

ESTUDIO “DIAGNÓSTICO E IMAGEN OBJETIVO ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA” REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO



ETAPA 2. REVISIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO
INFORME ETAPA 2

ESTUDIO DE DIAGNÓSTICO COMUNAL (EDC)

ANEXO 1:
DIAGNOSTICO DE ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL - PARTE 1

REVISIÓN 2.1
MAYO 2020



SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE VIVIENDA Y URBANISMO
REGIÓN METROPOLITANA



MUNICIPALIDAD DE QUILICURA

El presente documento corresponde a la ETAPA 2. REVISIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO de Estudio “DIAGNÓSTICO E IMAGEN OBJETIVO ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA”, encargado por la SEREMI, Región Metropolitana a INFRACON S.A.

EQUIPO CONSULTOR ESTUDIO:

Pablo Badilla Ohlbaum, Arquitecto Planificador
Pedro Silva Vidal, Arquitecto Planificador
Rodrigo Andrés Rauld Plott, Geólogo
Roberto Lara Venegas, Ingeniero Civil
Irene Baeza Pinto, Ingeniero Civil
Catalina Sánchez S., Geógrafo
Bernardita Arnello Viveros, Asistente Social
Catherine Barra Campaña, Cartógrafo

CONTRAPARTE TÉCNICA:

Secretaria Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo
Municipalidad de Quilicura
Región Metropolitana



**ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL
DE QUILICURA**

**ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN
AMBIENTAL**

MAYO 2020

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIRMAS DE PROFESIONALES RESPONSABLES

.....
Profesional responsable Estudio de Riesgos Naturales
Rodrigo Rauld Plott, Geólogo, Doctor en Ciencias, mención en Geología

.....
Profesional responsable Estudio de Riesgos por actividad humana, Zonas no Edificables y
Áreas de protección de recursos de valor natural y valor patrimonial cultural
Pablo Badilla Ohlbaum, Arquitecto

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

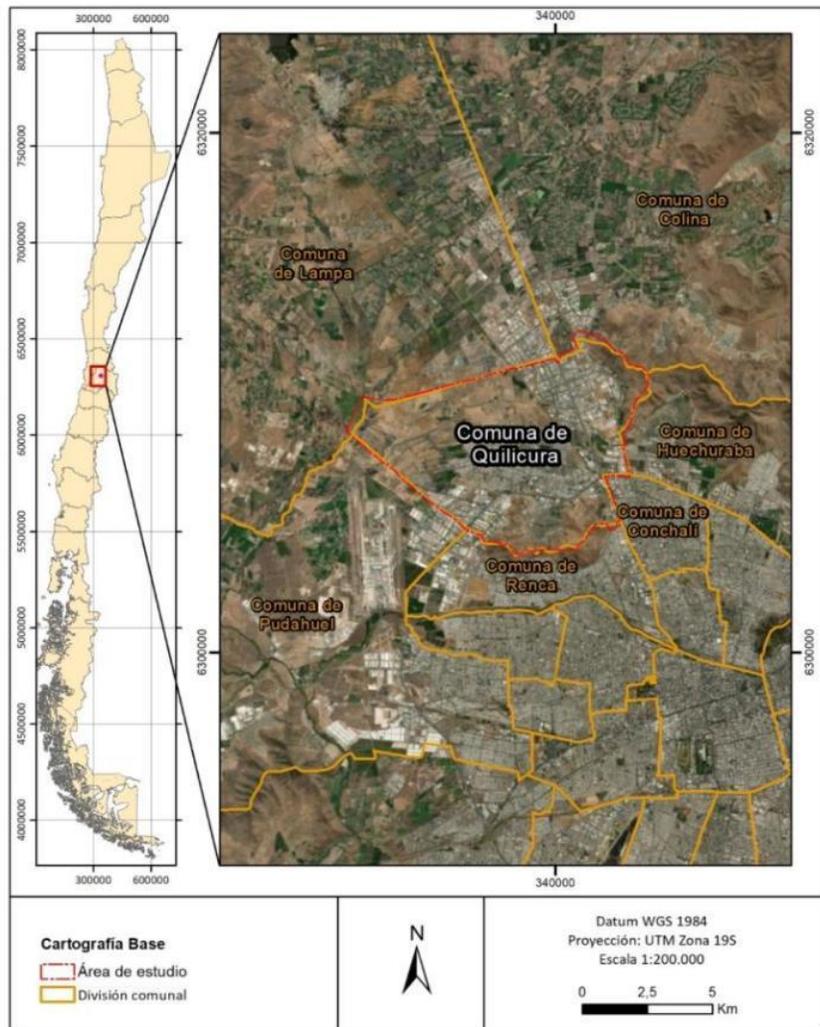
PREFACIO

El presente documento es un estudio especial que forma parte de la Memoria Explicativa de la Actualización del Regulator Comunal de Quilicura, denominado Estudio de Riesgos y de Protección Ambiental, en el cual se definen las áreas de restricción y condiciones para ser utilizadas de acuerdo a las disposiciones contempladas en los artículos 2.1.17. y 2.1.18. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Por tratarse de una comuna que está inserta en el área metropolitana de Santiago, también aplican en su territorio disposiciones establecidas por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago.

El área de estudio corresponde al área completa de la Comuna de Quilicura, ubicada en la Región Metropolitana, y limita al norte y noroeste con la comuna de Lampa y Colina, al sur con las comunas Pudahuel y Renca y al este con Huechuraba y Conchalí.

Comuna de Quilicura en el contexto de la región Metropolitana de Santiago



Fuente: Elaboración propia

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

ÁREAS RESTRINGIDAS AL DESARROLLO URBANO

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

CONTENIDOS

1. ÁREAS DE RIESGO DE ORIGEN NATURAL	2-3
1.1. Ubicación del área de estudio	2-3
1.2. Objetivo general.....	2-4
1.3. Alcance y limitaciones del presente informe	2-4
1.4. Marco jurídico y nomenclatura utilizada en este informe	2-4
2. Metodología	2-7
2.1. Recopilación de antecedentes	2-7
2.2. Elaboración de líneas de base.....	2-8
2.3. Catastro de peligros.....	2-8
2.4. Diagnóstico de peligros.....	2-8
2.5. Modelación de peligros	2-9
2.6. Elaboración de mapas de peligros.....	2-9
2.7. Definición de áreas de riesgo y recomendaciones.....	2-9
3. Principales aspectos de la línea base	3-10
3.1. Clima e hidrología	3-10
3.2. Geomorfología y geología.....	3-11
3.3. Hidrogeología.....	3-14
3.4. Sismicidad	3-14
4. Inundaciones terrestres	4-15
4.1. Catastro	4-15
4.2. Diagnostico	4-20
4.2.1. Inundaciones por desborde de cauces	4-20
4.2.2. Inundaciones por anegamiento	4-21
4.2.3. Inundación por afloramiento de napa.....	4-21
4.3. Modelación.....	4-25
4.3.1. Consideraciones	4-25
4.3.2. Estado actual del cauce del estero Las Cruces	4-25
4.3.3. Construcción del modelo hidráulico	4-26
4.4. Susceptibilidad.....	4-54
4.4.1. Inundación por desborde de cauce	4-54
4.4.2. Inundación por anegamiento.....	4-54
4.4.3. Inundación por afloramiento de napa.....	4-54
5. Remociones en masa	5-57
5.1. Catastro	5-57
5.2. Diagnostico	5-57
5.2.1. Flujos de barro y/o detritos.....	5-57
5.2.2. Procesos de ladera	5-58
5.3. Susceptibilidad.....	5-59
5.3.1. Susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos.....	5-60
5.3.2. Susceptibilidad de procesos de ladera.....	5-60
6. Sismicidad	6-62
6.1. Catastro	6-62
6.2. Diagnóstico	6-62
7. Volcanismo	7-64
7.1. Catastro	7-64

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

7.1. Diagnostico	7-65
8. Normas provenientes del PRMS	8-67
8.1. Riesgos de Origen Natural	8-67
8.1.1. Riesgos de inundación (artículo 8.2.1.1. PRMS)	8-67
9. Síntesis y comentarios	9-70
9.1. Inundaciones.....	9-70
9.2. Remociones en masa	9-71
9.3. Sismicidad	9-71
9.4. Volcanismo	9-71
10. Referencias citadas en el texto	10-72
11. ÁREAS DE RIESGO GENERADOS POR LA ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA	11-114
11.1. Alcance y limitaciones.....	11-114
11.2. Normas provenientes del PRMS	11-114
11.3. Identificación de áreas de riesgo	11-115
11.3.1. Rellenos sector norte	11-115
11.3.2. Ex vertedero Cerros de Renca.....	11-118
12. ZONAS NO EDIFICABLES	12-120
12.1. Infraestructura peligrosa en el área de planificación	12-120
12.1.1. Área de resguardo del Aeropuerto Arturo Merino Benítez	12-121
12.1.2. Fajas de resguardo de vías ferroviarias	12-123
12.1.3. Fajas de resguardo de líneas de alta tensión eléctrica	12-125
12.2. CAUCES ARTIFICIALES provenientes del prms	12-128
12.3. Conclusiones y recomendaciones	12-130
13. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL	13-132
13.1. Áreas de protección de recursos de valor natural y patrimonial cultural	13-132
13.2. Áreas de protección de recursos de valor patrimonial cultural	13-132

1. ÁREAS DE RIESGO DE ORIGEN NATURAL

Este documento corresponde a aquella parte del Estudio de Riesgos de la Memoria Explicativa de la Actualización del Plan Regulador Comunal de Quilicura, que identifica las áreas de riesgo de origen natural (geológico) que existen en la Comuna de Quilicura

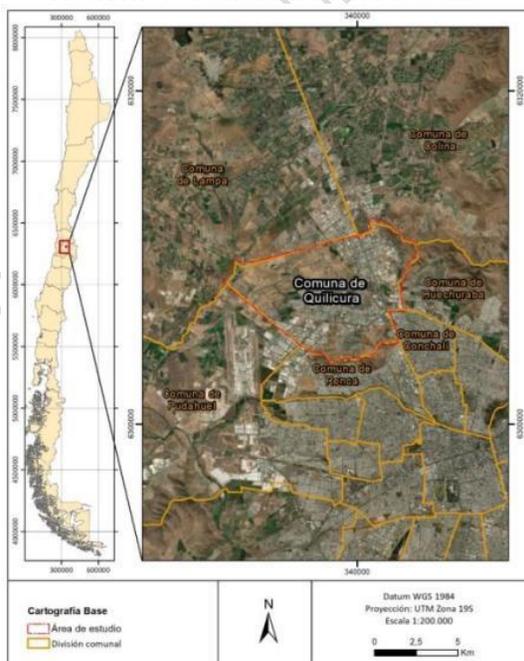
El documento da cuenta e incluye las metodologías y antecedentes utilizados en el estudio, las líneas de base necesarias para la elaboración del estudio, un catastro de los peligros geológicos relevantes para el estudio, un diagnóstico de cada uno de ellos y su zonificación por susceptibilidad.

Los resultados de este trabajo corresponden a la identificación y zonificación de las áreas urbanas susceptibles a ser afectadas por algún peligro natural de acuerdo a las definiciones expuestas en el ANEXO A. 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 (OGUC)¹. 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. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde la comuna de Quilicura completa, ubicada en la Región Metropolitana, y limita al norte y noroeste con la comuna de Colina y Lampa, al sur con las comunas Pudahuel y Renca y al este con Huechuraba y Conchalí (FIGURA N° 1—1).

FIGURA N° 1—1 Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

¹ Versión 10 Julio 2019.

1.2. OBJETIVO GENERAL

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 del “Plan Regulador Comunal de Quilicura”.

Asociado al objetivo propuesto, es necesario reconocer y delimitar las áreas de riesgos, de acuerdo a las definiciones expuestas en el artículo 2.1.17 de la OGUC, que han de ser incorporadas y/o adecuadas en el desarrollo del Plan Regulador Comunal de Quilicura. 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 de estudio a escala 1:1.000.

1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PRESENTE INFORME

Este trabajo forma parte del estudio “Actualización Plan Regulador Comunal de Quilicura”, y corresponde al estudio fundado de riesgos 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 contenida en el Plan Regulador Metropolitano de Santiago. La metodología utilizada en este estudio 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 del clima y el catastro de peligros que ha afectado al territorio, que han permitido elaborar un diagnóstico de cada peligro, que, en el caso de la inundación, se ha complementado con modelaciones numéricas.

Las principales **limitaciones** que ha tenido este estudio son: (1) el acceso a algunos sectores fue limitado por corresponder a propiedades privadas, (2) debido a la alta cantidad de documentos Ordinarios consultados no fue posible incorporar todos los documentos dentro del estudio (3) ausencia de un registro sistemático de los peligros que han afectado a la comuna, (4) la información disponible no permite hacer un análisis riguroso de los periodos de retorno asociados a los diferentes procesos, (5) los modelos numéricos son una aproximación de la realidad, que incorporan supuestos y simplificaciones, y que en caso de ocurrir el peligro estudiado, pueden ocurrir situaciones diferentes a lo predicho, y (6) 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.

1.4. MARCO JURÍDICO Y NOMENCLATURA UTILIZADA EN ESTE INFORME

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

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

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 ANEXO A).

En el CUADRO N° 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 a 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. En relación con las inundaciones litorales territorio comuna no es susceptible de ser afectado por este peligro.

- 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.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

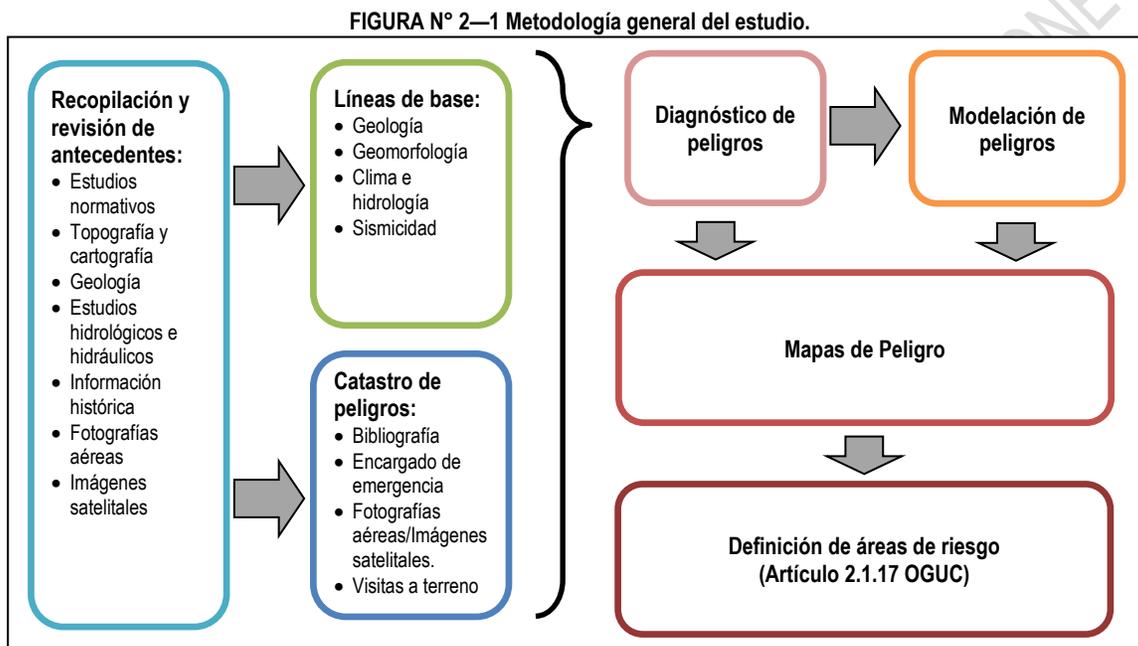
CUADRO N° 1—1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC.

“Áreas de riesgo” según artículo 2.1.17 de la OGUC	Peligros Geológicos estudiados en este informe		Análisis	Descripción conceptual
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	Capítulo 4	Apéndice B.2.1.1
		Anegamiento		Apéndice B.2.1.2
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa	Flujos de barro y/o detritos.	Capítulo 5	Apéndice B.2.2
		Procesos de ladera		
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Sismicidad		Capítulo 6	Apéndice 0
	Volcanismo		Capítulo 7	Apéndice B.1.2

Fuente: Elaboración propia en base a la normativa 2.1.17.

2. METODOLOGÍA

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 N° 2—1). A continuación, se describen de manera general las actividades que se realizaron para elaborar este estudio.



2.1. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se recopilaron y revisaron los antecedentes que entregó la municipalidad, que fueran relevantes para la elaboración del estudio de riesgos de la comuna. 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 comunal.

2.2. 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 a la comuna, para identificar aquellos sectores que son más propensos 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:

- **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.
- **Geomorfología y geología:** En ella se reconoce y describe las formas presentes en el área de estudio, y se cuantifica sus parámetros morfométricos. Además, se identifica y caracteriza los materiales y estructuras presentes en el territorio estudiado.
- **Sismicidad:** Se identifican las distintas fuentes sísmicas que pueden afectar al territorio comunal.

2.3. CATASTRO DE PELIGROS

El catastro de peligros geológicos se realizó en base a una recopilación de antecedentes bibliográficos y registros históricos.

Las fuentes utilizadas para la construcción del catastro fueron:

- Estudios técnicos y trabajos de recopilación histórica como: Urrutia y Lanza (1993) y el Inventario Histórico de Desastres (desde 01-01-1970 al 25-09-2014) de *desinventar.org*,
- Artículos de prensa online de sitios tales como El Mostrador, La Tercera, Soy Chile, Cooperativa, Los Ríos al Día, Publimetro, Mega, La Razón.
- Registros públicos en páginas web de: ONEMI, DGA, CSN, SHOA, USGS, entre otras.
- Reunión con el encargado de emergencias.

Los principales peligros geológicos catastrados a partir de los registros históricos y bibliográficos son:

- **Inundaciones:** se consideran los eventos de inundación producidos por desborde de cauces y anegamientos.
- **Procesos de ladera:** se consideran remociones en masa tales como caída de rocas, volcamientos, deslizamientos y flujos de barro y/o detritos y propagaciones laterales.
- **Sismos:** se consideran los sismos históricos generados en torno al área de estudio cuyos efectos hayan afectado a la zona.
- **Volcanismo:** se consideran las erupciones ocurridas en periodos históricos y recientes para los volcanes activos más cercanos al área de estudio.

2.4. 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 de esta actividad es el análisis de los factores condicionantes, que permiten identificar los sectores que presentan condiciones más favorables para la ocurrencia del peligro, y desencadenantes, que permiten 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.

2.5. MODELACIÓN DE PELIGROS

El diagnóstico permitió definir las áreas en donde se necesita contar con mayor 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. El peligro modelado fue las inundaciones por desborde de cauces.

2.6. ELABORACIÓN DE MAPAS DE PELIGROS

A partir de los factores condicionantes reconocidos anteriormente 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 CUADRO N° 2—1 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.

CUADRO N° 2—1 Categorías en el análisis del nivel de amenaza y susceptibilidad comparable

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

Fuente: Modificado de "Guía análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial" (SUBDERE, 2011)

2.7. 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 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. 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.

3. PRINCIPALES ASPECTOS DE LA LÍNEA BASE

En este capítulo se presentan un resumen con los resultados más relevantes de las líneas base de las componentes clima e hidrología, geomorfología y geología y sismicidad. La caracterización completa de estas componentes se encuentra en el ANEXO C “Línea base”.

3.1. CLIMA E HIDROLOGÍA

La comuna de Quilicura se caracteriza con un clima del tipo mediterráneo, con veranos secos y calurosos, e inviernos relativamente lluviosos, según la clasificación climática de Köppen-Geiger (Beck et al., 2018).

La información hidrometeorológica disponible para la elaboración de la línea de base de hidrología corresponde a 3 estaciones meteorológicas con registro pluviométrico (CUADRO N° 3—1) durante el período 1970-2019. De ellas, se escogió la estación Pudahuel, por ser la más representativa de la comuna.

CUADRO N° 3—1 Detalles de las estaciones pluviométricas cercanas a Quilicura.

Nombre	Código BNA / DMC	Coordenadas UTM (WGS 84 Huso 19 Sur)		Precipitación Media Anual 1970-2019 (mm)	Temperatura Media Anual 1970-2019 (°C)	Altitud (m s.n.m.)	Estado	Año de Inicio
		Este (m)	Norte (m)					
Pudahuel	330021	333.109	6.303.827	252,11	14	482	Vigente	1966
Quinta Normal	330020	343.585	6.298.112	310,43	14,7	527	Vigente	1950
Terraza DGA	05730016	347.161	6.297.770	306,77	-	560	Vigente	1960

Los cauces naturales que se encuentran en la comuna de Quilicura son los esteros Las Cruces y Colina.

El estero Las Cruces se inicia cerca de la ruta G-57, donde confluyen los canales Los Choros (que drena el área Las Bandurrias de la comuna de Huechuraba) y Huechuraba (que drena el área norte de la comuna de Recoleta, parte importante de la comuna de Conchalí y el área tributaria La Pincoya en la comuna de Huechuraba), luego atraviesa la comuna de este a oeste, pasando por la zona industrial y las planicies de la comuna y sale de la comuna atravesando la avenida Lo Echevers. En este tramo, el estero recibe, entre otras, el agua proveniente desde el estero Los Patos, que drena el sector de Chicureo, con una superficie aproximada de 134 km². De esta forma, el estero Las Cruces, en la confluencia con el estero Colina, drena una superficie aproximada de 280 km².

El estero Colina bordea el límite norponiente de la comuna con dirección de noreste a suroeste en un tramo de aproximadamente 1,5 km. El área drenada por este estero, antes de la confluencia con el estero Las Cruces es aproximadamente 1.800 km². En algunos estudios se ha incluido este tramo como parte del estero Lampa.

Ambos esteros confluyen más abajo de la comuna, para formar el estero Lampa, que es el principal afluente del río Mapocho.

A partir de los distintos estudios revisados, se determinó que los caudales de diseño para los distintos tramos de la red primaria asociada al estero Las Cruces están definidos por los aportes que se detallan en el CUADRO N° 3—2.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO N° 3—2 Aportes parciales de descarga de canales y colectores en el cauce del estero Las Cruces.

Canal o Colector de Descarga	Ubicación respecto a ruta G57 (km)	Caudal (m ³ /s)	
		T = 10 años	T = 100 años
		Aporte Parcial	Aporte Parcial
Canal Los Choros	0,000	38	57
Canal Huechuraba	0,013	25	35
Colector PNO	1,790	22	42
Canal San Ignacio	3,726	2,5	4
Canal Desagüe Estero Los Patos ²	4,447	157	227
Canal Santa Luisa	5,200	5	15
Canal ex Ciudad del Trabajador	7,691	2	3
Canal San Luis	10,472	19	24

Fuente: (AC Ingenieros, 2003).

Respecto de los caudales en el estero Colina para el tramo que importa para este estudio, equivalen a la suma de los caudales de los esteros Lampa y Colina, que para un período de retorno de 100 años tienen valores de 1.251 l/s y 280 l/s, respectivamente.

3.2. GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA

La comuna de Quilicura se ubica en el sector norte de la cuenca de Santiago, que se encuentra inmersa en la depresión intermedia.

Esta zona se caracteriza por representar la confluencia de tres grandes abanicos aluviales, del río Mapocho (parte sur de la comuna) y de los esteros Lampa (extremo noroeste de la comuna) y Colina (parte noreste de la comuna), que están formados por depósitos aluviales recientes. Hacia el oeste, pero fuera de la comuna, afloran en superficie los depósitos de origen volcánico del sector de Pudahuel.

Por otra parte, en los cursos actuales, resultantes de la canalización de los esteros, Lampa, Las Cruces, Los Perros, entre otros, se encuentran depósitos fluviales.

Esta zona de confluencia de abanicos aluviales se caracteriza por una muy baja pendiente y bajas cotas, aunque se encuentran algunos cerros al sur (cerros Renca y Colorado), al este (cerros San Ignacio y Punta Verde) y al noroeste (cerrillos de Lo Castro) de la comuna, que llegan como máximo a los 900 m s. n. m. Estos cerros están formados por rocas de origen volcánico y sedimentario y cuerpos intrusivos de edad mesozoica a terciaria.

Sobre las laderas de los cerros descritos en el párrafo anterior se encuentran dos tipos de depósitos no consolidados. Una de estas unidades son los depósitos coluviales, que se encuentran sobre las faldas y son el resultado de procesos que ocurren en las laderas debido a la gravedad. La otra unidad son los depósitos fluvio-aluviales, que se generan en las quebradas de los cerros.

² Los valores originales para 10 y 100 años de período de retorno, 116 y 164 l/s (AC Ingenieros, 2003) respectivamente, se modificaron a partir de los resultados de Arrau (2008).

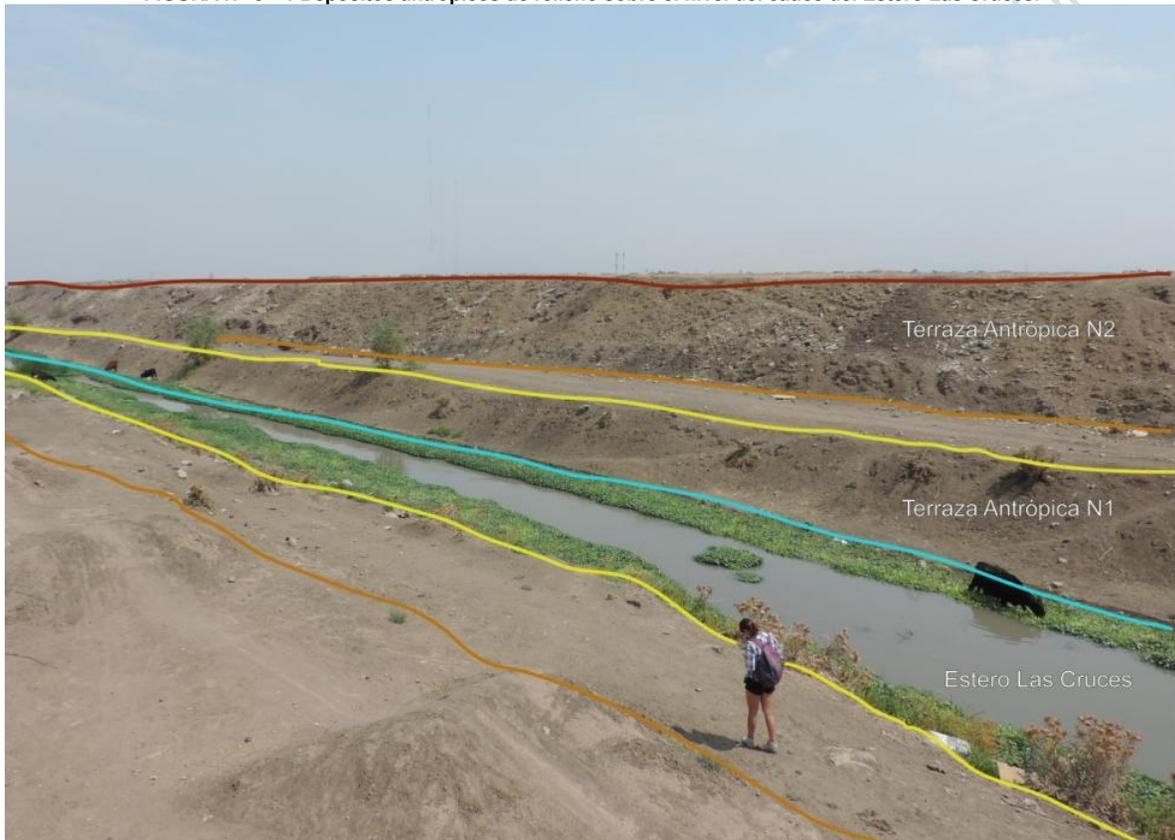
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Por último, sobre los depósitos aluviales, se encuentran grandes cuerpos de depósitos de origen antrópico, constituidos por arenas, plásticos, desechos de origen doméstico e industrial, con baja y nula compactación, y que se encuentran en constante crecimiento. Se pueden distinguir varios niveles de terrazas antrópicas, de entre 5 y 12 m por sobre la altura de los cauces (FIGURA N° 3—1).

No se han reconocido fallas activas en el territorio comunal.

La distribución espacial de las unidades geológicas descritas anteriormente se representa en la FIGURA N° 3—2. Estas fueron mapeadas a escala 1:1.000 en el área de detalle y 1:5.000 en el resto del área comunal, pero se han representado a escala 1:50.000.

FIGURA N° 3—1 Depósitos antrópicos de relleno sobre el nivel del cauce del Estero Las Cruces.



3.3. HIDROGEOLOGÍA

Las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la cuenca de Santiago determinan que el escurrimiento general de las aguas subterráneas bloquee el avance del agua que proviene del norte, lo que determina que los niveles freáticos en esta parte de la cuenca se encuentren más elevados.

Por otra parte, debido a la evolución geomorfológica de la comuna, su parte norte se encuentra una zona topográficamente deprimida.

Ambos factores, de manera complementaria, favorecen que el nivel freático se encuentre muy cerca de la superficie o, incluso, en la superficie.

3.4. SISMICIDAD

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde oriental de la placa tectónica Sudamericana y se caracteriza por su sismicidad, debido a la subducción de la placa tectónica de Nazca. Este fenómeno produce un alto nivel de acoplamiento mecánico en la zona de contacto, lo que causa la acumulación de grandes cantidades de energía que, al liberarse, ocasionan grandes terremotos. Esto se presenta en forma de una banda sísmica activa muy angosta (100-150 kilómetros de ancho) y profundidad variable (entre 5 y 150 km de profundidad) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. En consideración de estas condiciones geológicas, Chile históricamente ha sido afectado por grandes terremotos.

A partir de los registros sísmicos, se diferencian tres fuentes sísmicas principales que pueden afectar a la zona de estudio:

- **Sismos Interplaca tipo Thrust:** Corresponden a aquellos eventos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana, en los primeros 30 km de profundidad y que alcanzan grandes magnitudes. Ejemplos de estos sismos que han afectado fuertemente a la zona del presente estudio corresponden a los de 1906 (Mw = 8,2) y 1985 (Mw = 8,0).
- **Sismos Intrapalaca de Profundidad Intermedia:** Son sismos que ocurren dentro de la placa de Nazca, a profundidades mayores que 50 km y que llegan hasta 150-200 km. Estos sismos generan altas aceleraciones máximas en la zona epicentral, lo que se refleja en mayores daños. Algunos ejemplos de este tipo de sismos son los ocurridos en 1965 y 1971.
- **Sismos Corticales:** Corresponde a sismos producidos por fallas superficiales, cuyos focos se encuentran a una profundidad menor a 30 km, y están asociados a fallas geológicas activas en superficie. Este tipo de sismos producen mucho daño en la zona cercana a la falla, pero sus efectos se atenúan rápidamente con la distancia. La falla activa más cercana a la comuna es la Falla San Ramón, que está a unos 25 km, y que por la distancia, no implicaría una amenaza sísmica mayor.

4. 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 debido a un aumento considerable del caudal, anegando las terrazas fluviales o adyacentes al cauce.
- **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.

4.1. CATASTRO

Las inundaciones por desborde de cauce corresponden a una amenaza que debe ser considerada dado que existen dos esteros que atraviesan el área de estudio, el Estero Las Cruces y el Estero Colina. Por otro lado, de las inundaciones por anegamiento desde 1828 hasta el presente, se han documentado al menos 20 casos de anegamiento de calles producto de intensas lluvias, provocando, en la mayor parte de los casos, la inundación de viviendas con aguas servidas debido al colapso del sistema de alcantarillado.

