comuna de Lo

Barnechea con una precisión adecuada, desconociendo así una serie de factores relevantes que no son posibles de determinar. Dicho lo anterior, dada esta ausencia de insumos suficientes no es posible establecer una zonificación relacionada al peligro por sismos corticales, según el artículo 2.1.17.

Así, es necesario hacer estudios específicos para delimitar la traza de fallas corticales con mayor precisión y así incorporar la Falla de San Ramón en los instrumentos de planificación territorial que afecten a la comuna. Dada la magnitud de los estudios requeridos, es necesario enfrentar esta modificación a los instrumentos de planificación territorial desde una visión intercomunal que escape a este estudio.

6.3.5 Volcanismo

No existe conexión hidráulica entre el territorio estudiado y ningún volcán, de manera que el peligro volcánico no es relevante para el territorio comunal.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, L. (1960). *Geología de los Andes de Chile Central*. Santiago: Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Anderson, M., Alvarado, P., Zandt, G., & Beck, S. (2007). Geometry and brittle deformation of the subducting Nazca Plate, Central Chile and Argentina. *Geophysical Journal International*, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03483.x>.
- 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.
- Arenas, M. (2007). *Peligro de remociones en masa asociado a un relleno no autorizado en un sector del Club Ecuestre Internacional comuna de Lo Barnechea, Región Metropolitana de Santiago*. Santiago: SERNAGEOMIN.
- Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R., & Kausel, E. (2010). The West Andean Thrust, the San Ramón Fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile. *Tectonics*, 29(2).
- CADE Consultores en Ingeniería. (2001). *Plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias del Gran Santiago*. Santiago: DOH-MOP.
- Cahill, T., & Isacks, B. (1992). Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/92JB00493>.
- Centeno, J., Fraile, M., Otero, M., & Pividal, A. (1994). *Geomorfología Práctica. Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental*. Madrid: Ed. Rueda.
- Cisternas, M. (2012). El terremoto de 1647 de Chile central como un evento intraplaca: ¿otra amenaza para Chile metropolitano? *Revista de Geografía del Norte Grande*, 53, 23-33.
- Coloma, F., Valin, X., Oliveros, V., Vásquez, P., Creixell, C., Salazar, E., & N. Ducea, M. (Mayo de 2017). Geochemistry of Permian to Triassic igneous rocks from northern Chile (28°-30°15'S): Implications on the dynamics of the proto-Andean margin. *Andean Geology*, 44(2), 147-178.
- 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* (págs. 268-317). Berlin: Springer-Verlag.
- 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), 2191-2194.

- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D., & Stein, S. (1994). Effects of recent revisions of the geomagnetic reversal time scale on estimates on current plate motion. *Geophysical Research Letters*, 21(20), pp.2191-2194.
- DGA-MOP. (1991). *Precipitaciones máximas en 1, 2 y 3 días*. Santiago.
- DGA-MOP. (1995). *Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica*. Santiago: Centro de Información de Recursos Hídricos.
- 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.
- Esaki, T., Thapa, P., Mitani, Y., & Ikemi, H. (2005). Landslide and debris flow characteristics and hazard mapping in mountain hillslope terrain using GIS, Central Nepal. Vancouver: En: Eberhardt, E., Hungr, O., Fell, R., Couture, E. (eds), *Proceedings, International Conference on Landslide Risk Management*, p. 657-669.
- Fernández, J. (2010). *Caída de Rocas, Comuna de Lo Barnechea, Región Metropolitana*. Santiago: SERNAGEOMIN.
- Gonzalez de Vallejo, L., Ferre, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica* (Segunda ed.). Madrid: Pearson Educación.
- González-Ferrán, O. (1995). *Volcanes de Chile*. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 410 pág.
- Hasanzadeh Nafari, R., Ngo, T., & Mendis, P. (2016). An assessment of the effectiveness of tree-based models for multi-variate flood damage assessment in Australia. *Water*, v. 8(n. 282), p. 1-18.
- 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*, 25-26, 125-133.
- Hauser, A. (2000). *Remociones en masa en Chile* (2da ed.). Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.
- Hayes, G., Wald, D., & Johnson, R. (2012). Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries. *Journal of Geophysical Research*.
- INFRACON. (2014). *Estudio de Riesgo y Protección Ambiental Plan Regulador Comunal de Lo Barnechea*. Santiago.
- ISRM. (1981). Rock characterization, testing and monitoring. En E. Brown, *ISRM suggested method* (págs. pp. 75-105). Oxford, OK: Pergamon Press.

- JTC-1. (2008). Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 85-98.
- Kausel, E., & Ramírez, D. (1992). Relaciones entre parámetros focales y macrosísmicos de grandes terremotos chilenos. *Revista Geofísica, Volumen 37*, pp. 36 - 194., 37, 36-194.
- Keefer, D. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of América Bulletin*, 95(4), 406-421.
- Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos Naturales*. Madrid: Pearson Education S.A., 448 pág.
- Kreibich, H., Piroth, K., Seifert, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwartz, J., . . . Thieken, H. (2009). Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* (n. 9), p. 1679-1692.
- Manea, V., Pérez-Gussinye, M., & Manea, M. (2012). Chilean flat slab subduction controlled by overriding plate thickness and trench rollback. *Geology*, V.40(N° 1), pp.35-38.
- 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.
- Merz, B., Kreibich, H., & Lall, U. (2013). Multi-variate flood damage assessment: a tree-based data mining approach. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 13, p. 53-64.
- MINVU. (1996). *Técnica Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño*. Santiago.
- MOP. (2018). *Manual de Carreteras*. Santiago.
- Mpodozis, C., & Ramos, V. A. (1989). *The Andes of Chile and Argentina In: Erickson, 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 Petroleum Geologists (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. A., & Hauser, A. (2005). *Informe geológico sobre efectos de las lluvias torrenciales del 26 y 27 de agosto de 2005 en el sector oriente de Santiago*. Subdirección Nacional de Geología. Santiago, Chile: SERNAGEOMIN.
- 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.

- ONU/EIRD. (2004). *Vivir con el Riesgo, Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres, Versión en español 2004*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.
- Pain, C. (1986). *Scarp Retreat and Slope Development Near Picton, New South Wales, Australia*. Braunschewig.
- Pérez et al. (2013). Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramón Fault at the eastern border of Santiago city, Chile. *Natural Hazards*, V.69, Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11069-013-0908-3/f>.
- Petit-Breuilh, M. E. (2004). *Desastres naturales y ocupación del territorio en Hispanoamérica (siglos XVI al XX)*. España: Universidad de Huelva.
- Pierson, T., & Scott, K. (1985). Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research*, 21(10), 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.
- Rauld, R. (2002). *Análisis morfoestructural del frente cordillerano: Santiago oriente entre el río Mapocho y Quebrada de Macul, Memoria para optar al título de Geólogo*. Santiago: Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Rauld, R. (2011). *Deformación cortical y peligros sísmico asociado a la Falla San Ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile Central (33° S), tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias mención Geología*. Santiago: Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Sancho, C. (1997). Los mapas de riesgos. En J. Peña (Ed.), *Cartografía geomorfológica básica y aplicada* (págs. 181-200). Zaragoza: Geomorfa.
- 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*, 80, 336-348.
- Sepúlveda, S., Serey, A., Lara, M., Pavez, A., & Rebolledo, S. (2010). Landslides induced by the April 2007 Aysén Fjord earthquake, Chilean Patagonia. *Landslides*, doi: 10.1007/s1034VI-010-0203-2.
- SERNAGEOMIN. (2003). *Mapa Geológico de Chile: Versión Digital. Publicación Geológica Digital, N°4*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

- 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 South American Earth Sciences*(11), 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.
- Stern, C., Amini, H., Charrier, R., Godoy, E., Hervé, F., & Varela, J. (1994). Petrochemistry and age of rhyolitic pyroclastic flows which occur along the drainage valleys of the río Maipo and río Cachapoal (Chile) and río Yaucha and río Papagayos (Argentina). *Revista Geológica de Chile*, Issue 23, pp.39-52.
- SUBDERE. (2011). *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*. Santiago: Subsecretaría de Desarrollo Regional.
- Tichelaar, B. W., & Ruff, L. J. (1993). *Depth of seismic coupling along subduction zones*, *Jour. Geoph. Res.*, 98, pp. 2017-2037.
- Urrutia, R., & Lanza, C. (1993). *Catástrofes de Chile 1542-1992*.
- USGS. (2008). *The landslide handbook—A guide to understanding landslides*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Varnes, D. (1978). *Slope movement types and processes*. Washington, D.C.: Special report 17VI: Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board.
- Varnes, D. (1984). Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO. *Natural Hazards*, 3, 1-61.
- Wall, R., Sellés, D., & Gana, P. (1999). *Hoja Tiltill-Santiago, Región Metropolitana. Escala 1:100.000*. Santiago: SERNAGEOMIN.
- Yañez, G., Ranero, C., von Heune, R., & Díaz, J. (2001). Magnetic anomaly interpretation across the southern central Andes (32°–34°S): The role of the Juan Fernández Ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2000JB900337>.

8 APÉNDICES

Apéndice A	Definiciones de peligro y riesgo usadas en este estudio.....	57
Apéndice B	Descripción de los peligros geológicos analizados.....	60
Apéndice C	Línea de base de geología y geomorfología.....	80
Apéndice D	Línea de Base Hidrología.....	91
Apéndice E	Línea Base de Sismicidad.....	103

Apéndice A Definiciones de peligro y riesgo usadas en este estudio

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. Se entiende como **Peligro Natural** a cualquier fenómeno de origen natural que puede tener efectos negativos en el territorio (personas, infraestructura, medio ambiente, etc.). Los peligros naturales pueden subdividirse en distintas categorías: geológicos, hidrológicos, climáticos, incendios, etc.

Asociados a los peligros naturales se reconocen cuatro conceptos principales: **susceptibilidad**, **vulnerabilidad**, **amenaza** o peligrosidad (hazard) y **riesgo** (risk).

La **susceptibilidad** corresponde a una estimación cualitativa o cuantitativa de la distribución espacial de un fenómeno dado que existe o que potencialmente podría ocurrir en un área. Aunque se espera que un cierto fenómeno peligroso ocurra con mayor frecuencia en las áreas de mayor susceptibilidad, debe tenerse en cuenta que el análisis de susceptibilidad no considera el período de retorno de los eventos, es decir, el factor tiempo (JTC-1, 2008). La susceptibilidad depende directamente de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, como la geomorfología o factores intrínsecos de los materiales geológicos, y de factores externos que pueden actuar como desencadenantes (por ejemplo, precipitaciones intensas, sismos, etc.). Para la construcción de mapas de susceptibilidad se utilizan los mapas de catastro, en los que se identifican las áreas que han sido afectadas por 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 la zona estudiada.

El concepto de **amenaza** o **peligrosidad** (hazard*) corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un proceso, con una magnitud determinada dentro de cierto período de tiempo y en un área específica (Varnes, 1984). La estimación de la amenaza o peligrosidad implica necesariamente una consideración de la variable temporal, es decir, el período de recurrencia de un evento (período de retorno). Por otro lado, la amenaza para períodos de retorno infinitos tiende a ser similar que la susceptibilidad. Por lo anterior, cuando no se cuenta con datos suficientes para estimar períodos de retorno, resultan útiles los mapas de susceptibilidad, que consideran solo las variables intrínsecas del material para la zonificación de peligros geológicos.

Los **elementos expuestos** pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, actividades económicas, etc., que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona (Gonzalez de Vallejo, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002).

La **vulnerabilidad** corresponde al grado de pérdidas o daños potenciales de un elemento o conjunto de elementos dados, como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de magnitud

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

determinada. Se expresa en una escala de 0 (sin daños) a 1 (pérdida o destrucción total del elemento) o entre 0% y 100% de daños (Varnes, 1984; Gonzalez de Vallejo, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002; JTC-1, 2008).

Por otro lado, el concepto de **riesgo** (risk) incorpora consideraciones socio-económicas, y se define como las potenciales pérdidas debidas a un fenómeno natural determinado, por ejemplo vidas humanas, pérdidas económicas directas o indirectas, daños en infraestructura, etc. (Gonzalez de Vallejo, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002).

Según Varnes (1984), se denomina riesgo específico al grado de pérdidas esperado durante un período de tiempo dado, como consecuencia de la ocurrencia de un determinado proceso, expresado en términos de probabilidad. Puede ser expresado como el producto $A \times V$, donde A corresponde a la amenaza y V a la vulnerabilidad. En este caso no es posible obtener una evaluación cuantitativa de las pérdidas (Gonzalez de Vallejo, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002).

De acuerdo a las definiciones de la UNESCO (Varnes, 1984) el riesgo total corresponde al número esperado de vidas, personas heridas, daños a la propiedad, o a las actividades económicas debido a un fenómeno natural específico y se expresa como el producto del riesgo específico y los elementos expuestos, esto es:

$$R_t = R_e \times E = A \times V \times E$$

Donde R_t corresponde al riesgo total, R_e al riesgo específico y E a los elementos expuestos considerados. La Figura Apéndice A—1 muestra la relación entre el conocimiento y la estimación de la susceptibilidad, amenaza y riesgo.

La definición de riesgo, o áreas de riesgo, utilizadas internacionalmente difieren a la nomenclatura propuesta por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en su artículo 2.1.17. En la OGUC, el concepto utilizado de riesgo corresponde a la definición de “Peligro Natural” definida internacionalmente.

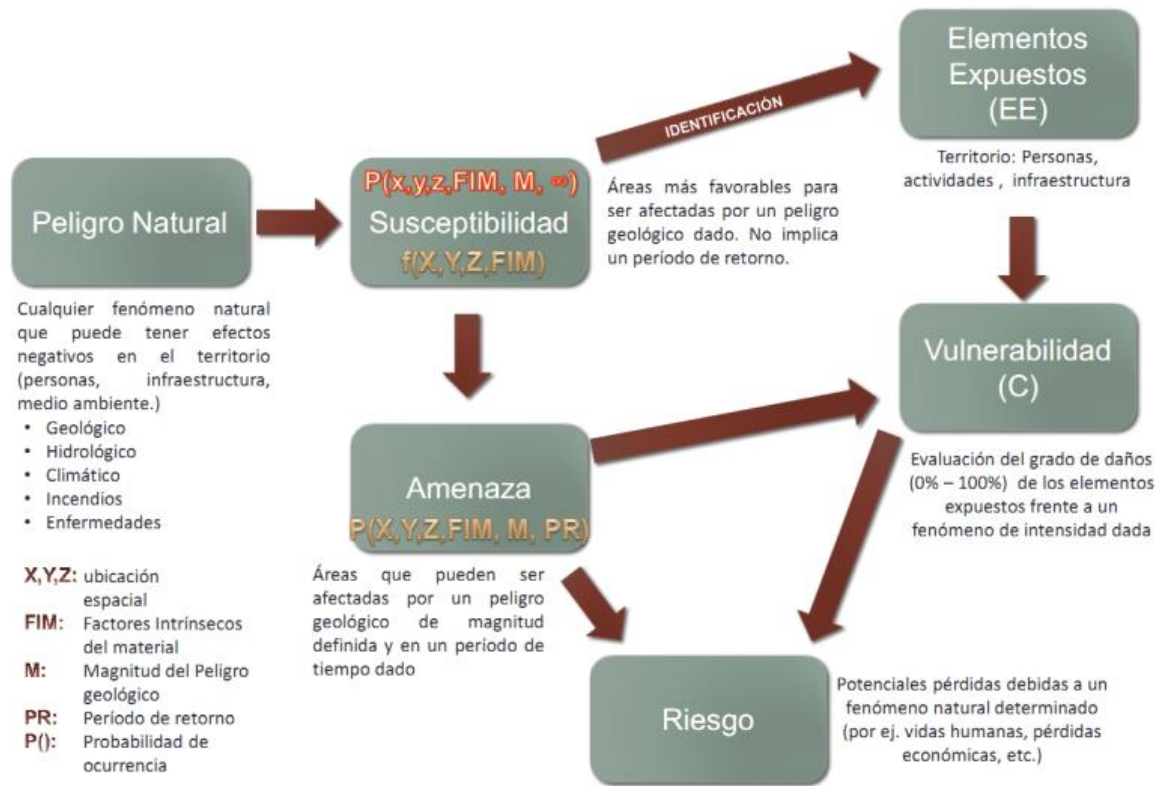
En resumen, los peligros geológicos pueden analizarse desde el punto de vista de las condiciones intrínsecas del material (estudios de susceptibilidad o determinísticos) y desde el punto de vista de los factores desencadenantes de un fenómeno (estudios de amenaza o probabilísticos). Considerando que 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 susceptibilidad, se considera que los mapas de susceptibilidad corresponden al escenario más conservador y adecuado para 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 (ONU/EIRD, 2004).