Así mismo, tan solo desde 1980 a esta fecha han ocurrido al menos 8 inundaciones por desborde del Estero Las Cruces, siendo el evento de mayor magnitud el ocurrido durante junio de 2002, producto de un sistema frontal considerado como el más grande registrado históricamente en Santiago, con un total de agua caída de 211,8 mm durante tres días consecutivos de precipitación. Este evento afectó desde la región de Atacama hasta la de Los Lagos. Dentro de los daños reportados a nivel nacional, se cuentan la muerte de 17 personas, anegamientos de viviendas, calles y pasos bajo nivel, desprendimientos de techumbres, caminos cortados e inhabilitados, puentes colapsados, sectores aislados (como ocurrió en el sector de Noviciado) e interrupción de energía eléctrica y servicio telefónico (ONEMI, 2009). Tan solo en Quilicura, más de 9.000 personas resultaron damnificadas y cerca de 2.000 viviendas se inundaron; 40 de ellas con daños graves (ONEMI, 2002). Además, el día 4 de junio de 2002, dos personas fueron arrastradas por el Estero Las Cruces en el camino entre Lampa y Quilicura, resultando fallecidas (FIGURA N° 4—1). A partir de imágenes del Servicio Aerofotogramétrico (SAF) de un vuelo realizado el día 3 de junio del 2002, se delimitaron zonas estimativas del desborde del Estero Las Cruces, clasificando una zona de inundación principal y una zona de inundación secundaria (FIGURA N° 4—3).

El catastro de los eventos de inundaciones ocurridos en el área estudiada se compila en el CUADRO N° 4—1 y en la FIGURA N° 4—3. 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.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—1 Vehículo donde murieron dos personas después de ser arrastrados por el Estero Las Cruces el martes 4 de junio del año 2002.



Fuente: Diario La Nación (06/06/2002).

FIGURA N° 4—2 Vega y zona de inundación por anegamiento.



Fuente: Archivo fotográfico terreno (p5 ver FIGURA N° 4—3).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO N° 4—1 Catastro de inundaciones y anegamientos que afectaron la comuna de Quilicura entre 1828 y 2018.

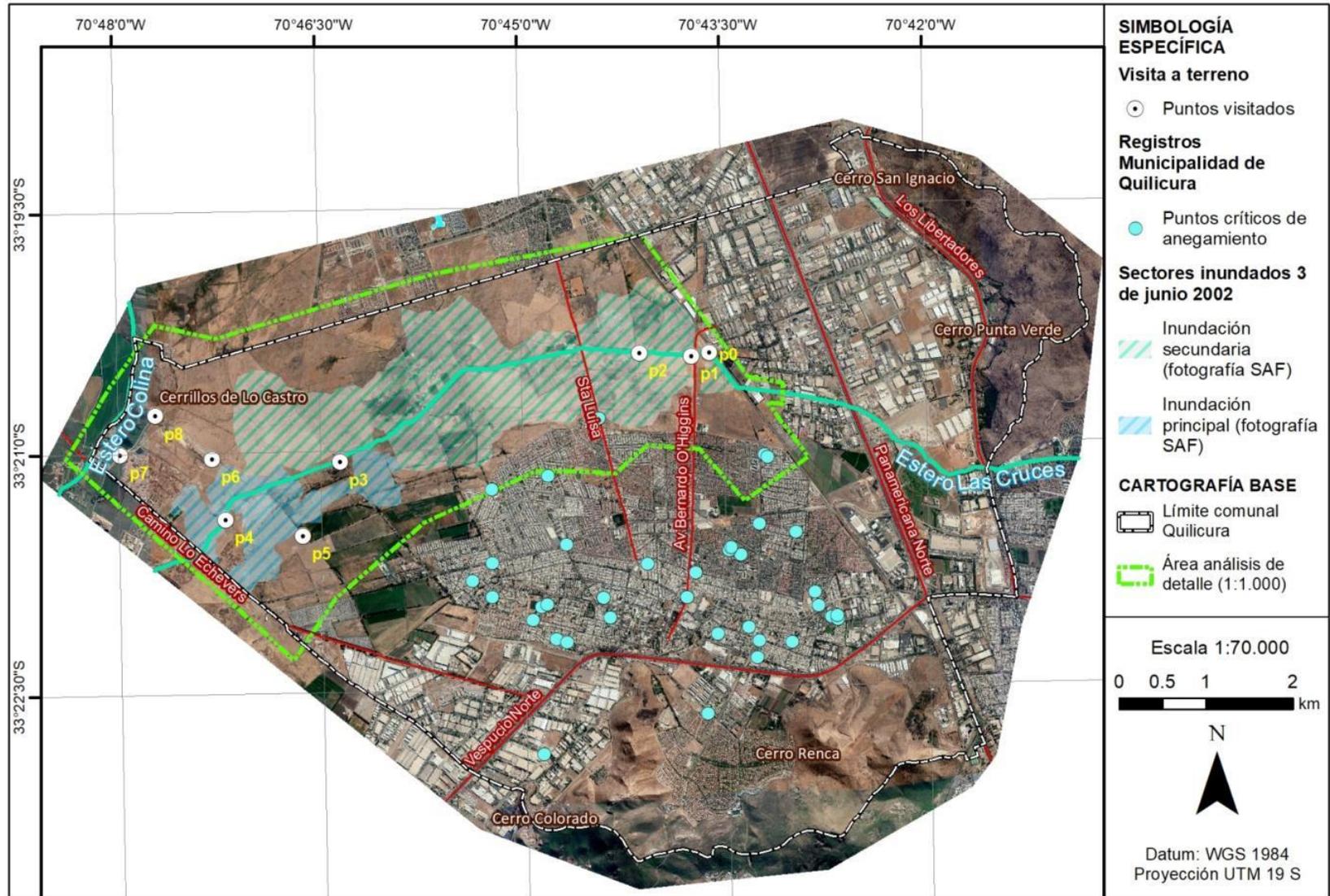
Año	Fecha	Evento	Sector	Descripción/Daños	Referencia revisada
1828	junio	anegamiento	Provincia de Santiago	Tras una lluvia de 36 horas seguidas, se inundaron los sectores periféricos de la provincia.	Urrutia y Lanza (1993)
1864	junio	anegamiento	Provincia de Santiago	Se inundaron todos los caminos que permitían ir de Santiago a Quillota.	Urrutia y Lanza (1993)
1934	mayo-junio	anegamiento	Lampa, Quilicura, Renca y Tiltil	daños en puentes, caminos y agricultura	Urrutia y Lanza (1993)
1971	24 de mayo	anegamiento	Campamento Guardia Vieja, Quilicura	Casas inundadas.	www.desinventar.org
1972	6 de julio	anegamiento	Población María Ruiz Tagle, Quilicura	7500 personas afectadas por inundación de casas con aguas servidas, dado que los alcantarillados colapsaron.	www.desinventar.org
1972	13 de agosto	anegamiento	Población María Ruiz Tagle, Quilicura	100 personas afectadas por inundación de casas con aguas servidas, dado que los alcantarillados colapsaron.	www.desinventar.org
1974	21 de mayo	anegamiento	Provincia de Santiago	Viviendas anegadas en casi todas las comunas de Santiago.	Urrutia y Lanza (1993)
1980	9 de febrero	anegamiento	Comuna de Quilicura	Viviendas inundadas.	www.desinventar.org
1980	23 de junio	anegamiento	Población 11 de Septiembre, Quilicura	Viento derrumbó techumbres de las viviendas y la lluvia inundó varias casas. 157 familias fueron afectadas, con un total de 628 víctimas.	www.desinventar.org
1980	29 de septiembre	inundación	km 17 Norte, Quilicura	Se afectaron al menos 12 rutas y se vio afectada la producción agrícola.	www.desinventar.org
1981	30 de junio	anegamiento	Comuna de Quilicura	Viviendas y calles inundadas. Colapso de alcantarillados.	www.desinventar.org
1981	31 de mayo	anegamiento	Región Metropolitana, sector norponiente	335 damnificados en toda la región, pero siendo Conchalí Santiago las comunas más afectadas. Se anegaron caminos anegados, colapsaron colectores de aguas lluvia y se inundaron los pasos bajo nivel. Las líneas telefónicas se vieron afectadas por las lluvias y estuvieron desconectadas todo el día.	www.desinventar.org
1982	27 de junio	inundación	Comuna de Quilicura	Daños en cosechas. 20 personas se vieron afectadas y tuvieron que evacuar.	www.desinventar.org
1982	24 de julio	inundación	Comuna de Quilicura	Desborde de río Mapocho afectó viviendas en la región.	www.desinventar.org
1990	17 de julio	anegamiento	Villa Los Trabajadores, Quilicura	250 familias evacuadas por viviendas anegadas (1000 personas afectadas); deben ser reubicados por estar ubicados sobre suelos anegables. Fueron albergados en Colina.	www.desinventar.org
1993	1 de julio	anegamiento	Comuna de Quilicura	Viviendas y calles anegadas.	www.desinventar.org

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Año	Fecha	Evento	Sector	Descripción/Daños	Referencia revisada
1994	5 de marzo	inundación	Villa Guardiania, Quilicura	20 viviendas fueron afectadas.	www.desinventar.org
1997	21 de junio	inundación	Estero Lampa y Puangue	Crecida afectó viviendas.	www.desinventar.org
2001	29 de junio	anegamiento	Comunas de Lampa, Tiltil, Colina, Huechuraba, Quilicura y Renca.	Corte de líneas eléctricas, de las cuales 39 correspondían a la mediana tensión y 417 a la red de baja tensión. 47 líneas troncales de un total de 280 existentes en la región dejaron de funcionar. Todo ello debido a la caída de 200 árboles. Producto de esto, los clientes de la distribuidora Chilectra quedaron entre el 29 y 30 de julio de 2001 sin suministro energético. Más de 200 mil personas afectadas.	www.desinventar.org
2002	4 de junio	inundación	Estero Las Cruces, camino Lo Echevers.	Se inundaron terrenos agrícolas en Lampa afectando a más de 40 mil habitantes, dejando 2 fallecidos. Más de 650 personas debieron ser albergadas en Quilicura y en Til Til.	www.desinventar.org https://www.cooperativa.cl
2005	15 de junio	inundación	Estero Las Cruces, Quilicura oriente.	No se detalla mayor información.	www.desinventar.org
2006	17 de julio	inundación	Estero Colina, hacia Lampa.	Se tuvo que evacuar a más de 90 personas. 25 viviendas resultaron afectadas.	www.desinventar.org
2010	18 de junio	anegamiento	Comuna de Quilicura	Anegamiento en calles y casas inundadas por fuertes lluvias, 20 personas en situación de calle tuvieron que ser trasladadas a un albergue.	https://www.latercera.com https://radio.uchile.cl
2012	6 de octubre	anegamiento	Comuna de Quilicura	Calles anegadas debido al colapso de una alcantarillado provocado por las intensas lluvias. Calles Cordillera, Parinacota y Antillanca totalmente inundadas.	https://www.soychile.cl https://www.cooperativa.cl
2013	28 de junio	anegamiento	Comuna de Quilicura y Lo Barnechea	Calles inundadas por lluvias. Alrededor de 474 viviendas sin servicio eléctrico.	https://www.losriosaldia.cl
2015	12 de julio	anegamiento	Provincia de Santiago	Calles inundadas por lluvias. Cortes en suministro eléctrico.	https://www.publimetro.cl
2016	20 de abril	anegamiento	Comuna de Quilicura	Viviendas inundadas tras fuertes lluvias.	https://www.mega.cl
2016	17 de abril	inundación	Estero Colina, hacia Lampa.	Desborde de estero inunda las calles.	https://twitter.com
2018	29 de mayo	anegamiento	Comuna de Quilicura	Calles inundadas por lluvias.	https://www.larazon.cl

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—3 Mapa de catastro de peligros.



4.2. DIAGNOSTICO

4.2.1. Inundaciones por desborde de cauces

Los antecedentes históricos contenidos en el catastro, las características geológicas y geomorfológicas del área de estudio y la hidrología indican que los cauces del área corresponden a zonas inundables o potencialmente inundables por eventos de desbordamientos de cauces, con distinta frecuencia y magnitud. En el área estudiada destacan los esteros Las Cruces y Colina con escorrentía permanente, y algunos otros canales menores que presentan escorrentía intermitente, pero que cuentan con las condiciones para generar inundaciones. Los factores como evidencias de eventos en el catastro y/o la presencia de terrazas alledañas serán determinantes en el momento de definir las áreas susceptibles a inundación.

Considerando lo anterior, el cauce de mayor relevancia es el estero Las Cruces, pues es aquel que ha sufrido desbordamientos con mayor frecuencia y de mayor magnitud, como lo demuestra el catastro. Destaca el año 2002 que afectó fuertemente al sector norte de la cuenca de Santiago, y en el área de estudio provocó la muerte de dos personas por el desborde de Las Cruces. Este cauce, que fue recorrido durante la visita a terreno, se encuentra limitado por depósitos de relleno que actúan como barreras frente a posibles desbordamientos, por lo que no se identificaron, al menos en las zonas a las que se pudo acceder, terrazas o planicies de inundación asociadas a este estero.

Sin embargo, los rellenos mencionados también tienen otro efecto, pues ocupan espacios que anteriormente usaba el estero para escurrir durante las grandes crecidas. De esta forma, el material depositado podría funcionar como diques que produzcan zonas de inundación aguas arriba, pues los cauces no encontrarían vías para desaguar hacia abajo. Todas las intervenciones humanas, como canales, alcantarillados, depósitos de relleno, entre otras, deben contar con la labor adicional del mantenimiento de obras, pues en el caso que no ocurra correctamente o de manera constante, se pueden incrementar las posibilidades o factores para la ocurrencia de inundaciones.

Respecto de los tributarios del estero Las Cruces, también han sido modificados, con importantes cambios respecto de su trazado natural. Esto dificulta la definición de las áreas por donde escurrirá el agua en caso de ocurrir una crecida.

Por todo lo que se describe respecto de la inundación por desborde de cauces, resulta necesario construir un modelo numérico de simulación hidráulica para delimitar con mayor certeza las zonas de escurrimiento. Sin embargo, se debe considerar que este modelo solo representaría la situación actual, y en caso de continuar las modificaciones del terreno, una inundación podría no comportarse como se prediga en el modelo.

Como la totalidad de los cauces en el área urbana se encuentran intervenidos, han sido modificados o cuentan con obras de contención respecto a su condición natural, en caso de que estas colapsen será difícil predecir las zonas de inundación. Para el caso de los canales abiertos estos desbordarían en torno a la obra, y para el caso de los cauces que se encuentren cubiertos desbordarían probablemente donde el entubamiento comienza. Un análisis detallado de cada uno de los canales artificiales no está dentro del alcance de este estudio.

Finalmente, con respecto a los factores desencadenantes, la ocurrencia de lluvias intensas corresponde al principal desencadenante natural, que puede activar parcialmente 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.

4.2.2. Inundaciones por anegamiento

Las condiciones descritas en la línea de base, que muestran un territorio comunal muy plano y con mal drenaje superficial. Además, como el relieve natural de la comuna presenta pendientes casi nulas, el escurrimiento de aguas superficiales ocurre a muy baja velocidad, lo que favorecen el desarrollo de suelos compuestos por arcillas y limos, lo que les confiere permeabilidades muy bajas y malas condiciones para la infiltración.

Es decir, el territorio no favorece el drenaje superficial ni la infiltración del agua. Estas condiciones determinan que muchos sectores del territorio de la comuna se encuentren sometidos a acumulación de agua. Como consecuencia, se identifican vegas y zonas pantanosas en varios lugares, que fueron observadas durante la visita a terreno.

Adicional a lo anterior, existen registros de anegamiento ocurridos en la zona urbanizada de la comuna, que se encuentran ligados al colapso de los sistemas de alcantarillado como lo indica el catastro levantado. Estas zonas que han sido cubiertas, ahora conducen superficialmente el agua por las calles provocando que, durante lluvias intensas, los sistemas de recolección de aguas no cuenten con la capacidad para transportar toda el agua y se generen anegamientos que afectan a las viviendas. Este es el resultado de la acción antrópica sobre el medio natural y por tanto, resulta difícil de considerar dentro del marco del estudio de riesgos naturales.

4.2.3. Inundación por afloramiento de napa

La ubicación del estero Las Cruces está definida por la convergencia de dos grandes abanicos aluviales, lo que determina que se encuentre en una zona relativamente más baja que sectores vecinos.

Otro factor a considerar es que existe una distancia importante entre la zona norte de Santiago y el punto por donde la cuenca de Santiago descarga las aguas subterráneas (en la zona de Talagante). Sumado a lo anterior, existe poco desnivel del terreno entre los dos sectores mencionados anteriormente. Esto se traduce en que la cuenca de Santiago no favorezca el drenaje de la zona, y por extensión, de la comuna de Quilicura.

La consecuencia de la combinación de los dos puntos anteriores es que la comuna de Quilicura históricamente ha presentado niveles freáticos muy cercanos a la superficie, particularmente en la zona más cercana al estero Las Cruces. Como resultado de esto, el Plan Regulador Metropolitano de Santiago del año 1994 establece que la comuna de Quilicura presenta problemas de afloramiento potencial de aguas subterráneas.

Por otra parte, con respecto a la variación temporal del nivel freático, los pozos de la Dirección General de Aguas que se encuentran en la comuna de Quilicura no cuentan con un registro lo suficientemente extenso como para concluir con certeza. Por esta razón, para este trabajo se han analizado los niveles de dos pozos ubicados cerca de la comuna y que, por su ubicación, pueden considerarse representativos de las zonas que presentan mayores problemas, respecto de inundaciones por afloramiento de la napa freática, esto es, la parte occidental de la comuna, que es la que se encuentra en una zona topográficamente más baja, y el área más cercana al estero Las Cruces. Estos pozos están ubicados en el Aeropuerto Pudahuel, en la comuna de Pudahuel, y en el Fundo La Montaña, que según las coordenadas se encuentra relativamente cerca de la intersección de la Ruta 5 y la calle La Montaña, en la comuna de Lampa.

Los niveles en el pozo Pudahuel (FIGURA N° 4—4, arriba) muestra un comportamiento relativamente estable, entre 2 y 3,5 m de profundidad hasta 1993. Hacia el año 2009, el nivel del pozo se encontraba aproximadamente 10 m abajo de la superficie, lo que equivale a un descenso medio cercano a 0,4 m por año.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

A partir de ese momento la tasa de descenso aumenta y hacia el año 2014 el nivel se encuentra cerca de los 16 m de profundidad, es decir, un descenso medio de aproximadamente 1,5 m por año. Aparentemente, en esa fecha el pozo se seca.

Una situación similar se observa en el pozo Fundo La Montaña (FIGURA N° 4—4, abajo) que presenta niveles prácticamente constantes entre 1984 y 1993, muy cerca de la superficie y a una profundidad máxima cercana a 0,4 m. Entre 1993 y 1995, el nivel desciende abruptamente y después de la última fecha se estabiliza entre 1,5 y 2,5 m de profundidad. Luego, a partir del año 2013 el nivel comienza a descender nuevamente y hacia el año 2019 el nivel se encontraba a aproximadamente 5,5 m de profundidad, lo que equivale a un descenso medio cercano a 0,6 m por año.

Los descensos experimentados en ambos pozos son consecuencia del efecto combinado del aumento de la extracción de aguas subterráneas a partir de la década de 1990 y la reducción de las precipitaciones desde 2009, sin que se pueda asignar una importancia relativa a ambos factores.

De esta forma, en la actualidad no existen condiciones para que aflore agua subterránea en la superficie. En caso que las precipitaciones recuperen valores históricos y se reduzca la extracción desde pozos, la napa podría recuperar las condiciones originales, aunque esto tomaría muchos años.

En el pozo Aeropuerto Pudahuel se puede observar que los períodos lluviosos, como el año 1997, o los grandes eventos de precipitaciones, como el ocurrido el año 2002, generaron aumentos del nivel de hasta 1 m. En el caso de la lluvia del año 2002, el ascenso del nivel ocurrió en menos de 3 meses, que corresponde a la periodicidad aproximada de las mediciones. Estos valores sirven como aproximación del efecto máximo que puede tener un período lluvioso sobre la napa freática, e indican que, en la actualidad, período breve (del orden de un año) de lluvias intensas no produciría afloramiento de agua en la superficie.

Por último, el pozo Aeropuerto Pudahuel muestra un ascenso en su nivel de casi 1 m después del terremoto del año 2010, que podría estar ligado a fenómenos de licuefacción en los suelos de la zona o a otra situación. Para definir esto se necesitan estudios específicos, que escapan a los alcances de este trabajo.

En cuanto a los antecedentes normativos respecto al afloramiento de la napa, se revisaron tanto el PRMS como las modificaciones posteriores que pudieran incidir en lo normativo para esta zona. De esta forma, se cuenta con los siguientes antecedentes:

- El PRMS de 1994 define un criterio para toda la comuna de Quilicura, sin diferencias al interior de ella.
- El estudio que incorpora las comunas de Colina, Lampa y Til-Til al Plan Regulador Metropolitano de Santiago, en el año 1997, señala que se encuentran en esta categoría grandes extensiones situadas en torno a la confluencia de los esteros Lampa y Colina (fuera de la comuna de Quilicura), pero no se pronuncia sobre el afloramiento de napa en la comuna de Quilicura.
- El estudio “Peligro de remociones en masa e inundaciones de la cuenca de Santiago” (Antinao, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 2009), elaborado por el SERNAGEOMIN, define que el peligro de inundación por ascenso del nivel freático se encuentra exclusivamente en las zonas de alto peligro de acumulación de aguas lluvias y ascenso del nivel freático somero. El análisis se hace con un nivel de detalle insuficiente para el análisis a escala comunal.
- La “Modificación Plan Regulador Metropolitano de Santiago” (conocido como MPRMS 100), del año 2013, analiza las áreas de inundación asociadas al estero Las Cruces, pero no se incluye ningún análisis relativo a la napa freática. Pese a esto, en este documento se definen áreas de inundación por napa freática en la Lámina 1 de 4 del Plano RM-PRM-08-100-R.

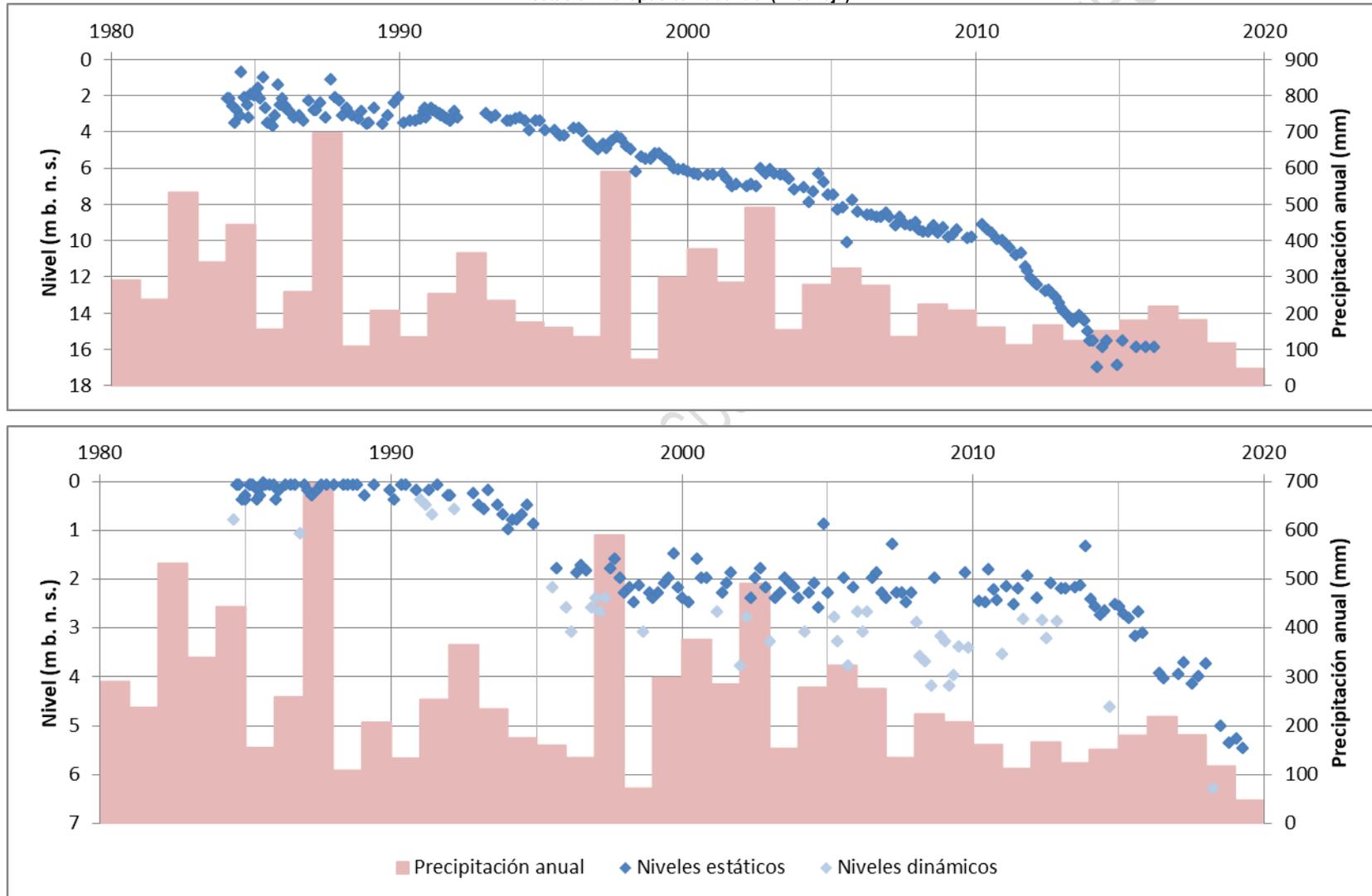
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Es decir, el único documento que cuenta con un análisis del afloramiento de la napa es el elaborado por el SERNAGEOMIN. Por su parte, el MPRMS 100 define áreas con peligro de inundación por afloramiento de napa, pero los resultados de ambos trabajos no tienen ninguna similitud entre ellos.

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—4 Variación del nivel freático en los pozos Aeropuerto Pudahuel (arriba) y Fundo La Montaña (abajo). Como referencia, se incluye el registro de precipitaciones en la estación Aeropuerto Pudahuel (línea loja).



4.3. MODELACIÓN

En base a los caudales definidos en la línea base, se realizó una modelación hidráulica del estero Las Cruces, en el tramo correspondiente a la comuna de Quilicura. Se modela este cauce por ser el cauce natural principal dentro de la zona de estudio.

Al respecto, la modelación se realizó en dos dimensiones mediante el software Iber, dadas las características geomorfológicas de la zona de estudio, con lo que se obtiene como resultado el área de inundación asociada. En el ANEXO E se presenta la metodología considerada para el desarrollo del estudio de las zonas inundables, especificando las consideraciones del software utilizado.

4.3.1. Consideraciones

La modelación hidráulica del estero Las Cruces podría calificarse como compleja. Como se ha señalado, este estero se ha planificado como la vía evacuadora de la Zona Norte – Las Cruces, uno de las 4 sectores definidos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias del Gran Santiago (PM-01; CADE-IDEPE, 2001). Si bien en este Plan Maestro se buscó definir la zona aportante (presentadas en la Línea Base del presente informe) como aquella que drenan naturalmente hacia el punto de salida, es difícil asegurar que al día de hoy la totalidad de la escorrentía directa sea capaz de dirigirse hacia el estero, pudiendo quedarse aposada en ciertos sectores dada las bajas pendientes presentes en la zona. A partir de lo anterior, es importante señalar lo siguiente:

- Los caudales indicados en la Línea Base se desprenden principalmente la consultoría ALL-DP16: Estudio Factibilidad y Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Las Cruces (AC Ingenieros, 2003).
- Para efectos de modelación en la consultoría ALL-DP16 se ha acogido a la solución propuesta en el PM-01 referente a la Red Primaria asociada al estero Las Cruces que considera tanto cauces naturales, canales existentes y proyectados, y colectores unitarios y separados.
- Los canales proyectados para la Zona Norte – Estero Las Cruces a la fecha actual no se encuentran completamente ejecutados, sobre todo en el sector de Chicureo, esto a partir del Mapa del Estado de la Red Primaria de Santiago (DOH, 2017).
- Debido a lo anterior no existe total garantía que los caudales modelados la consultoría ALL-DP16 y el caudal del estero Los Patos (desprendido del estudio Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Los Patos (Arrau, 2008)) sean los que en efecto son capaces de llegar al estero Las Cruces.

Sin embargo, en el presente estudio se ha trabajado con el supuesto que la planificación realizada implica una inminente implementación de las obras proyectadas en la cuenca del estero Las Cruces, lo que puede determinar una condición desfavorable temprana que haga llegar más caudal al cauce y por ende mayores áreas de inundación, respecto de la situación actual. Es por esto que se ha decidido trabajar con estos caudales para la modelación, pues sería irresponsable ignorar el desarrollo de la Red Primaria a pesar que no se encuentre completamente implementada. Cabe destacar esto aplica solo para los caudales de crecida y no para la infraestructura, la que se trabaja en la situación actual.

4.3.2. Estado actual del cauce del estero Las Cruces

De acuerdo a las visitas realizadas al estero Las Cruces en febrero y marzo del 2020, se diagnostica una situación preocupante para el estado actual del cauce. Si bien parte de las obras planificadas en el Plan Maestro ya están construidas, en específico desde Puente Verde hasta antes de Puente Lo Ovalle, estas se encuentran en condiciones desfavorables en algunos tramos, en especial atención de la cantidad de

vegetación evidenciada en el tramo que pasa por la zona industrial, aguas abajo de la Ruta 5. La vegetación incluso sobrepasa las cotas de coronamiento del canal rectangular existente aguas abajo de la Ruta 5 y no se descarta la presencia de embancamiento que sumado a las raíces crean una capa que disminuye la sección del estero, y por tanto, la capacidad para que fluya el agua. Por otro lado, estas condiciones fueron consideradas dentro de la definición de las rugosidades del cauce, ya que sería incorrecto considerar a los tramos revestidos de hormigón con el respectivo valor de n de Manning, en su lugar se trabajó con valores más desfavorables. A continuación se muestran algunas figuras correspondientes a fotos tomadas en terreno donde se evidencia lo anterior. Para una visualización más acabada de lo observado en terreno, en el ANEXO G se presentan las fotografías tomadas en terreno.

Se destaca que la modelación se realizó en base al uso actual de suelo, relevando la necesidad de mantener las obras y las obras de arte de los cauces y las riberas sin depósitos de basura, toda vez que en terreno se observaron alcantarillas en malas condiciones, vegetación, entre otros.

FIGURA N° 4—5 Descarga del canal Huechuraba hacia Las Cruces. En el fondo, el estero Las Cruces.



FIGURA N° 4—6 Estero Las Cruces pasado cruce con Ruta 5 Norte.



4.3.3. Construcción del modelo hidráulico

Se detallan a continuación los contenidos mínimos requeridos para la construcción del modelo de inundación 2D del estero Las Cruces, el cual requirió de algunas modelaciones previas antes de la simulación definitiva, según se detallará más adelante, sobre todo por la verificación de la capacidad de algunas obras de arte.

4.3.3.1. Topografía

Para este estudio se realizó un levantamiento de terreno LIDAR del área donde se necesita modelar el escurrimiento, con una resolución espacial de 0,5 m. Con este insumo, se construyó una malla de elementos finitos (de forma triangular) de tamaño variable, entre 1 m en las zonas más críticas (alcantarillas, angostamientos, secciones rectangulares angostas) hasta 25 m en las planicies del terreno.

Los cauces modelados presentaban agua en algunos tramos. Por las características de la metodología utilizada para el levantamiento, el modelo de elevación de terreno representa la superficie del agua, y no el fondo de los cauces, lo que les resta capacidad para conducir agua. Como ejemplo, esta situación ocurre en el cruce de la Ruta 5, donde existe una diferencia de nivel cercana a 2 m, producto del embancamiento que se observó en terreno. Considerando que en la situación actual existe ese embancamiento, y que en caso de escurrir el agua efectivamente obstruiría el flujo, se optó por modelar el escurrimiento utilizando la topografía levantada, que es un criterio conservador, pero que se ajusta a lo que ocurriría.

4.3.3.2. Coeficiente de rugosidad

La rugosidad de las zonas de escurrimiento se representa mediante el coeficiente de Manning, para el cual no existe un método exacto para determinarlo. En este estudio se utilizó la metodología de Cowan (1996) que estima este coeficiente a partir de un canal recto, uniforme y liso, al cual se le realizan correcciones por las rugosidades superficiales, la variación de forma y tamaño de la sección superficial, las obstrucciones, la presencia de vegetación y el efecto de los meandros.