Es importante destacar que las definiciones previamente presentadas corresponden a una terminología aceptada y utilizada a nivel internacional, tanto en el ámbito científico (ver por ejemplo JTC-1, (2008)) como en instituciones públicas de diversos países. Estas definiciones son usadas por la Estrategia Internacional para la reducción de Desastres de la ONU (ONU/EIRD, 2004), por UNESCO (ver por ejemplo Varnes, (1984)) y por los servicios geológicos de diversos países (ver por ejemplo USGS, (2008) y PMA-GCA (2007)). A nivel nacional, estas definiciones han sido adoptadas por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo en la “Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial” (SUBDERE, 2011) y por el Servicio Nacional de Geología y Minería (ver por ejemplo PMA-GCA (2007)).

Se recomienda incorporar esta terminología en el ejercicio de los instrumentos de planificación territorial, lo que permitirá que exista concordancia en la terminología y las metodologías adoptadas, tanto a nivel nacional, entre los diferentes servicios públicos relacionados, como a nivel internacional.

Figura Apéndice A—1: Etapas de evaluación de un evento geológico peligroso.



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984).

Apéndice B Descripción de los peligros geológicos analizados

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

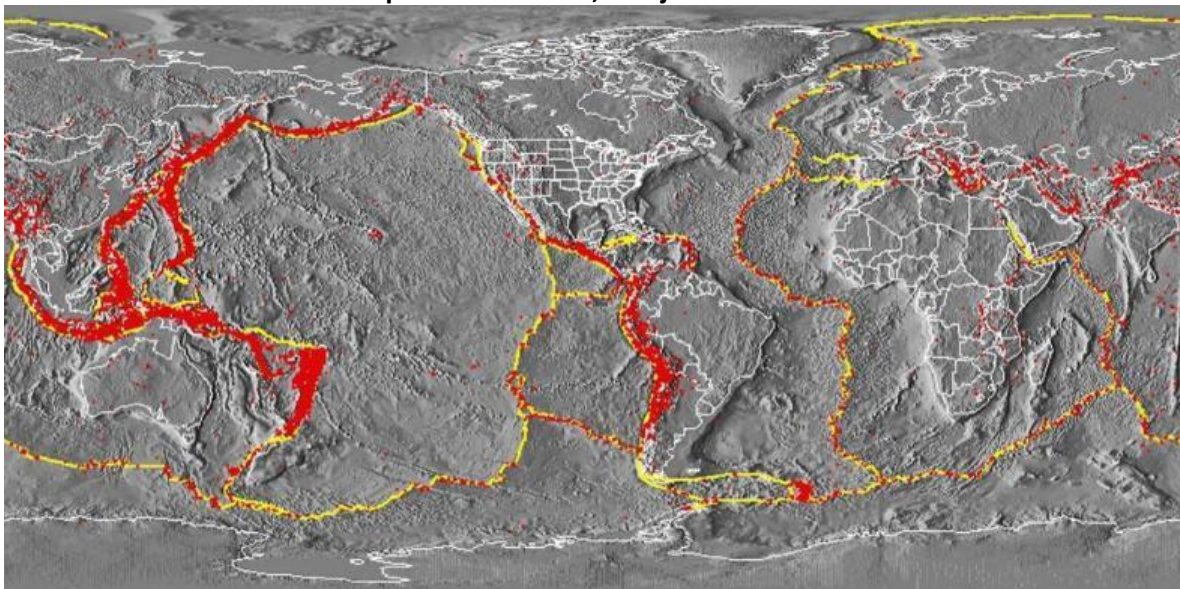
Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los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

B.1 Procesos internos o endógenos de la Tierra *B.1.1 Sismicidad*

a) Tipos de sismos en Chile

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 Apéndice B—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 Apéndice B—1: Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud mayor que 5. Nótese cómo la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo.

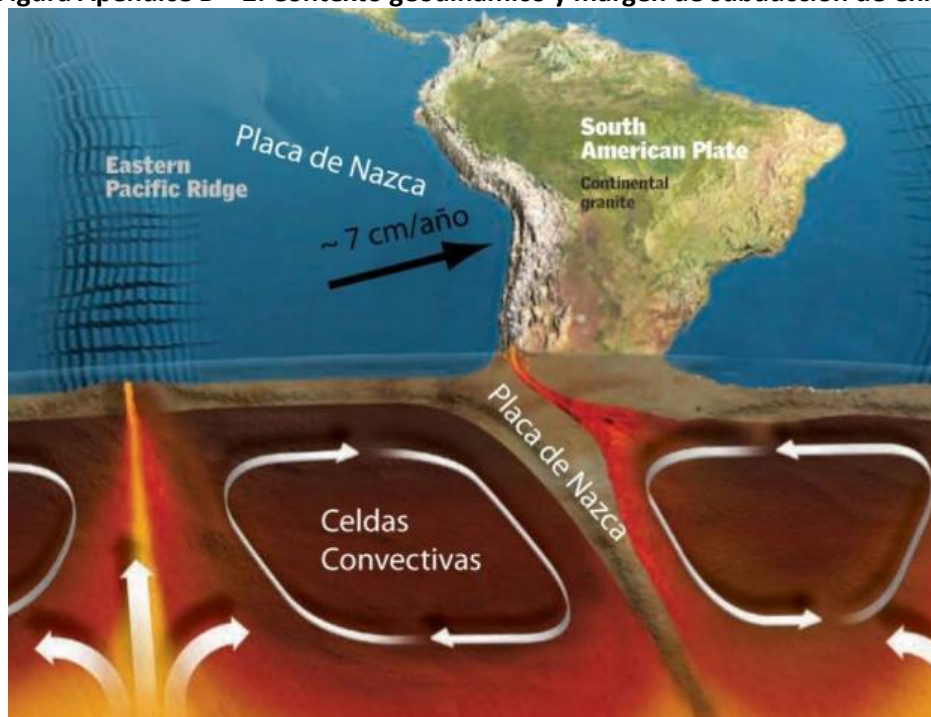


Fuente: Western Washington University(2011).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, 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. 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 Apéndice B—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 Apéndice B—3, que corresponde a:

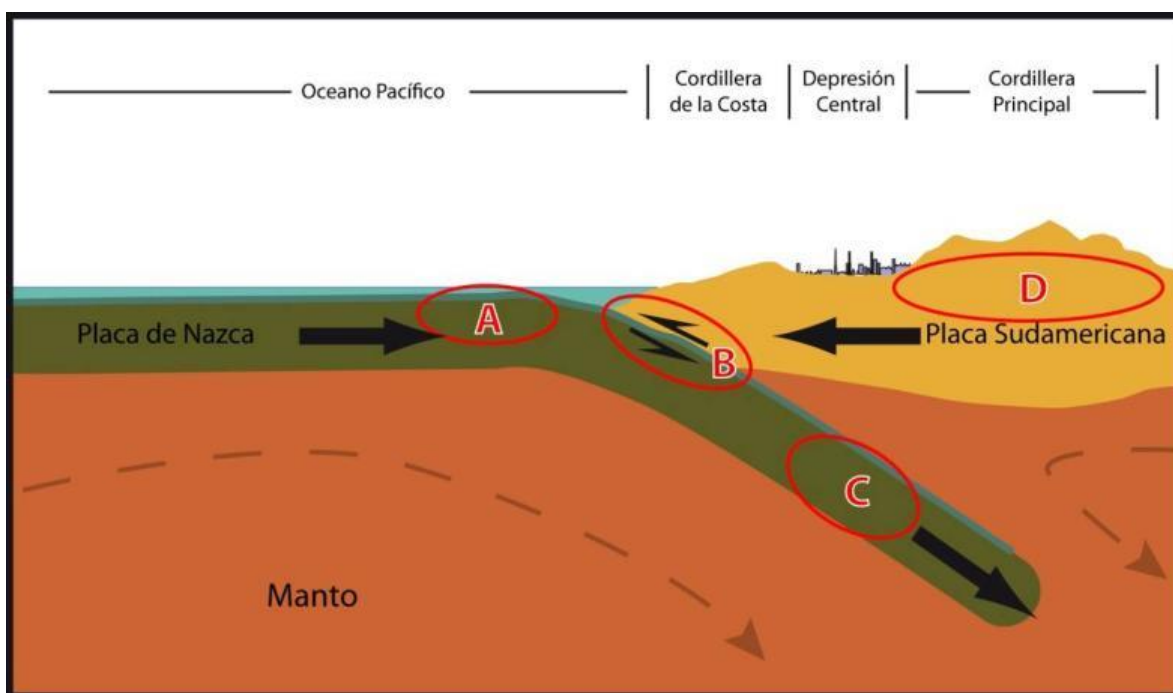
Zona A: Sismos “Costa afuera”, que se producen por los esfuerzos extensivos por abombamiento en la placa subductante antes de la zona de contacto. A pesar de llegar a tener magnitudes cercanas a $M_w = 6$, prácticamente no causan efectos significativos en áreas pobladas debido a su ocurrencia en zonas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

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.

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).

Zona D: Sismos superficiales intraplaca, como 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 Apéndice B—3. Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto).



Fuente: Elaboración propia.

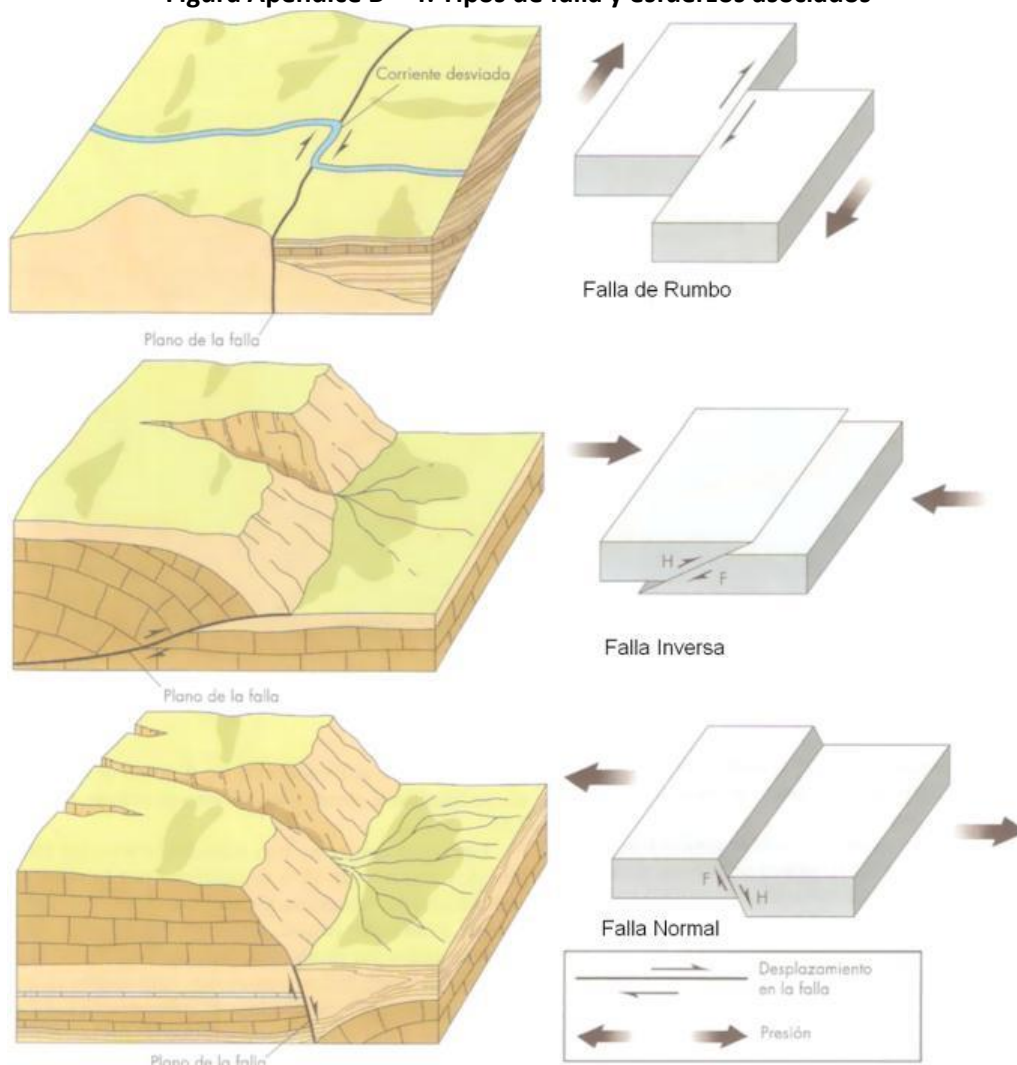
a) *Mecanismos de daños asociados a los sismos*

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 Apéndice B—4). A su vez, esta ruptura conlleva una liberación de energía que se propaga por medio de ondas sísmicas.

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 Apéndice B—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.

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.).

Figura Apéndice B—4: Tipos de falla y esfuerzos asociados

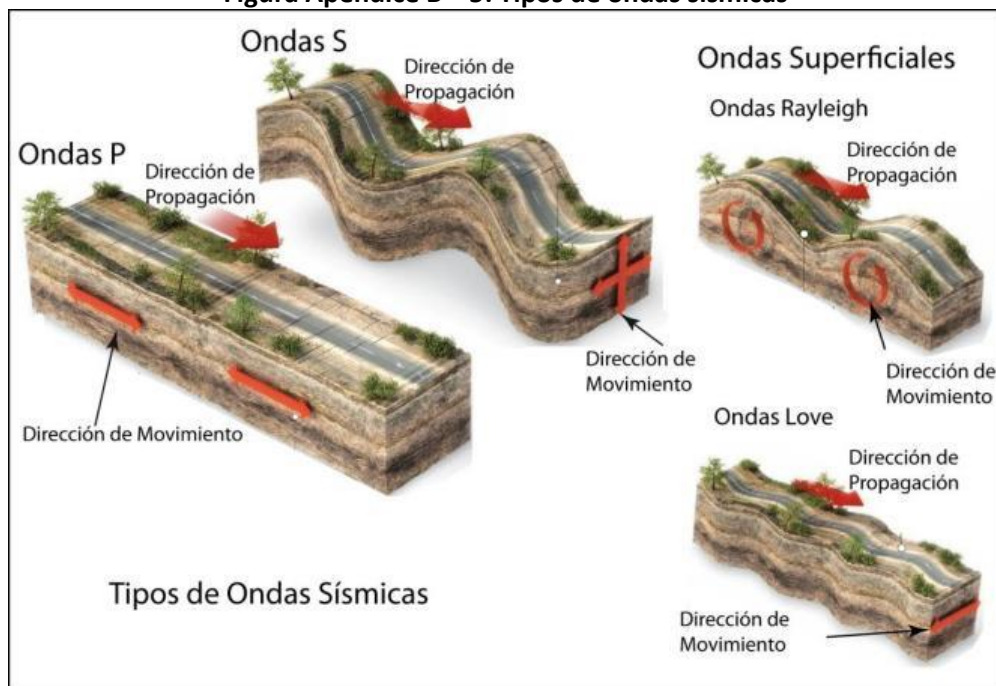
Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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 Apéndice B—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

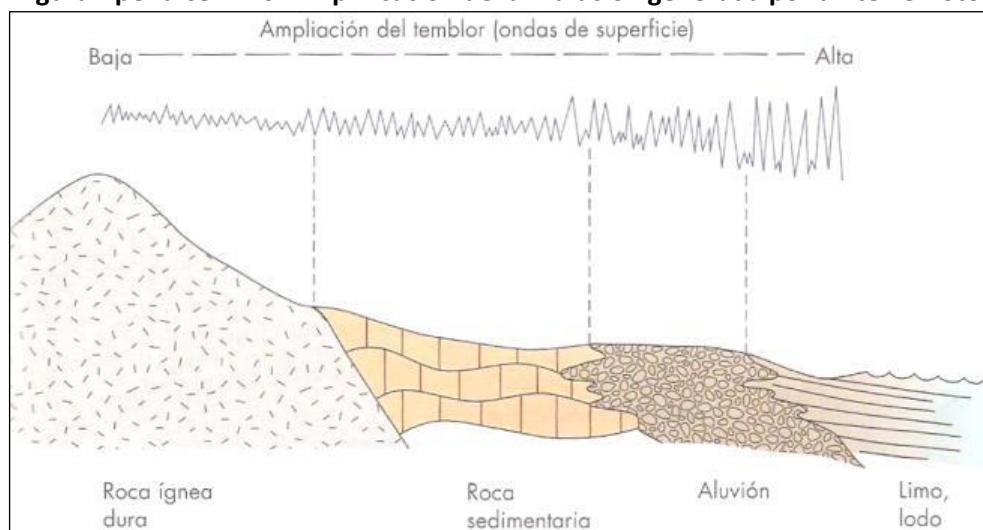
conectividad, entre los innumerables efectos adversos para la sociedad que provocan este tipo de fenómenos.

Figura Apéndice B—5: Tipos de ondas sísmicas



Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

Figura Apéndice B—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 (Keefer, 1984; Sepúlveda, Murphy, Jibson, & Petley, 2005; Sepúlveda, Serey, Lara, Pavez, & Rebolledo, 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, Fraile, Otero, & Pividal, 1994; Sancho, 1997). Para más detalle acerca de estos procesos ver el Apéndice B.2.2 “Procesos de remociones 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):

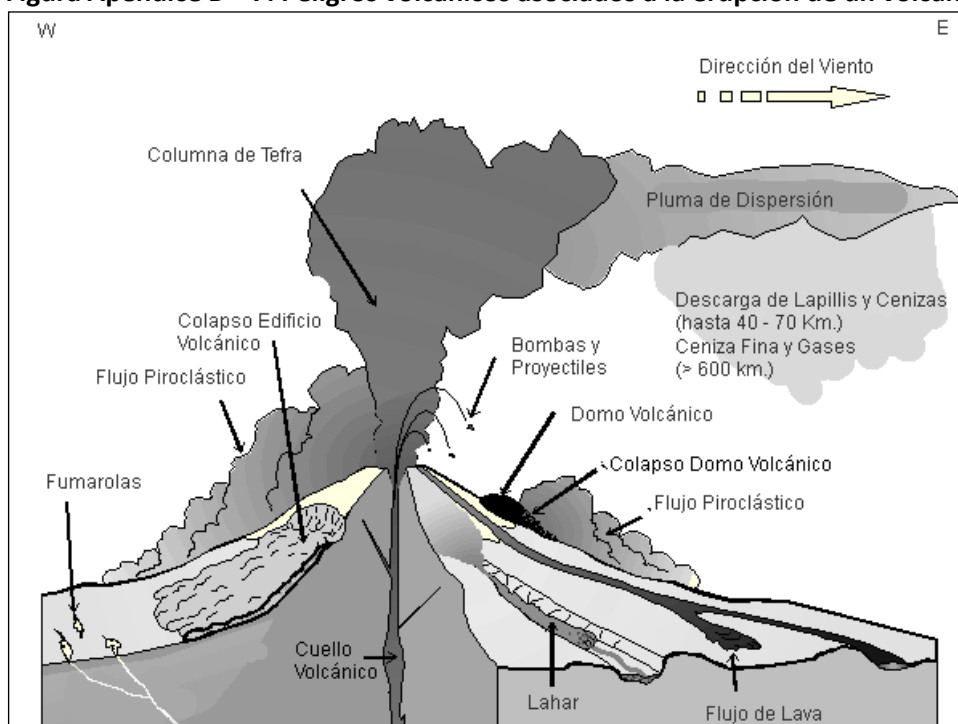
- Depósitos o suelos, granulares poco consolidados (suelos y no cementados) de tamaño fino a medio (limo a arena, aunque en algunos casos se ha presentado en arcillas y en gravas). Típicamente pueden ser rellenos artificiales, especialmente aquellos creados por relleno hidráulico (ej. puertos y tranques 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.
- 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.
- 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.

B.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 Apéndice B—7 y en el Cuadro Apéndice B—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 Apéndice B—7: Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán.



Fuente: Myers y Brantley (Myers & 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 descende 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 en que la velocidad sea mayor a 150 Km/h pueden remontar barreras topográficas.

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:

- a) Pérdida de tierras cultivables
- b) Colapso de techos y obras civiles
- c) Pérdidas de vidas humanas y forraje
- d) 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, cuya pluma de ceniza dio la vuelta al mundo.

Cuadro Apéndice B—1: Peligros asociados al volcanismo.

Peligro	Factores de Peligro	Tipo de Daño	Alcance	Condicionantes
Lluvia de Tefra y Projectiles Balísticos	Proyección de Bombas y Escorias Incandescentes	Daños por impacto, incendios.	Alrededores del volcán (<10 km)	Tamaño de proyectiles. Mayor tamaño, menor alcance; menor tamaño, mayor alcance
	Caída de Piroclastos y Dispersión de Cenizas	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
	Flujos y Oleadas Piroclásticas	Daños a estructuras, incendios, recubrimiento por cenizas.	Decenas a centenares de kilómetros*	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Gases	Envenenamiento, contaminación aire y agua.	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Inyección de Aerosoles a la Estratósfera	Impacto en el clima, efecto a largo plazo y/o a distancia.		Dirección del viento
Lavas y Edificio Volcánico	Lavas y Domos	Daño a estructuras, incendios, recubrimiento por lavas.	Alrededores del volcán (<10 km)	
	Deformación del Terreno	Fallas, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	
	Terremotos y Temblores Volcánicos	Colapso del edificio volcánico, remociones en masa, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología
Remociones en masa	Lahares	Daños a estructuras, arrastres de materiales, recubrimiento por barros.	Decenas a centenares de kilómetros	Red de drenaje
	Colapso Parcial o Total del Edificio volcánico	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
	Deslizamiento de Laderas	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

Peligro	Factores de Peligro	Tipo de Daño	Alcance	Condicionantes
Otros	Ondas de Choque	Rotura de cristales y paneles.	Decenas de kilómetros	Dirección del viento y geomorfología
	Variaciones en el Sistema Geotérmico de Acuíferos	Cambios de temperatura y calidad del agua.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Red de drenaje

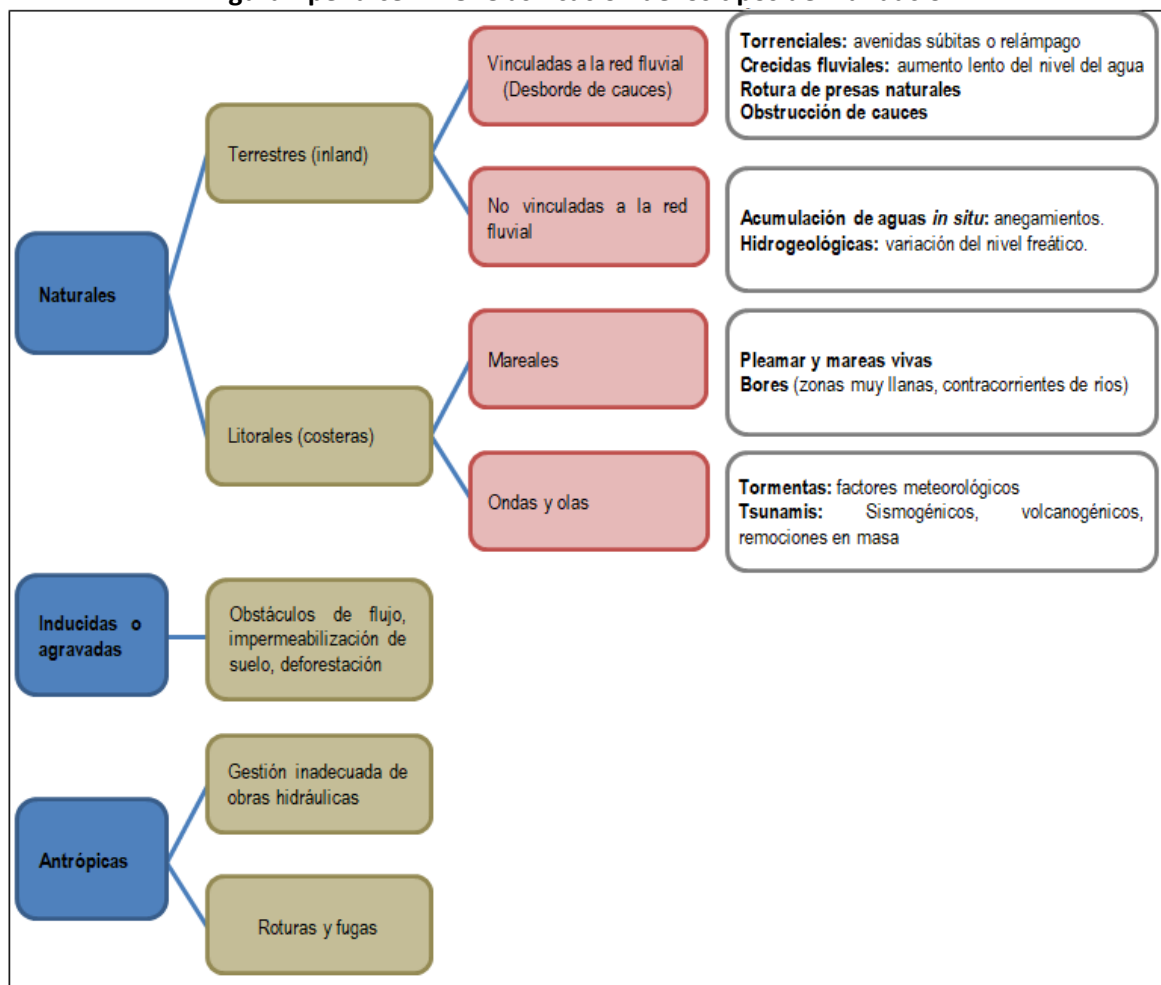
Fuente: Elaboración propia a partir de González-Ferrán (1995), Myers y Brantley (1995) y Sruoga (2002). (*) El peligro de Flujos y Oleadas Piroclásticas, si bien presenta un alcance de hasta centenares de kilómetros, este se restringe únicamente a las hoyas hidrográficas que drenan cada aparato volcánico.

B.2 *Procesos externos o exógenos de la Tierra*
B.2.1 *Inundaciones terrestres y litorales*

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (Figura Apéndice B—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 (por las características de la comuna, éstas no se analizan). 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.

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

Figura Apéndice B—8: Clasificación de los tipos de inundación.

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

a) Inundaciones 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:

- **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.

- 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 que se pueden generar como consecuencia de una inundación estarán dados por varios factores. Naturalmente, los efectos dependen de la intensidad de la inundación, sin embargo, se deben diferenciar los efectos sobre los edificios, que se correlacionan mejor con la altura de inundación, de la afectación a la infraestructura vial, que se correlaciona mejor con la velocidad de escurrimiento (Kreibich, y otros, 2009), aunque, se debe tener en consideración que existe una buena correlación entre ambas variables. Por otra parte, existen otras variables que inciden en el nivel de daño que generan las inundaciones (Merz, Kreibich, & Lall, 2013; Hasanzadeh Nafari, Ngo, & Mendis, 2016):

- Superficie de las construcciones (que se correlaciona con la densidad de población y con el nivel socioeconómico de los habitantes), valor de las propiedades y calidad de la construcción.
- Medidas preventivas, asociadas a la construcción.

b) Inundación por acumulación de aguas lluvia en zonas llanas o anegamiento

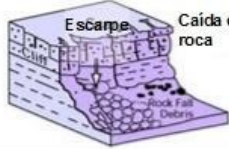
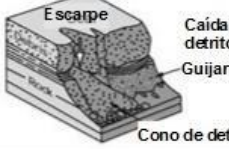
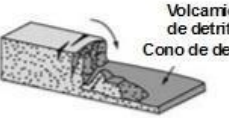
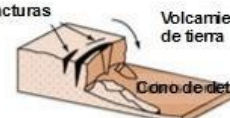
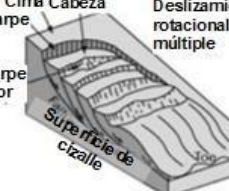
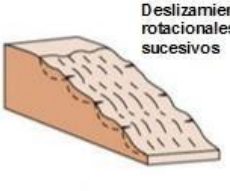
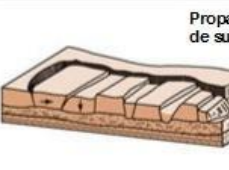
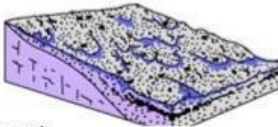
Este tipo de inundaciones se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas. Este tipo de inundaciones se asocia a la zona de desembocadura de algunas quebradas, las 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. Solo 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.

B.2.2 *Procesos de remociones 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 Apéndice B—9). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007).

Figura Apéndice B—9: Clasificación de tipos de remociones en masa en relación al movimiento que lo origina y el tipo de material constituyente de la ladera.

Material		ROCA	DETRITO	SUELO
Tipo de movimiento				
CAIDA				
		Caída de roca	Caída de detritos Guajarros Cono de detrito	Caída de suelo Coluvio Cono de detrito
VOLCAMIENTO				
		Volcamiento de roca	Volcamiento de detrito Cono de detrito	Volcamiento de tierra Cono de detrito
DESIZAMIENTO	Rotacional			
	Traslacional (planar)			
PROPAGACION				
		Quebradas Estructura inclinada (arrazado por erosión) Adelgazamiento de estratos Plano de despegue Sustrato competente		
FLUJO				
		Solifluxión (Flujo de detritos periglacial)	Flujo de detritos	Flujo de suelo (flujo de barro)
COMPLEJO				
		p.ej.: Deslizamiento de suelo con detritos de caída de rocas	p.ej.: Deslizamiento rotacional/traslacional compuesto, gradando a flujo de suelo hacia el pie	

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

a) *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, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 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. Solo durante las últimas décadas se han instalados pluviógrafos que miden la intensidad instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora). Solo 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 (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 de la comuna, 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:

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

b) Desprendimientos o caídas 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). Estos ocurren cuando existe una discontinuidad en la roca (por ejemplo, fracturas, planos de estratificación u otras estructuras propias de las características de la roca) 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 este 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 este 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 este. 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.

c) 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 Apéndice B—10). Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

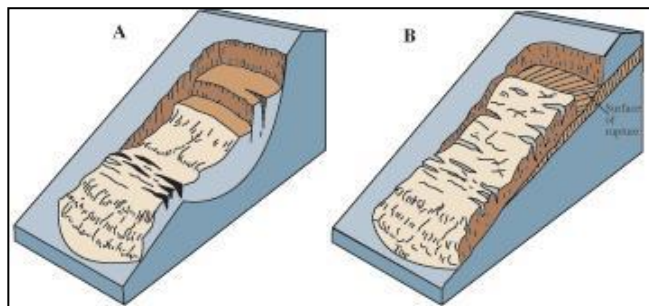
Adicionalmente, los deslizamientos que ocurren en escarpes de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial, o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, se les denomina como “Retroceso de laderas”, que corresponde a la retirada del escarpe en dirección aguas arriba, sin que esta sufra cambios en sus rasgos geométricos, es decir, con posterioridad al movimiento de material, la forma del escarpe permanece constante (Pain, 1986).

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.).

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.

**Figura Apéndice B—10: 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>

El grado en que un deslizamiento afecta a la población depende de:

- 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.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno: En general, dado que estos procesos son de alta velocidad los daños potenciales son altos.
- 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.
- 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.

Apéndice C Línea de base de geología y geomorfología
C.1 Marco geodinámico

Chile se ubica en un margen convergente activo de placas oceánica-continental (Figura Apéndice C—1), en donde la placa oceánica Nazca subducta bajo el margen occidental de la placa continental Sudamericana dando origen a los Andes Centrales. Este proceso de subducción se reconoce activo, al menos, desde el Jurásico Temprano (Mpodozis & Ramos, 1989), o inclusive podría persistir desde el Pérmico (Coloma, y otros, 2017). A partir del Eoceno, la tasa de convergencia ha variado entre 5 y 15 cm/año (Somoza, 1998), siendo actualmente de 7,5 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 1994).

El segmento ubicado entre los 33°S y los 46°S corresponde, dentro del esquema de segmentación andina de Mpodozis y Ramos (1989), a una zona de subducción tipo chilena caracterizada por un ángulo de subducción entre las placas Nazca y Sudamericana de ~30°. Este segmento de subducción se ubica al sur del segmento Pampeano de subducción plana, desarrollado entre los 27°S y los 33°S, en donde la loza oceánica se deflecha proyectándose con 10° de inclinación bajo la Placa Sudamericana (Cahill & Isacks, 1992; Anderson, Alvarado, Zandt, & Beck, 2007). El desarrollo del segmento Pampeano de subducción plana se ha asociado con (1) la subducción de la Dorsal de Juan Fernández, cuyo punto de colisión contra el continente permanece fijo hace ~10 Ma (Yañez, Ranero, von Heune, & Díaz, 2001; Anderson, Alvarado, Zandt, & Beck, 2007); y con (2) el espesor de la placa superior y el rollback de la fosa (Manea, Pérez-Gussinye, & Manea, 2012). Si se comparan ambos segmentos, se destacan las siguientes características:

1. La costa oeste de la Placa Sudamericana tiene un rumbo aproximado norte-sur en el tramo de subducción plana, mientras que al sur de los 33°, la costa posee un rumbo aproximado N20°E.
2. Mientras que la configuración morfoestructural del antearco, al sur de los 33°S, se compone de oeste a este por la Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal. Al norte, sobre el segmento Pampeano de subducción plana, la ausencia de Depresión Central configura un paisaje montañoso continuo denominado como Valles Transversales.
3. Sobre el segmento Pampeano de subducción plana no existe registro de volcanismo Holoceno, mientras que al sur de los ~33°S, el arco volcánico Holoceno se encuentra plenamente desarrollado.