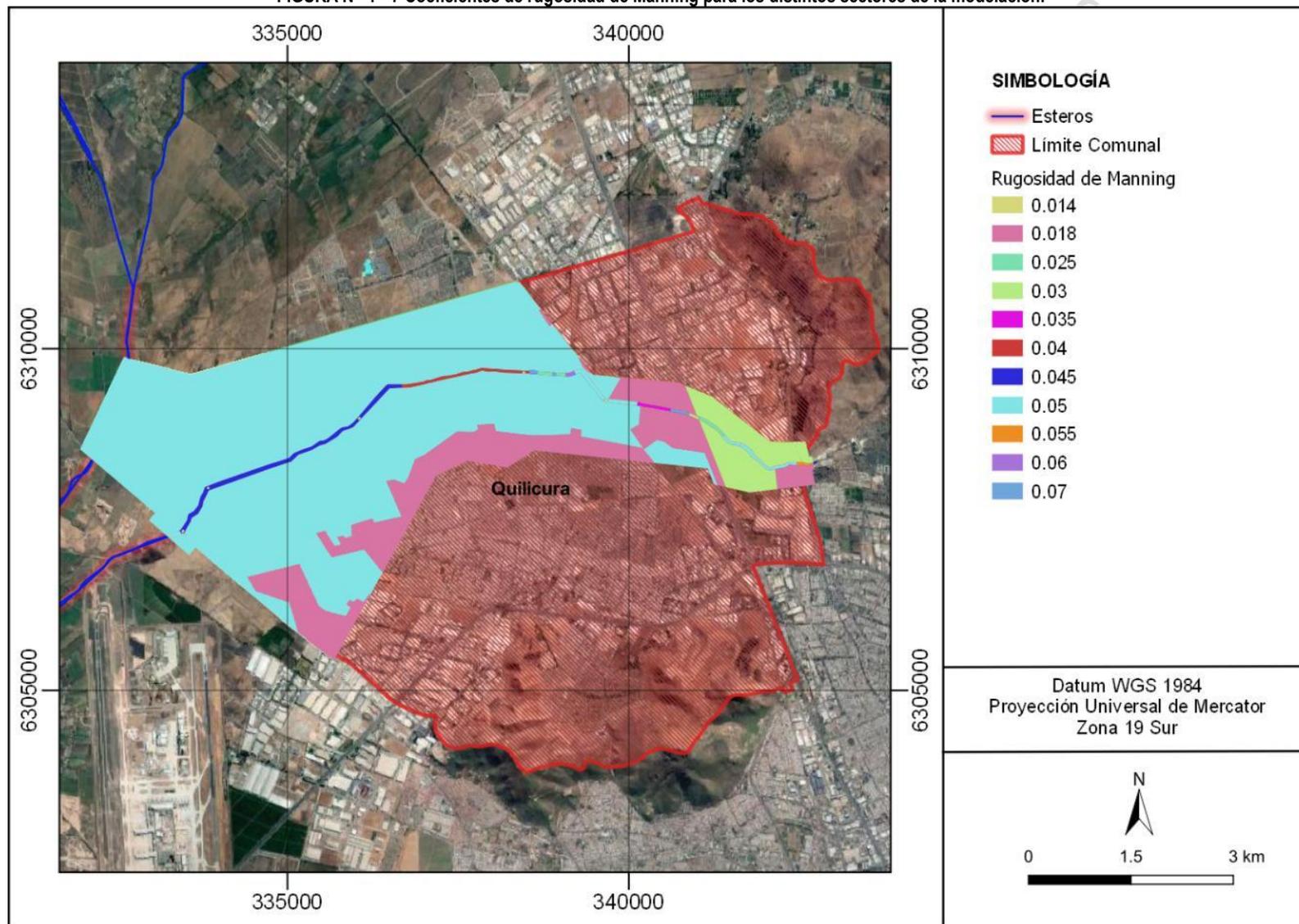
Dada las características del estado actual del estero Las Cruces, se puso especial atención a las condiciones actuales descritas en la sección anterior, pues la alta presencia de vegetación desfavorece las condiciones originales de los cauces, perjudicando el escurrimiento y aumentando el valor de los coeficientes de Manning.

Tanto para las planicies potencialmente inundables como para las zonas habitadas se ha obtenido el coeficiente de Manning desde bibliografía especializada.

En la FIGURA N° 4—7 se muestra la sectorización considerada junto a los valores de rugosidad que se consideraron.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—7 Coeficientes de rugosidad de Manning para los distintos sectores de la modelación.



4.3.3.3. Condiciones de borde y régimen de flujo

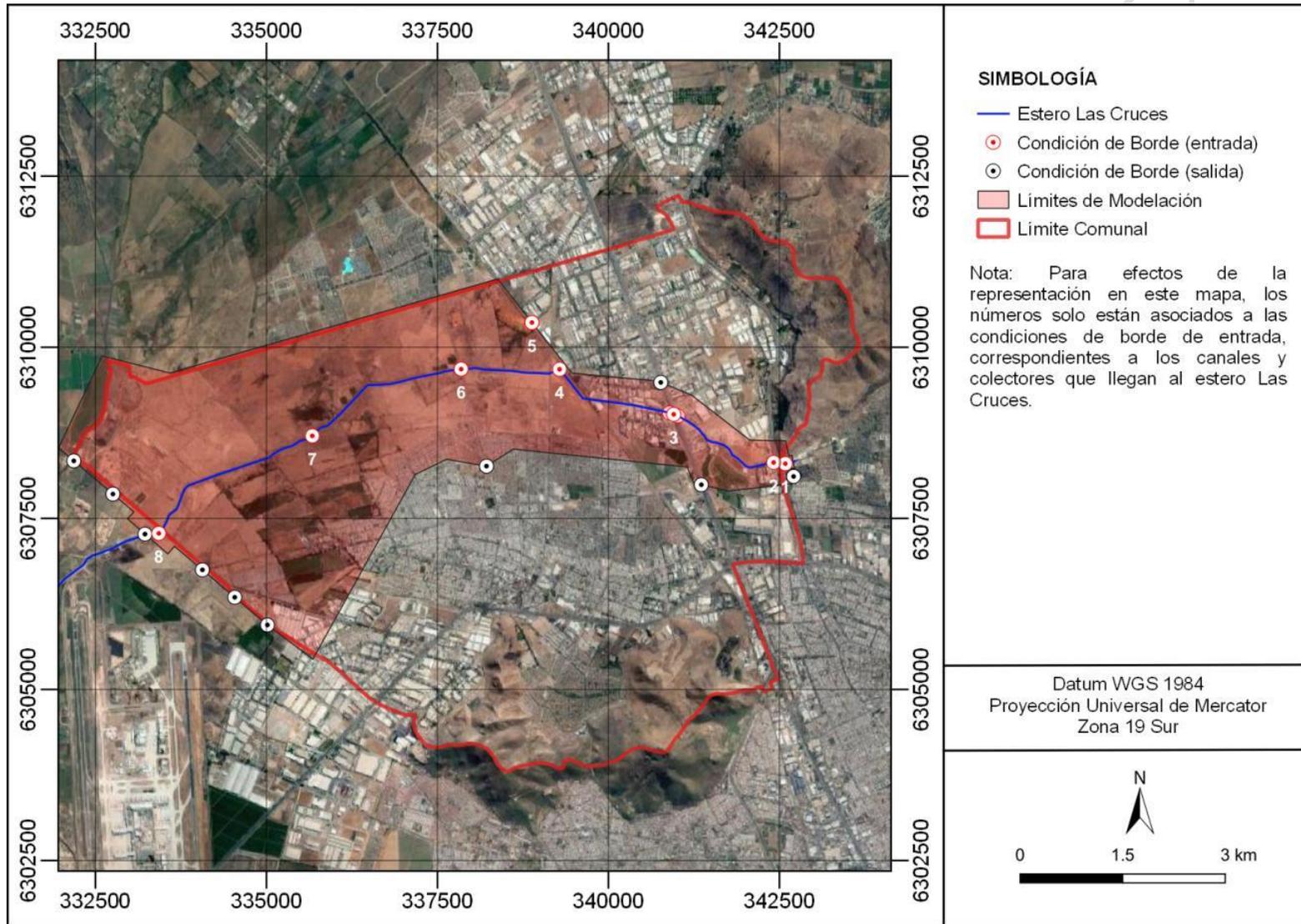
Las condiciones de borde son los puntos por donde entra y sale el agua en el modelo.

Las condiciones de borde de entrada consisten en los hidrogramas de crecida de los canales y colectores asociados al estero Las Cruces, según lo dispuesto en el PM-01 y posteriormente desarrollado en el estudio ALL-DP16. Los hidrogramas fueron presentados en la Línea Base del presente estudio, y representan los caudales que ingresan por los puntos que se presentan en la FIGURA N° 4—8.

Se definió un único punto de salida preestablecido, que corresponde a la salida aguas abajo del puente Camino Lo Echevers, que es por donde naturalmente se dirige el estero pasado los límites del modelo. Posteriormente, se definieron otros puntos de salida mediante modelos preliminares, donde se puso atención en los bordes en donde se acumulaba agua (FIGURA N° 4—8).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—8 Condiciones de borde de entrada y salida del modelo.



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

4.3.3.4. Identificación de infraestructura

Se catastraron 16 estructuras en el estero Las Cruces (puentes, alcantarillas y pasos peatonales), distribuidas en 11 puntos, según se especifica en el CUADRO N° 4—2. En la FIGURA N° 4—9 se muestra la ubicación geográfica de la infraestructura identificada, enumerados desde aguas arriba hacia aguas abajo en un orden ascendente. En el ANEXO G se presenta una descripción basada en el modelo digital de terreno y/o la visita a terreno, junto con fotografías de cada uno de estos puntos.

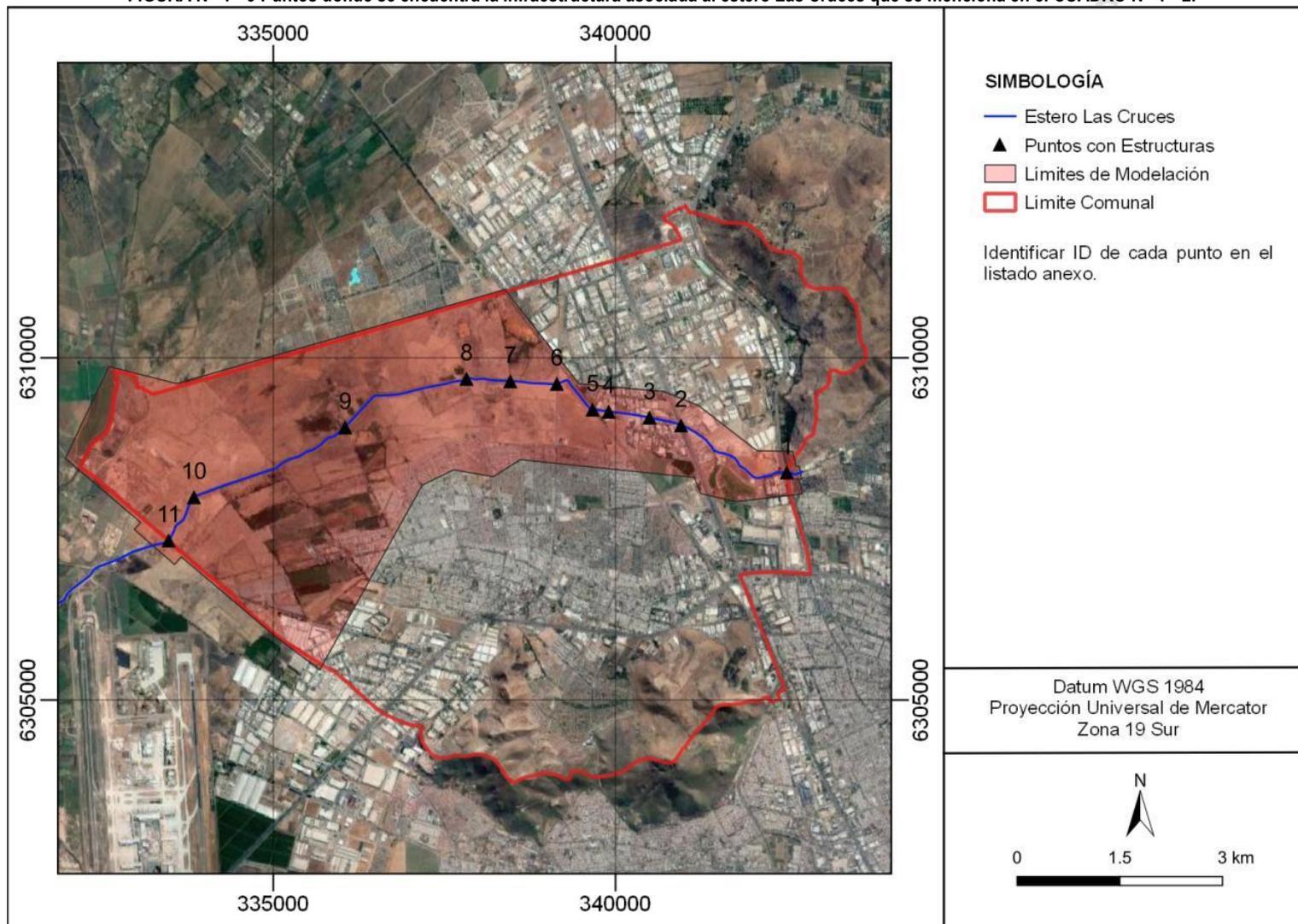
CUADRO N° 4—2 Puntos con estructuras en el estero Las Cruces.

Punto		Estructura	
1	Ruta G57	1	Plataforma Calle Uno
		2	Plataforma Ruta G57 al Norte
		3	Plataforma Ruta G57 al Sur
		4	Plataforma Puente Verde
2	Ruta 5	5	Alcantarilla R5 (1 culvert)
3	Interferencia Menor Zona Industrial	6	Pasadizo
4	Las Esteras	7	Paso Peatonal (Estructura metálica)
5	Línea Ferrocarriles	8	Alcantarilla FFCC (1 culvert)
6	O'Higgins	9	Puente O'Higgins
7	Lo Ovalle	10	Alcantarilla (3 culverts rectangulares)
8	Santa Luisa	11	Plataforma Santa Luisa al Norte
		12	Plataforma Santa Luisa al Sur
9	San Luis	13	Alcantarilla (2 culverts rectangulares)
10	Sin Nombre	14	Alcantarilla Circular 1 separada
		15	Alcantarilla Circular 2 separada
11	Lo Echevers	16	Alcantarilla (3 culverts rectangulares)

De acuerdo a estas descripciones, en el CUADRO N° 4—3 se indican las dimensiones y cotas de las plataformas de los puentes anteriormente presentados, las cuales se determinaron en base a lo apuntado en terreno con apoyo del MDT. De igual forma, en el CUADRO N° 4—4 se indican la cantidad de alcantarillas (culverts) catastradas en terreno junto a sus dimensiones estimadas en terreno y complementadas a partir del MDT.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—9 Puntos donde se encuentra la infraestructura asociada al estero Las Cruces que se menciona en el CUADRO N° 4—2.



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO N° 4—3 Catastro de los puentes presentes en el cauce del estero Las Cruces.

Punto	Plataformas	Cota Inferior (m)	Cota superior (m)	Ancho Puente (m)	Espesor Plataforma (m)
1	Calle 1	493,02	494,52	9,5	1,5
1	G-57 al Norte	492,77	494,27	11	1,5
1	G-57 al Sur	492,5	494	10,5	1,5
1	Puente Verde	492,55	494,05	9,5	1,5
3	Interferencia Menor	482,236	482,736	2,5	0,5
4	Las Esteras	481,325	482,125	3	0,8
6	O'Higgins	479,907	481,707	28	1,8
8	Santa Luisa Al norte	478,58	480,38	10	1,8
8	Santa Luisa Al Sur	478,56	480,36	10	1,8

CUADRO N° 4—4 Catastro de las alcantarillas presentes en el cauce del estero Las Cruces.

Punto	Alcantarillas	Cantidad de culverts y dimensiones	Altura alcantarilla (m)	Ancho simplificado alcantarilla (m)	Cota superior (m)	Cota Inferior (m)
2	Ruta 5	1 de 4m x 6m	4	6	486,536	483,224
5	FFCC	1 de 2.5m x 6m	2,5	6	482	480,943
7	Lo Ovalle	3 de 2m x 2m	2	6	479,078	478,691
9	San Luis	2 de 2m x 2m	2	4	475,525	474,342
10	Puente Sin Nombre	2 de radio 1m	1	2	471,516	471,043
11	Lo Echevers	3 de 2m x 2m	2	6	472,859	470,559

A pesar que dentro de Iber se pueden incorporar expresamente las alcantarillas como culverts, el módulo considera un cálculo simplificado que, de acuerdo a los resultados preliminares, se consideró poco consistente, pues dentro de los culverts ocurrían caudales que variaban de valores positivos a negativos de manera abrupta. En vista de esto, se optó por moldear la topografía y dejar un mallado bastante fino para que quedase representada la forma rectangular de las alcantarillas, utilizando un ancho simplificado, para lo cual, en el caso que existieran por ejemplo tres culverts contiguos de 2 metros de ancho cada uno, este pasaría de tener un ancho de 6 metros.

Ya con el terreno moldeado de la forma rectangular se consideró incorporar una estructura tipo Cubierta para obtener el conducto cerrado asimilable a la alcantarilla, para esto Iber incorpora cálculos a partir del método de la ranura de Preissmann para considerar el flujo en presión. Lamentablemente al aplicar este método, la condición de Courant restringió pasos de cálculo tan pequeños que se hizo insostenible proseguir con la modelación.

Considerando las dificultades de la modelación, dadas principalmente por la alcantarilla presente en la Ruta 5 Norte, donde su gran longitud fue lo que particularmente hizo difícil realizar el cálculo con el método de la ranura de Preissmann, se optó por separar el modelo en dos: un modelo aguas arriba de la Ruta 5N y un modelo aguas abajo de la Ruta 5N, con el objeto de obtener tiempos razonables en la modelación. Adicionalmente se agregó un tercer modelo para analizar la capacidad de la alcantarilla en cuestión.

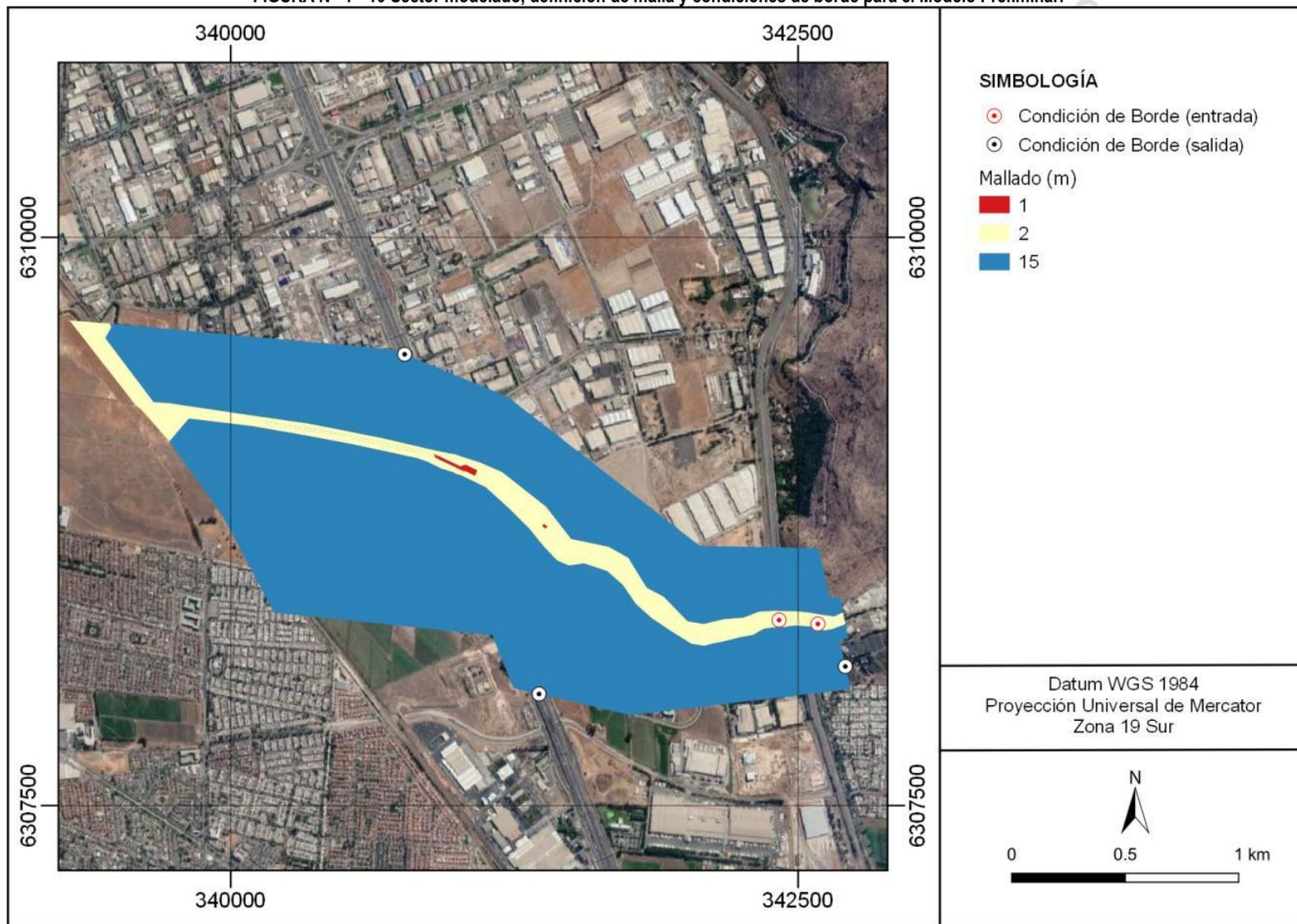
4.3.3.5. Modelos hidráulicos 2D

a) Modelo Preliminar: capacidad Ruta 5

Este modelo se desarrolló con el solo objetivo de determinar la capacidad de la Ruta 5 Norte. Para realizar esto se consideró como límites de modelación a la zona industrial, de Quilicura, desde aguas arriba de la ruta G-57 hasta aguas arriba de la Línea de Ferrocarriles. Dada la inviabilidad de trabajar con el método de la ranura de Preissmann, se optó por definir una gran cantidad de secciones para incorporar los puentes, que consisten en una combinación vertedero – compuerta representada de manera plana y en este caso normal a la dirección del flujo. En la FIGURA N° 4—10 se indica el mallado y la extensión de los límites de este modelo, así como los puntos de condiciones de borde. En la FIGURA N° 4—11 se indican las secciones de puentes implementadas para asimilar el comportamiento del flujo en un culvert, además del punto de desborde del cauce cuando se sobrepasa la capacidad de la alcantarilla. Así, además del hidrograma de la capacidad de la alcantarilla se determinó un hidrograma con el volumen de agua que se desborda sobre la Ruta 5.

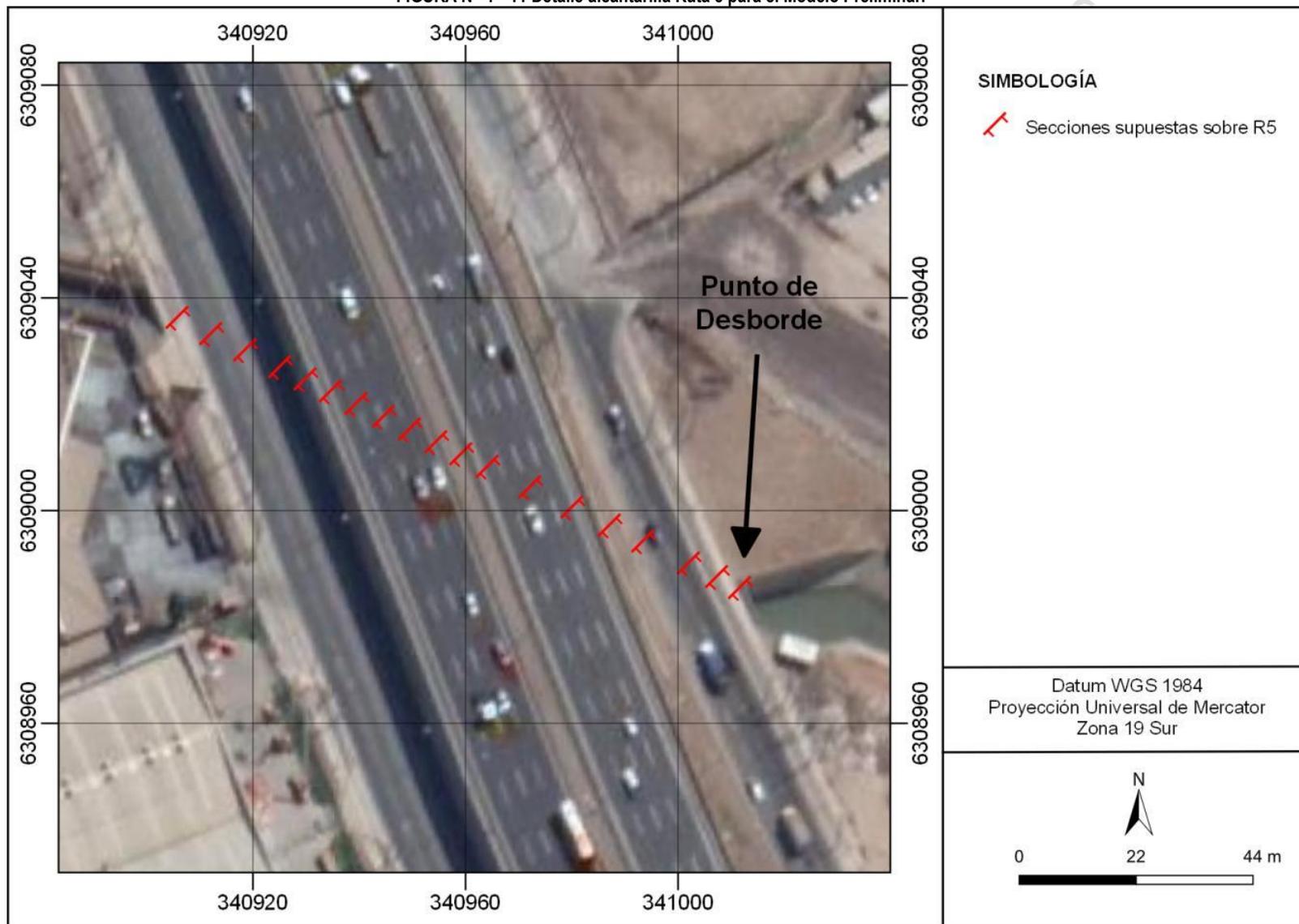
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—10 Sector modelado, definición de malla y condiciones de borde para el Modelo Preliminar.



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—11 Detalle alcantarilla Ruta 5 para el Modelo Preliminar.



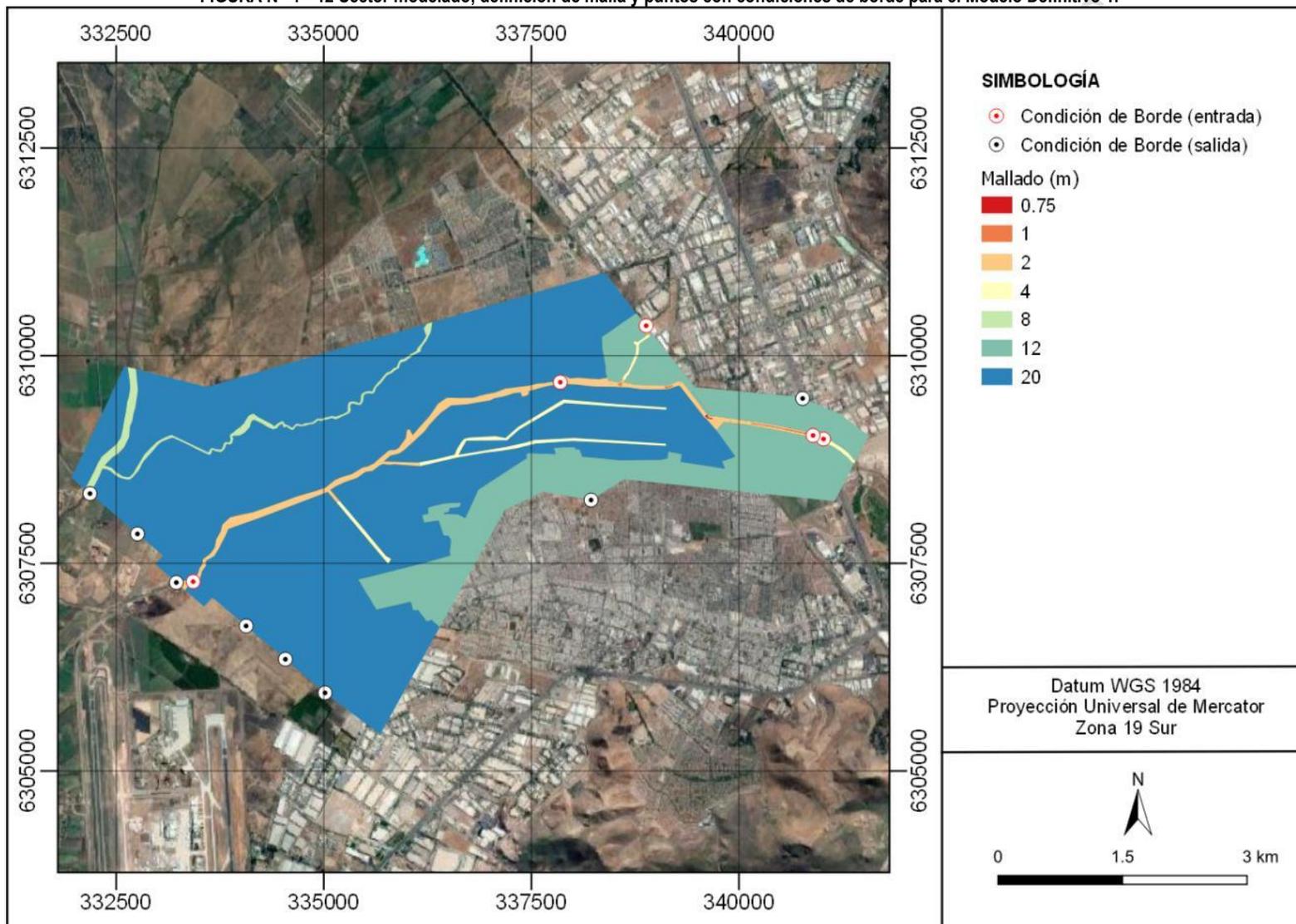
b) Modelo Definitivo 1: Aguas arriba de Ruta 5

En la FIGURA N° 4—12 se presenta el mallado y la extensión de los límites del Modelo Definitivo 1, que corresponde al tramo del estero Las Cruces comprendido desde la ruta G-57 hasta la Ruta 5, así como los puntos de condiciones de borde.

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—12 Sector modelado, definición de malla y puntos con condiciones de borde para el Modelo Definitivo 1.



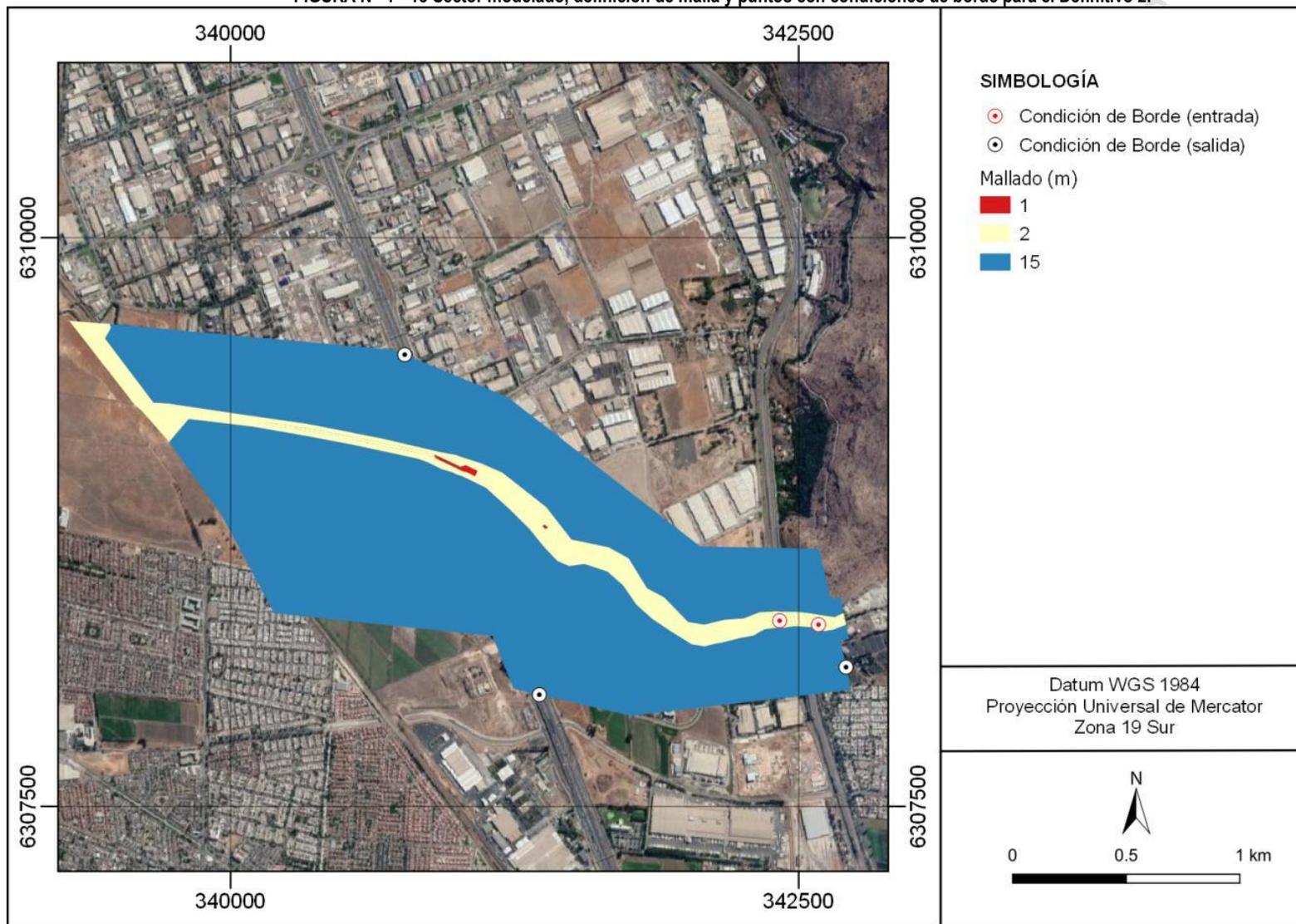
c) Modelo Definitivo 2: Aguas abajo de Ruta 5

En la FIGURA N° 4—13 se presenta el mallado y la extensión de los límites del Modelo Definitivo 2, que corresponde al tramo del estero Las Cruces comprendido desde la Ruta 5 hasta el camino Lo Echevers, así como los puntos de condiciones de borde.

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—13 Sector modelado, definición de malla y puntos con condiciones de borde para el Definitivo 2.



4.3.3.6. Resultados modelos hidráulicos

Se ha modelado la inundación del estero Las Cruces en un tramo que va desde Ruta G-57 hasta un punto aguas abajo del camino Lo Echevers, con caudales de entrada de 100 años de periodo de retorno. Se ha trabajado en régimen subcrítico para las condiciones de borde, dado que tanto las zonas donde se ingresaron los caudales así como el sector inundable son lugares bastante planos.

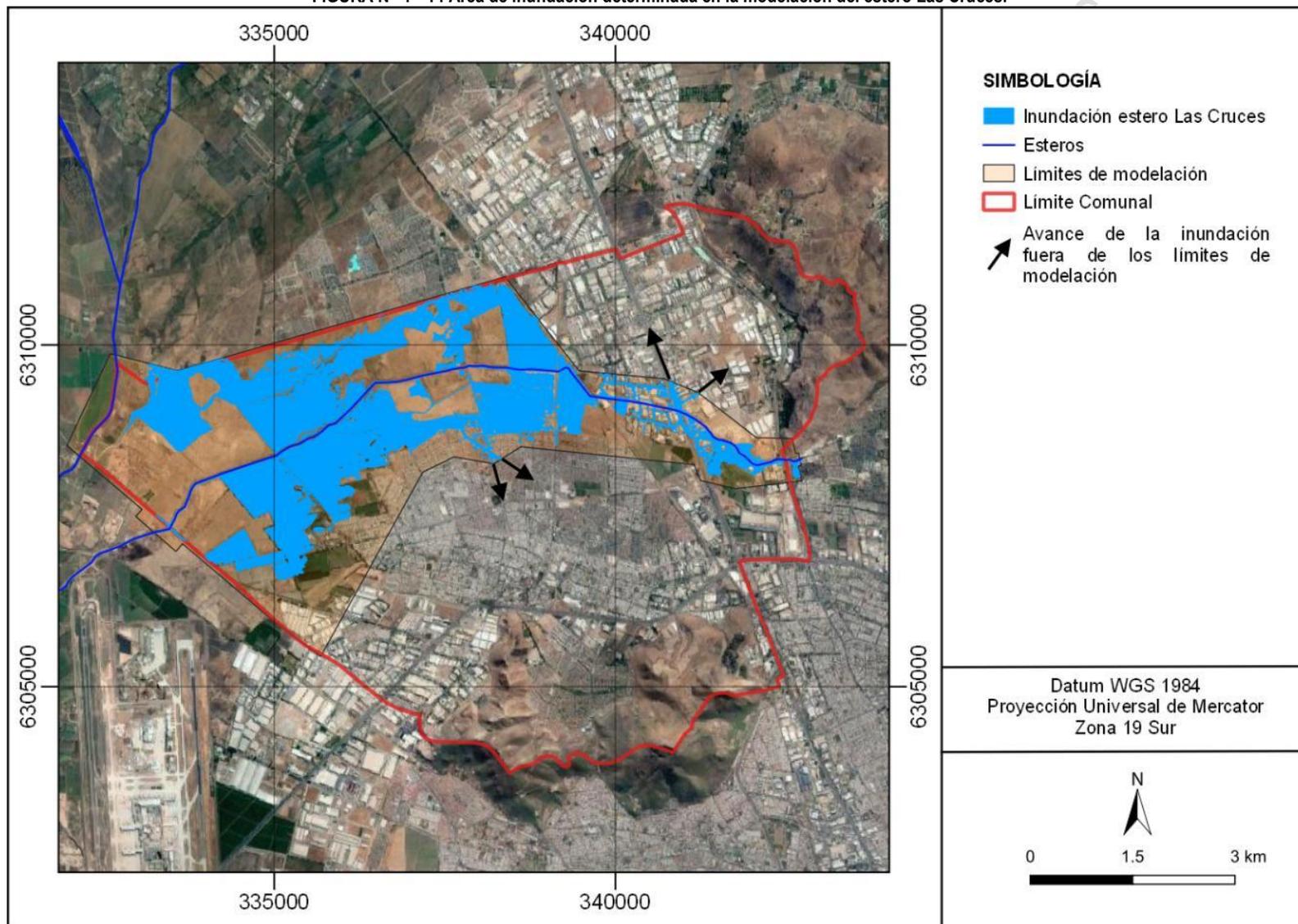
En la FIGURA N° 4—14 se muestra el sector inundable debido a la crecida del estero Las Cruces, en ella también se señala los límites de la modelación actual que dependen de la topografía disponible. Cabe indicar que los resultados presentados corresponden a la unión del Modelo Definitivo 1 y 2.

Se destaca que la inundación en ciertos puntos se sale de los límites de modelación, como es el caso de la Ruta 5 hacia el Norte, principalmente por la caletería Eduardo Frei Montalva, también por la calle Lautaro en el sector Oriente, otros puntos del sector industrial y en las calles Santa Luisa y Las Torres.

Entre la FIGURA N° 4—15 y la FIGURA N° 4—17 se presentan ampliaciones de las zonas donde el modelo se sale de los límites del modelo.

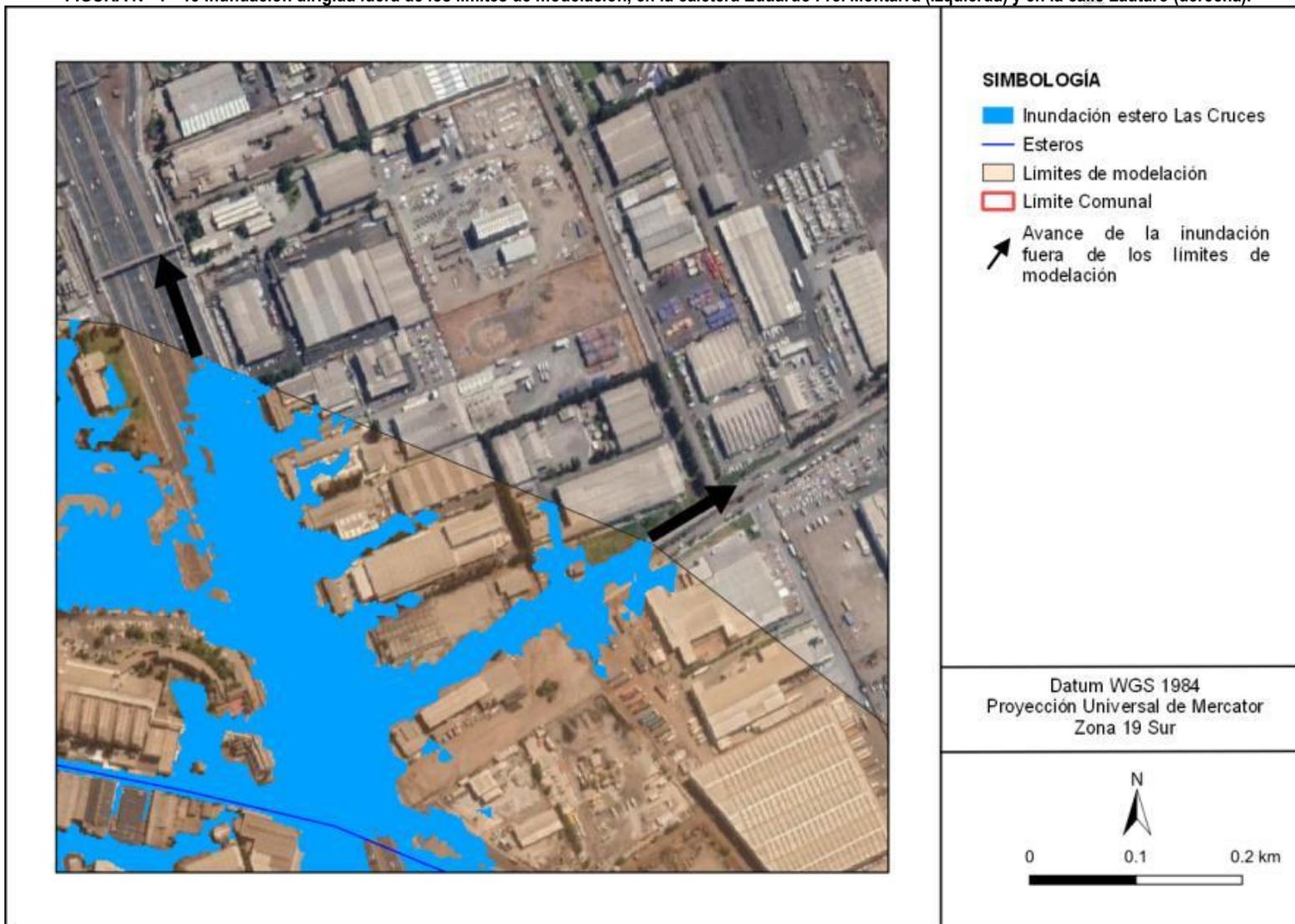
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—14 Área de inundación determinada en la modelación del estero Las Cruces.



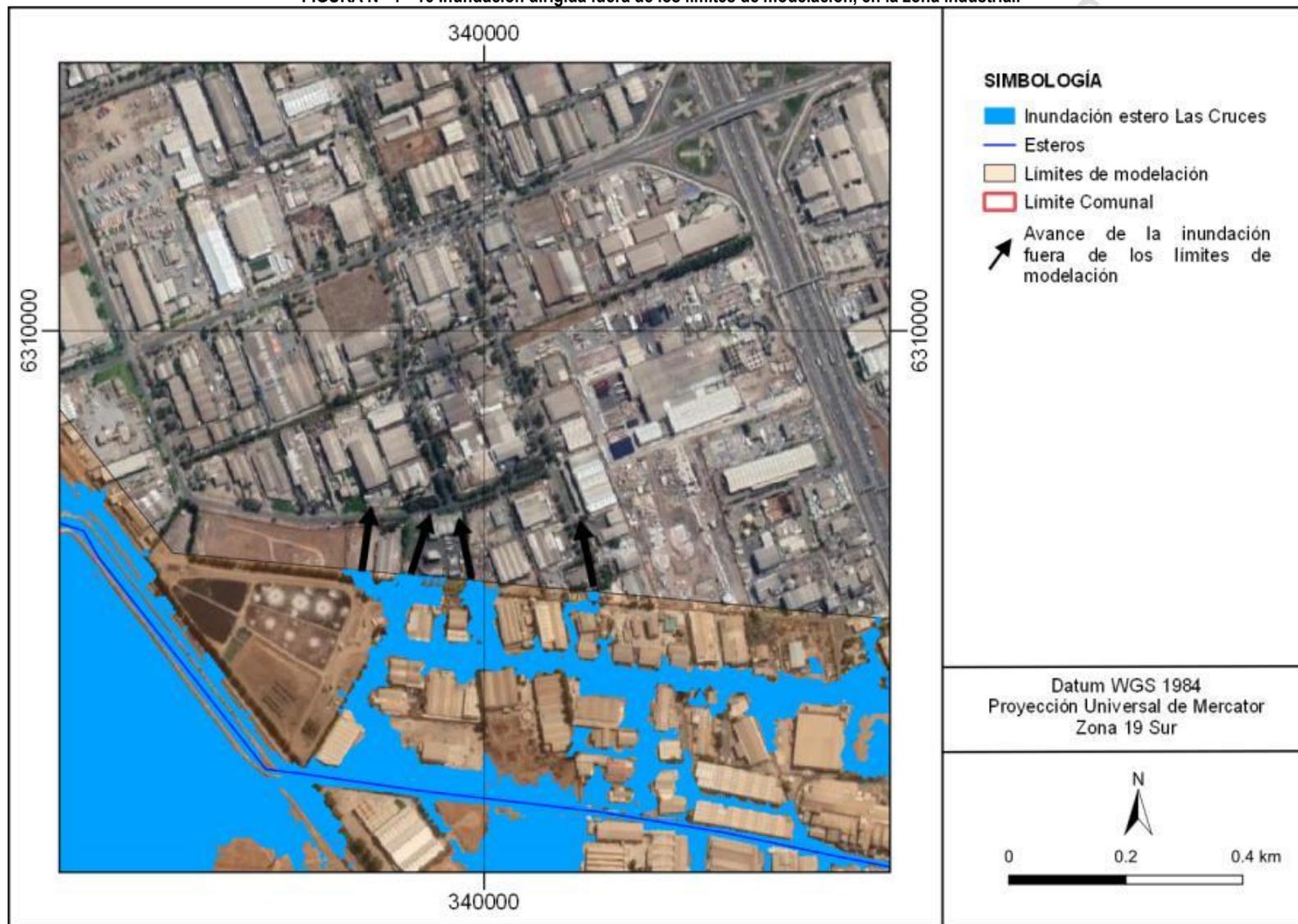
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—15 Inundación dirigida fuera de los límites de modelación, en la caleta Eduardo Frei Montalva (izquierda) y en la calle Lautaro (derecha).



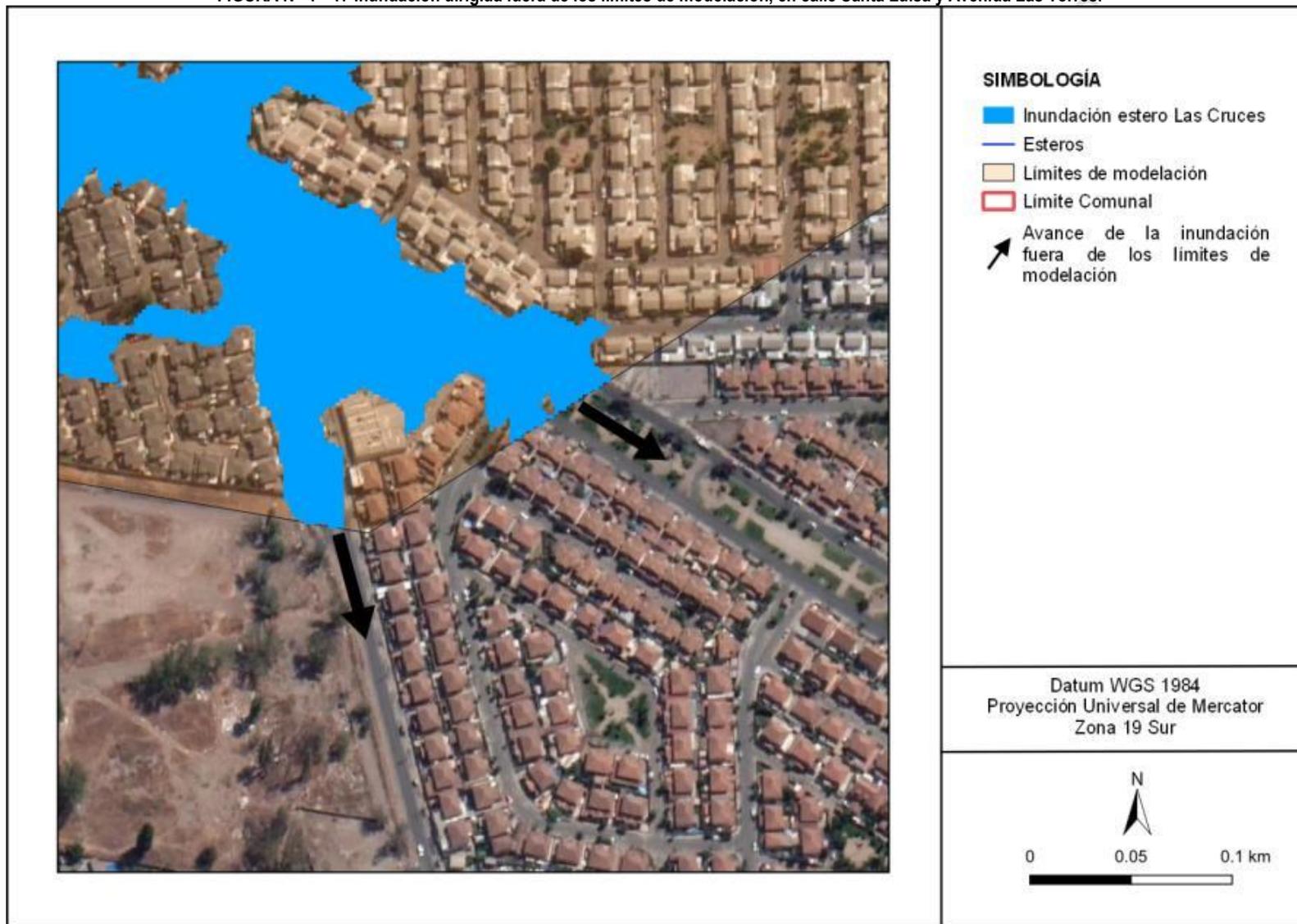
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—16 Inundación dirigida fuera de los límites de modelación, en la zona industrial.



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—17 Inundación dirigida fuera de los límites de modelación, en calle Santa Luisa y Avenida Las Torres.



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Algunos puntos de desbordes críticos (donde se comienza a desbordar el estero) se detallan a continuación:

- Puntos ubicados en la zona industrial antes de la Ruta 5,
- En la entrada a la misma Ruta 5,
- Puntos aguas debajo de la Ruta 5, antes de llegar a la Línea de Ferrocarriles,
- Todos los sectores donde hay alcantarillas, pues estas obras de arte no son capaces de dar abasto frente a la crecida de 100 años de periodo de retorno, en especial la que se encuentra en puente Lo Ovalle y puente San Luis.

Otro punto importante a destacar es el tema de los rellenos que se han efectuado en la zona, aguas abajo de la línea de ferrocarriles, los cuales se observan en el levantamiento topográfico y se observaron en terreno. Estos rellenos influyen en los resultados de la modelación hidráulica, toda vez que al tener mayor cota, no se inundan esas zonas. En este punto se puede señalar que dado que no se conoce el nivel de compactación de estos rellenos se desconoce su estabilidad, lo cual puede afectar en el área de inundación si una crecida es capaz de arrastrar con dichos sedimentos.

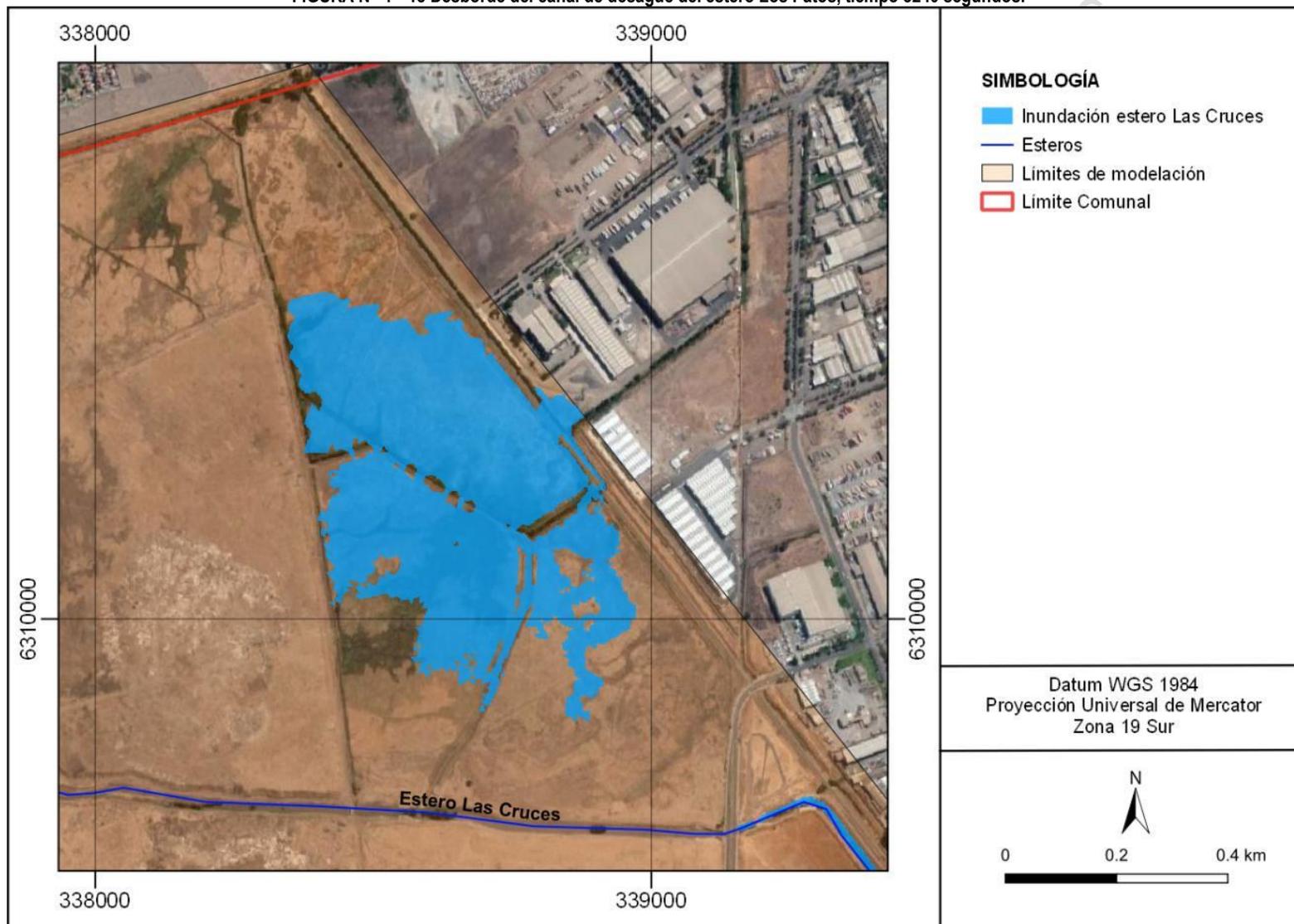
Respecto de la capacidad de la alcantarilla de la Ruta 5, esta se determinó en un valor de 25 m³/s, y fue importante definir para poder incluir los hidrogramas de entrada en el Modelo Definitivo 2 ya que en este caso, hubo que asignar un hidrograma con el caudal que era capaz de pasar por la alcantarilla y otro hidrograma asociado al punto de desborde.

Con respecto a los lugares donde comienza a desbordarse el estero, existen varios puntos críticos dentro de la modelación. Los más determinantes corresponden a sectores donde existen alcantarillas sin la capacidad suficiente para permitir el flujo, tal es el caso de las alcantarillas de la Línea de Ferrocarriles, del puente Lo Ovalle y del puente San Luis, además de la alcantarilla de la Ruta 5.

Entre la FIGURA N° 4—19 y la FIGURA N° 4—22 se indican los desbordes más críticos de la modelación donde para una mayor claridad se ha indicado el paso de tiempo en el que se desborda:

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—18 Desborde del canal de desagüe del estero Los Patos, tiempo 3240 segundos.



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—19 Desborde en la zona industrial, tiempo 4560 segundos.

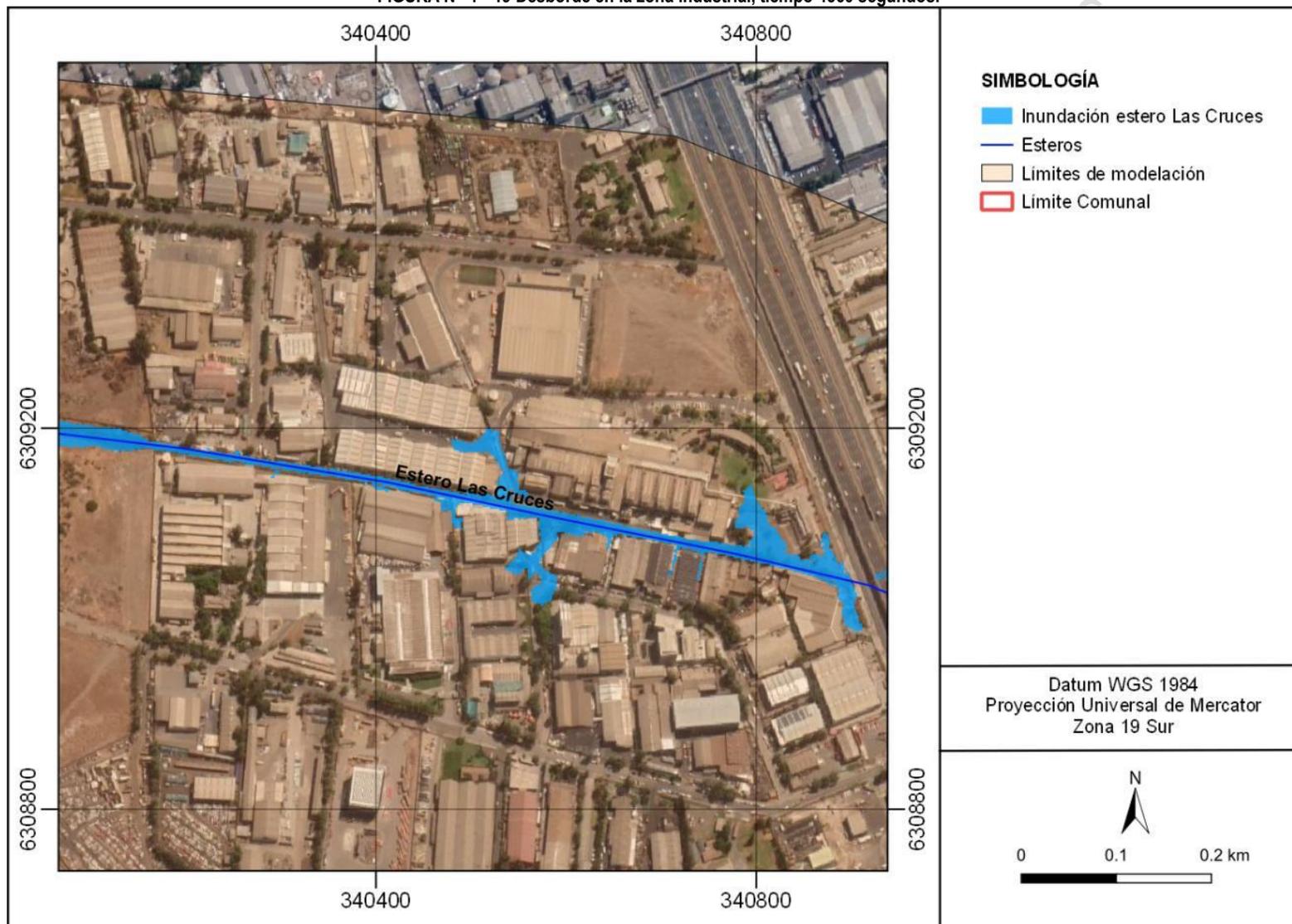
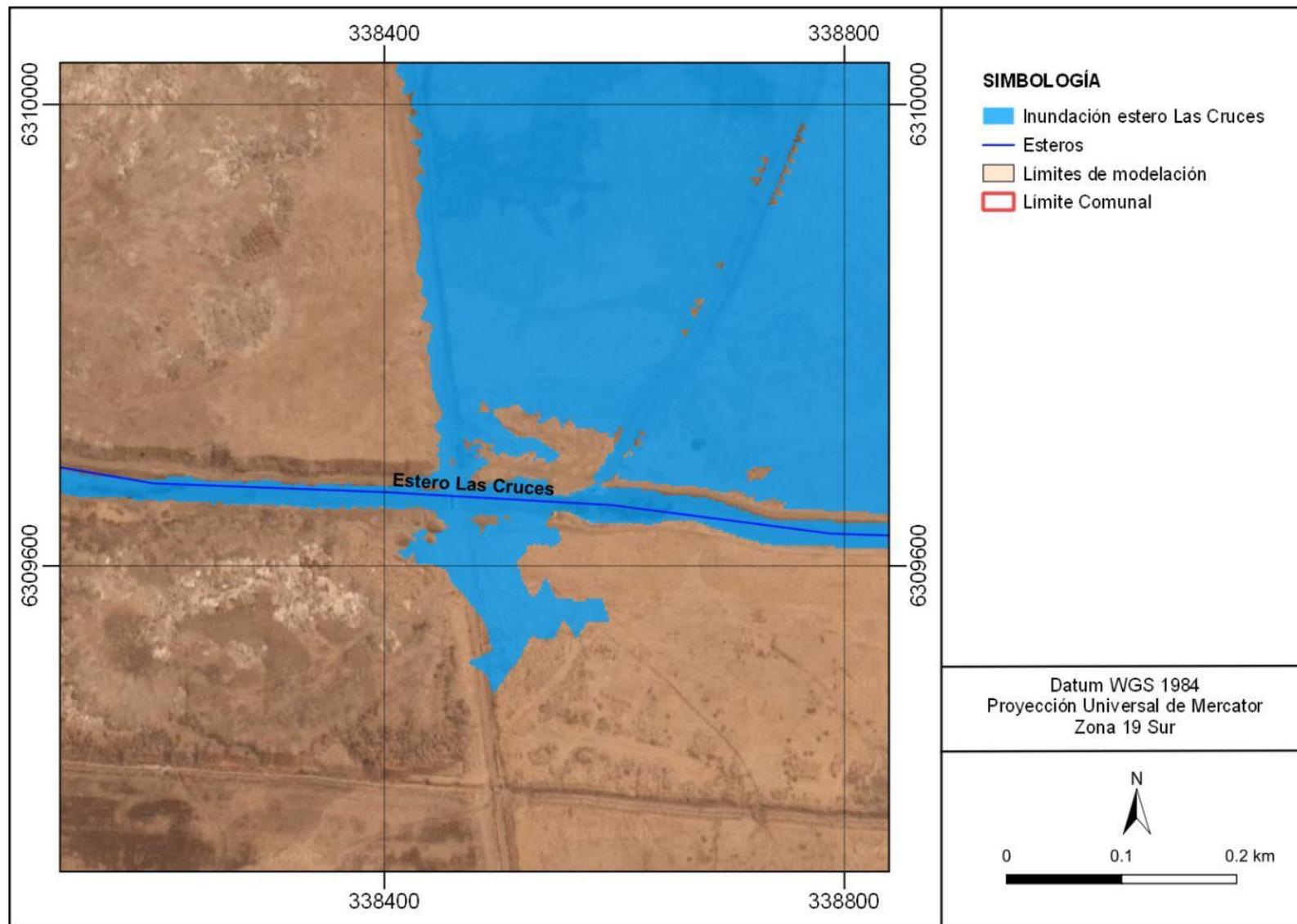