La acumulación y posterior relajación de los esfuerzos producto de la convergencia del régimen de subducción es la causa de que todo Chile hasta la península de Taitao, sea afectado frecuentemente por terremotos. La gran mayoría de estos sismos y los eventos de gran magnitud se originan en la zona del contacto entre placas y surgen de la liberación súbita de gran parte de la energía acumulada durante el proceso de convergencia de placas (Ej. Sismos del 6 de abril de 1943 que afectó a la Región de Coquimbo, 3 de marzo de 1985 en la Región de Valparaíso, sismos de mayo de 1960 en Valdivia). Los esfuerzos acumulados por la subducción también se propagan hacia el interior de la placa continental, y se liberan mediante sismos superficiales, normalmente de magnitud menor pero más destructivos localmente (Ej. Sismo de Las Melosas de 1958, sismo de Chizmisa de 2001). Otros sismos son provocados por la relajación de esfuerzos de la Placa de Nazca una vez subductada, estos sismos pueden ser muy destructivos a pesar de no tener las mayores magnitudes (Ej. Sismo de Chillán de 1939, sismo de Punitaqui de 1997 y sismo de Tarapacá de 2005).

Figura Apéndice C—1 Marco geodinámico representado en 3D.

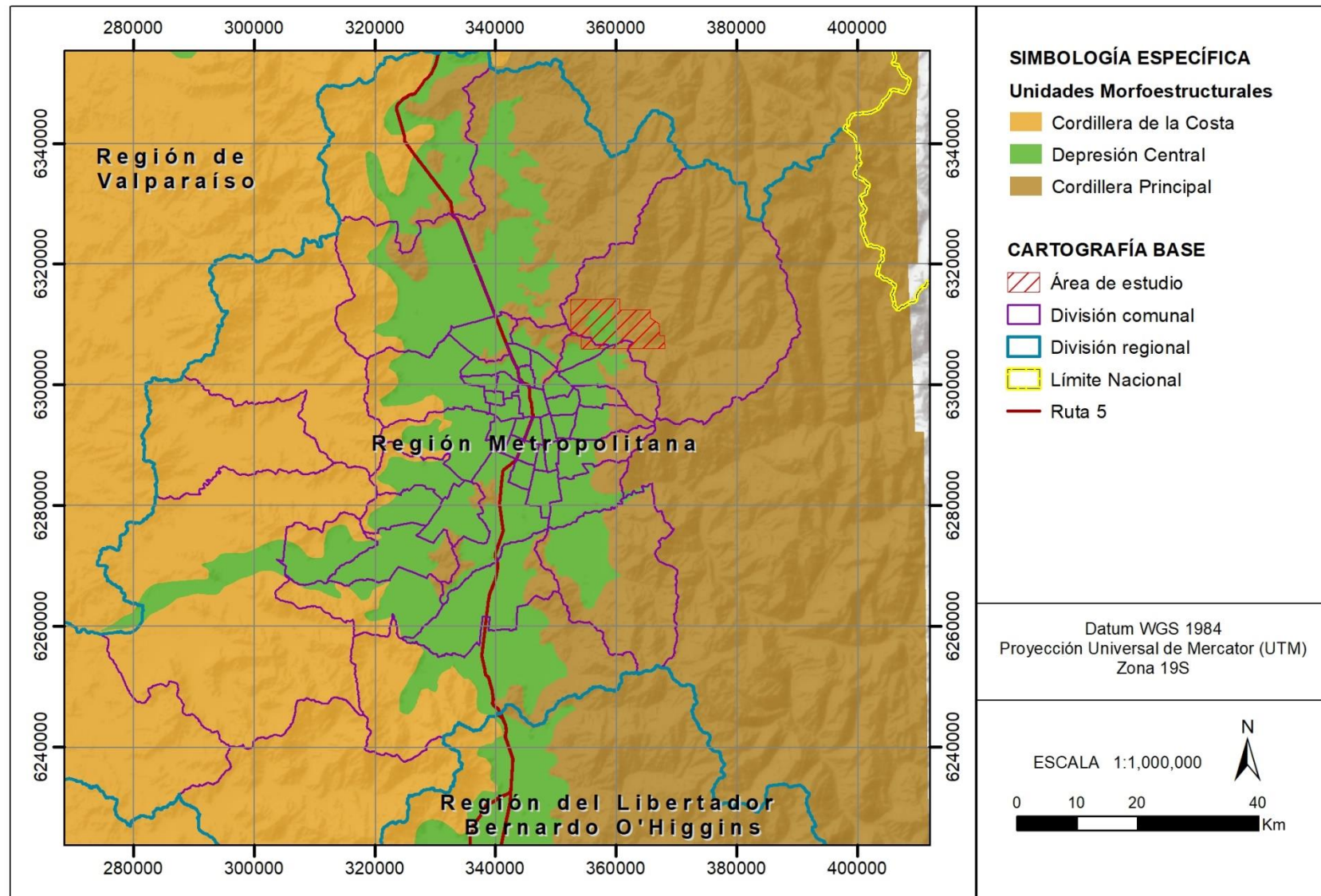
Fuente: Elaboración propia. La Dorsal de Juan Fernández es subductada a los 33°S. La línea verde señala la fosa, lugar donde subducta la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana, y las flechas muestran direcciones y velocidades de convergencia entre ambas.

C.2 *Marco geomorfológico*
 C.2.1 *Unidades morfoestructurales*

El segmento andino chileno ubicado al sur de los 33°S exhibe tres unidades morfoestructurales de primer orden dispuestas en franjas de orientación norte-sur. De oeste a este: Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal (que comparten Chile y Argentina). La comuna de Lo Barnechea se ubica en la zona precordillerana de la Región Metropolitana, que corresponde a la transición entre la Depresión Central y la Cordillera Principal (Figura Apéndice C—2).

En la Región Metropolitana, la Depresión Central se presenta como una franja alargada en dirección norte-sur, la cual corresponde a una extensa llanura levemente inclinada hacia oeste, la cual se ve afectada ocasionalmente interrumpida por zonas donde se une la Cordillera de la Costa con la Cordillera Principal (angostura) y por algunos cerros islas, cuyas alturas no superan los 250 m con respecto a la Depresión Central (Ej. Cerro del Medio).

Figura Apéndice C—2 Unidades Morfoestructurales a escala regional 1:1.000.000.



C.2.2 Aspectos morfológicos relevantes

El área de estudio se ubica en la transición del valle de Santiago y la zona cordillera, por lo que las principales geoformas a escala local tienen directa relación con las unidades geológicas más recientes.

Las terrazas de origen fluvial generadas por la erosión del cauce del Mapocho destacan entre el relieve montañoso, lo mismo ocurre con las terrazas generadas por el Estero Arrayan. Se identificaron cuatro niveles de **terrazas fluviales** numerados **con respecto al nivel base del río Mapocho que se ubican a distintas alturas**, la terraza 1 (T1) presenta alturas entre 3 y 8 m sobre el cauce del estero Las Hualtatas y del río Mapocho. Por su parte, la terraza 2 (T2) posee alturas entre 9 y 18 m, la terraza 3 (T3) tiene alturas entre 19 y 23 m y la terraza 4 (T4) presenta alturas entre 18 y 26 m sobre el cauce del estero El Arrayán y del río Mapocho.

Además, se distinguen depósitos aluviales asociados al río Mapocho, cuya morfología corresponde al ápice del abanico, el cual se extiende en la cuenca de Santiago. Abanicos aluviales menores se disponen sobre este gran depósito.

Las remociones en masa destacan en esta zona, las cuales han sido catastradas en la literatura. Su naturaleza corresponde generalmente a avalanchas de roca de gran magnitud, las cuales desplazan grandes cantidades de material. Las morfologías son lobulares y alargadas y sus zonas de generación se ubican fuera del área del proyecto, sin embargo, debido a su tamaño alcanzan el área estudiada en algunos sectores.

C.2.3 Parámetros Morfométricos

En el área urbana de la comuna de Lo Barnechea, las elevaciones varían entre los 698 y los 2021 m s. n. m. (Figura Apéndice C—3), las mayores alturas se ubican hacia el área cordillerana y en el sector del cerro Manquehue. Por otro lado, las partes más bajas se ubican en el sector sur-poniente de la comuna.

En cuanto a las pendientes, el sector de la dehesa y donde se concentra la mayor parte de la urbanización se emplaza sobre pendientes menores a 15°, estos sectores topográficamente más bajos se conforman geológicamente por depósitos aluviales, fluviales y fluvio-aluviales distales (Figura Apéndice C—4). Con respecto a aquellas pendientes mayores a 15° se encuentran en las laderas de los cerros, como en el cerro del Medio, cerro Alvarado y hacia el sector montañoso entorno del Estero El Arrayan, del río Mapocho y las laderas aledañas a sus quebradas afluentes. Geológicamente estas zonas de altas pendientes se encuentran caracterizadas por la Formación Abanico, donde las máximas pendientes superan los 80°.

Figura Apéndice C—3 Carta morfométrica de elevaciones del área de estudio a escala 1:40.000.

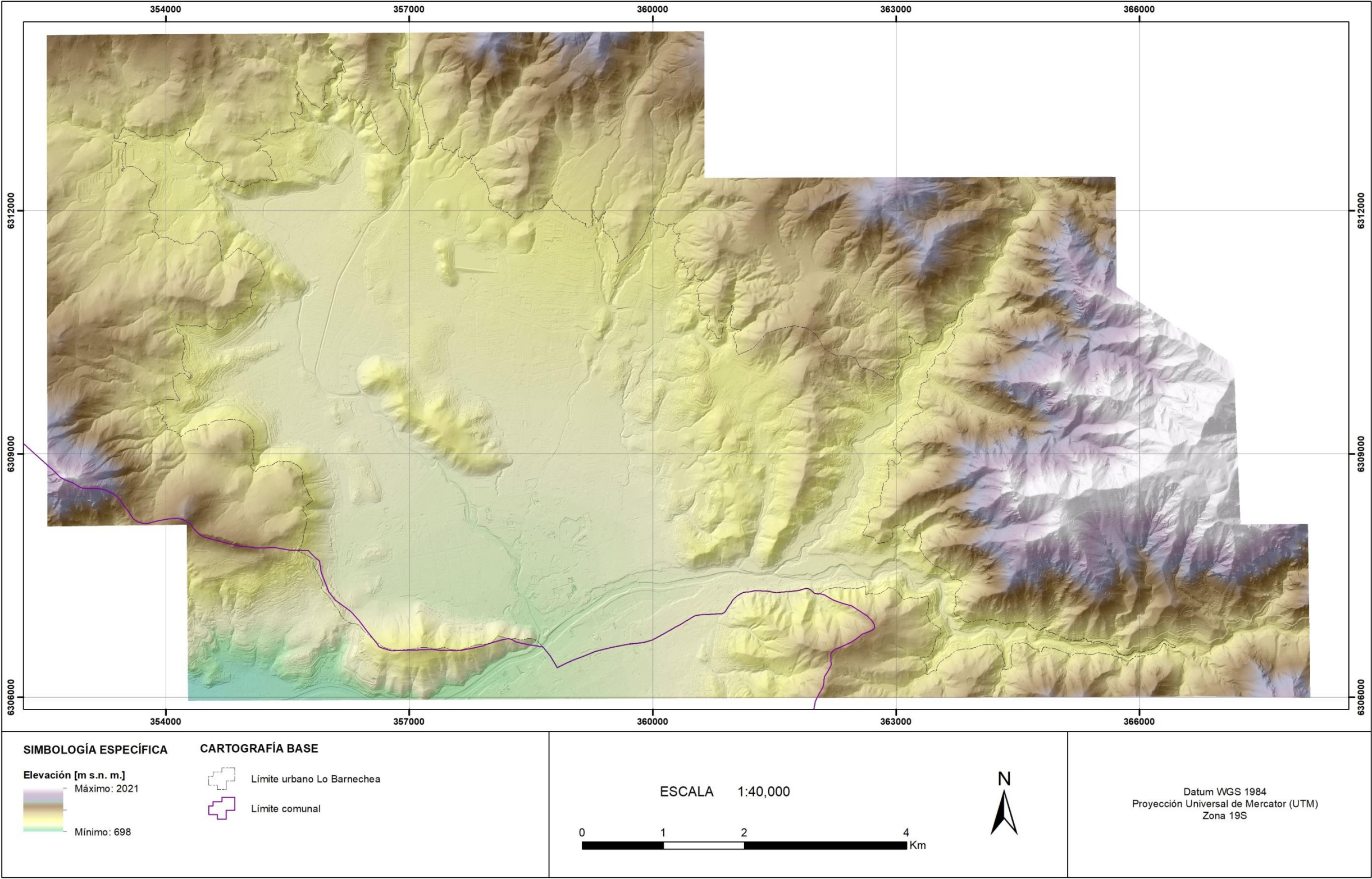
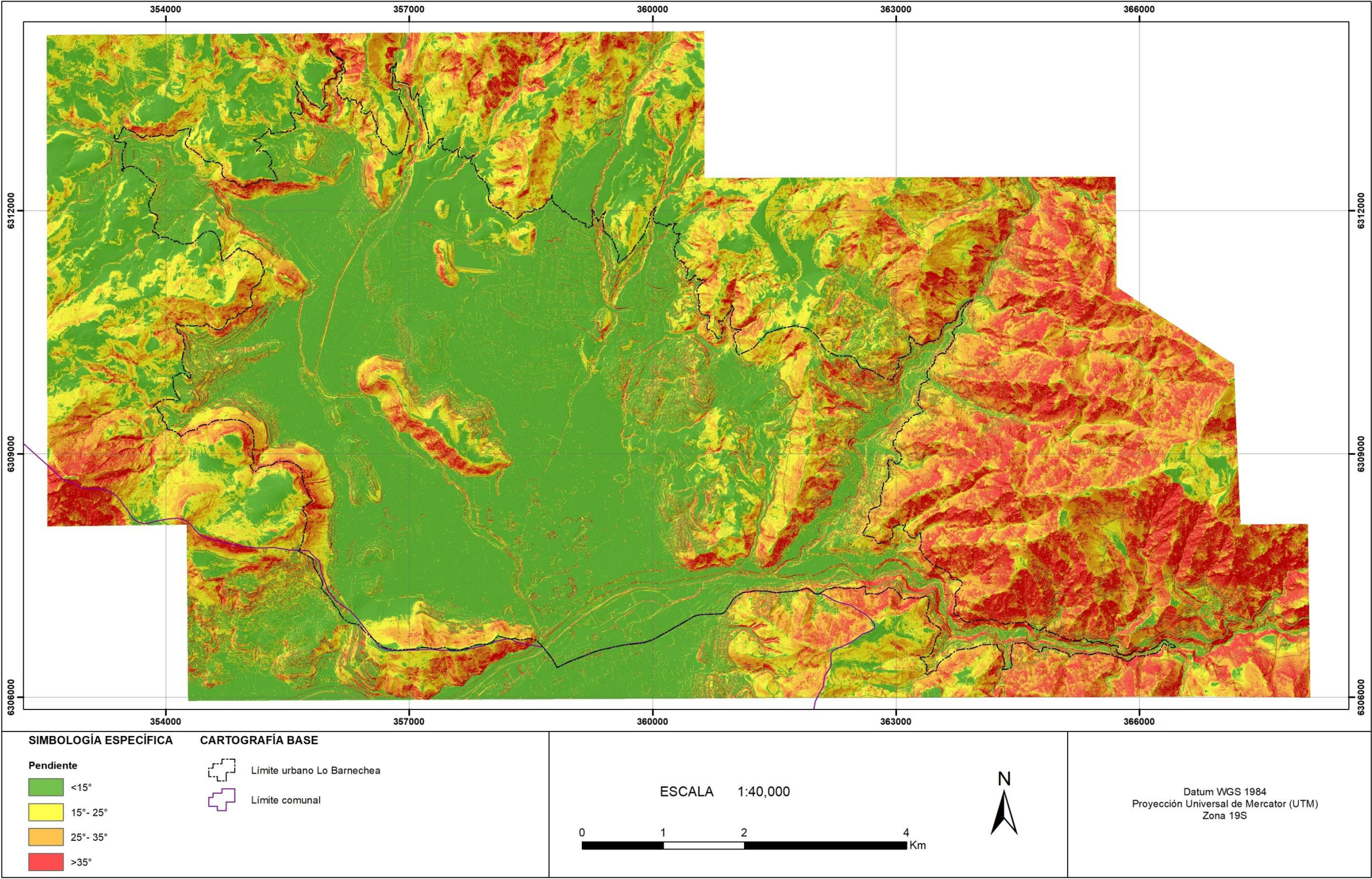


Figura Apéndice C—4 Carta morfométrica de pendientes del área de estudio a escala 1:40.000.



C.3 *Marco geológico*

La geología de la comuna de Lo Barnechea está constituida esencialmente por rocas volcánicas con algunas intercalaciones sedimentarias de edad Eoceno-Mioceno, las que presentan diversos grados de meteorización. Estas rocas se encuentran cubiertas por distintos tipos de depósitos no consolidados, los que son producto de procesos fluviales, aluviales, coluviales y de remoción en masa. Cada una de estas unidades geológicas se describe a continuación. El mapa geológico levantado a escala 1:1.000 se representa en la Figura Apéndice C—9 a una escala de 1:40,000.

C.3.1 *Depósitos no consolidados*

a) Depósitos fluviales activos de ríos y esteros (Holoceno) (Hf)

Sedimentos genéticamente relacionados con los cursos fluviales activos del río Mapocho, el estero Arrayán y, la parte distal del estero Las Hualtatas. Están constituidos por ripios, gravas, gravas arenosas clastosoportadas, con clastos redondeados y en parte imbricados (Figura Apéndice C—5).

Figura Apéndice C—5 Vista de los depósitos fluviales activos del río Mapocho. Se distingue la diversidad granulométrica de los clastos redondeados que involucran desde bolones métricos a gravas arenosas.



b) Depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas y esteros (Holoceno) (Hfa)

Corresponden al conjunto de bloques, gravas y arenas que se encuentran rellenando los cauces de quebradas y esteros actuales en sus partes proximales y medias. Estos depósitos se encuentran al fondo de los canales confinados propios de regiones montañosas, como cuando estos se proyectan sobre las fracciones apicales y medias de los abanicos aluviales (Figura Apéndice C—6). Frecuentemente, en las quebradas es posible observar bloques de tamaños métricos yaciendo en el cauce.

Figura Apéndice C—6 Vista de los cauces de las quebradas Los Chanchos (izquierda) y la quebrada Huallalolén. Se reconocen abundantes bloques en los cauces, así como en las zonas ribereñas.



c) Depósitos lacustres activos y cuerpos de agua (Holoceno) (HI)

Corresponden a los sedimentos que se depositan en el fondo de los cuerpos de agua (naturales y artificiales) compuestos principalmente por limos y arcillas.

d) Depósitos fluvio-aluviales de quebradas y esteros (PIHfa)

Sedimentos constituidos por bloques, gravas, arenas y limos que se encuentran ocasionalmente en torno a los cauces activos de quebradas y esteros, en algunos casos formando niveles aterrazados en sus márgenes o abanicos aluviales pequeños en las regiones de desconfinamiento de los cauces. Estos depósitos se asocian a grandes flujos de barro y detritos que sobrepasaron el cauce activo de las quebradas y esteros.

e) Depósitos fluviales aterrazados (PIHf_Tn)

Sedimentos compuestos por ripios, gravas, gravas arenosas, arenas y limos, que se distribuyen en torno de los principales cauces fluviales formando un total de cuatro terrazas principales. Como ya fue mencionado, la terraza 1 (T1, Figura Apéndice C—7) presenta alturas entre 3 y 8 m sobre el cauce del estero Las Hualtatas y del río Mapocho. Por su parte, la terraza 2 (T2) posee alturas entre 9 y 18 m, la terraza 3 (T3) tiene alturas entre 19 y 23 m y la terraza 4 (T4) presenta alturas entre 18 y 26 m sobre el cauce del estero El Arrayán y del río Mapocho.

Figura Apéndice C—7 Vista en corte de los depósitos fluviales aterrazados T1 en la ribera del estero Las Hualtatas. Es posible distinguir diferentes paquetes de sedimentos que gradan de base a techo desde arenas gravosas a ripios de bolones.



f) Depósitos antiguos de remociones en masa (Pleistoceno-Holoceno) (Wall, Sellés, & Gana, 1999) (PIHrm)

Depósitos originados por flujos de detritos, flujos de barro, deslizamientos, avalanchas de roca, desprendimiento de bloques, reptación y hundimiento. En el área urbana de Lo Barnechea, se exponen en diversos sectores, destacando los depósitos en el área del portezuelo Lo Curro, en el extremo suroccidental de la comuna, o sobre la ladera norte del valle del río Mapocho camino a Farellones (Figura Apéndice C—8). Estos sedimentos incorporan bloques de hasta 10 m de diámetro, que forman parte de sendos depósitos de colapso gravitacional originados desde los cerros Manquehue y Loma de Vaca, respectivamente.

Figura Apéndice C—8 Vista en corte de los depósitos antiguos de remociones en masa en el kilómetro 10 del Camino a Farellones. Es posible distinguir bloques métricos polimícticos embebidos en un arreglo caótico de rocas fragmentadas y angulosas de granulometrías diversas.



g) Depósitos aluviales (*Pleistoceno Medio-Pleistoceno Superior*) (Wall, Sellés, & Gana, 1999) (PIHa)

Unidad conformada por extensos abanicos aluviales coalescentes, de baja pendiente ($<5^\circ$) y en declive hacia el sur-suroeste, que nacen cuando los drenajes de las principales hoyas hidrográficas abandonan las regiones montañosas confinadas aguas arriba. Sus depósitos están formados por gravas y arenas, con sedimentos finos en menos proporción. Aprovechándose de la vasta extensión de terreno llano que configura esta unidad, sobre ella se desarrolla gran parte de la urbanización de la comuna.

C.3.2 Unidades de Roca

a) Rocas Intrusivas del Cerro Manquehue (*Mioceno*)

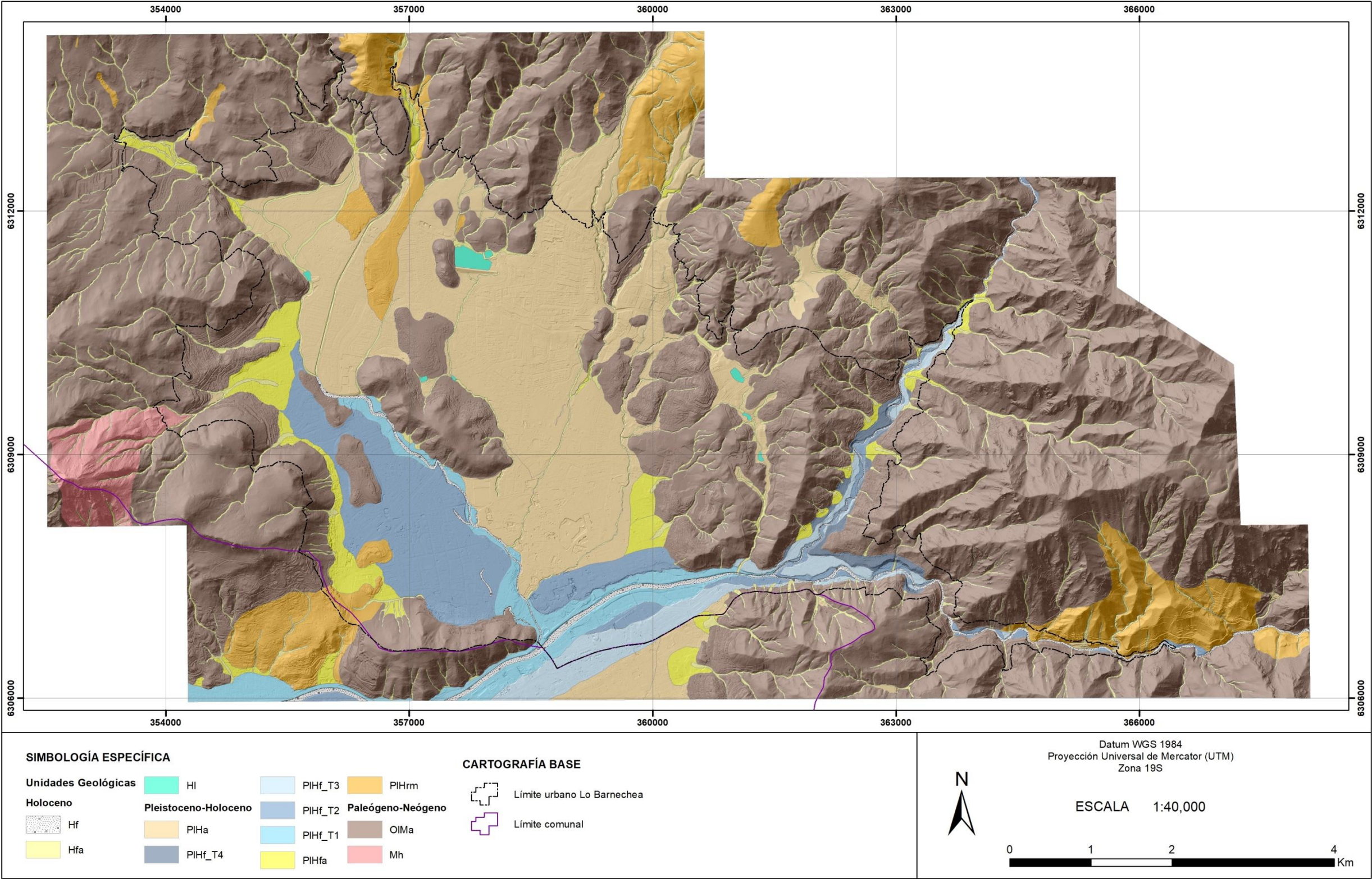
Corresponden a stocks andesíticos y dacíticos que intruyen a la Formación Abanico y que forman parte de un conjunto de intrusivos hipabisales que Wall et al. (1999) dataron en 20-19 Ma. Son rocas leucocráticas, porfídicas, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y en menos proporción piroxeno, parcial o totalmente transformado en anfíbola, los que se encuentran inmersos en una masa fundamental compuesta por plagioclasa, cuarzo y escasa magnetita. Los stocks del cerro Manquehue presentan enclaves máficos microgranulares de anfíbola y plagioclasa (Wall, Sellés, & Gana, 1999).

b) Formación Abanico (*Eoceno Superior?-Mioceno Inferior*) (Aguirre, 1960)

Secuencia principalmente volcánica andesítica a basáltica, con intercalaciones piroclásticas y sedimentarias continentales, con espesor expuesto de ~2000 m. Aflora en todos los sectores montañosos del área urbana de la comuna, incluyendo a los cerros islas, como por ejemplo al cerro del Medio. Su techo no está expuesto y está intruida por stocks y diques datados entre 34 y 19 Ma. Dataciones radiométricas efectuadas en la región Metropolitana se ubican entre 28-20 Ma. Wall et al. (1999) reconocen dos niveles estratigráficos dentro de la Formación Abanico. En el nivel superior predominan rocas piroclásticas y volcanoclásticas, mientras que, en el nivel inferior, que es el que aflora en el área urbana, predominan las rocas volcánicas de composición andesíticas a basálticas, con algunas intercalaciones de rocas piroclásticas (tobas brechosas, tobas soldadas) y sedimentarias continentales (limolitas y areniscas tobáceas; conglomerados fluviales y tobas de depositación subacuática, portadoras de restos vegetales).

En el área urbana de la comuna de Lo Barnechea, las rocas de la Formación Abanico presentan abundantes diaclasas y en gran parte de los afloramientos se observa un alto grado de meteorización (IV a VI de acuerdo a la clasificación sugerida por la International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981)), lo que genera laderas inestables con una gran cantidad de suelo residual. Los sectores donde la roca se encuentra con un grado de meteorización superior a IV fueron diferenciados en el mapa geológico, siendo agrupados junto con los suelos residuales generados, dentro de la unidad “Rocas meteorizadas y suelos residuales”.

Figura Apéndice C—9 Mapa de unidades geológicas del área de estudio representado a escala 1:40,000.



Apéndice D Línea de Base Hidrología
D.1 Clima

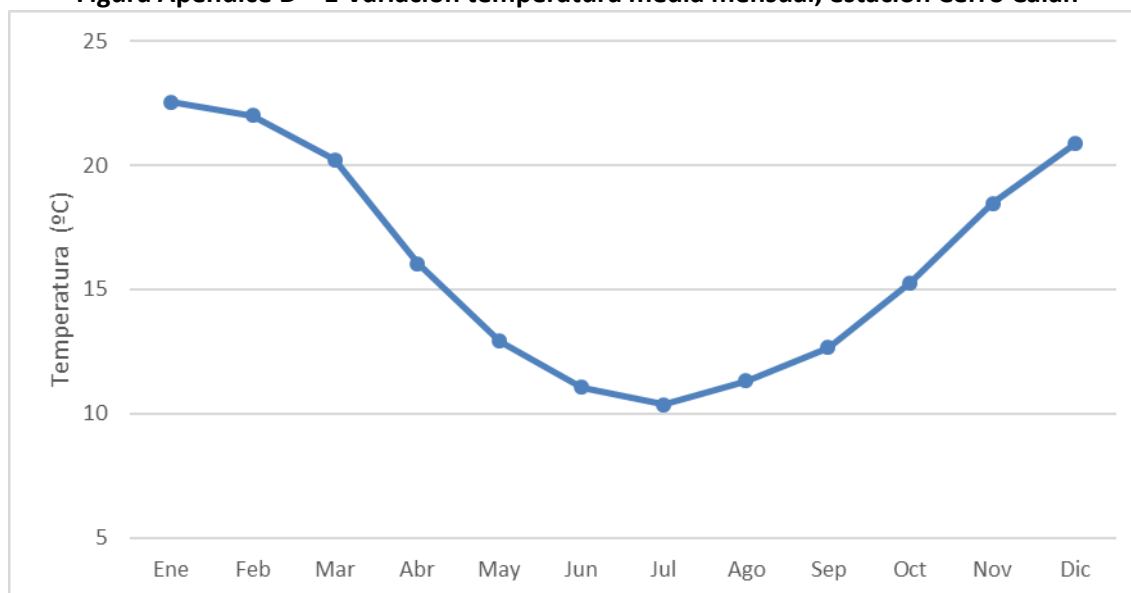
El área de estudio presenta un clima mediterráneo, con precipitaciones moderadas que se concentran en invierno, y con una estación seca prolongada de 7 a 8 meses. La temperatura media anual oscila en torno a los 16°C, con valores medios mensuales cercanos a los 10°C en invierno y 23°C en verano, según se presenta en el Cuadro Apéndice D—1 y en la Figura Apéndice D—1, en la estación meteorológica de la DGA Cerro Calán, cercana a la comuna (ver Figura Apéndice D—3).

Cuadro Apéndice D—1 Temperaturas medias mensuales (°C), estación Cerro Calán

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
22,5	22,0	20,2	16,0	12,9	11,1	10,4	11,3	12,7	15,3	18,5	20,9	16,0

Fuente: Elaboración propia en base a Información hidrometeorológica BNA-DGA

Figura Apéndice D—1 Variación temperatura media mensual, estación Cerro Calán



Fuente: Elaboración propia en base a Información hidrometeorológica BNA-DGA

D.2 *Revisión de antecedentes*

Se revisaron antecedentes que aportan información relacionada con la determinación de eventos máximos, presentándose a continuación los resultados más relevantes.

D.2.1 Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS). MINVU, 1994, y sus actualizaciones.

El PRMS define como áreas de alto riesgo a los territorios en los cuales el emplazamiento de asentamientos humanos se debe restringir en forma parcial o total, en consideración a las características que presentan. En esta tipología se establecen dos categorías con sus correspondientes sub categorías:

1.- De Riesgo de Origen Natural

- a. Áreas de Alto Riesgo Natural por Inundación.
- b. Lugares críticos de concentración de Aguas.
- c. Cauces Artificiales.
- d. Suelos de Mal Drenaje.

2.- De Riesgo por Actividades Peligrosas

Para este estudio es de importancia la categoría 1.a que a su vez presenta una sub categoría de Áreas de Alto Riesgo Natural por Inundación de Cauces Naturales, que comprenden el cauce y fajas adyacentes. Donde se permite sólo las instalaciones mínimas complementarias a las actividades al aire libre, por lo cual se prohíbe expresamente todo tipo de edificaciones y construcciones que impliquen la presencia prolongada de personas o la concentración de ellas sin posibilidad de evacuación expedita y/o que interfieran el libre curso de las aguas.

Los proyectos de urbanización, edificación y/o destinados al acondicionamiento y explotación de los terrenos emplazados en estas áreas, cualquiera sea su finalidad, deberán ser aprobados además por el Ministerio de Obras Públicas, en forma previa a su ejecución o iniciación. Los propietarios de terrenos afectados por estas normas, podrán desarrollar estudios y proyectos específicos, debidamente aprobados por el Ministerio de Obras Públicas, en los cuales se determinen en detalle los límites del área inundable que afecte a su predio, como asimismo las obras que deben realizarse para protegerlo. Si como consecuencia de estudios específicos, resultaran anchos de restricción menores que los establecidos en los cuadros siguientes, se deberá respetar en cada caso el ancho mínimo de área verde fijado para los "Parques Quebradas".

A continuación, se presenta la tabla que define las fajas de restricción para las quebradas de la comuna de Lo Barnechea. Estas franjas de restricción adyacentes a cada borde del cauce están referidas al plano, por lo tanto en pendiente, el distanciamiento mínimo corresponderá a la faja resultante de la proyección de estos.