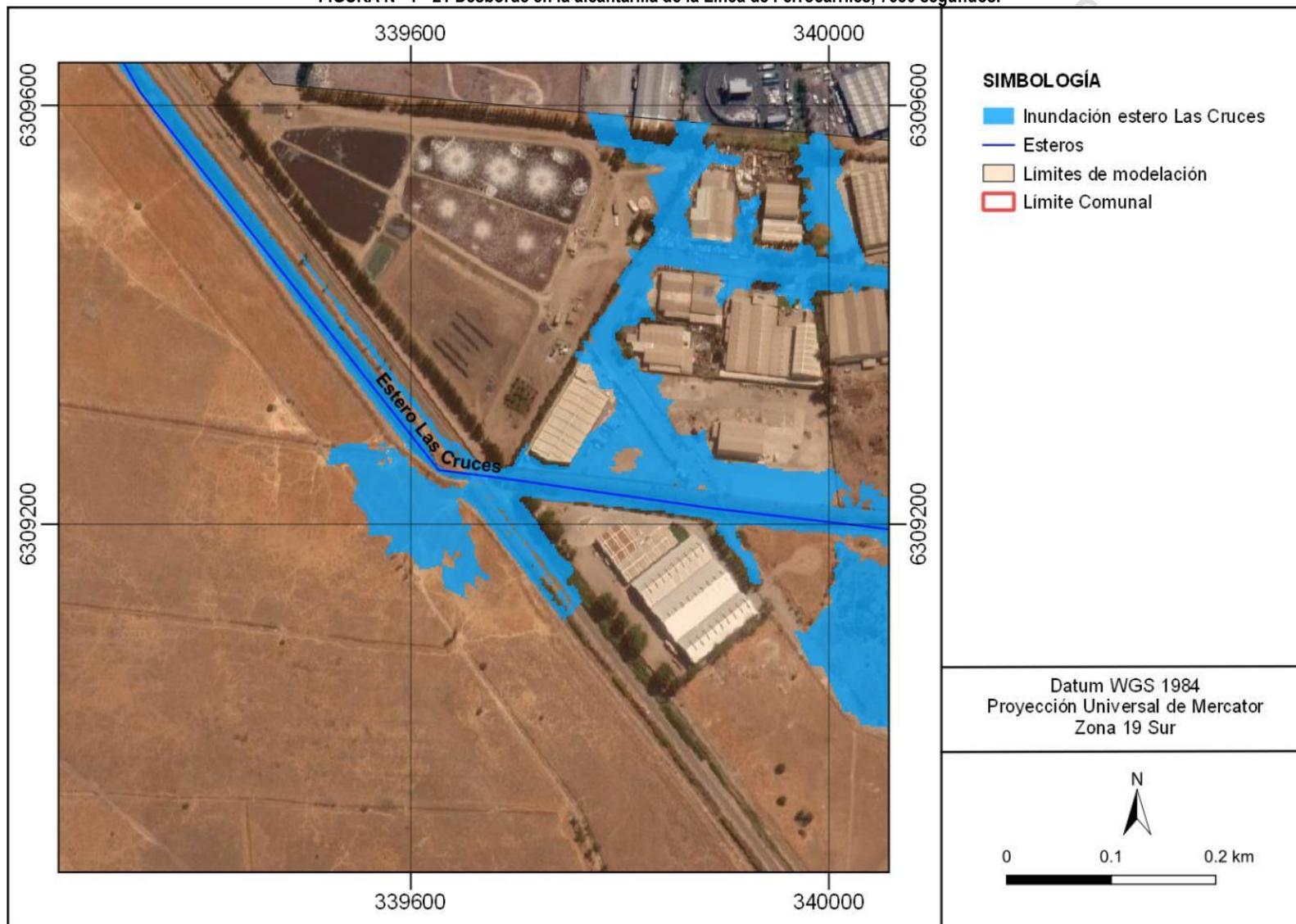
FIGURA N° 4—20 Desborde en la alcantarilla del puente Lo Ovalle, 6360 segundos.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL



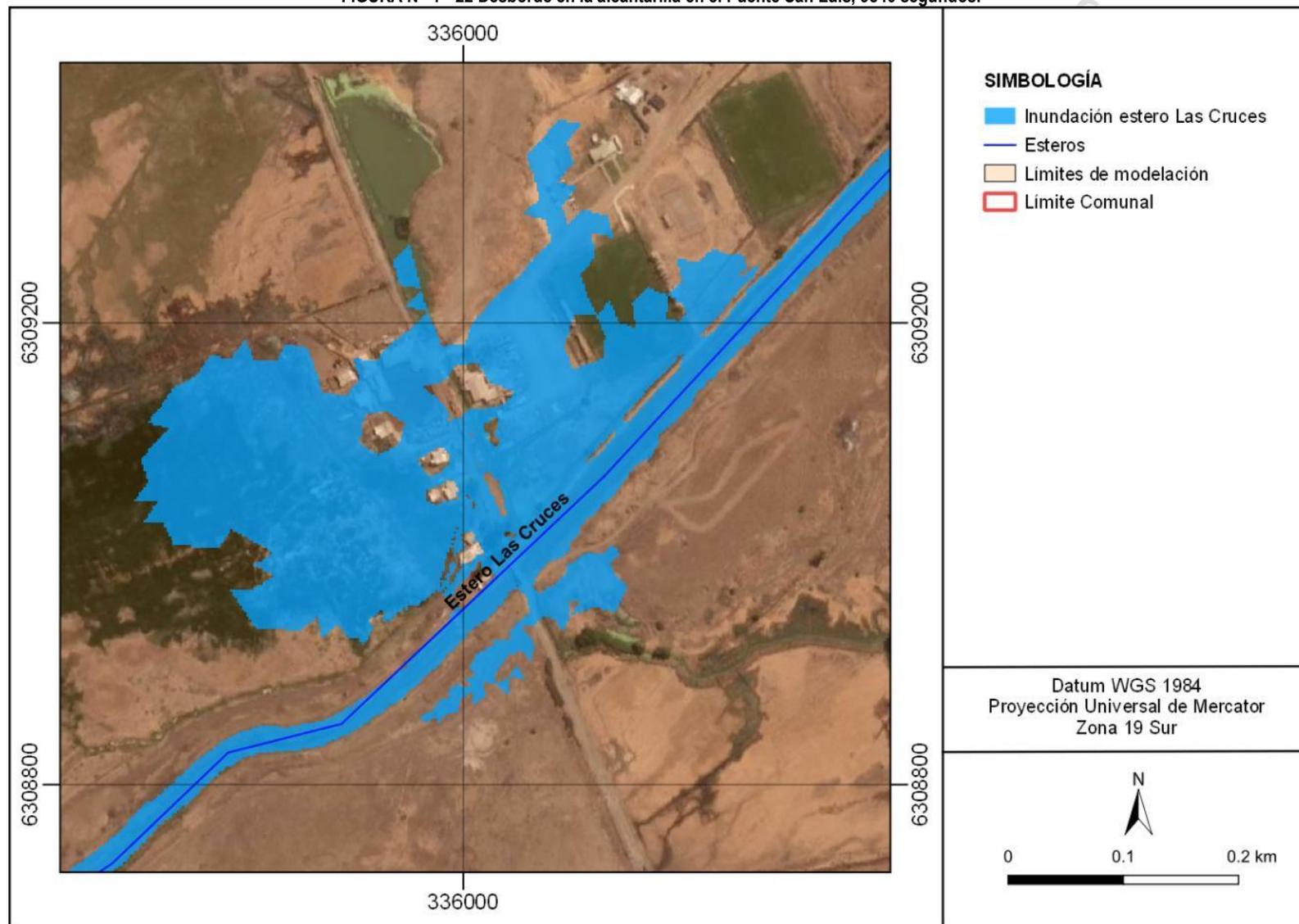
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—21 Desborde en la alcantarilla de la Línea de Ferrocarriles, 7680 segundos.



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—22 Desborde en la alcantarilla en el Puente San Luis, 9840 segundos.



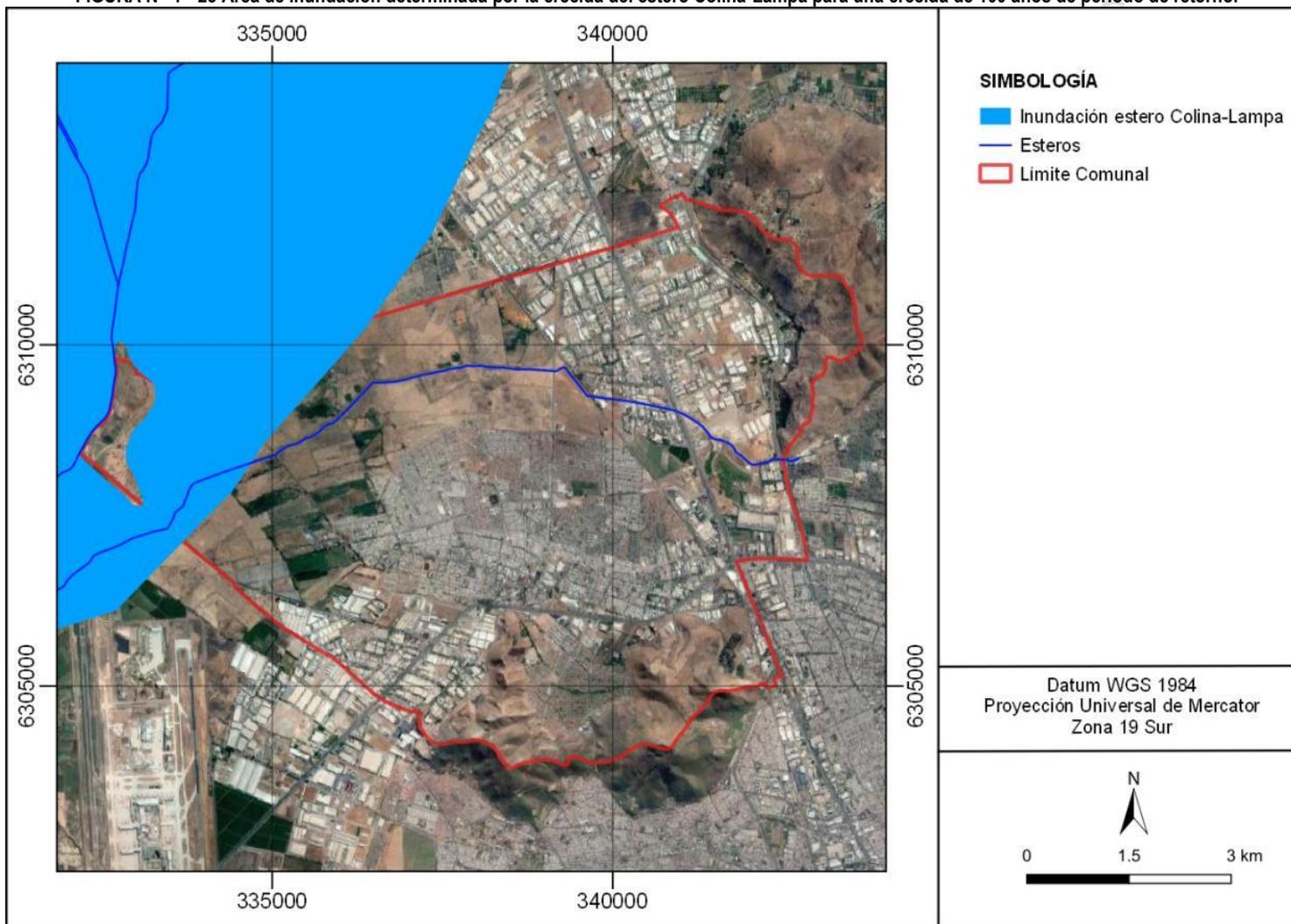
4.3.3.7. Inundación por desborde del estero Colina

Como se ha indicado, el área de inundación del estero Colina se definió a partir de recopilación de antecedentes, en específico de la modelación hidráulica realizada en el estudio PM-12 (Plan Maestro Chacabuco; CADE-IDEPE, 2002), en el cual se consideraron crecidas para periodo de retorno de 100 años. En FIGURA N° 4—23 se muestra el área de inundación referenciada.

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—23 Área de inundación determinada por la crecida del estero Colina-Lampa para una crecida de 100 años de periodo de retorno.



Fuente: Elaboración propia, en base a estudio PM-12.

4.4. SUSCEPTIBILIDAD

Para los dos tipos de inundaciones se realizaron diferentes metodologías para identificar las áreas susceptibles de esta amenaza. Por ello las metodologías se describen a continuación por separado.

4.4.1. Inundación por desborde de cauce

A partir del catastro de eventos, las observaciones de terreno, los resultados del modelo y su análisis se obtuvo un área inundable por desborde de cauce en la comuna de Quilicura. Por tanto, la comuna fue clasificada en dos grandes categorías:

- **Área susceptible a inundación por desborde de cauce:** corresponde al área potencialmente inundable como resultado del desborde del estero Las Cruces y el Estero Colina-Lampa como resultado del escenario graficado por el modelo.
- **Área no susceptible a inundación por desborde de cauce:** corresponde a las áreas que no fueron inundadas como resultado del modelamiento hidráulico de los esteros de la comuna. Esta área no es susceptible bajo los escenarios del modelo, los cuales corresponden a una simplificación de la realidad levantada con los antecedentes disponibles para los cauces del área estudiada. Dentro de esta área se encuentran cauces canalizados o entubados, a los que no se asignó una susceptibilidad.

Los resultados se presentan gráficamente en la FIGURA N° 4—24.

4.4.2. Inundación por anegamiento

Como resultado del diagnóstico se identificaron los condicionantes para generar inundaciones por anegamiento. Estas áreas corresponden a zonas deprimidas, de baja cota y que suelen no tener relleno artificial. En algunos de estos sectores hay afloramiento de aguas, tanto estancadas como con escorrentía superficial lenta. Por lo anterior, a partir de la metodología que se describe a continuación se buscó identificar las zonas que cumplan con estas características.

Primeramente, a partir del modelo digital de terreno se generó con una herramienta de geoprocésamiento un archivo *raster* de relleno. Este archivo fue utilizado para luego restarse al modelo digital de terreno original, generándose un nuevo archivo que solo contiene las zonas deprimidas.

Este archivo que contiene las zonas deprimidas fue utilizado como base para marcar polígonos complementando la información de terreno y el catastro. De esta manera se obtuvieron las zonas susceptibles a inundación por anegamiento que se ilustran en la FIGURA N° 4—24.

De esta forma, las zonas susceptibles corresponden a:

- **Susceptibilidad de ocurrencia de inundaciones por anegamiento:** corresponde a zonas deprimidas, sin relleno artificial y/o donde han ocurrido eventos que se encuentran catastrados como anegamiento de origen natural.

4.4.3. Inundación por afloramiento de napa

De acuerdo al diagnóstico, pese a que actualmente no hay condiciones para que se produzca inundación por afloramiento de la napa, la cuenca de Santiago, en régimen natural, si presenta condiciones para que ello

ocurra en régimen natural. Por lo tanto se ha decidido definir un área susceptible a ser afectadas por este peligro.

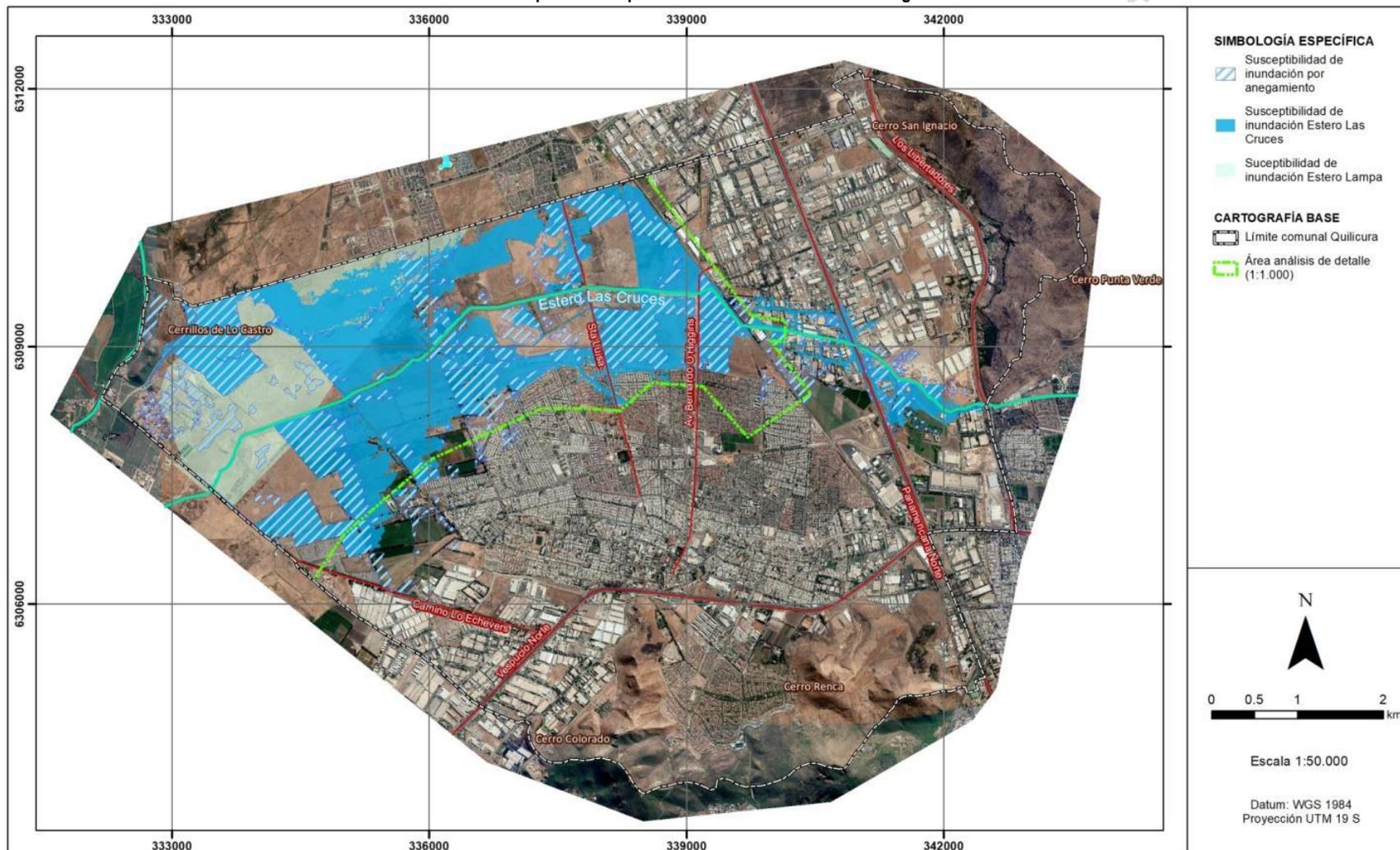
El trabajo realizado por SERNAGEOMIN (Antinao, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 2009) es una aproximación adecuada a las áreas susceptibles a este peligro, pero que necesita algunas correcciones por problemas de escala y por los cambios que ha tenido la zona desde que se elaboró este estudio. Para ello, el área susceptible definida en ese estudio se ajustó a partir de la topografía utilizada en este estudio y se eliminaron como áreas susceptibles aquellas donde se han depositado materiales, formando rellenos de altura suficiente para que no se produzcan inundaciones asociadas a la napa.

De esta forma, se definió un único nivel de susceptibilidad según el siguiente criterio:

- **Susceptibilidad de inundaciones por afloramiento de napa:** corresponde a las zonas definidas por SERNAGEOMIN (Antinao, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 2009), ajustadas en función de la topografía que se utilizó en este estudio.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 4—24 Mapa de susceptibilidad de inundaciones a escala gráfica de 1:50.000



5. 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, 2008). Para los fines de este informe, se han separado en dos tipos principales “Flujos de barro y/o detritos” y “Procesos de ladera”.

- **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).
- **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).

5.1. CATASTRO

En el área de estudio, la mayoría de los registros tras fuertes lluvias hacen referencia a inundaciones por anegamiento e inundaciones por desborde del Estero Las Cruces. Pero no así a eventos de flujos de barro y/o detritos que hayan afectado la comuna.

En cuanto a los procesos de ladera, tampoco se encontraron registros de ningún tipo. Uno de los factores principales es que corresponde a una zona llana con pocos sectores propicios para la generación de remociones en masa. Según lo conversado con el encargado de emergencias de la comuna³, ningún tipo de remoción en masa ha representado un problema para los ciudadanos. Sin embargo, se menciona que ha habido escasos eventos de caída de roca que, según señala el funcionario municipal, no han consistido en más que rodamientos menores de bolones y de muy corto alcance de los cuales no se cuenta con registro detallado, por lo que no pudieron ser incluidos en este catastro.

5.2. DIAGNOSTICO

Las remociones en masa debido a sus distintas características deben analizarse separadamente. Sin embargo, al no contar con un catastro de eventos, solo se pueden analizar los factores condicionantes asociados a las características intrínsecas del área estudiada. Esto es, geología y geomorfología de la comuna.

5.2.1. Flujos de barro y/o detritos

Los flujos de barro y/o detritos ocurren en zonas susceptibles a deslizamientos superficiales de suelo que puedan alcanzar cauces o donde existen depósitos de material que pueden fluidizarse como consecuencia de fenómenos meteorológicos intensos. También, se asocian a cauces de alta pendiente, donde el material puede alcanzar gran energía y con ello desplazar grandes volúmenes de material y/o distancias. Entre los factores geológicos/geomorfológicos que condicionan la ocurrencia de flujos de barro y/o detritos se

³ Dirección de Operaciones y Protección Civil – Municipalidad de Quilicura

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 trasportar el material disponible en los cauces y/o laderas.

Por lo anterior, las zonas favorables para la generación de este peligro se asocian a las pequeñas quebradas con incisión en los cerros del área estudiada. Las cuencas aportantes tienen dimensiones pequeñas y pendientes moderadas. Estas quebradas en caso de generar flujos, tenderían a depositar la mayor parte del material en la misma cuenca, o en el escenario más desfavorable, por el cauce en las zonas más próximas al abanico aluvial. Sin embargo, no existen eventos catastrados que permitan dimensionar de forma ejemplificadora como podría ser esta amenaza en caso de ocurrir.

Estudios de mecánica de suelos utilizados como parte de la bibliografía, detectaron estratos superficiales de tamaño limo arena en los cerros de la comuna, que corresponderían a arrastres por cursos de aguas menores. Este material es el que sería movilizado en el caso de ocurrir flujos de barro y/o detritos, cuya concentración de sólidos dependerá tanto de la cantidad de material disponible, del tamaño de la cuenca y de la magnitud del evento desencadenante (lluvias extremas).

5.2.2. Procesos de ladera

Los procesos de ladera se abordan de manera conjunta la caída de bloques y los deslizamientos pues comparten en gran parte los factores condicionantes. Estos procesos se encuentran asociados a condiciones de inestabilidad y propiedades del material, donde el principal control viene dado por la pendiente del terreno. La comuna es en gran parte un sector llano, donde solo destacan las pendientes en los cerros que rodean el área de estudio, los cerros Renca y Colorado por el sur; los cerros San Ignacio y Punta Verde por el oriente; y de menor prominencia, los cerrillos de Lo Castro en el norponiente. En los cerros de mayor prominencia, las características geológicas permitirían la ocurrencia de caída de fragmentos de roca a través de un talud debido a que los afloramientos presentan fracturamiento y frente a un desencadenante se desestabilizarían.

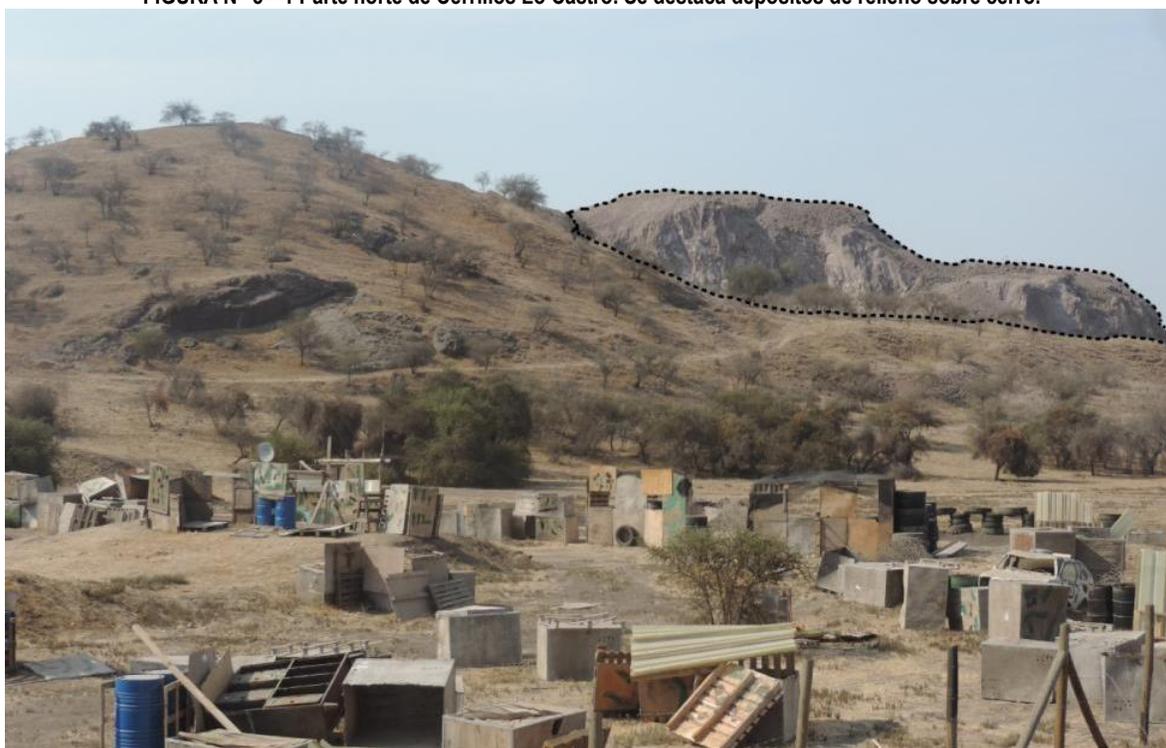
En cuanto a los Cerrillos de Lo Castro, estos poseen una altura de no más de 34 metros desde la base. Sobre ellos, existe una prominencia que aparentemente consiste en depósitos de relleno (FIGURA N° 5—1), el cual es un material no consolidado (consistente en gravas, arena, basura, troncos, etc.), bastante susceptible de ser removido por desencadenantes de procesos de ladera.

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. Esto es particularmente complejo en el sector de los cerros Colorado-Renca pues cuentan con alta densidad de urbanización en los depósitos coluviales en las faldas de los cerros.

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.

Considerando la información disponibles se definieron criterios de susceptibilidad que se describen en la sección a continuación.

FIGURA N° 5—1 Parte norte de Cerrillos Lo Castro. Se destaca depósitos de relleno sobre cerro.



Fuente: Fotografía tomada en visita a terreno (parada "p8", ver FIGURA N° 4—3)

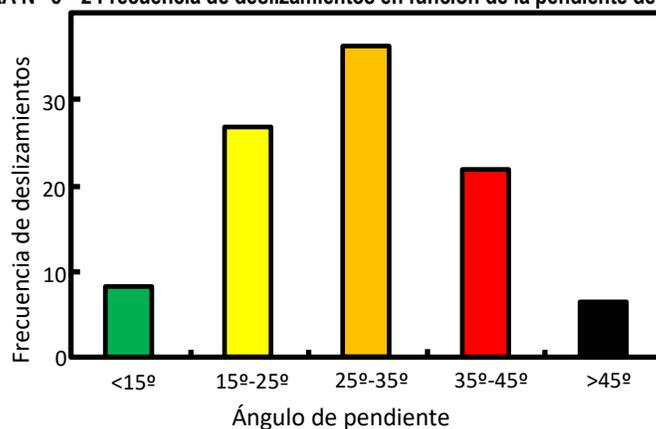
5.3. SUSCEPTIBILIDAD

Para los procesos de flujos de barro y/o detritos y los procesos de ladera, fueron generadas metodologías diferentes para obtener la zonificación de susceptibilidad de cada una de estas amenazas. Sin embargo, para ambas se consideró la pendiente de las laderas como componente principal, por tanto, se identificaron las zonas de generación a partir de la topografía del área de estudio.

Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles de ser removidas, se utilizó la información compilada a partir de diversas fuentes que han generado catastros de deslizamientos en distintos lugares del mundo. Esaki *et al.* (2005) y Giraud y Shaw (2007), así como otros catálogos de deslizamientos, indican que la mayor frecuencia de deslizamientos se observa en pendientes de 25° a 35° (FIGURA N° 5—2).

A continuación se describe como fueron categorizados los grados de susceptibilidad para flujos y procesos de ladera considerando la frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente.

FIGURA N° 5—2 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Modificado de Esaki *et al.* (2005).

5.3.1. Susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos

Se utilizaron como base las unidades mapeadas en la línea base geológica, seleccionando los depósitos de origen fluvio-aluvial y parte de los depósitos coluviales. Estas unidades se categorizaron considerando la pendiente del área donde el cauce se ubica. Solo se consideraron dos categorías de susceptibilidad ya que al no existir eventos en el catastro, es una indicación de la baja frecuencia con que ocurren estos eventos. El mapa de susceptibilidad de esta amenaza se grafica en la FIGURA N° 5—3.

- **Susceptibilidad Alta de flujos de barro y/o detritos:** corresponden a depósitos fluvio-aluviales o quebradas que se ubican en sectores con pendientes mayores a 15° o inmediatamente adyacentes a pendientes mayores a 15°.
- **Susceptibilidad Moderada de flujos de barro y/o detritos:** corresponden a cauces y quebradas ubicados en sectores con pendientes menores a 15°, o a depósitos gravitacionales ubicados en las faldas de los cerros como continuación de cauces.

5.3.2. Susceptibilidad de procesos de ladera

Como se explicó con anterioridad, el principal factor condicionante de los procesos de ladera es la pendiente. A partir de la topografía de la comuna y del área de estudio de detalle se construyó un modelo de superficie que fue geoprocesado para obtener las pendientes del terreno. Estas pendientes fueron categorizadas en función de los rangos propuestos por Esaki *et al.* (2005).

Por lo tanto este criterio fue el que se utilizó para la susceptibilidad de generación de procesos de ladera en la comuna. De este modo la zonificación fue la siguiente:

- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera muy alta:** Zonas con pendientes mayores a 35°.
- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera alta:** Zonas con pendientes entre 25° y 35°.
- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera moderada:** Zonas con pendientes entre 15° y 25°.

El resultado de la zonificación por susceptibilidad por generación de procesos de ladera se ilustra en la FIGURA N° 5—3 a escala gráfica de 1:50.000.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 5—3 Mapa de susceptibilidad de remociones en masa en escala gráfica de 1:50.000.



6. SISMICIDAD

6.1. CATASTRO

Dado que la comuna de Quilicura, al igual que prácticamente todo Chile, se encuentra próxima a un borde convergente entre placas, ha sido afectada por sismos de manera recurrente. En el CUADRO N° 6—1 se presenta una lista de sismos que han afectado a la comuna de Quilicura.

CUADRO N° 6—1 Sismos que han afectado a la comuna de Quilicura.

Fecha	Latitud	Longitud	Magnitud	Fecha	Latitud	Longitud	Magnitud
08/02/1570	-36,8	-73,0	Ms = 8,3	29/01/1914	-35,0	-73,0	Ms = 8,2
17/03/1575	-33,4	-70,6	Ms = 7,3	18/03/1931	-32,5	-72,0	Ms = 7,1
13/05/1647	-35,0	-72,0	Ms = 8,5	24/01/1939	-36,2	-72,2	Ms = 7,8
15/03/1657	-36,8	-73,0	Ms = 8,0	06/04/1943	-30,8	-72,0	Mw = 8,2
12/07/1687	-32,8	-70,7	Ms = 7,3	13/09/1945	-33,3	-70,5	Ms = 7,1
08/07/1730	-33,1	-71,6	Ms = 8,7	28/03/1965	-32,4	-71,1	Ms = 7,4
25/05/1751	-36,8	-73,0	Ms = 8,5	08/07/1971	-32,5	-71,2	Ms = 7,5
19/11/1822	-33,1	-71,6	Ms = 8,5	16/10/1981	-33,1	-73,1	Ms = 7,5
26/09/1829	-33,1	-71,6	Ms = 7,0	03/03/1985	-33,2	-71,9	Mw = 8,0
20/02/1835	-36,8	-73,0	Ms = 8,5	14/10/1997	-30,8	-71,3	Mw = 7,1
06/12/1850	-33,8	-70,2	Ms = 7,3	27/02/2010	-36,3	-73,2	Mw = 8,8
02/04/1851	-33,3	-71,4	Ms = 7,1	16/09/2015	-31,6	-71,9	Mw = 8,4
16/08/1906	-33,0	-72,0	Mw = 8,2				

6.2. DIAGNÓSTICO

Las fuentes sismogénicas descritas en la línea base 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 mayor 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, y por ende, en el marco de este estudio a escala de detalle esta amenaza tampoco es zonificable.

Por otro lado, se tienen los sismos corticales o generados por fallas activas, entre estas estructuras cordilleranas destaca la Falla San Ramón (FSR), cuya traza ha sido identificada entre el río Mapocho y el Maipo. Sin embargo, la traza de la estructura solo se encuentra asociada al peligro de ruptura en superficie de la falla, pero áreas cercanas podrían verse afectadas por aceleraciones de gravedad que produzcan daños en infraestructura en casos de eventos de gran magnitud generados por la falla. Debido a la atenuación con la distancia de este tipo de fuente sísmica un posible terremoto generado en la FSR no generaría una amenaza importante en el área de estudio.

A escala de la comuna, dado que el área se encuentra en las zonas terminales de los abanicos aluviales, los depósitos presentes se asocian a un escurrimiento de muy baja energía y se caracterizan por tamaños de grano muy finos. Sobre estos depósitos, se han desarrollado importantes depósitos antrópicos de materiales no compactados o mal compactados. Adicionalmente, el nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie. Todos estos factores determinan que gran parte del territorio comunal presente características muy desfavorables, que los haga tener un mal comportamiento en caso de ocurrir un sismo.

Estas observaciones se confirman en los resultados del estudio de respuesta sísmica de la cuenca de Santiago elaborado por Fernández (2003), que indica que la comuna de Quilicura se ubica sobre unidades con muy mala respuesta sísmica, caracterizadas por limos y arcillas con intercalaciones de arenas que presentan niveles freáticos poco profundos a superficiales, alto grado de saturación, elevada densidad y

contenido de arcillas expansivas. Esta zonificación sísmica fue realizada en base a la respuesta que tuvo la cuenca de Santiago al terremoto de 1985, la cual fue afectada por intensidades entre 7,5 a 9 grados.

Sin embargo, las normas chilenas NCh 433 (“Diseño sísmico de edificios”) y NCh 2369 (“Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”) definen las exigencias de diseño que deben cumplir diferentes tipos de edificaciones en razón del peligro sísmico, con herramientas más eficientes que las que ofrece la OGUC. Por esta razón, los peligros relacionados con la calidad geotécnica del suelo no se han considerado en este estudio.

En conclusión, el área de estudio se encuentra expuesta a la amenaza sísmica de dos fuentes sismogénicas. Sin embargo, 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. Por lo anterior, no se construyen mapas de susceptibilidad o zonificación para el peligro sísmico.

7. VOLCANISMO

Debido al marco geodinámico del país, el área de estudio se encuentra inmersa en una zona volcánica activa. Todos los volcanes cercanos al área de estudio pertenecen al segmento denominado Zona Volcánica de los Andes del Sur, que se desarrolla entre los 33°20'S y 46°S, y de acuerdo a Moreno (1993) tiene uno de los índices más altos de actividad volcánica, con un promedio de una erupción cada 0,7 años entre 1800 y 1990. A continuación se detalla la actividad y las características de los volcanes más próximos al área estudiada.

7.1. CATASTRO

Al este del área de estudio se encuentra el volcán Tupungatito, a una distancia aproximada de 90 km del área urbana de Quilicura (FIGURA N° 7—1). Hacia el sureste de la comuna de Quilicura se reconocen los centros volcánicos Marmolejo, San José y Maipo, todos influenciando a las partes altas de la cuenca del Maipo, pero sin conexión hidrográfica con el área de estudio.

Hacia el norte del área de estudio, entre los 33° 20' y los 27° S, se desarrolla el segmento de subducción subhorizontal, que se conoce como zona de subducción plana (flat slab), sector caracterizado la ausencia de actividad volcánica reciente.

Los volcanes más cercanos a la comuna de Quilicura (Tupungatito, Marmolejo, San José y Maipo) corresponden a estratovolcanes simples y compuestos, con evidencias de actividad volcánica histórica (González-Ferrán, 1995), aunque sin influencia directa sobre el área de estudio. Constituyen centros en los cuales los registros de actividad explosiva se hallan subordinados, en la mayoría de los casos, a las emisiones lávicas y donde la actividad fumarólica es frecuente. Sin considerar al Volcán Maipo, para el cual los datos son inciertos, el registro de erupciones históricas en sectores cercanos al área de estudio indica un total de 24 en los últimos 300 años (CUADRO N° 7—1).

CUADRO N° 7—1 Principales volcanes en sectores cercanos al área de estudio

Volcán/ Grupo	Ubicación	Altitud (m s.n.m.)	Volumen Eruptado (km ³)	Edad Volcán	Erupciones Históricas	Productos Erupción
Tupungatito	33° 24' S 69° 48' O	5.933	6	Histórico	18 (1829 – 1980)	Lavas, Cenizas
Marmolejo – San José	33° 46' S 69° 55' O	6.070	95	Plioceno	6 (1822 – 1941)	Lavas, Domos, Avalanchas
Maipo	34° 10' S 69° 52' O	5.290	25	Pleistoceno	4? (1822 – 1941)	Lavas, Domos

En la FIGURA N° 7—1 se observa que en el área de estudio no se encuentran depósitos provenientes de los centros volcánicos más cercanos, lo que evidencia que la zona no ha sido afectada. Sin embargo, en el registro geológico del entorno inmediato reconoce la Ignimbrita Pudahuel (Stern, Amini, Charrier, Godoy, Hervé, & Varela, 1994), la cual aflora hacia el poniente de la ciudad de Santiago, particularmente en la comuna de Pudahuel y en las cercanías de Melipilla, y también al este del volcán Maipo, en Argentina. Stern, et al. (1994) les asignan a estos depósitos una edad de 440 Ka⁴, y señalan que habrían sido producidos por una gran explosión de la Caldera El Diamante, en donde posteriormente se emplazó el Volcán Maipo. Este tipo de erupciones explosivas generan flujos piroclásticos que poseen altas velocidades y alcanzan grandes distancias. Sin embargo, el peligro volcánico de mayor consideración sería la caída de ceniza en el escenario

⁴ Ka: Miles de años.

de una eventual erupción de gran magnitud, dada la distancia de la comuna a los centros volcánicos más cercanos.

7.1. DIAGNOSTICO

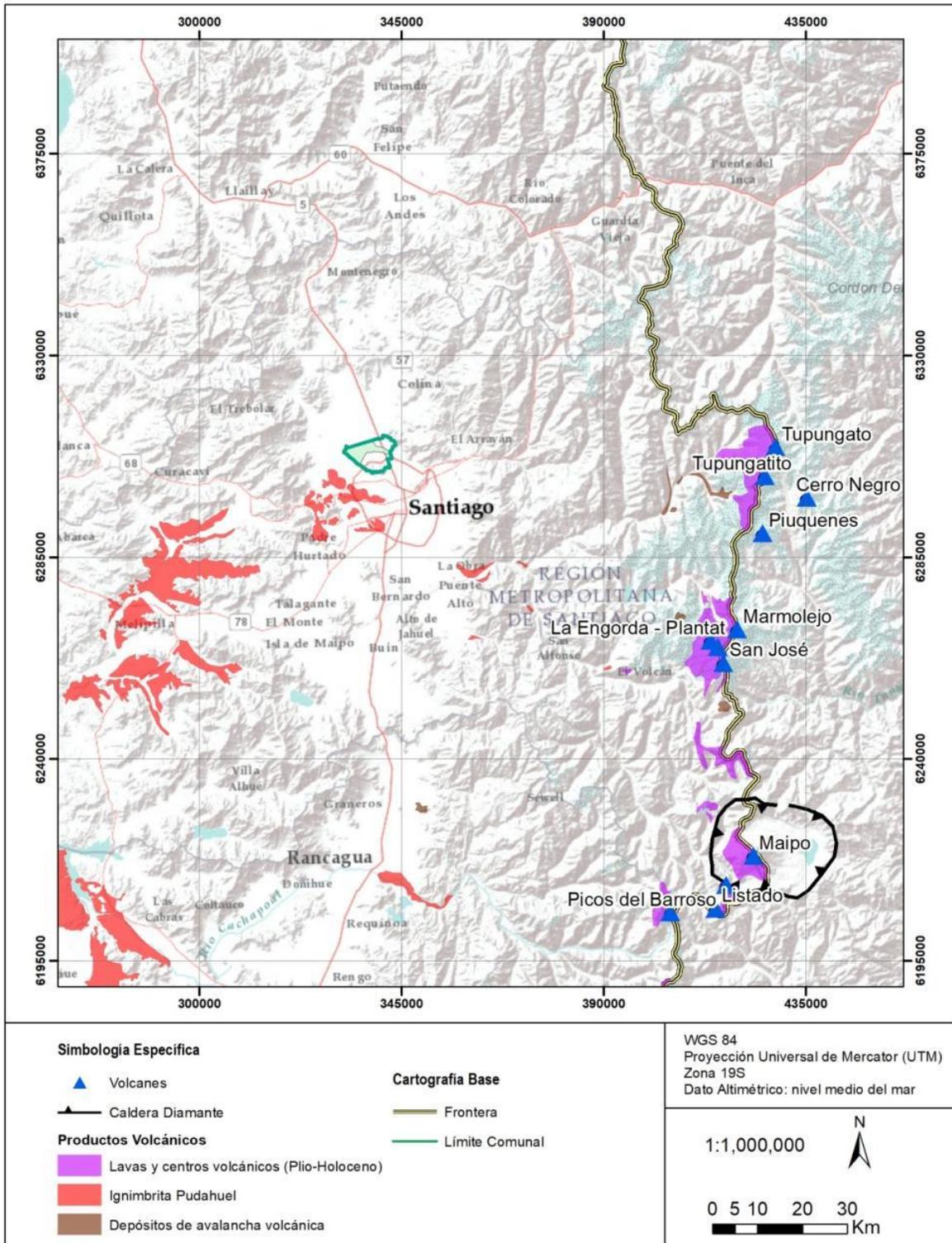
La ausencia de material de origen volcánico que se aprecia en el mapa geológico (FIGURA N° 3—2), y que se constató durante la visita a terreno, indican que el área de estudio no ha sido afectada por actividad volcánica en tiempos recientes. Por otra parte, la amenaza volcánica asociada a erupciones de carácter explosivo extremo, como la que generó la unidad geológica conocida como Ignimbrita Pudahuel (Stem C. , Amini, Charrier, Godoy, Hervé, & Varela, 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 peligros 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 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 gran erupción caiga tefra sobre la comuna de Quilicura, 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 a baja de manera homogénea en toda el área estudiada.

De esta forma, no es necesario zonificar los peligros relacionados con el volcanismo.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 7—1 Ubicación de los centros volcánicos próximos al área de estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN (Mapa Geológico de Chile, Versión Digital, 2003).

8. NORMAS PROVENIENTES DEL PRMS⁵

El Título 8° Área Restringida o Excluida al Desarrollo Urbano del PRMS, establece normas referidas a la definición de Áreas de Riesgos. En este capítulo se tratan aquellas normas que tienen aplicación actual en la comuna de Quilicura.

En específico, para la aplicación de los numerales 1, 2 y 3 del último párrafo del artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones⁶, el artículo 8.2.1. del PRMS se refiere a los Riesgos de Origen Natural

El artículo 2.1.17. OGUC vigente a la fecha, señala que en los Planes Reguladores se podrán definir, zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana, sobre lo cual la División de Desarrollo Urbano del MINVU ha emitido dos Circulares (Circular N° 269 de fecha 18.06.2014 – DDU 350 y, Circular N° 272 de fecha 05.08.2014 – DDU 0417).

8.1. RIESGOS DE ORIGEN NATURAL

El artículo 8.2.1 del PRMS define lo siguiente:

Artículo 8.2.1. De Riesgo de Origen Natural: Se consideran en esta categoría las siguientes áreas: las que presentan fallas geológicas y/o inestabilidad a los sismos; las volcánicas; las de inadecuada constitución del terreno para la fundación de estructuras; las de deslizamientos de materiales o sedimentos; las de inundación por aluvión o avenidas; las de avalanchas de nieve, derrumbes y corrientes de barro, las de concentración de aguas provenientes de las precipitaciones y las áreas afectadas por otros riesgos naturales potenciales de tipo geológico, geomorfológico, hidrológico y climático.

8.1.1. Riesgos de inundación (artículo 8.2.1.1. PRMS)

El artículo 8.2.1.1. del PRMS define cuatro tipologías de riesgos:

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

Las Áreas de Alto Riesgo Natural por Inundación están constituidas por

a.1. Las de Cauces Naturales, que comprenden el cauce y fajas adyacentes y que pueden ser:

a.1.1. Recurrentemente Inundables: Conformadas por los terrenos comprendidos entre los deslindes de los cauces permanentes y el límite graficado en el Plano. Incluye cuando corresponde, las franjas de protección por socavamiento por acción de las aguas (extracto del texto original).

Luego, más adelante en su texto señala:

Para efectos de identificar restricciones, se consideran los siguientes cauces permanentes, conforme a lo graficado en los Planos RM-PRM-92/1A, RM-PRM-95-CH.1.C, y RM-PRM-08-100-R láminas 1 de 4, 2 de 4, 3 de 4 y 4 de 4:

*Río Mapocho, Río Maipo, Zanjón de la Aguada, **Estero Las Cruces** *, Estero Lampa y ramales, Estero Colina, ramales, Estero Los Patos, Estero Peldehue, Estero Quilapilún, Estero Chacabuco, Estero El*

⁵ Plan Regulador Metropolitano de Santiago

⁶ Artículo 2.1.17. OGUC, se refiere a las áreas restringidas al desarrollo urbano que podrán ser definidas en los planes reguladores, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Cobre, Estero Santa Margarita, Estero Til-Til, Estero Polpaico, Estero Lelo, Estero El Peñón, Estero Rungue, Estero Montenegro, Estero de Los Valles, Estero Carén, Río Clarillo y Estero Seco.

Cabe notar que el Estero Las Cruces aparece con una mención especial proveniente de la Modificación del PRMS por Resolución 153 del Gobierno Regional, publicada el 26/11/2013, cuyo texto se agrega más adelante en el mismo artículo:

() Para el caso específico de la zona de riesgo de inundación que afecta al Estero Las Cruces en la comuna de Quilicura, se distinguen dos zonas:*

- Área de Inundación Frecuente*
- Área de Inundación Poco Frecuente*

Los usos de suelo y normas técnicas aplicables en ambas áreas una vez desarrollados los estudios o proyectos específicos conforme al artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, serán los señalados en letra b.2 del artículo 11° transitorio de la presente ordenanza

El mismo artículo PRMS citado alude más adelante a las áreas amagadas por inundación de la siguiente manera:

a.1.2. Amagadas por Inundación:

Están constituidas por los terrenos consolidados con edificaciones, adyacentes a puntos de desbordes de cauces permanentes, con peligro de inundación según se indica en el Plano.

Los instrumentos de Planificación Local deben reconocer estas áreas, fundándose en estudios técnicos y proyectos de obras específicas, que contemplen condiciones para minimizar el riesgo de inundación, aprobados por el Organismo competente. Para cumplir con el objetivo anterior, deberán establecer tanto normas de densidad, como características de las edificaciones.

Más adelante el artículo continúa con la siguiente disposición:

a.2. Napas Freáticas

Corresponden a aquellas áreas que presentan problemas de afloramiento potencial de aguas subterráneas, ubicadas en el Área Urbana Metropolitana, en las comunas de Quilicura, Colina, Lampa, Renca, Pudahuel, Cerro Navia y Maipú.

Seguidamente, este artículo, recogiendo la Modificación del PRMS por Resolución 153 del Gobierno Regional, publicada el 26/11/2013, precisa:

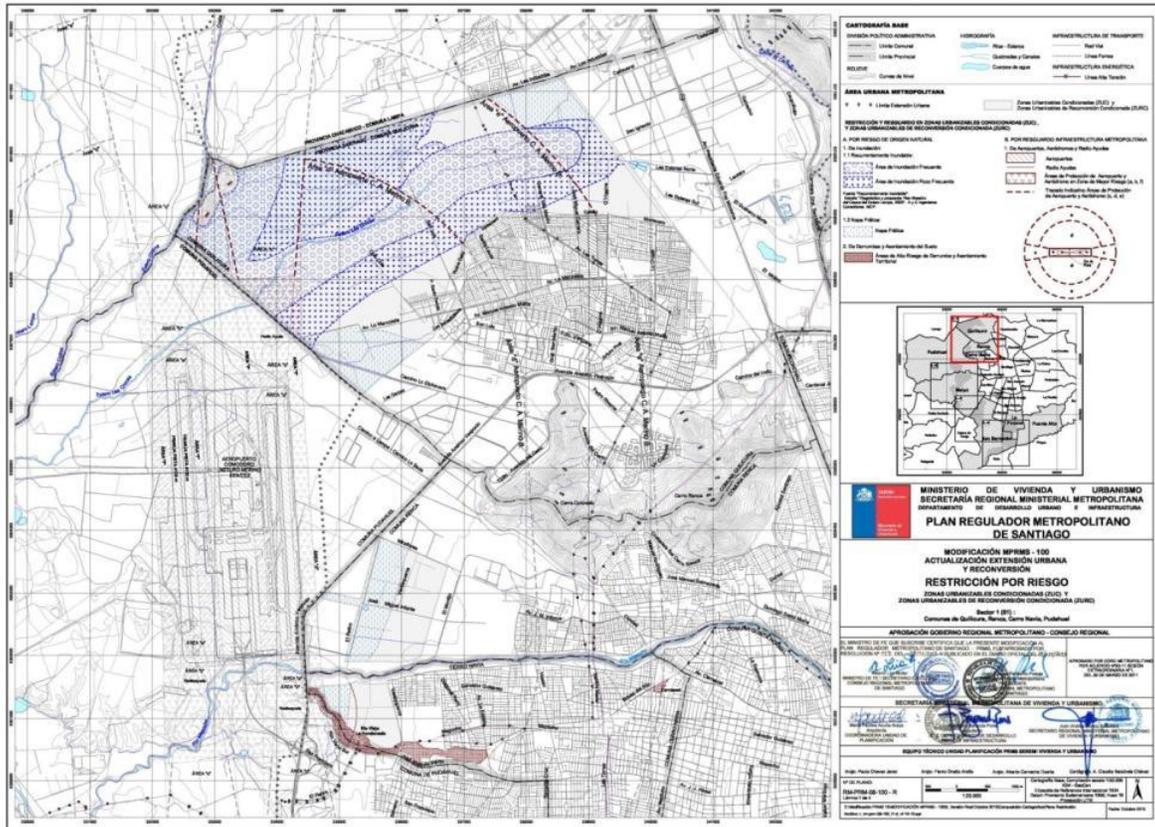
Para efectos de precisar restricciones, se identifican las siguientes áreas conforme lo graficado en los planos RM-PRM-92 1.A., modificado parcialmente por el plano RM-PRM-08-100-R láminas 1 de 4, 2 de 4, 3 de 4 y 4 de 4 y plano RM-PRM-95-CH.1.C.

*Áreas asociadas al Río Mapocho, Río Maipo, Zanjón de la Aguada, **Estero Las Cruces**, Estero Lampa y ramales, Estero Colina y ramales, Estero Chacabuco, Estero Santa Margarita, Estero Til-Til, Estero Polpaico y Estero Carén.*

En la Figura siguiente se muestra el Plano RM-PRM-08-100. Restricción por Riesgo en el cual se muestran las áreas de riesgo establecidas por el PRMS para la comuna de Quilicura.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA N° 8—1 Plano RM-PRM-08-100-R.Lámina 1 de 4.Restrictión por Riesgo



Es importante señalar que el artículo 11° transitorio del PRMS vigente señala, en su inciso segundo, que las normas urbanísticas aplicables a esas áreas rigen en tanto no se actualicen los Planes Reguladores de las comunas allí enumeradas, entre ellas la de Quilicura. Para todo efecto práctico, la Actualización del Plan Regulador de Quilicura, puede, con este Estudio de Riesgos, precisar las áreas de restricción.

9. SÍNTESIS Y COMENTARIOS

A partir del análisis de las líneas base junto con la recopilación de antecedentes de eventos ocurridos en el área de estudio, el diagnóstico y susceptibilidad se obtiene que la comuna de Quilicura se encuentre expuesta a los peligros que se revisan a continuación.

9.1. INUNDACIONES

Las inundaciones representan el principal peligro que puede afectar a la comuna. Se identifican tres tipos, que se describen a continuación.

Inundaciones por desborde de cauces: Las características geomorfológicas, reflejadas en el relieve llano de la comuna, favorecen el desborde de los esteros de la comuna, en particular el estero Las Cruces. Sin embargo, la totalidad de los cauces de la comuna han sido modificados respecto de su trazado original.

Para analizar este peligro en el estero Las Cruces se construyó un modelo de flujo en 2 dimensiones, que se utilizó para zonificar el peligro. Los resultados del modelo muestran un posible escenario de inundación comparable al vivido en el área el año 2002. Sin embargo, en este modelo se utiliza una nueva topografía, que incorpora las modificaciones del terreno por acción antrópica en los últimos años, ilustrando así un área inundable incluso mayor que en el año 2002.

El resultado muestra marcadas diferencias territoriales en las áreas inundables con las áreas identificadas en la Lámina 1 de 4 del Plano RM-PRM-08-100-R, denominado Restricción por Riesgo que la modificación del PRMS del año 2013 precisó para la comuna de Quilicura. La razón principal de dichas diferencias se debe en lo fundamental a las muy significativas modificaciones de la topografía de la cuenca del Estero Las Cruces en su paso por la comuna de Quilicura causado por rellenos de gran magnitud sobre el terreno natural. Estos cambios en la topografía modificaron completamente el curso natural de las aguas superficiales en caso de desborde del curso principal.

Inundaciones por anegamiento: La morfología de esta comuna, caracterizada por pendientes muy bajas, y la baja capacidad de infiltración de los suelos favorecen la ocurrencia de este peligro. Su análisis considera la morfología actual del terreno, representada por la topografía, y el catastro asociado a este peligro. En la Lámina 1 de 4 del Plano RM-PRM-08-100-R no se diferencia este peligro de la inundación por desborde de cauces.

Inundaciones por afloramiento de napa: Aunque la evidencia de la profundidad de la napa muestra que en la actualidad este peligro no puede afectar a la comuna de Quilicura, las características hidrogeológicas de la comuna y de la cuenca norte de Santiago determinan que sí existen condiciones favorables para que la napa aflore a la superficie cuando los acuíferos subterráneos están colmados. Ocurrió en el pasado, puede volver a ocurrir en el futuro.

La definición de las áreas susceptibles a este peligro se basó en el estudio de peligros de la cuenca de Santiago, elaborado por el SERNAGEOMIN (2003), y que si bien está elaborado sobre cartografía base de escala 1:50.000, sus resultados se consideran adecuados y por tanto se ajustaron a la topografía reciente de mayor detalle, considerando además las muy significativas modificaciones del terreno ocurridas con posterioridad a la elaboración de ese estudio.

El resultado del peligro de inundación por afloramiento de napa determinado por este estudio difiere completamente del contenido en la Lámina 1 de 4 del Plano RM-PRM-08-100-R de las modificación PRMS 2013, en donde el trazado de los polígonos, la forma de sus deslindes hace dudar respecto a la metodología

empleada para su determinación. Durante la investigación no se logró tener acceso a documentos que expliquen la metodología usada y justifiquen la definición de las áreas que se presentan en ese plano.

Cabe hacer notar que la presencia somera de la napa no es un peligro en sí, ya que el peligro para las estructuras asociado a procesos de licuefacción están debidamente cubiertos por la actualización de la norma chilena NCh 433 (“Diseño sísmico de edificios”) ocurrida con posterioridad al terremoto de 2010.

Así, la napa freática somera se transforma en un peligro al asentamiento humano cuando aflora a la superficie anegando o inundando el territorio.

9.2. REMOCIONES EN MASA

Debido a la ausencia de catastro de remociones en masa y a que las pendientes se concentran en los cerros de la comuna, los cuales cuentan con características geológicas que se consideran estables, esta amenaza no es de gran relevancia. Se exceptúan algunos sectores de mayores pendientes (sobre 35°) con afloramientos que podrían generar desprendimiento de rocas, las cuales avanzarían ladera bajo, pudiendo alcanzar la primera línea de casas de los condominios ubicados en las faldas de los cerro Renca y Colorado. La Lámina 1 de 4 del Plano RM-PRM-08-100-R no identifica en la comuna áreas de riesgo asociadas a este peligro.

9.3. SISMICIDAD

La comuna se puede ser afectada por sismos de Interplaca e Intraplaca profundo. Las características geológicas e hidrogeológicas de la zona, sumado a la presencia de extensas áreas de depósitos de origen antrópico, determinan que la los suelos de la comuna tengan condiciones que favorezcan un mal comportamiento desde el punto de vista sísmico.

Sin embargo, las normas chilenas NCh 433 (“Diseño sísmico de edificios”) y NCh 2369 (“Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”) definen las exigencias de diseño que deben cumplir diferentes tipos de edificaciones en razón del peligro sísmico, con herramientas más eficientes que las que ofrece la OGUC.

Por esta razón, este estudio no considera una zonificación de uso de suelo asociada al peligro sísmico.

9.4. VOLCANISMO

No existen volcanes activos en la comuna ni en valles que se conecten directamente con ella. Por lo tanto, la comuna no es susceptible a este peligro.

10. REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

- 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.
- Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R., y otros. (2010). The West Andean Thrust, the San Ramón Fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile. *Tectonics*, 29(2), 1-34.
- 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 fointerpretación y planificación geoambiental*. Madrid: Ed. Rueda.
- Coloma, F., Valin, X., Oliveros, V., Vásquez, P., Creixell, C., Salazar, E., y otros. (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.
- 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.
- Fernandez, J. (2003). *Respuesta sísmica de la cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental.
- Giraud, R., & Shaw, L. (2007). *Landslide Suceptibility Map of Utah*. . Utah Geological Survey, 16 p.
- 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. Instituto Geográfico Militar, VI*. Santiago.

- 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. (1997). *Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 49, 47 pág.
- Hauser, A. (2000). *Remociones en masa en Chile* (2da ed.). Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.
- 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*(37), 159-194.
- Keeper, 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.
- Lara, L., & Rauld, R. (2003). *Diagnóstico de la geología ambiental de las grandes ciudades de Chile*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 182 pág.
- 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.
- Mpodozis, C., & Ramos, V. A. (1989). *The Andes of Chile and Argentina In: Ericksen, G. E.; Cañas, M. T.; Reinemund, J. A. (eds) Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Energy Resources. Circum-PACific Council for Energy and Hydrothermal Resources, American Association of Pet* (11 ed.). Houston, Texas: Earth Science Series.
- Myers, B., & Brantley, S. (1995). *Hazardous phenomena at volcanoes*. Vancouver, Washington.: USGS Open File Report, pág. 95-231.
- Naranjo, J., & Varela, J. (1996). *Debris and mud flows that affected the eastern area of Santiago on May 3, 1993*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 47, 42 pág.
- ONEMI. (2009). *Informe consolidado sistema frontal centro y sur, 2-5 junio 2002*. Unidad de Riesgos de Origen Natural.
- 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.
- Pérez, A., Ruiz, J., Vargas, G., Rauld, R., Rebolledo, S., & Campos, J. (2014). Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramón Fault at the eastern border of Santiago city, Chile. *Natural Hazards*, 71, 243-274.
- Petit-Breuilh, M. (2001). *Desastres naturales y ocupación del territorio en hispanoamérica [Siglos XVI al XX]*. Universidad de Huelva, Arias Montano (n.70): 341 p., il, Huelva. .

- Pierson, T., & Scott, K. (1985). Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research*, 21(10), 1511-1524.
- PMA. (2008). *Atlas de deformaciones cuaternarias de los Andes. Publicación Geológica Internacional N°7*. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Servicio Nacional de Geología y Minería: 320 p. 1 Mapa en CD-ROM.
- PMA. (2008). *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.
- 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. (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.
- Rauld, R., & Campos, J. (2002). *Análisis morfoestructural del frente cordillerano de Santiago oriente, entre el río Mapocho y la quebrada de Macul*. Santiago: 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. (2002). *Inundaciones de Junio de 2002 y la planificación territorial del sector norte de la cuenca de Santiago, Región Metropolitana*. Santiago.
- SERNAGEOMIN. (2003). *Mapa Geológico de Chile, Versión Digital*. Santiago: 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.
- Tassara, A. G.-J., & Hackney, R. (2006). Three dimensional density model of the Nazca plate and the Andean continental margin. *Journal of Geophysical Research*, 111(B9), p. B09404.
- Urrutia, R., & Lanza, C. (1993). *Catástrofes en Chile 1541 - 1992*. Santiago: La Noria.
- 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.
- Western Washington University. (2011). *RELIEF GLOBE SLIDES*. Recuperado el 28 de 11 de 2011, de <http://www.smate.wvu.edu/teched/geology/GeoHaz/global/globe-17.jpg>
- 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>.

ANEXO A DEFINICIONES DE PELIGRO Y RIESGO USADAS EN ESTE INFORME

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 inventario, 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 el área de estudio.

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, Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO, 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 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); González de Vallejo et al., (2002); JTC1, (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).

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

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

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:

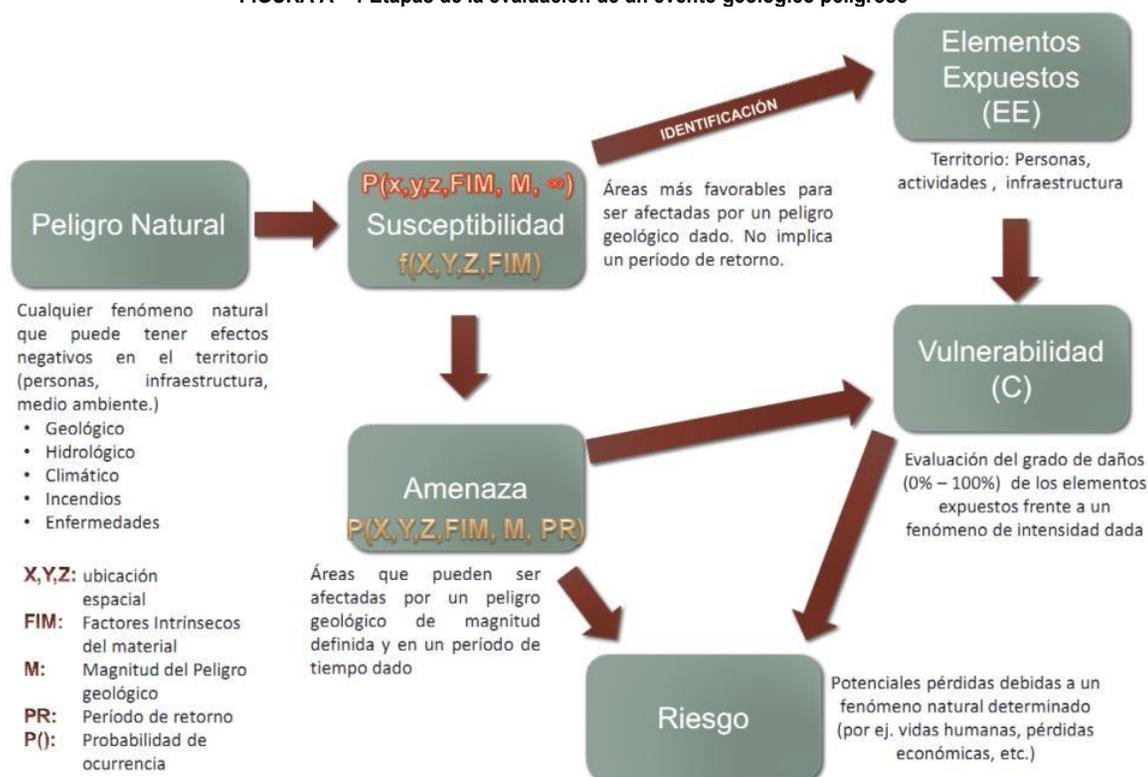
$$R_t = R_e \times E = A \times V \times E$$

Donde R_t corresponde al riesgo total, R_e al riesgo específico y E a los elementos expuestos considerados. La FIGURA 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.