Cuadro Apéndice D—2 Franjas de restricción para las quebradas de la comuna de lo Barnechea (PRMS)

Nombre Quebrada	Código	Tramo Normado	Ancho Min. Fa ja Restr. a c/ borde
Agua de Aranda	N-1	Desde Límite Extensión Urbana hasta Río Mapocho	40m
El Aji	N-2	Desde Límite Extensión Urbana hasta Río Mapocho	40m
Las Zorras	N-3	Desde su nacimiento hasta el Canal de La Dehesa	40m
El Gabino o Del Garín	N-4	Desde Límite Extensión Urbana hasta Estero Las Hualtatas	40m
Los Loros y brazo secundario	N-5	Desde cota 2.300 1.800 m.s.n.m., respectivamente, hasta confluencia quebrada El Manzano.	40m
El Manzano	N-5	Desde intersección quebrada Los Loros, hasta estero Las Hualtatas	40m
El Quisco	N-6	Desde cota 1.100 m.s.n.m., hasta estero Las Hualtatas	40m
El Maqui y brazos secundarios 1,2 y 3	N-7	Desde cota 1.900, 1.800 y 1.700 m.s.n.m., respectivamente, hasta confluencia estero Las Hualtatas	40m
Esteros Las Hualtatas	N-7	Desde intersección quebrada El Maqui, hasta el Río Mapocho	40m
El Carrizo	N-8	Desde Límite Extensión Urbana hasta Estero Las Hualtatas	40m
Los Chanchos	N-9	Desde Límite Extensión Urbana hasta Estero Las Hualtatas	40m
Los Carboneros	N-10	Desde Límite Extensión Urbana hasta Estero Las Hualtatas	40m
El Guindo	N-11	Desde Límite Extensión Urbana hasta Estero Las Hualtatas	40m
El Padre	N-12	Desde Límite Extensión Urbana hasta El Canal Conchalí	40m
El Abuelo	N-13	Desde Límite Extensión Urbana hasta Canal Metropolitano Desde canal Metropolitano hasta Canal Conchalí	40m 25m
Agua del Palo	N-14	Desde Límite Extensión Urbana hasta Canal Metropolitano Desde canal Metropolitano hasta canal Conchalí	40m 25m
La Ermita-La Totorá	N-15	Desde Límite Extensión Urbana hasta Límite Urbano	40m
Del Cerro Gordo	N-16	Desde Límite Extensión Urbana hasta Límite Urbano	40m
Los Pozos	N-17	Desde Límite Extensión Urbana hasta Límite Urbano	40m
El Sauce	N-18	Desde Límite Extensión Urbana hasta Camino de Cintura	40m
La Mina-Los Maitenes	N-19	Desde Límite Extensión Urbana hasta Camino de cintura	40m
El Mal Paso	N-20	Desde Límite Extensión Urbana hasta camino de Cintura	40m

FUENTE: PLAN REGULADOR METROPOLITANO DE SANTIAGO (PRMS). MINVU, 1994, Y SUS ACTUALIZACIONES.

NOTA: DE ACUERDO CON LO EXPRESADO EN ORD. DOH-RM N° 0884 DE FECHA 19.10.2004, EN EL PREDIO DEL CPEIP CORRESPONDE APLICAR UNA FRANJA DE RESTRICCIÓN POR RIESGO DE INUNDACIÓN DE 20 M PARA LA QUEBRADA EL GABINO O DEL GARIN (N-4), MEDIDOS DESDE EL EJE GEOMÉTRICO DE SU CAUCE HACIA EL INTERIOR DEL PREDIO.

D.2.2 *Estudio de Riesgo y Protección Ambiental Plan Regulador Comunal de Lo Barnechea. Municipalidad de Lo Barnechea, elaborado por Infracon Consultores, 2014.*

Estudio Fundado de Riesgos en los cauces de 31 quebradas no reguladas por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS). Los resultados corresponden a la identificación y zonificación de las áreas urbanas susceptibles a ser afectadas por un peligro natural de acuerdo a los criterios y definiciones expuestos en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

Debido a que las subcuencas en estudio no cuentan con registros fluviométricos, la estimación de los caudales máximos puntuales se realizó mediante modelos de precipitación-escorrentía, considerando las recomendaciones de la DGA para la estimación de caudales máximos en cuencas sin información fluviométrica (DGA-MOP, 1995), los criterios de diseño del Manual de Carreteras (MOP, 2018) y la Guía de Diseño de Técnica Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos (MINVU, 1996). Los resultados consisten en mapas de inundación para crecidas de 100 años de período de retorno. En el Cuadro Apéndice D—3, se presentan los parámetros geomorfológicos para las cuencas del estudio.

Los valores de la precipitación diaria de diez años de periodo de retorno para cada una de las subcuencas fueron obtenidos a partir del mapa de isoyetas del Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias para el Gran Santiago.

Cuadro Apéndice D—3 Parámetros morfométricos de las cuencas

Quebrada	A (km²)	Lc (km)	Sm (%)	Hmín(m)	Hm (m)	Hmáx (m)
Afluente Oscura I	0,104	0,421	38,76	902,2	988,3	1070,0
Afluente Oscura II	0,130	0,584	39,85	905,7	1006,1	1082,5
Afluente Oscura III	0,148	0,750	39,38	909,0	1015,3	1140,0
Chorro de la Vieja	0,379	1,172	33,90	826,0	1067,1	1240,0
Del Ñinhue	1,978	2,390	56,58	971,7	1494,8	1950,0
El Parrón	3,599	3,838	57,01	935,9	1411,1	1859,5
Huallalolén	2,980	3,611	65,11	951,9	1489,3	1950,0
La Carbonera I	2,095	3,093	38,18	935,6	1255,4	1630,0
La Laguna	0,425	1,375	22,68	859,7	922,2	1020,0
Las Lechuzas	2,539	3,987	26,67	926,0	1153,3	1550,0
Quebrada Grande/Las Nipas	0,546	1,414	23,98	844,6	929,3	1022,0
Las Varas	3,522	3,937	44,41	917,0	1206,9	1630,0
Los Clarines	0,606	1,986	29,02	887,1	1087,3	1290,0
Los Pitufos (Nido de Águilas)	0,389	1,221	22,74	853,4	925,0	1020,0
Los Quillayes	2,408	3,197	41,39	965,4	1172,9	1440,0
Oscura	4,377	6,061	28,05	915,9	1320,3	1700,0
Q2	0,458	1,636	26,89	925,7	1024,7	1190,0
Q3	0,188	0,883	29,24	924,0	987,7	1114,5
Q7	0,418	1,130	38,91	969,9	1093,2	1222,0
Q9	0,168	0,633	47,02	910,9	1022,9	1126,5
Q10	0,267	1,250	47,56	922,2	1055,1	1168,0
Q11	0,305	0,889	47,70	935,9	1085,1	1204,2
Q12	0,495	1,323	61,91	990,0	1343,8	1702,3
Q13	0,500	1,610	61,87	909,9	1184,0	1540,0
Q14	0,483	0,941	69,72	901,0	1259,3	1618,3
Q15	0,726	1,379	66,49	947,9	1364,6	1719,1
Q16	0,945	1,760	56,78	974,0	1364,8	1708,0
Q17	0,202	0,657	65,46	970,4	1246,1	1469,3
Q18	0,143	0,500	62,58	976,8	1160,7	1365,0
Q19	0,443	0,837	55,92	867,9	1061,8	1220,0
Q21	0,397	1,362	29,92	883,2	1047,0	1170,0

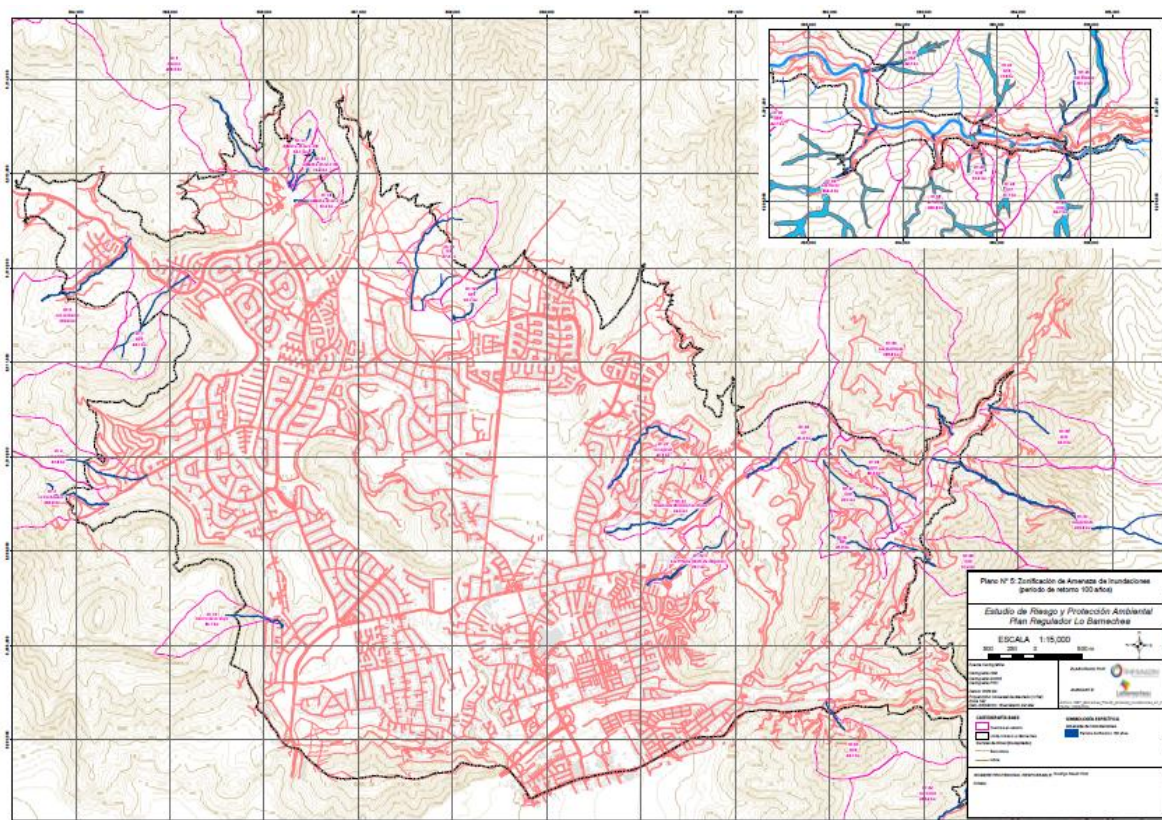
En el Cuadro Apéndice D—4, se presentan los resultados de caudales máximos instantáneos de 100 años de periodo de retorno. Estos caudales fueron estimados con el método racional el cual entregó los caudales más conservadores para todas las cuencas.

Cuadro Apéndice D—4 Caudal instantáneo de 100 años de periodo de retorno estimadas por el Método Racional.

Quebrada	Ap (km ²)	PDT (mm)	i (mm/hr)	C	Qi (m ³ /s)
Afluente Oscura I	0,10	16,63	16,63	0,36	0,17
Afluente Oscura II	0,13	16,63	16,63	0,38	0,23
Afluente Oscura III	0,15	16,63	16,63	0,37	0,26
Chorro de la Vieja	0,38	16,63	16,63	0,35	0,62
Del Ñinhue	1,98	20,33	20,33	0,35	3,91
El Parron	3,60	19,40	19,40	0,35	6,79
Huallalolen	2,98	20,10	20,10	0,35	5,84
La Carbonera I	2,09	16,63	16,63	0,35	3,42
La Laguna	0,42	17,79	17,79	0,55	1,15
Las Lechuzas	2,54	16,63	16,63	0,36	4,24
Quebrada Grande/Las Nipas	0,55	17,79	17,79	0,48	1,30
Las Varas	3,52	18,94	18,94	0,35	6,52
Los Clarines	0,61	16,63	16,63	0,39	1,10
Los Pitufos (Nido de águilas)	0,39	17,79	17,79	0,41	0,79
Los Quillayes	2,41	19,17	19,17	0,38	4,90
Oscura	4,38	16,63	16,63	0,35	7,08
Q2	0,46	17,09	17,09	0,35	0,77
Q3	0,19	17,09	17,09	0,35	0,31
Q7	0,42	18,25	18,25	0,38	0,80
Q9	0,17	18,48	18,48	0,37	0,32
Q10	0,27	18,71	18,71	0,40	0,55
Q11	0,30	18,71	18,71	0,42	0,66
Q12	0,50	20,10	20,10	0,35	0,97
Q13	0,50	19,17	19,17	0,35	0,94
Q14	0,48	19,40	19,40	0,35	0,91
Q15	0,73	19,87	19,87	0,35	1,40
Q16	0,95	20,10	20,10	0,35	1,85
Q17	0,20	19,87	19,87	0,35	0,39
Q18	0,14	19,64	19,64	0,35	0,27
Q19	0,44	18,25	18,25	0,36	0,82
Q21	0,40	16,63	16,63	0,35	0,65

Finalmente, en base a los caudales máximos instantáneos para un periodo de retorno de 100 años se realiza la modelación hidráulica de las quebradas mediante el software HEC RAS entregando los resultados que se presentan en la Figura Apéndice D—2.

Figura Apéndice D—2 Resultados del modelo de inundación para un periodo de retorno de 100 años.



FUENTE: ESTUDIO DE RIESGO Y PROTECCIÓN AMBIENTAL PLAN REGULADOR COMUNAL DE LO BARNECHEA. MUNICIPALIDAD DE LO BARNECHEA, ELABORADO POR INFRACON CONSULTORES, 2014.

D.2.3 *Plan Maestro de Aguas Lluvias del Gran Santiago (PM-01). Dirección de Obras Hidráulicas, MOP, elaborado por CADE-IDEPE. 2001.*

En el capítulo IV.5 de este informe se realiza el catastro y capacidad hidráulica de los cauces naturales en zonas urbanas donde las cuencas aportantes de escorrentía a sectores urbanos se han clasificado en nueve grandes grupos. Los grupos que contienen a las zonas estudiadas corresponden a:

- El segundo grupo (Grupo II): Corresponde a la cuenca del río Mapocho antes de ingresar al área urbana, destacándose dentro de la hoya los ríos San Francisco y Molina, de la unión de los cuales nace el río Mapocho, y el estero Arrayán afluente a este último en su sector de ingreso al área urbana.
- El tercer grupo (Grupo III): Comprende todas las quebradas que rodean la zona urbana de la comuna de Lo Barnechea por el oriente, norte y poniente, extendiéndose como un gran anfiteatro, al sur del cual se encuentra el río Mapocho, el cual es el receptor final de las aguas. Estas quebradas han sido canalizadas en diversos tramos al cruzar el área urbana.

En ambos casos se analizaron los grandes cauces naturales que atraviesan el área urbana y aquellas quebradas que ingresan al área urbana con un cauce definido. Para las demás quebradas se consideró que concluyen al llegar a las urbanizaciones y actúan como aportantes de escorrentía hacia éstas.

Para el grupo II de la cuenca del río Mapocho, se realizó el análisis de la capacidad hidráulica del río Mapocho basado principalmente en el “Estudio de Antecedentes para la Proposición de Deslindes en el Río Mapocho. Sector Puente San Enrique - Américo Vespucio Poniente”, realizado por Luis Arrau del Canto para el Departamento de Obras Fluviales de Vialidad, del Ministerio de Obras Públicas en 1996. El objetivo básico de dicho estudio fue proporcionar antecedentes para la fijación de deslindes del río Mapocho. Para esto, se efectuó un estudio del eje hidráulico a lo largo de un tramo de 32 km, comprendido entre los puentes San Enrique y Américo Vespucio Poniente.

En el Cuadro Apéndice D—5 se presentan los caudales de crecida adoptados en el río Mapocho, y en el

Cuadro Apéndice D—6 la capacidad hidráulica de los puentes.

Cuadro Apéndice D—5 Caudales de crecidas río Mapocho

Tramo	Kilómetro		Período de Retorno T (años)						
	Final	Inicial	2	5	10	25	50	100	200
8	32.315	29.516	250	470	640	850	1.000	1.100	1.300
7	29.516	25.073	310	530	700	920	1.080	1.250	1.420
6	25.073	19.982	310	530	700	920	1.080	1.250	1.420

Cuadro Apéndice D—6 Capacidad hidráulica de los puentes del río Mapocho

Kilometraje	Puente	T (años)	Q (m³/s)
32,051	San Enrique	> 200	> 1.300
30,805	Pasarela Quinchamalí	> 200	> 1.300
29,411	Tubería en Puente Nuevo	> 200	> 1.300
29,366	Nuevo La Dehesa	> 200	> 1.300
24,388	Lo Curro	> 200	> 1.420
21,274	Centenario	> 200	> 1.420

Las conclusiones del estudio para el río Mapocho son que el río entre el Puente San Enrique y A. Vespucio, está en condiciones de conducir caudales de períodos de retorno altos, entre 100 y 200 años, excepto en la zona poniente, la cual presenta situación de desbordes para períodos de retorno menores, con problemas en algunos puentes. En la zona canalizada y en la zona oriente, se observan problemas sólo para algunos puentes y desbordes puntuales para las crecidas indicadas.