FIGURA A—1 Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984)

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.

A.1 REFERENCIAS

González de Vallejo, L., Ferrer, M, Ortuño, L., Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Pearson Education, Madrid. 744 pp.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

JTC-1, 2008. Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning, for land use planning. Engineering Geology 103, 85–98.

Ogura, A., Soares Macedo, E., 2000. Procesos y Riesgos Geológicos. En: II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental (UNESCO y UNICAMP). Campinas, Brasil, 345 p. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/001VI/001VI31/1VI3153s.pdf>

ONU/EIRD, 2004, Vivir con el Riesgo, Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres, Versión en español 2004 en CD.

Urrutia, R. y Lanza, C. 1993. Catástrofes en Chile 1541-1992. Editorial La Noria. 440p. Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Varnes, D.J.,1984. Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO, Natural Hazades, No.3,61 p

ANEXO B DESCRIPCIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS ANALIZADOS

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

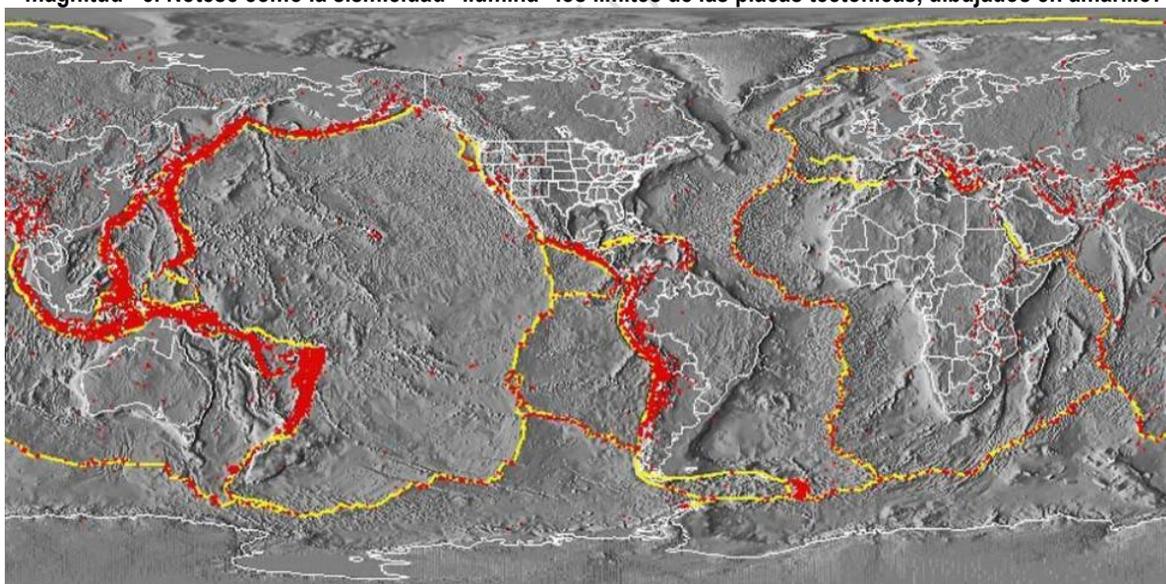
Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los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

B.1 PROCESOS ENDÓGENOS O INTERNOS DE LA TIERRA

B.1.1 Sismicidad

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde occidental de la placa Sudamericana y se caracteriza por una intensa sismicidad debido a su convergencia con la placa de Nazca. En planta se aprecia una banda sísmica activa muy angosta (100-150 km) y de profundidad variable (~5-200 km) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. La FIGURA 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 B—1 Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud >5. Nótese como la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo.

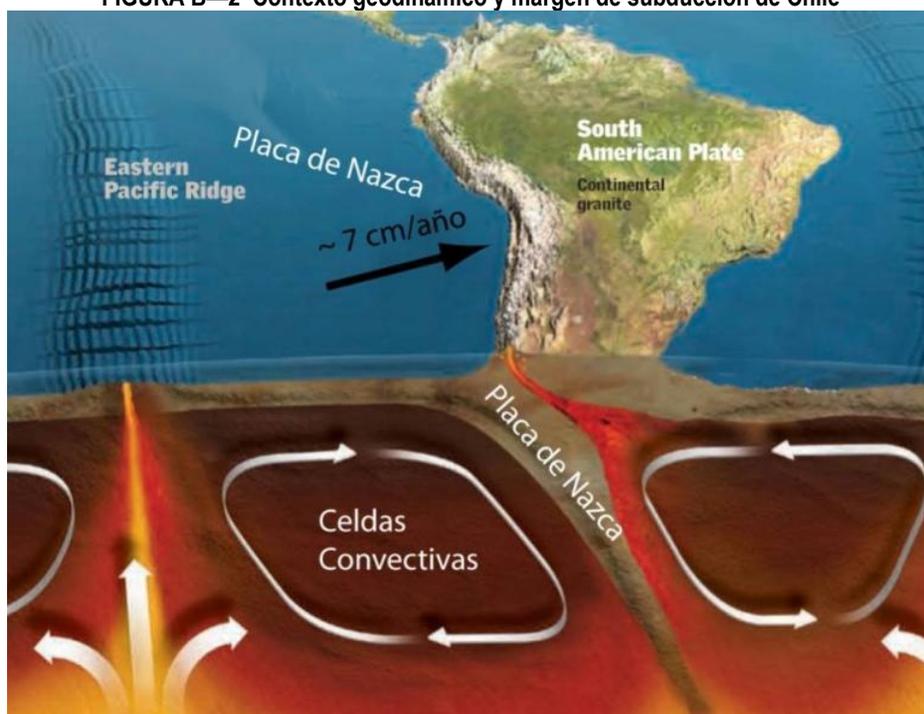


Fuente: Western Washington University (2011).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, 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 (FIGURA B-2). Debido a sus distintas composiciones, la placa oceánica que es comparativamente más densa (de composición basáltica) tiende a introducirse bajo la corteza continental menos densa (de

composición granítica). Las fuerzas que actúan sobre la interface entre ambas placas así como las de interacción entre las placas y el manto generan el llamado acoplamiento sísmico interplaca, el que puede entenderse como la resistencia al deslizamiento en la zona de contacto entre ambas. A mayor acoplamiento interplaca la capacidad de generar terremotos de gran magnitud aumenta (Scholz, 1990).

FIGURA B—2 Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile

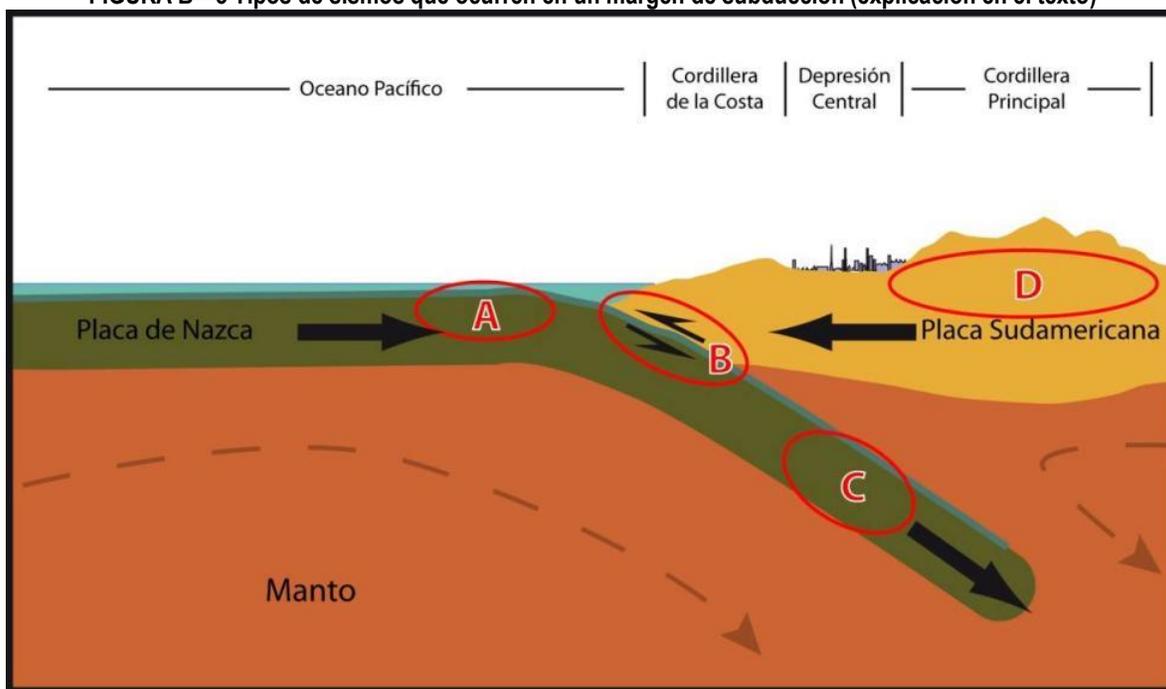


Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

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 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 B—3 Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto)

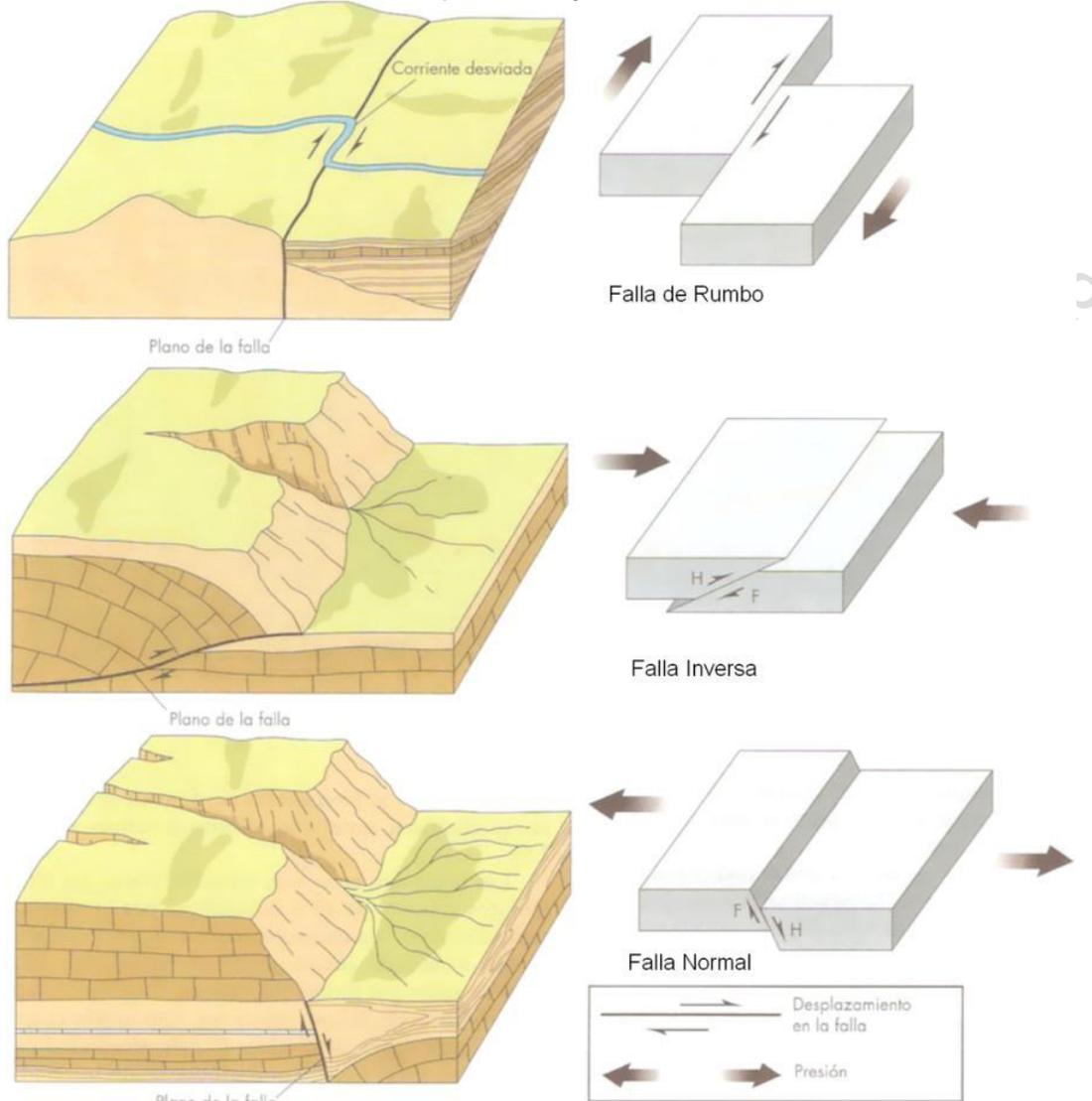


Fuente: Elaboración propia.

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

FIGURA B—4 Tipos de Falla y esfuerzos asociados

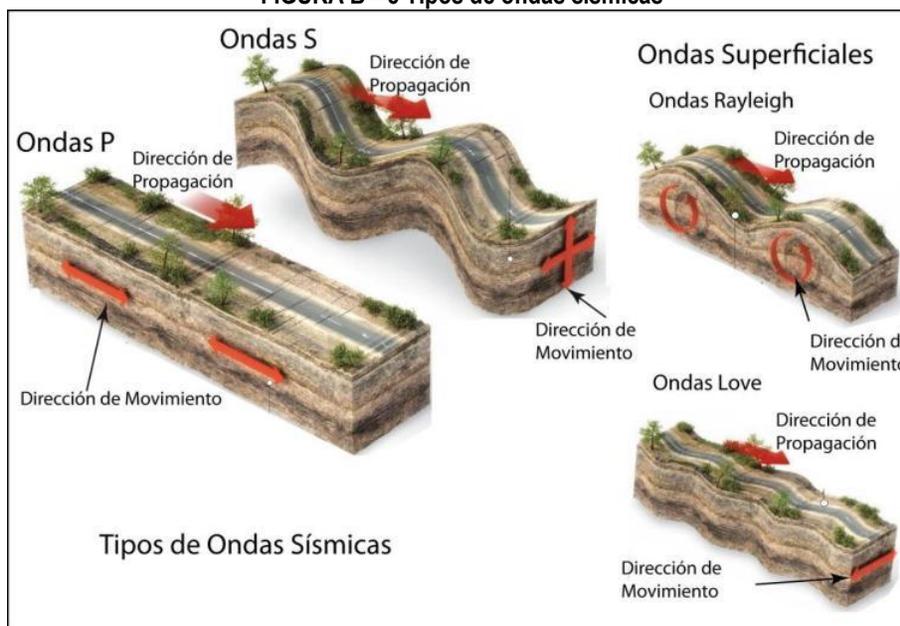


Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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

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

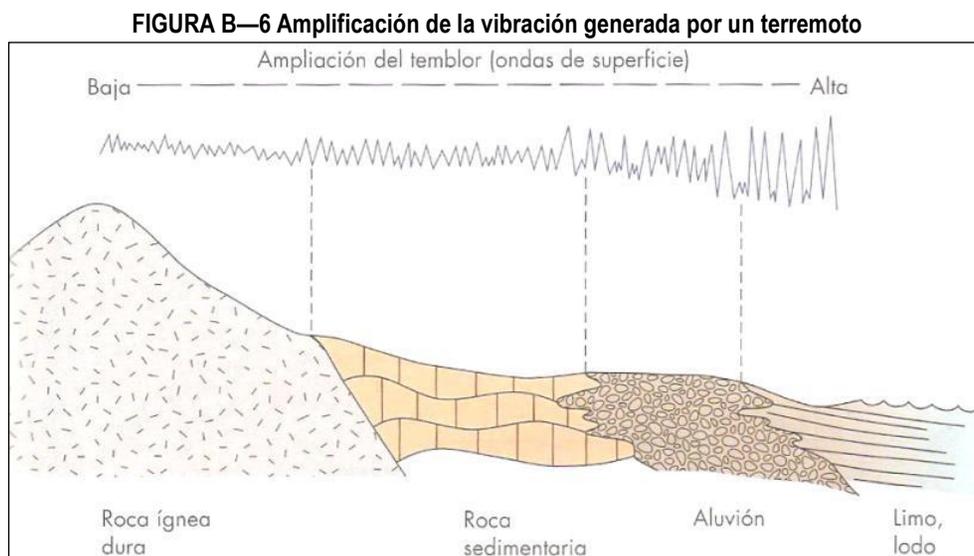
FIGURA B—5 Tipos de ondas sísmicas



Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

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

Los deslizamientos y derrumbes se dan en diversos tipos de suelos y bajo variadas condiciones sismotectónicas, incluso se han detectado en sismos de grado $M_w = 4.0$. La cantidad y severidad de estos están en directa relación con la cercanía al epicentro y la magnitud del evento causante Keeper (1984); Sepúlveda, et al. (Seismically-induced Rock Slope Failures Resulting from Topographic Amplification of Strong Ground Motions: The Case of Pacoima Canyon, California., 2005); (2010). Sea cual sea su origen, los deslizamientos y derrumbes están asociados principalmente a tres factores: las pendientes del terreno, la resistencia mecánica de los materiales involucrados y antecedentes de eventos anteriores (Centeno, et al. (1994); Sancho (Los mapas de riesgos, 1997)). Para más detalle acerca de estos procesos ver el Anexo B.2.2 "Procesos de Remoción en Masa".



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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.

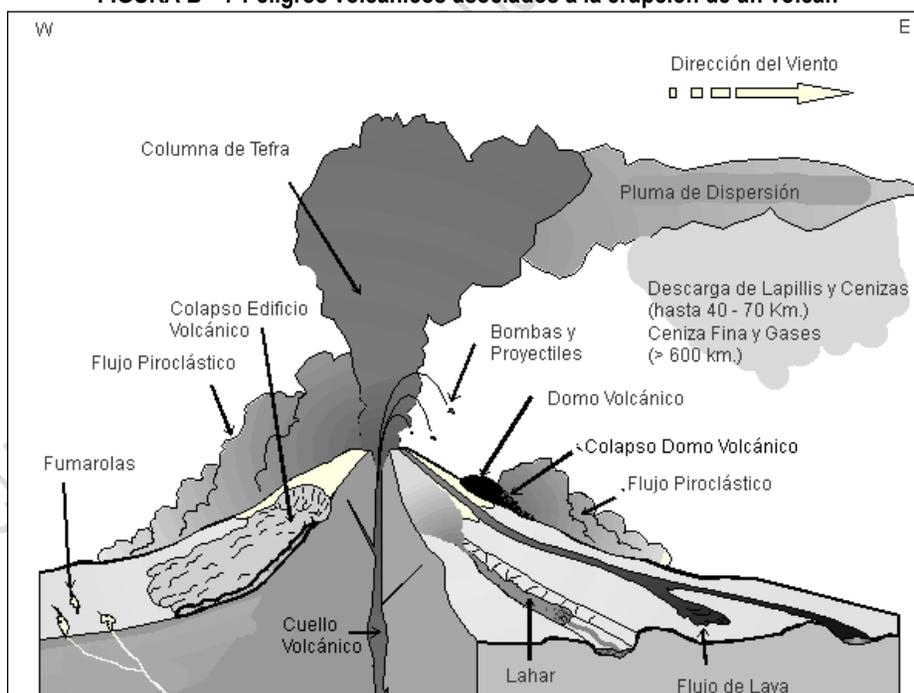
- Fuertes movimientos sísmicos, durante los cuales las ondas sísmicas aumentan la presión del agua contenida en los depósitos. Cabe destacar, que todo Chile, en especial desde la península de Taitao al norte, tiene el potencial de ser afectado por grandes terremotos.

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 B—7 y en el CUADRO 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 B—7 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán



Fuente: Myers y Brantley (1995).

Los flujos de lava se producen cuando material magmático se desplaza aguas abajo del centro de emisión. El alcance que tendrán estos flujos está determinado por la tasa de efusión (emisión del centro volcánico), la pendiente del terreno sobre el cual la lava escurre y la viscosidad de la lava. Además, en las cercanías del

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

centro de emisión se producen comúnmente temblores de magnitud inferior a 6 en la escala de Richter (M_w), pero a poca profundidad (entre 1 y 20 km), los que están asociados a intensidades mayores a VI en las cercanías del epicentro. Estos sismos provienen de diversos procesos, tales como ascenso del magma y fracturamiento de la corteza, explosiones volcánicas y esfuerzos tectónicos compresivos y expansivos asociados al ciclo eruptivo (González-Ferrán, 1995).

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

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO B—1 Peligros asociados al volcanismo

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

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

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

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

B.2 PROCESOS EXÓGENOS O EXTERNOS DE LA TIERRA

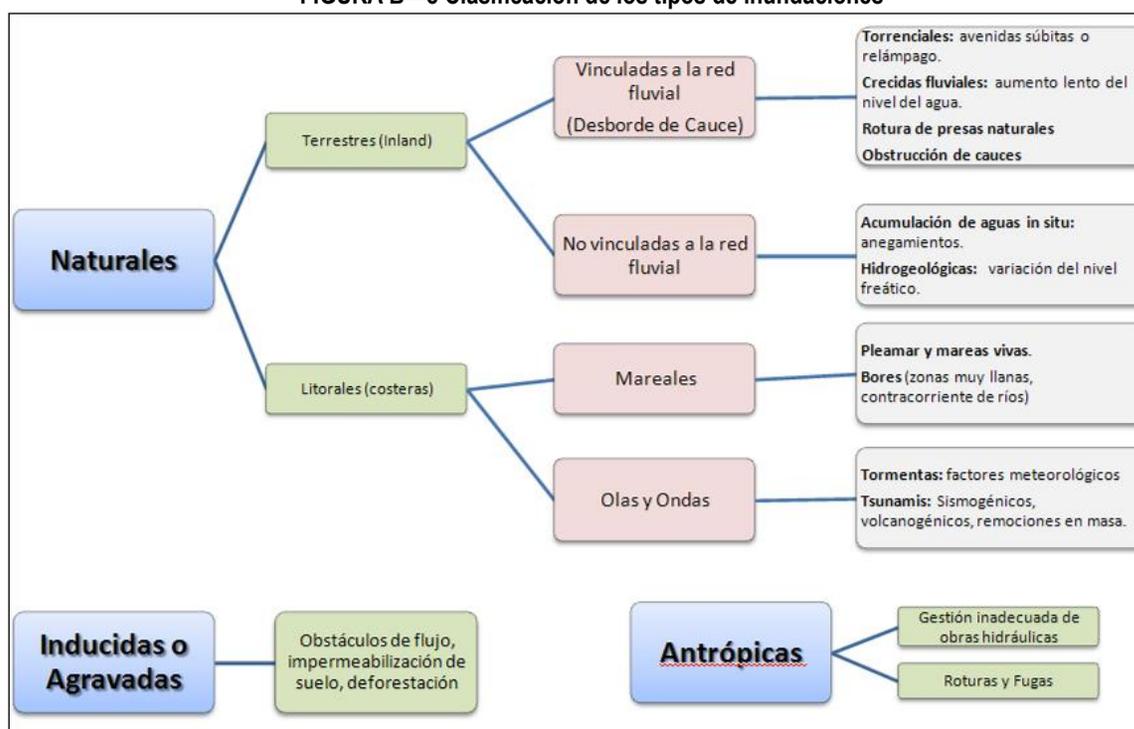
B.2.1 Inundaciones Terrestres y Litorales

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (FIGURA 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. 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 B—8 Clasificación de los tipos de inundaciones



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

B.2.1.1 Inundación por Desborde de Cauces

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

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

1. Perennes: ríos o esteros con cuencas que abarcan grandes áreas y que tienen sus cabeceras en zonas cordilleranas. Aunque no presenten necesariamente una escorrentía superficial continua, se consideran como perennes dado que la mayoría del flujo escurre en el acuífero ubicado bajo la superficie. Estos presentan cauces de gran extensión, bien definidos, con diferentes niveles de terrazas fluviales, y fácilmente identificables a partir del análisis estereoscópico de fotos aéreas. Las terrazas más altas generalmente están ocupadas por actividades agrícolas o asentamientos humanos.
2. Intermitentes: Esteros y quebradas de escurrimiento temporal como consecuencia directa de precipitaciones intensas. En general, algunas de estas quebradas pueden presentar amenaza por fenómenos de remociones en masa del tipo flujos de detritos, existiendo una estrecha relación entre estos fenómenos e inundaciones por escorrentía torrencial de gran velocidad. Como se explicará posteriormente, los flujos de detritos, al perder su carga sólida, van transformándose paulatinamente en inundaciones torrenciales. Normalmente no existen estaciones fluviométricas en estos cauces, por lo que la estimación de caudales máximos se debe hacer con modelos matemáticos y estadísticas de precipitaciones máximas de gran intensidad.

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

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

B.2.1.2 Inundación por Acumulación de Aguas Lluvias en Zonas Llanas, o Anegamiento

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

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

B.2.2 Procesos de Remoción en Masa

El término “remoción en masa” incluye una amplia variedad de procesos que generan el movimiento de aguas abajo de los materiales que constituyen las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores (FIGURA B—9). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo.

B.2.2.1 Desprendimientos o Caída de Rocas

Los desprendimientos o caída de rocas son remociones en masa en las cuales bloques de rocas o suelo se desprenden a partir de laderas de altas pendientes, como cornisas o acantilados rocosos, para luego desplazarse en caída libre, al menos en parte de su trayectoria (Hauser, Remociones en masa en Chile, 2000). Normalmente, las superficies de rotura corresponden a planos de estratificación, cuya inclinación es superior a su ángulo de fricción interna, con proyección libre a la cara del talud. Entre las zonas susceptibles a sufrir desprendimientos o caídas de rocas destacan los flancos de quebradas profundas, labradas en secuencias estratificadas con niveles más duros hacia el techo, expuestas a erosión fluvial, o acantilados costeros expuestos a erosión marina.

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

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

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

B.2.2.2 Deslizamientos

Los deslizamientos son remociones en masa en las cuales las masas de suelo o roca se deslizan principalmente a lo largo de superficies de ruptura, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en su conjunto (Hauser, Remociones en masa en Chile, 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 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.

Estos fenómenos incluyen los deslizamientos que ocurren durante el retroceso de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, en especial al desarrollo de terrazas de abrasión. Este proceso es causado por la fuerza de las olas, las que cavan cavernas y desestabilizan el bloque superior, provocando que éste caiga por su propio peso (FIGURA B—11). Ello produce además que el acantilado costero se encuentre en constante retroceso, lo que permite definir como zona de alta susceptibilidad todas las áreas cercanas al acantilado costero. Los mismos procesos de erosión ocurren en valles con erosión fluvial activa.

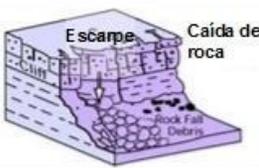
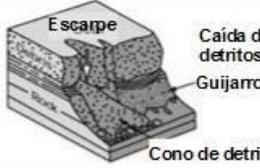
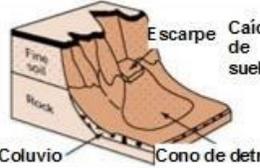
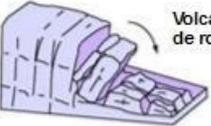
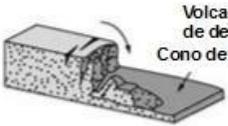
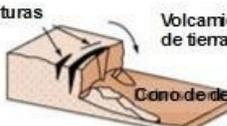
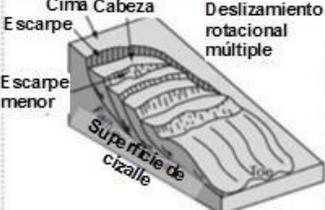
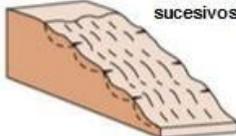
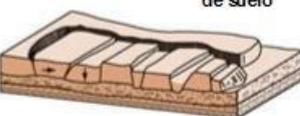
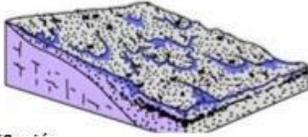
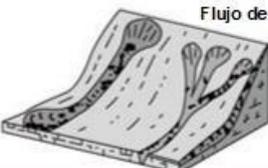
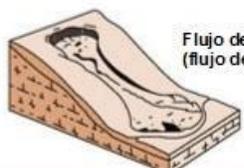
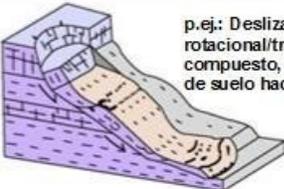
Los factores condicionantes de un deslizamiento corresponden principalmente a: los factores intrínsecos del suelo y la roca, las características geológicas (litología, estructuras, grado de alteración y meteorización, etc.), los factores geomorfológicos (pendiente, aspecto, curvatura, elevación, entre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

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA B—9 Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera

Material		ROCA	DETRITO	SUELO
Tipo de movimiento				
CAIDA		 Caída de roca	 Caída de detritos Guijarros Cono de detrito	 Caída de suelo Cono de detrito Coluvio
	VOLCAMIENTO	 Volcamiento de roca	 Volcamiento de detrito Cono de detrito	 Volcamiento de tierra Cono de detrito
DESIZAMIENTO	Rotacional	 Deslizamiento rotacional simple (slump) Superficie de cizalle	 Deslizamiento rotacional múltiple Cima Cabeza Escarpe menor Superficie de cizalle	 Deslizamientos rotacionales sucesivos
	Traslacional (p lanar)	 Deslizamiento de roca	 Deslizamiento de detrito	 Deslizamiento de suelo
PROPAGACION	 Estructura subhorizontal normal Quebradas Cobertura de roca Limolita arcillosa Adelgazamiento de estratos Plano de despegue Sustrato competente Estructura inclinada Levantamiento del valle (arrasado por erosión)			 Propagación de suelo
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	

BGS © NERC

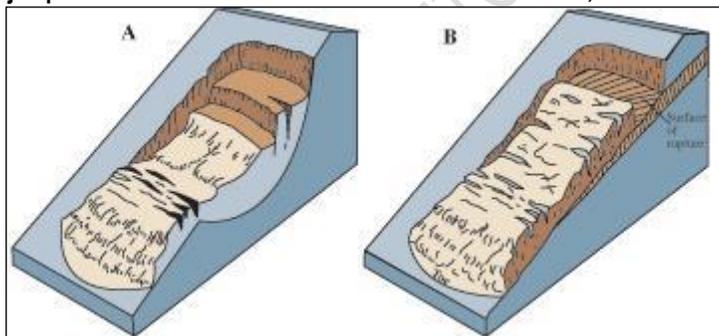
Fuente: Clasificación utilizada por el British Geological Service, modificada de (Varnes, Slope movement types and processes, 1978) y (Cruden & Varnes, 1996). Disponible en:

http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

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

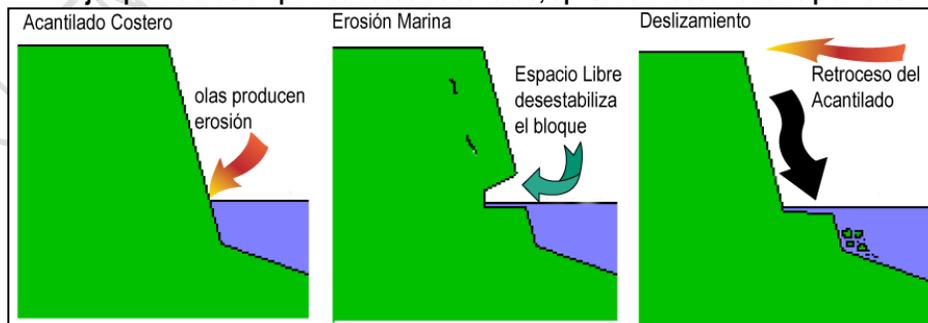
1. Distancia al origen del fenómeno: Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m). Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.
2. La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno: En general, dado que estos procesos son de alta velocidad los daños potenciales son altos.
3. Densidad de población: A mayor densidad de población y área expuesta susceptible de ser afectada, mayores serán los daños esperados. Si la población se encuentra directamente en el área de alcance de un deslizamiento, la vulnerabilidad, estructural y económica es muy alta ya que la pérdida de vidas, viviendas y productividad son efectos típicos de este peligro geológico. Por otro lado, si un deslizamiento afecta a caminos, acueductos o líneas eléctricas puede producir aislamiento, enfermedades gastrointestinales y pérdidas económicas en general para la población.
4. Tiempo de aviso: Sin estudios de detalle no hay forma de predecir este tipo de procesos. Si se realizan estudios específicos, es posible conocer el o los factores gatillantes de las remociones en masa en un área determinada. Si estos factores gatillantes pueden ser monitoreados, es posible generar sistemas de alerta. Por ejemplo, si el factor gatillante son las precipitaciones sobre un cierto nivel umbral de intensidad, es posible generar sistemas de alerta que se activen cuando se sobrepasa dicho umbral.