Para el grupo III de las quebradas que rodean la zona urbana de la comuna de Lo Barnechea, la información recopilada permitió determinar la capacidad de los cauces para evacuar crecidas de distintos periodos de retorno, sobre la base del análisis de tramos y sectores críticos y los antecedentes de los respectivos estudios hidrológicos.

En el

Cuadro Apéndice D—7 se presentan los caudales de crecida considerando una línea de nieve a 2000 msnm para las cuencas del grupo III y sus afluentes.

En el

Cuadro Apéndice D—8 se presenta el estudio de la capacidad de los cauces en base a las singularidades que presento cada quebrada.

Cuadro Apéndice D—7 Caudales de crecida (m³/s)

Cuenca	Periodo de Retorno (años)		
	2	10	100
Q. El Ají	0,91	1,45	2,66
Q. El Gabino	2,08	4,20	7,99
Q. Las Rosas	3,72	7,48	13,94
Q. El Manzano	1,06	2,21	4,24
Q. El Culén	1,50	3,10	4,17
Q. Las Hualtatas	16,74	30,39	55,68
Q. El Carrizo Bajo	9,80	18,02	32,98
Q. Oscura	13,87	25,83	48,37
Q. La Carbonera	2,75	5,25	9,62
Q. Los Chanchos	1,27	2,04	3,75
El Guindo	2,75	5,22	9,54
E. Arrayán	60,84	102,20	173,11

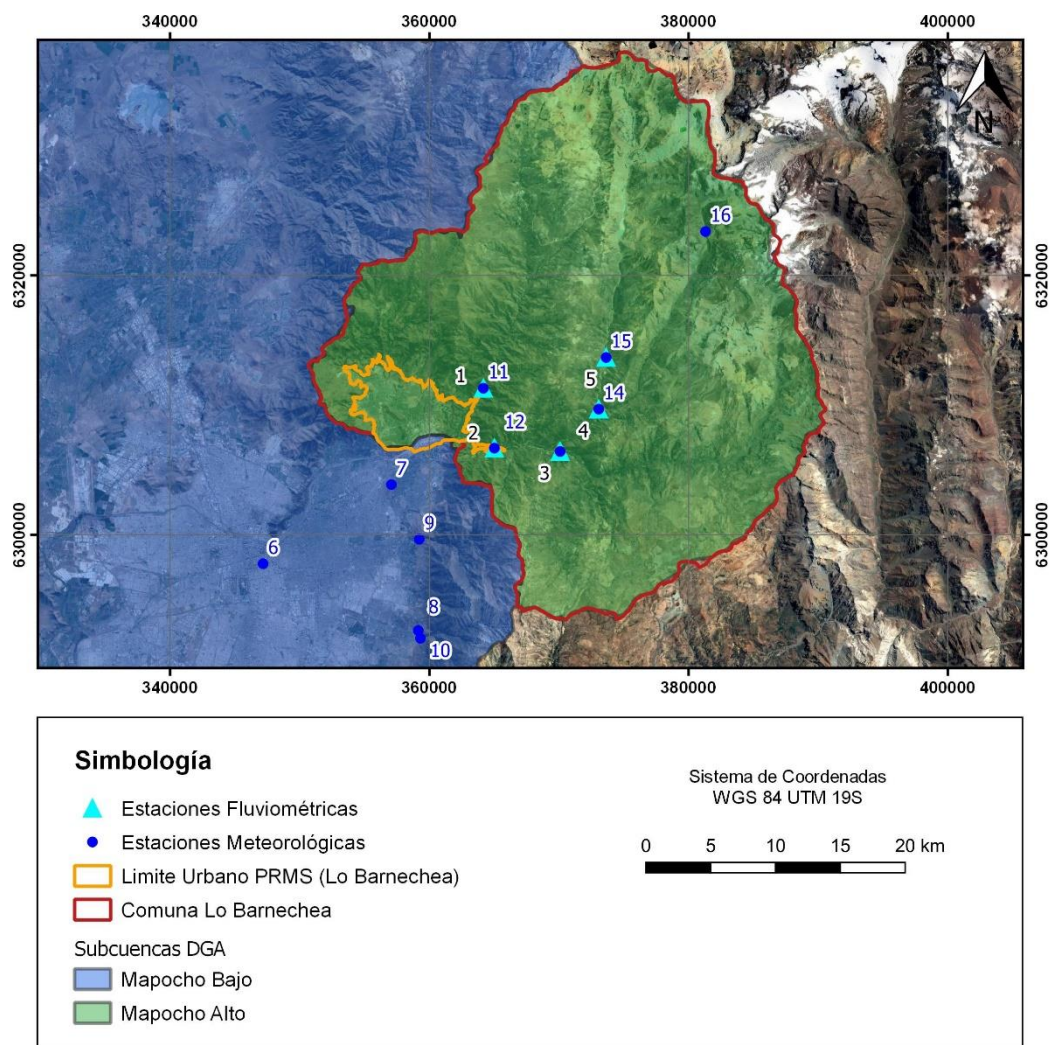
Cuadro Apéndice D—8 Capacidad de los cauces del Grupo II

Quebrada	Capacidad
Q. El Ají	Entubada en algunos cruces con capacidad $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$.
Q. El Gabino	Entubada en algunos tramos lo que reduce su capacidad a $Q < 1 \text{ m}^3/\text{s}$.
Q. Las Rosas	Amplia capacidad de porteo, incluso para $Tr = 100$ años ($Q = 14 \text{ m}^3/\text{s}$).
Q. El Manzano	Capacidad suficiente para $Tr = 100$ años ($Q = 4,6 \text{ m}^3/\text{s}$)
Q. El Culén	Capacidad amplia inclusive para $Tr = 100$ años ($4,2 \text{ m}^3/\text{s}$)
Q. Las Hualtatas	Capacidad suficiente para $Tr = 100$ años
Q. El Carrizo Bajo	Se encuentra canalizado con capacidad para $Tr > 100$ años.
El Guindo	Capacidad suficiente para $Tr > 100$ años
E. Arrayán	Canalización del sector camino El Cajón tiene una capacidad $Q = 69,1 \text{ m}^3/\text{s}$ insuficiente para $Tr = 5$ años.

D.3 Información Hidrometeorológica

La información hidrometeorológica disponible en la red de estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA) corresponde a estaciones meteorológicas y fluviométricas. Las primeras entregan información relacionada a precipitaciones (y otros parámetros climáticos), mientras que las segundas entregan información de caudales. Para el análisis se han considerado las estaciones fluviométricas en la subcuenca Mapocho Alto de acuerdo a la delimitación de cuencas de la DGA, que contiene en su delimitación a la comuna de Lo Barnechea, y estaciones meteorológicas que se ubican igualmente en la subcuenca Mapocho Alto y al poniente, en la subcuenca Mapocho Bajo, de acuerdo al detalle presentado en la Figura Apéndice D—3.

Figura Apéndice D—3 Estaciones meteorológicas y fluviométricas DGA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA BNA-DGA

En el Cuadro Apéndice D—9 se presenta el detalle de las estaciones fluviométricas, mientras que en el Cuadro Apéndice D—10 se entrega la información correspondiente a las estaciones meteorológicas. Complementando lo anterior se entrega en el

Cuadro **Apéndice D—11** (estaciones fluviométricas) y en el Cuadro Apéndice D—12 (estaciones meteorológicas) la extensión de la información disponible para descarga en el sitio web de la DGA (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>), considerando los meses con más de 20 datos como meses completos. Es posible notar que a nivel fluviométrico las estaciones con un registro más largo corresponden a Río Mapocho en Los Almendros y Estero Arrayán en La Montosa, mientras que a nivel meteorológico son Terrazas oficinas centrales DGA, Antupirén y Cerro Calán.

Cuadro Apéndice D—9 Estaciones Fluviométricas DGA

N°	Cod. BNA	Estación	Coordenadas UTM WGS84 19S		Altitud	Fecha Inicio	Estado
			Este	Norte			
1	05722001-5	Estero Arrayan en La Montosa	364.171	6.311.298	880	01/08/1980	Vigente
2	05722002-3	Río Mapocho en Los Almendros	365.020	6.306.679	966	01/01/1986	Vigente
3	05720001-4	Río Molina antes junta San Francisco	370.094	6.306.419	1.158	01/09/1974	Vigente
4	05721001-K	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	373.072	6.309.689	1.350	01/09/9174	Vigente
5	05721016-8	Río San Francisco antes junta Estero Yerba Loca	373.641	6.313.676	1.550	01/05/2009	Vigente

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA BNA-DGA

Cuadro Apéndice D—10 Estaciones Meteorológicas DGA

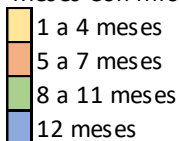
N°	Cod. BNA	Estación	Coordenadas UTM WGS84 19S		Altitud	Fecha Inicio	Estado
			Este	Norte			
6	05730016-7	Terraza oficinas centrales DGA	347.173	6.297.768	560	01/01/1960	Vigente
7	05730012-4	Cerro Calán	357.078	6.303.869	848	01/06/1975	Vigente
8	05730013-2	Antupirén	359.149	6.292.612	904	01/06/1975	Vigente
9	05730008-6	Quebrada Ramon en recinto EMOS	359.226	6.299.663	845	01/07/1996	Vigente
10	05730039-6	Quebrada de Macul	359.320	6.292.012	950	29/04/2003	Vigente
11	05722001-5	Estero Arrayan en La Montosa	364.171	6.311.298	880	01/08/1980	Vigente
12	05722002-3	Río Mapocho en Los Almendros	365.020	6.306.679	966	01/01/1986	Vigente
13	05720001-4	Río Molina antes junta San Francisco	370.094	6.306.419	1.158	01/09/1974	Vigente
14	05721001-K	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	373.072	6.309.689	1.350	01/09/1974	Vigente
15	05721016-8	Río San Francisco antes junta Estero Yerba Loca	373.641	6.313.676	1.550	01/05/2009	Vigente
16	05721017-6	Estero Yerba Loca en Piedra Carvajal	381.313	6.323.390	3.250	21/04/2011	Vigente

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA BNA-DGA

Cuadro Apéndice D—11 N° de meses con información en estaciones fluviométricas

ESTACIÓN	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Estero Arrayan en La Montosa					
Río Mapocho en Los Almendros					
Río Molina antes junta San Francisco					
Estero Yerba Loca antes junta San Francisco					
Río San Francisco antes junta Estero Yerba Loca					

Meses Con información



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA BNA-DGA

Cuadro Apéndice D—12 N° de meses con información en estaciones meteorológicas

ESTACIÓN	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Terraza oficinas centrales DGA						
Cerro Calán						
Antupirén						
Quebrada Ramon en recinto EMOS						
Quebrada de Macul						
Estero Arrayan en La Montosa						
Río Mapocho en Los Almendros						
Río Molina antes junta San Francisco						
Estero Yerba Loca antes junta San						
Río San Francisco antes junta Estero						
Estero Yerba Loca en Piedra Carvajal						

Meses Con información



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA BNA-DGA

Apéndice E Línea Base de Sismicidad

El contexto geodinámico de subducción dado por la convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana, emplaza al territorio chileno sobre un borde tectónicamente activo que ha caracterizado la historia sísmica del país. El fenómeno de convergencia entre las placas oceánica y continental produce un alto nivel de acoplamiento mecánico en la zona de contacto interplacas, lo que genera acumulación de energía que es liberada generando grandes terremotos. Los sismos presentan una clara distribución, donde existe una banda sísmica activa muy angosta (100-150 Km de ancho) y profundidad variable (5-150 Km de profundidad) entre la fosa Perú-Chile, al oeste, y la Cordillera de los Andes, al este.

E.1 Tipos de sismos

Existen cuatro tipos de sismos que afectan al territorio chileno, y estos se reconocen en franjas paralelas de orientación aproximada NS, estas fuentes sismogénicas de oeste a este son: *outer-rise*; interplaca tipo *thrust*; intraplaca de profundidad intermedia; y corticales (Ver anexo B.1.1).

En la zona, el contacto entre las placas se extiende entre los 44 Km (Tichelaar & Ruff., 1993) y los 51 Km (Hayes, Wald, & Johnson, 2012) de profundidad, en esta zona ocurren la mayoría de los hipocentros de los terremotos que han ocurrido en la zona central. Entre este tipo de terremotos destacan: 1730, 1906 y 1985; cuyos largos de ruptura se ilustran en la Figura Apéndice E—1. Adicionalmente, la zona ha sido afectada por sismos intraplaca de profundidad intermedia, tales como los de 1647, 1965 y 1971; y otros sismos de magnitud cercana a 7 con características de terremoto, como el sismo de 1822.

Antes de 1960 el registro de los sismos no tenía la precisión que trajeron los sismómetros modernos, por lo tanto, no existe información exacta para determinar las características de los terremotos previos a esta fecha. Las rupturas de los terremotos anteriores a esta fecha fueron estimadas a partir de datos históricos y la intensidad de los daños de cada uno de los eventos con la metodología propuesta por Kausel & Ramírez (1992). A continuación, se muestran los datos de los sismos de subducción con magnitud superior a 7.2 con zona de ruptura frente a la comuna.

Cuadro Apéndice E—1 Datos de terremotos históricos de subducción con magnitud superior a 7.2 cuya zona de ruptura coincide con el área de estudio.

Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud Aprox.	Año	Mes	Día
-33.05	-71.63	-	8.9	1730	07	07
-33 ≈	-	25	8.2	1906	08	16
-32.01	-71.17	50 a 60 km	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

Estos sismos anteriormente citados como terremotos de subducción, son denominados por su fuente sísmica como interplaca tipo *thrust*, y tal como se mencionó representan un tipo de las cuatro fuentes que pueden afectar al territorio. A partir de la sismicidad registrada por la red sismológica internacional se puede visualizar la distribución de las cuatro fuentes que se describirán a continuación (Figura Apéndice E—2).

Figura Apéndice E—1 Terremotos de subducción históricos con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2 y sus respectivas áreas de ruptura.

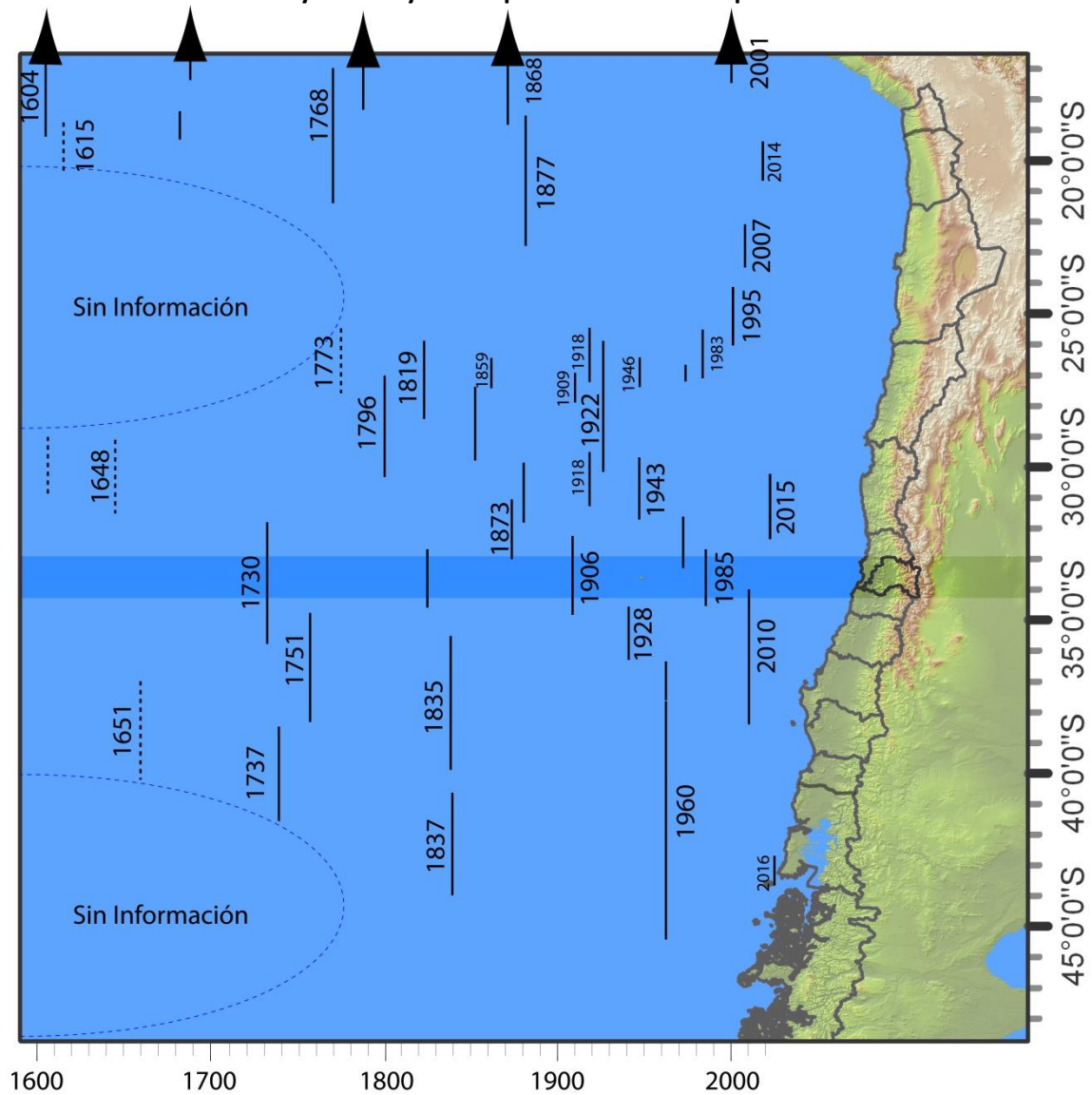
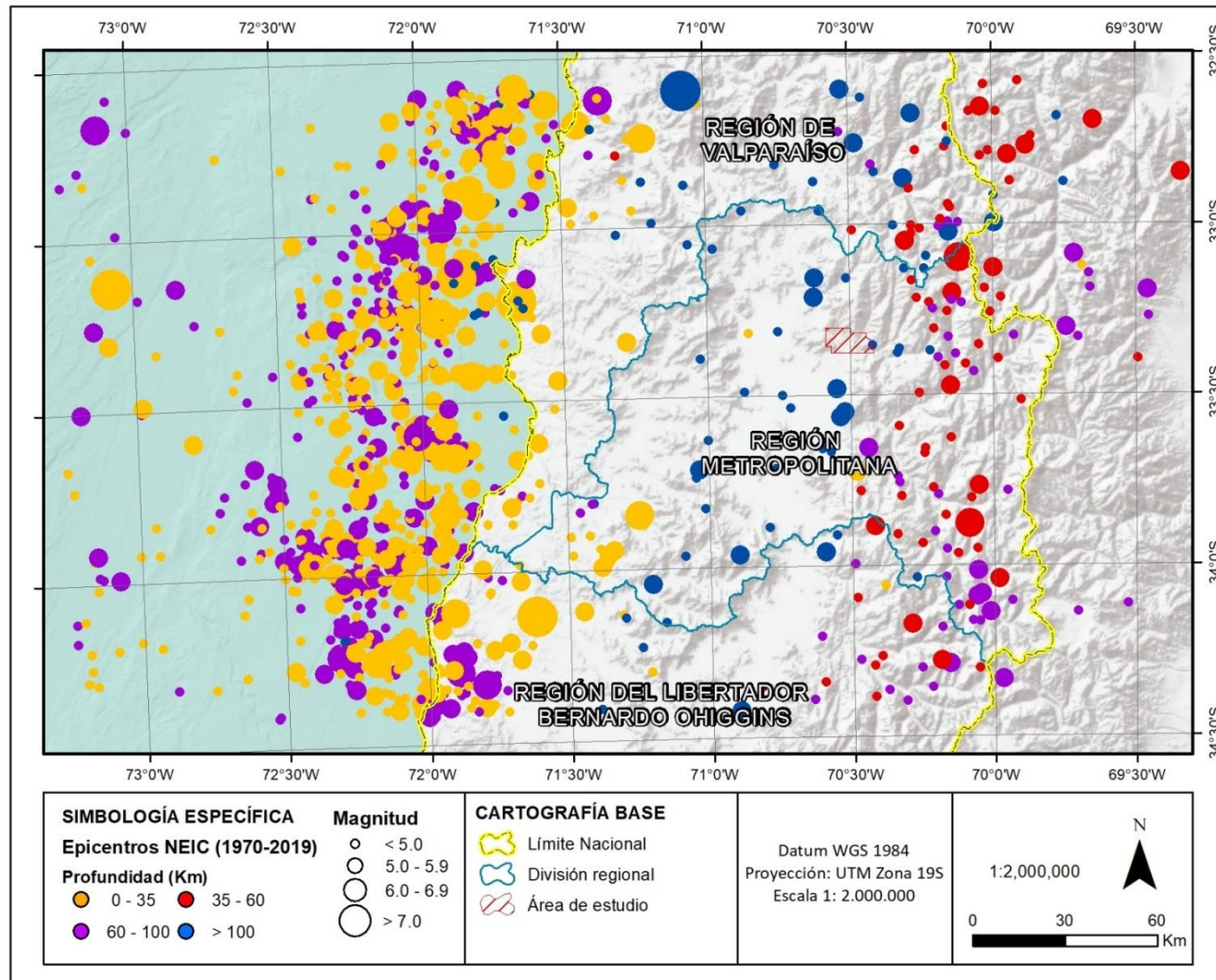


Figura Apéndice E—2 Mapa regional con epicentros de sismicidad registrada de magnitud superior a 4.5 por el catálogo NEIC entre 1970 y 2019.



En Figura Apéndice E—2 se pueden observar cuatro grupos subparalelos de franjas sísmicas, sobre el océano al extremo oeste de la figura se emplazan los sismos con fuente *outer-rise*, en la costa donde hay una mayor densidad de puntos se ubican los sismos con fuente interplaca tipo *thrust*, luego sobre el continente, donde se emplazan los valles centrales la fuente sísmica se denomina interplaca de profundidad intermedia, y en la zona cordillerana se generan los de fuente cortical. Las observaciones que se pueden realizar en la franja espacial entre los 32° y 34° aproximadamente, son las siguientes:

1. La mayor concentración de sismicidad en el periodo registrado por el catálogo NEIC se dispone en la línea paralela a la costa y mayormente sobre los 35 Km de profundidad. Son estos terremotos los que se generarían en el contacto de las placas, es decir, interplaca. Ejemplo de este sismo es el terremoto de 1985 de magnitud 7.2 Mw a 38 Km de profundidad según catálogo NEIC.
2. En la zona central sobre el continente, donde se ubican los valles transversales al norte y el valle central a la latitud de Santiago, la densidad de los sismos es menor que los terremotos interplaca y ocurren a una profundidad mayor a 100 Km (color azul). Estos sismos corresponden a la fuente sísmica intraplaca y dentro de esta categoría destacan los terremotos de 1965 y 1971 con profundidades entre 50 y 60 Km y magnitudes 7.6 M.w y 7.7 M.w respectivamente, este último se puede observar en la Figura Apéndice E—2. Estos eventos afectaron fuertemente a la Región Metropolitana.
3. En la franja cordillerana con una distribución más dispersa se ubican los terremotos cordilleranos de menor magnitud que el resto de los sismos. Estos sismos están asociados a la deformación actual de la cordillera.

En resumen, la comuna de Lo Barnechea se encuentra expuesta a la ocurrencia de tres tipos de sismos observables en la Figura Apéndice E—2, (1) sismos interplaca tipo *thrust*; (2) sismos intraplaca de profundidad intermedia, (3) sismos cordilleranos.

- **Sismos interplaca tipo *thrust***

Como se ha mencionado, esta fuente sismogénica ocurre en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana, estos eventos que suelen tener grandes magnitudes generan terremotos con alta capacidad de daños a la infraestructura. En la zona de estudio destacan los terremotos de Valparaíso de 1906 con magnitud 8.2 Mw y de Algarrobo de 1985 con magnitud 7.8 según el Centro Sismológico Nacional (CSN)².

- **Sismos intraplaca de profundidad intermedia**

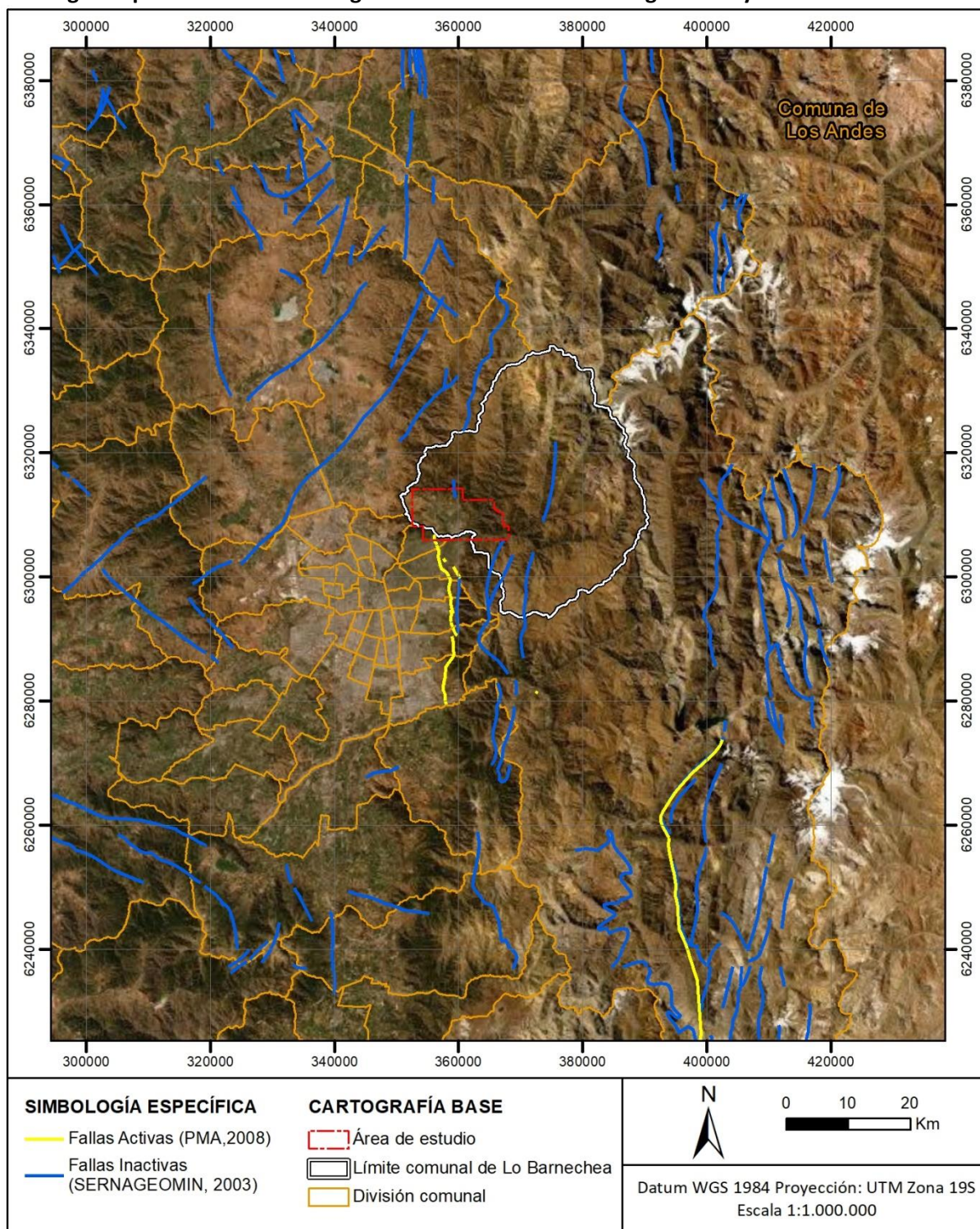
Esta fuente sísmica está asociada a los terremotos que ocurren dentro de la placa de Nazca, por ello sus profundidades son mayores a 50 Km y pueden llegar a los 200 Km. Este tipo de sismos que presentan una menor frecuencia en comparación a los interplaca, estarían asociados a eventos con un potencial muy destructivo con altas aceleraciones máximas debido a la trayectoria que tendrían las ondas desde el hipocentro. De los terremotos históricos destaca el Santiago de 1647, que podría estar asociado a una fuente intraplaca (Cisternas, 2012), el cual

² <http://www.csn.uchile.cl/sismologia/grandes-terremotos-en-chile/> consultado el 12/12/19.

corresponde a uno de los sismos más catastróficos ocurridos en la zona de estudio. Dentro de eventos más recientes destacan los sismos de La Ligua de 1965 e Illapel de 1971.

- **Sismos Cordilleranos**

Corresponden a sismos ocurridos en la zona cordillerana, de estos destacan los sismos corticales generados por fallas geológicas activas. Este tipo de fuente sismogénica se encuentra asociado a eventos de baja profundidad, menores a 30 Km. De acuerdo a los datos levantados por SERNAGEOMIN (2003) y PMA-GCA (2007), solo se reconocería una falla regional como una estructura activa cercana a la comuna (Figura Apéndice E—3), por otro lado, el catálogo NEIC muestra que si habrían algunos pocos eventos de esta categoría pero que al parecer no estarían asociados a esta misma estructura.

Figura Apéndice E—3 Fallas regionales activas e inactivas según PMA y SERNAGEOMIN.

Como se detalló en la línea de base geomorfológica, la comuna de Lo Barnechea se ubica en el límite entre la Cordillera Principal y la Depresión Central, zona que se conoce como frente cordillerano occidental. El frente cordillerano oriental está caracterizado por la ocurrencia de fallas inversas que alzan la cordillera respecto a la depresión central, lo anterior está evidenciado por morfologías como escarpes de falla, terrazas fluviales deformadas, abanicos aluviales cortados por falla y estructuras como pliegues y fallas secundarias que afectan tanto a rocas como a depósitos no consolidados, lo que corresponde a evidencias geológicas de fallas activas (Rauld, 2002; Armijo, y otros, 2010; Rauld, 2011).

En el frente cordillerano occidental la falla más estudiada corresponde a la Falla San Ramón, y su traza superficial está bien delimitada al oeste de Santiago entre los ríos Mapocho y Maipo (Rauld, 2002; Armijo, y otros, 2010; Rauld, 2011). La Falla San Ramón corresponde a la falla inversa más occidental de la cordillera principal y que alza la cordillera sobre el valle central. Esta falla presenta evidencias de actividad durante el Cuaternario, incluyendo el Holoceno y ha estado activa, al menos, desde el Mioceno ya que deforma rocas de la Formación Abanico.

El trazado reconocido de la Falla San Ramón se sigue en el Valle de Santiago hasta el Cerro Alvarado por el norte (Rauld, 2002). En la comuna de Lo Barnechea no ha sido estudiado con detalle, pero se considera que el frente cordillerano occidental, corresponde al sector entre el cordón de las Pozas y el valle del estero El Arrayán en base a las estructuras y morfologías que se observan en dicho sector y su relación con la traza de la falla San Ramón ubicada más al sur.

E.2 Catastro de Sismos

Se recopilaron los principales terremotos registrados en la zona central que afectaron a la zona, con base en Urrutia & Lanza (1993) y Petit-Breuilh (2004).

Terremoto del 13 de Mayo de 1647: La ciudad de Santiago quedó prácticamente arruinada, se cayeron la mayoría de los edificios. Los efectos del terremoto abarcaron desde los ríos Limarí y Choapa por el norte y hasta Cauquenes y Maule por el sur.

Terremoto de 22 de Julio de 1687: De intensidad aproximada de VII. Su epicentro se ubica entre San Felipe y La Ligua, con latitud entre los 32º y 34º sur. Daños en convento en San Felipe y daños en Santiago.

Terremoto del 8 de Julio de 1730 ($M \approx 8.9$): Es considerado uno de los mayores sismos que han afectado el territorio de Chile, con magnitud estimada entre 8.5 y 9. Produjo daños entre La Serena-Coquimbo y Chillán. Grandes daños en San Felipe, Tiltil y Renca. Y un maremoto que afectó la zona centro y sur de Chile.

Terremoto del 19 de Noviembre de 1822: Sismo que fue sentido desde Illapel hasta Chiloé. Valparaíso y Quillota fueron afectados, falleciendo en la primera 66 personas. En Santiago no se registraron personas muertas.

Terremoto del 2 de Abril de 1851: Terremoto que causó daños de consideración en Valparaíso y Santiago, dejando una decena de muertos y varios heridos. Grandes daños se registraron en el pueblo de Renca y Pudahuel.

Terremoto del 7 de Julio de 1873: El terremoto afectó la zona central del país produciendo los mayores daños en Petorca, la Ligua y los alrededores. Daños menores en Santiago y Valparaíso.

Terremoto del 16 de Agosto de 1906 (M=8.2): El epicentro de este terremoto se ubicó entre Limache y Valparaíso. Hubo más de dos mil personas fallecidas. En Santiago se registraron daños de consideración. Hubo levantamientos de terreno en la costa.

Terremoto del 14 de Abril de 1927: Terremoto de intensidad IX. El epicentro fue entre los volcanes Tupungato y Aconcagua. Las zonas afectadas fueron Santiago, San Felipe, Los Andes, Mendoza. El sismo produjo grandes daños, pérdidas humanas y heridos.

Terremoto del 28 de Marzo de 1965 (M =7.6): El epicentro se encontró en la comuna de la Ligua. La profundidad del foco fue de 50 a 60 km. En Santiago murieron dos personas.

Terremoto del 8 de Julio de 1971 (M =7.75): Afectó principalmente las zonas de Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso y Santiago.

Terremoto del 3 de Marzo de 1985 (M =7.7): El movimiento se sintió desde la III y IX región. Con este terremoto hubo destrucción de viviendas que causaron víctimas fatales, destrucción de pavimentos, caída de puentes.