FIGURA 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>

FIGURA B—11 Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión



Fuente: Elaboración propia.

B.2.2.3 Flujos de Detritos y Barro

Los flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones', son remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos viscosos de sedimentos concentrados (Antinao, 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 desnudas y otros depósitos detríticos no consolidados, disponibles dentro de la cuenca de recepción, son transportadas hacia el cauce principal donde continúa su movimiento. Se remueven así depósitos de gravas y arenas sueltas del lecho, hasta alcanzar el área de depositación, que corresponde al sitio de salida de dichas quebradas a zonas más llanas donde se forman abanicos aluviales. Con la disminución de la pendiente, a medida que aumenta la distancia desde su fuente, los flujos van perdiendo su carga sólida de mayor granulometría, por lo que van pasando paulatinamente a flujos de barro y finalmente a inundaciones o flujos hiperconcentrados donde la fracción sólida varía generalmente entre 1 a 25% en volumen (Pierson & Scott, 1985).

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

En Chile, el factor desencadenante más común de flujos de detritos son las lluvias esporádicas, de corta duración y de intensidad excepcional. Por otro lado, en nuestro país existen muy pocos estudios que relacionen las intensidades de precipitaciones y este tipo de fenómenos, debido, principalmente, a los escasos registros de intensidad de precipitaciones y de flujos de detritos históricos. Sólo durante las últimas décadas se han instalados pluviógrafos que miden la intensidad instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora). Sólo se disponen de registros más sostenidos en el tiempo de precipitaciones diarias (mm en 24 horas). Esto dificulta los análisis de relación a estas variables ya que a veces basta una lluvia "corta" pero extremadamente intensa para generar un flujo de detritos.

Los flujos o "aluviones" del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta y del 3 de Mayo de 1993 en la Quebrada de Macul en Santiago Oriente son ejemplos de eventos que han suscitado el interés nacional tanto por el alto grado de daños materiales como el costo de vidas humanas. Estos eventos han sido, por otra parte, un aporte para el conocimiento de los umbrales de intensidad de precipitaciones mínimas para la generación de flujos de detritos en Chile. En el caso de Antofagasta, en una de las zonas más secas del país, se estimaron precipitaciones mínimas de 30 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre, 1997). En el caso de Santiago Oriente, se contó con datos pluviográficos más precisos, donde se registraron casi 10 mm en una sola hora (Naranjo & Varela, 1996). Anteriormente, para la Región Metropolitana se estimó un mínimo de 60 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, Flujos aluvionales de 1870 y 1896 ocurridos en la ladera norte del volcán Yates, X Región: su implicancia en la evaluación de riesgos naturales, 1985).

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

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

- 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.3 REFERENCIAS

Antinao, J., Fernández, J., Naranjo, J. & Villarroel, P., 2002. Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones en la Cuenca de Santiago, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental, No. 2, 1 mapa escala 1:100.000.

Centeno, J., Fraile, M., Otero, M. & Pividal, A., 1994. Geomorfología Práctica. Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental.. Madrid: Ed. Rueda.

Costa, J., 1984. Physical geomorphology of debris flows. In Developments and Applications of Geomorphology. En: J. E. Costa & P. J. Fleisher, edits. Developments and Applications of Geomorphology. Berlin: Springer-Verlag, pp. 268-317.

Cruden, D. & Varnes, D., 1996. Landslide types and processes, Washington D.C.: Special Report 247: Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board.

DeMets, C., Gordon, R., Argus, D. & Stein, S., 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. Geophysical Research Letters, 21(20), pp. 2191-2194.

Díez-Herrero, A., Lain-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.

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

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

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

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

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

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

Inamura, A., 1942. History of Japanese Tsunamis. *Kayo-No-Kagaku*, Volumen 2, pp. 74-80.

Inamura, A., 1949. List of Tsunamis in Japan. *Journal of Seismological Society of Japan*, Volumen 2, pp. 23-28.

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

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

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.

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

Naranjo, J. A., 1987. Interpretación de la actividad cenozoica superior a lo largo de la Zona de Falla de Atacama, norte de Chile. *Revista Geológica de Chile*, Issue 31, pp. 43-55.

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.

Natural Resources Canada, 2011. Natural Resources Canada. [En línea]
Available at: <http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/environment/naturalhazards/tsunami/1>
[Último acceso: 25 11 2011].

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

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

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

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

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

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

Sepúlveda, S. & Serey, A., 2009. Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the April 21, 2007 Aisén earthquake, southern Chile (45.5°S). *Andean Geology*, 26(1), pp. 131-136.

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

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.

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

Watt, S., Pyle, D., Naranjo, J. & Mather, T., 2009. Landslide and tsunami hazard at Yate volcano, Chile as an example of edifice destruction on strike-slip fault zones. *Bulletin of Volcanology*, 71(5), pp. 559-574.

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

Wiegel, R., 1970. Tsunamis. En: Wiegel et al., ed. *Earthquake Engineering*. Engelwood Cliffs: Prentice Hall, pp. 253-306.

ANEXO C LÍNEA BASE

C.1 CLIMA E HIDROLOGÍA

C.1.1 Clasificación climática

Para la caracterización climática se hace necesario no solo considerar a la comuna en sí, sino que también a las zonas que la rodean, sobre todo porque –tal como se indicará más adelante– las áreas aportantes de los esteros que pasan por la comuna se extienden hacia el Norte, abarcando tanto el valle Central como parte de la cordillera de Los Andes.

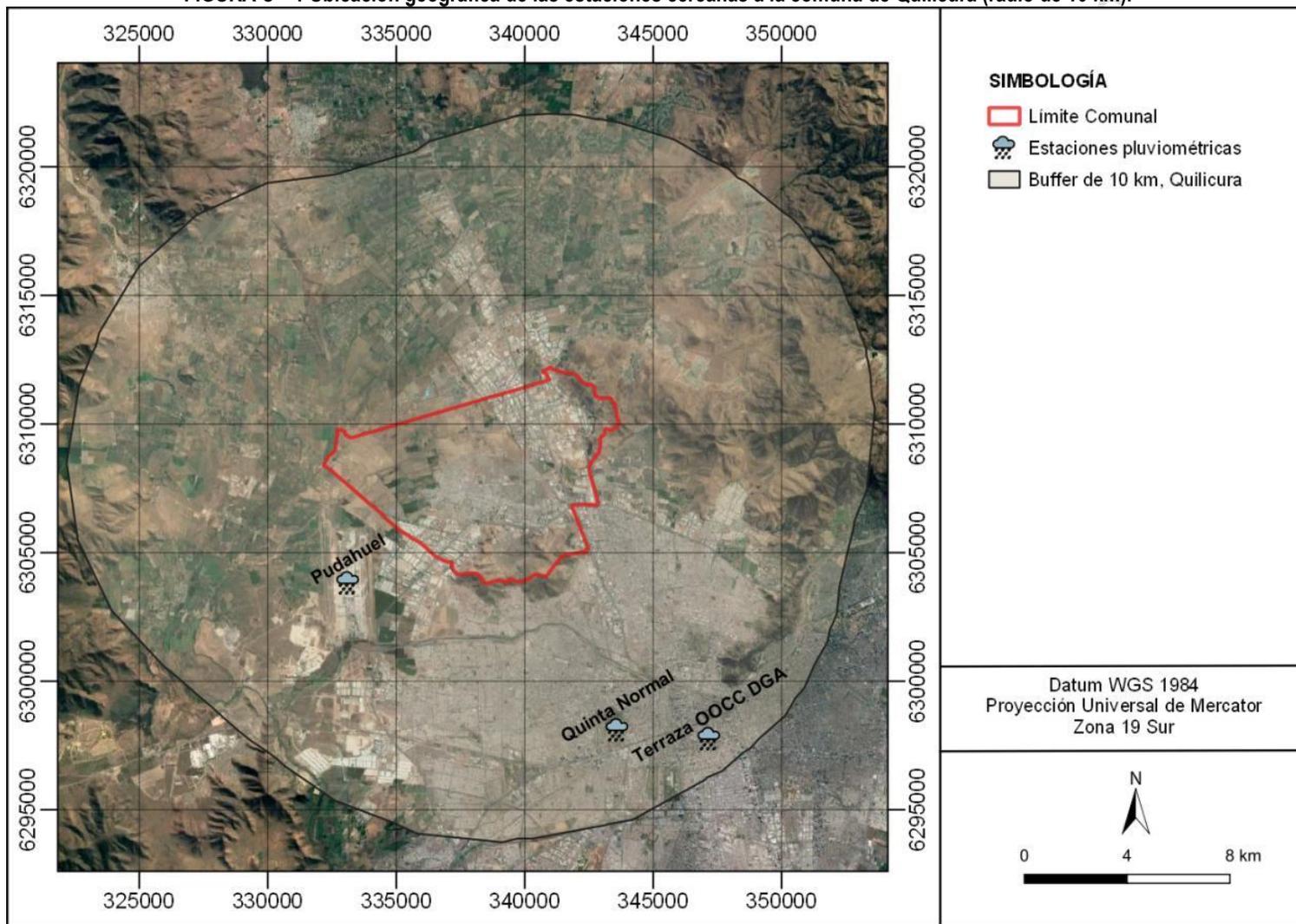
La comuna de Quilicura se caracteriza con un clima del tipo mediterráneo, con veranos secos y calurosos, e inviernos relativamente lluviosos, según la clasificación climática de Köppen-Geiger (Beck et al., 2018).

C.1.2 Datos hidro-meteorológicos

Los datos de terreno más significativos a analizar corresponden a la precipitación. En primera instancia cabe destacar la nula presencia de estaciones pluviométricas dentro de la comuna de Quilicura, y también la poca densidad de ellas en las zonas cercanas. En un radio de 10 km fuera de la comuna, se encuentran 3 puntos, que sería 1 estación perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA) ubicada en la comuna de Santiago (estación Terraza Oficinas Centrales DGA), y dos estaciones pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) ubicadas en las comunas de Pudahuel y Santiago Centro (estación Pudahuel y Quinta Normal, respectivamente). En la FIGURA C—1 se indican la ubicación geográfica de las tres estaciones presentadas anteriormente. Se considerará al periodo 1970-2019, como una ventana de tiempo de análisis de las estadísticas de estas estaciones, y lo que de ellas se derive.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—1 Ubicación geográfica de las estaciones cercanas a la comuna de Quilicura (radio de 10 km).



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

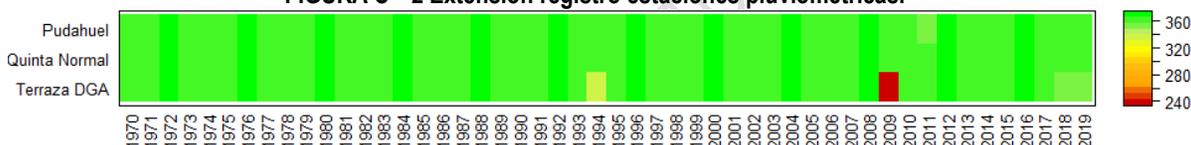
En el CUADRO C—1 se presenta los detalles de estas estaciones, donde cabe destacar las caracterizaciones de la precipitación media anual en el periodo 1970-2019 y la altura de cada una de ellas. Adicionalmente, cabe indicar también que las estaciones Pudahuel y Quinta Normal cuentan además con buena información de temperatura del aire en el periodo 1970-2019.

CUADRO C—1 Detalles de las estaciones pluviométricas cercanas a Quilicura.

Nombre	Código BNA / DMC	Coordenadas UTM (WGS 84 Huso 19 Sur)		Precipitación Media Anual 1970-2019 (mm)	Temperatura Media Anual 1970-2019 (°C)	Altitud (m s.n.m.)	Estado	Año de Inicio
		Este (m)	Norte (m)					
Pudahuel	330021	333.109	6.303.827	252,11	14	482	Vigente	1966
Quinta Normal	330020	343.585	6.298.112	310,43	14,7	527	Vigente	1950
Terraza DGA	05730016	347.161	6.297.770	306,77	-	560	Vigente	1960

Las estaciones anteriormente indicadas presentan en general una buena calidad de datos, pues existe una disponibilidad de 99.96%, 100.00% y 98.99% para la estación Pudahuel, Quinta Normal y Terraza DGA; lo anterior en el periodo de estudio 1970-2019, tal como ya se ha señalado. En la FIGURA C—2 se indica la calidad de la cantidad de días con datos por cada año del periodo de estudio, donde los únicos “baches” importantes se presentan en la estación Terraza DGA en los años 1994 y 2009.

FIGURA C—2 Extensión registro estaciones pluviométricas.



De acuerdo a los datos mostrados en el CUADRO C—1, en específico los valores de precipitación media anual registrados en las estaciones, se nota una disparidad entre la estación Pudahuel y las estaciones ubicadas en Santiago Centro (Quinta Normal y Terraza DGA), lo cual puede ser influenciado porque la estación Pudahuel se encuentra a una altura más baja que las otras dos, las que están relativamente más cerca de la cordillera. A pesar de que en la estación Pudahuel se ubica en una zona con menor precipitación, se tiene que a la vez esa zona presenta temperaturas medias algo más bajas (14 °C) que las que se registran en Santiago Centro (14.7 °C).

Al momento de buscar el punto de medición adecuado para caracterizar las variables meteorológicas de la comuna, se considera que la estación Pudahuel (FIGURA C—1), ubicada a ~3 km desde sus límites, sería la más representativa de la actual zona de estudio, lo que se respalda por el hecho de que se encuentra a una altura similar al promedio de la comuna (a pesar de que la topografía encargada en el presente estudio no abarca toda la comuna, de ella se deriva una altura promedio de ~478 m de altura, cercana a la altura de 482 m de la estación Pudahuel).

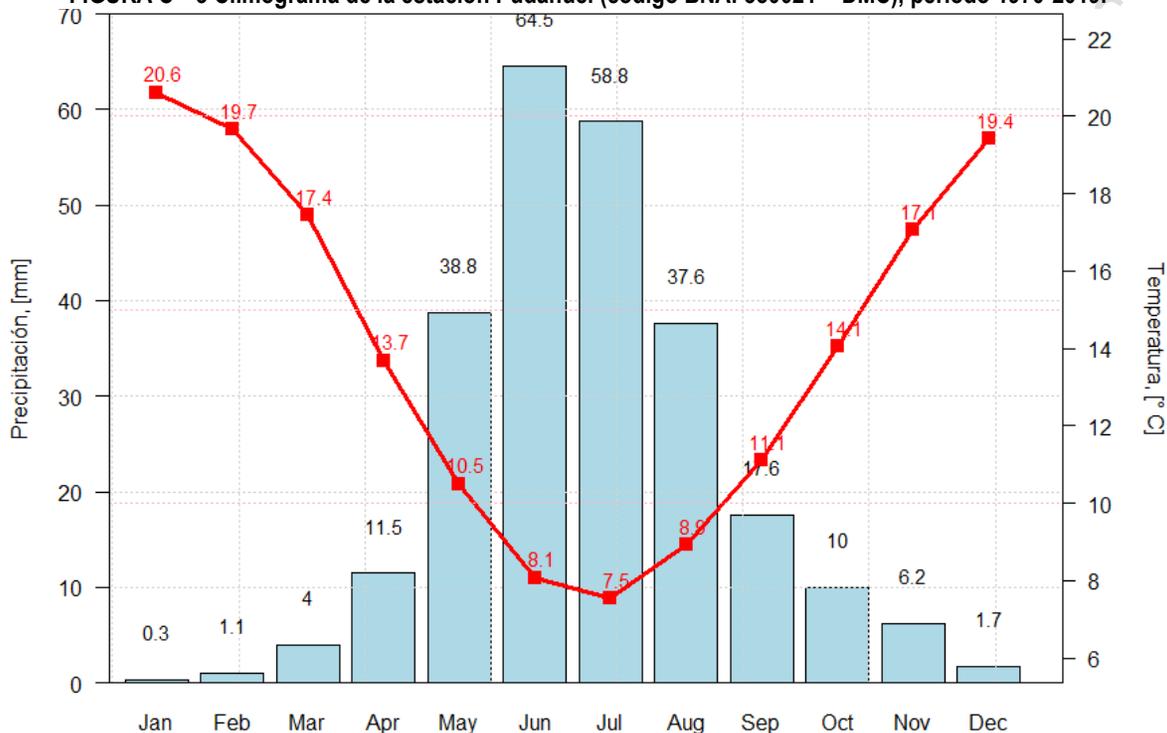
En la FIGURA C—3 se muestra un climograma elaborado en base a los datos de precipitación y temperatura media del aire, registrados en la estación Pudahuel, dentro del periodo 1970-2019. En él se aprecia resumidamente el ciclo de la precipitación media anual y de la temperatura media anual, durante los doce meses del año.

Al igual que en muchos lugares de la zona Centro-Sur, el mes más lluvioso corresponde a Junio, acumulando en promedio 64.5 mm, con lo que las precipitaciones se concentran en la finalización del otoño y el comienzo del invierno. Se sigue el mes de julio con precipitación media mensual de 58.8 mm. Para el resto de los

meses se nota un decaimiento importante de las precipitaciones, por debajo de los 40 mm, alcanzando valores mínimos en las meses de Diciembre, Enero y Febrero, en pleno verano.

Describiendo el ciclo de temperatura se tiene que el mes más caloroso es enero, con una temperatura promedio mensual de 20,6 °C. Las temperaturas después de enero comienzan a descender para alcanzar su punto más bajo en julio, con una temperatura media mensual de 7,5°C, para luego aumentar uniformemente hasta volver al punto máximo en enero.

FIGURA C—3 Climograma de la estación Pudahuel (código BNA: 330021 – DMC), periodo 1970-2019.



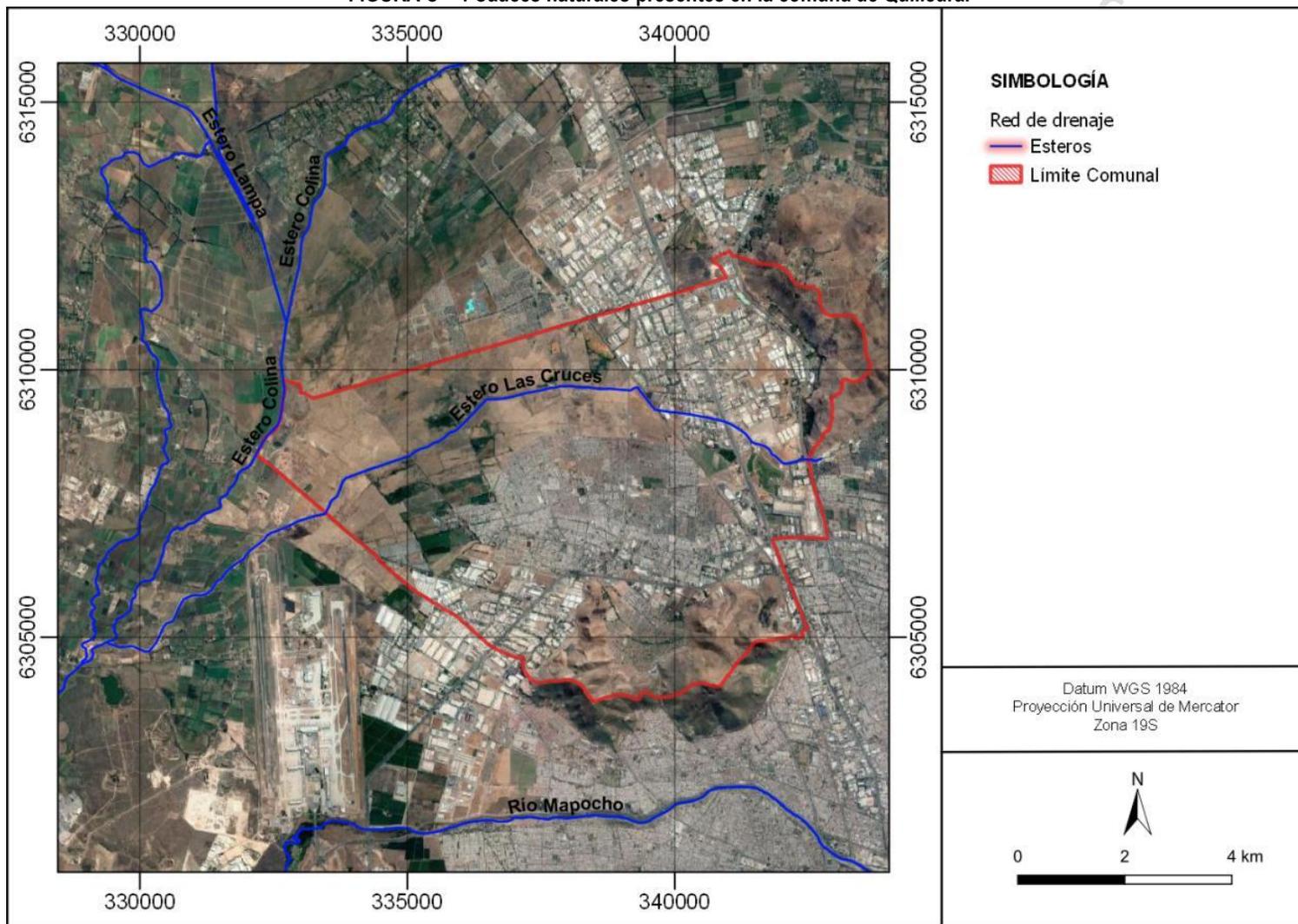
Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas DMC.

C.1.3 Recopilación de antecedentes: áreas aportantes

A continuación se presentan los cauces naturales existentes en la comuna de Quilicura, a saber, el estero Las Cruces y el estero Colina, los cuales se pueden apreciar en la FIGURA C—4.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—4 Cauces naturales presentes en la comuna de Quilicura.



ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Tal como se observa en la figura anterior, el principal cauce que pasa por la comuna corresponde al estero Las Cruces, el cual parte cerca de la ruta G-57, atraviesa la zona industrial del sector oriente de la comuna para luego abrirse paso en las planicies de la comuna hasta salir de esta, con una longitud total, en la comuna, de ~10.4 km. Ya fuera de la comuna, el estero Las Cruces pasa a confluir con el estero Colina.

El estero Colina por su parte bordea el límite norponiente de la comuna en un tramo de ~1.5 km. Lo particular de este tramo es que, habiendo ya confluído aguas arriba de la comuna con el estero Lampa (estero principal), no pasa a tomar su nombre sino que se mantiene como estero Colina. Luego, cuando el estero Colina confluye con el estero Las Cruces, aguas abajo de la comuna, nuevamente se denomina estero Lampa. Finalmente, se une a un brazo secundario de este mismo estero y continúa su trayectoria hasta su desembocadura en el río Mapocho.

La caracterización de los cauces y las áreas aportantes se realiza a partir de estudios previos realizados en la zona de interés, los que se conciben a partir de los planes maestros realizados en esta área. El estudio principal corresponde al Plan Maestro de Evacuación de Aguas Lluvias del Gran Santiago (PM-01, en adelante) desarrollado en el año 2001 por la consultora CADE-IDEPE a petición de la Dirección de Obras Hidráulica. Luego de la elaboración de este plan maestro, se derivaron otros estudios en zonas localizadas del Gran Santiago y los cauces implicados, destacando el estero Las Cruces, el cual resulta ser la vía evacuadora de una de las 4 zonas definidas en el PM-01 (CADE-IDEPE, 2001).

- Plan Maestro de Evacuación de Aguas Lluvias del Gran Santiago. 2001. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería. (En adelante se hará alusión a este estudio como PM-01).
- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de la Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. 2002. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería.
- Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Las Cruces, Región Metropolitana. 2003. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda. (En adelante se hará alusión a este estudio como ALL-DP16).
- Adecuación de la Ingeniería de Detalle del Proyecto de Canalización del Estero Las Cruces, Tramo Ruta 57 a Desembocadura Estero Lampa, Región Metropolitana, 2004. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda.
- Diagnóstico y Proposición Plan Maestro de Manejo de Cauces Naturales, Cuenca del Estero Lampa. Región Metropolitana”. 2004. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda.
- Análisis de Técnicas Alternativas y Complementarias para las Soluciones de Aguas Lluvia en una Cuenca. Aplicación al Valle de Chicureo, 2007. Elaborado por Bárbara Lorena Astudillo Cáceres (Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Profesor Guía: Luis Arrau del Canto).
- Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Los Patos, Región Metropolitana. 2008. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por Luis Arrau del Canto, Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego. (En adelante se hará alusión a este estudio como “Diseño Red Primaria Estero Los Patos”).
- Estado de la Red Primaria de Santiago a Julio de 2015, escala 1:50000, 20015, Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas.

C.1.3.1 El estero Las Cruces

El estero Las Cruces se desarrolla en el sector norponiente de la ciudad de Santiago (CADE-IDEPE, 2001). Nace en el sector de Puente Verde de la carretera General San Martín, en la confluencia de los canales Los Choros y Huechuraba.

En un primer tramo (entre la ruta G57 y la línea ferroviaria), el estero Las Cruces recorre sectores industriales de la comuna de Quilicura, para luego continuar hacia el sur-poniente por áreas rurales de Quilicura y Pudahuel, hasta su confluencia con el estero Colina. Entre su nacimiento y la desembocadura en el estero Colina, recibe por el norte los caudales provenientes del estero Los Patos, el cual drena la cuenca de los cerros de Chicureo (CADE-IDEPE, 2001).

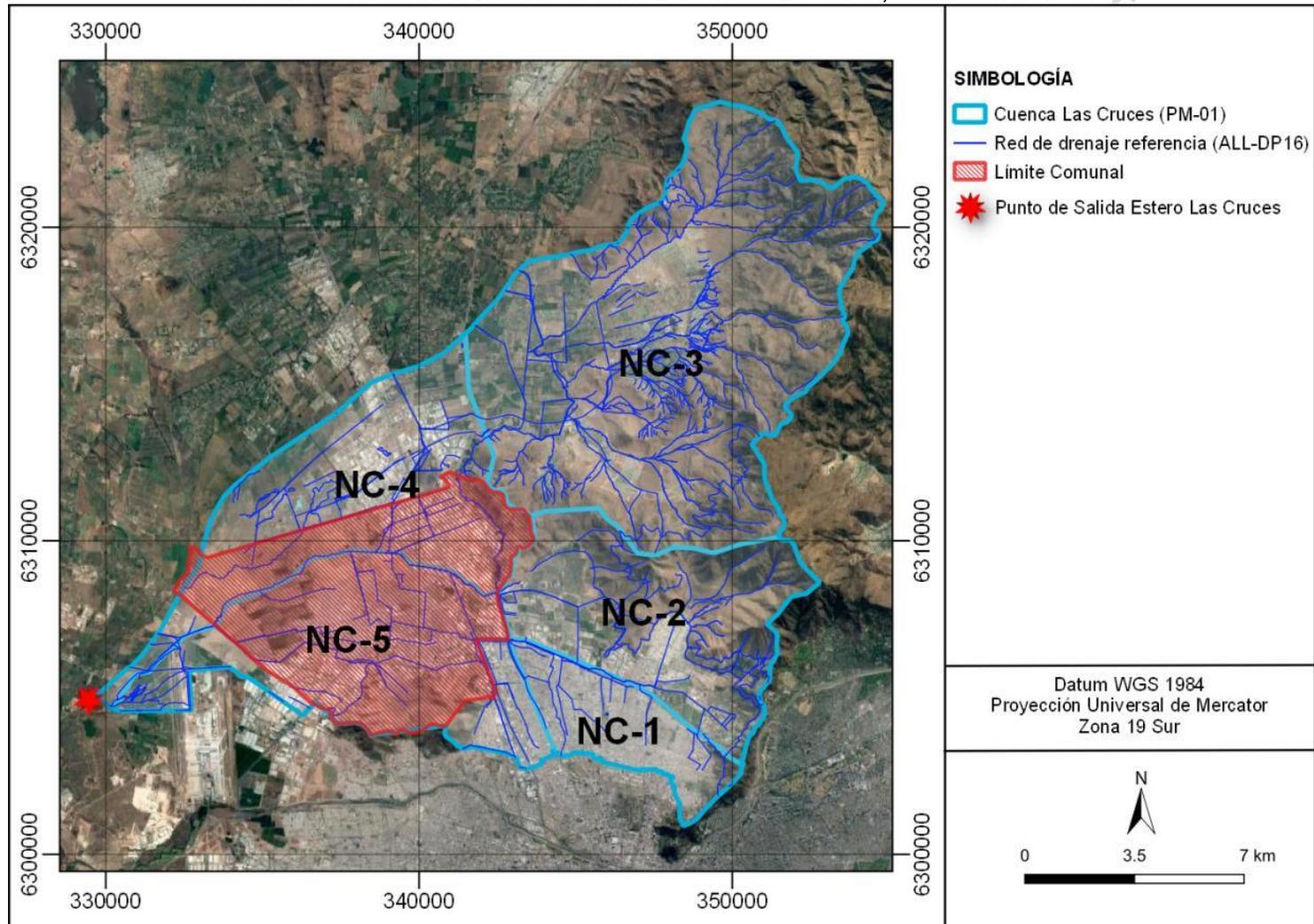
El estero Las Cruces se considera de manera autónoma, es decir, solo considerando los caudales que descargan hacia el mismo estero en el tramo que va desde Puente Verde hasta camino Lo Echevers. Si bien los esteros Lampa y Colina influyen en el escurrimiento del estero Las Cruces, el tramo comprendido entre Puente Verde y el cruce del camino Lo Echevers es hidráulicamente independiente de la descarga en el estero Colina (CADE-IDEPE, 2001).

La cuenca del estero Las Cruces pertenece a la hoya del estero Lampa, el cual drena el sector ubicado inmediatamente al norte de la ciudad de Santiago. El estero Lampa constituye el principal afluente del río Mapocho, el cual a su vez, es el principal tributario al río Maipo (CADE-IDEPE, 2001).

La superficie que aporta a la salida final del Estero Las Cruces tiene un área de ~280 km². Esta zona se muestra en la **FIGURA C—5** junto a una red drenaje referencial tomada a partir de los planos elaborados en el estudio ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—5 Áreas tributarias ubicadas en la Zona Norte – Las Cruces, definidas en el PM-01.



Fuente: Elaboración propia, en base a estudio PM-01 (CADE-IDEPE, 2001): cuencas aportantes y áreas tributarias, y ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003): red de drenaje referencial (esteros, canales y colectores existentes y proyectados). Nota: NC-1 corresponde al sector Conchalí-Recoleta, NC-2 a Huechuraba, NC-3 a Chicureo, NC-4 a las Cruces Norte y NC-5 a Las Cruces Sur.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Las áreas tributarias mostradas en la **FIGURA C—5** se describen a continuación:

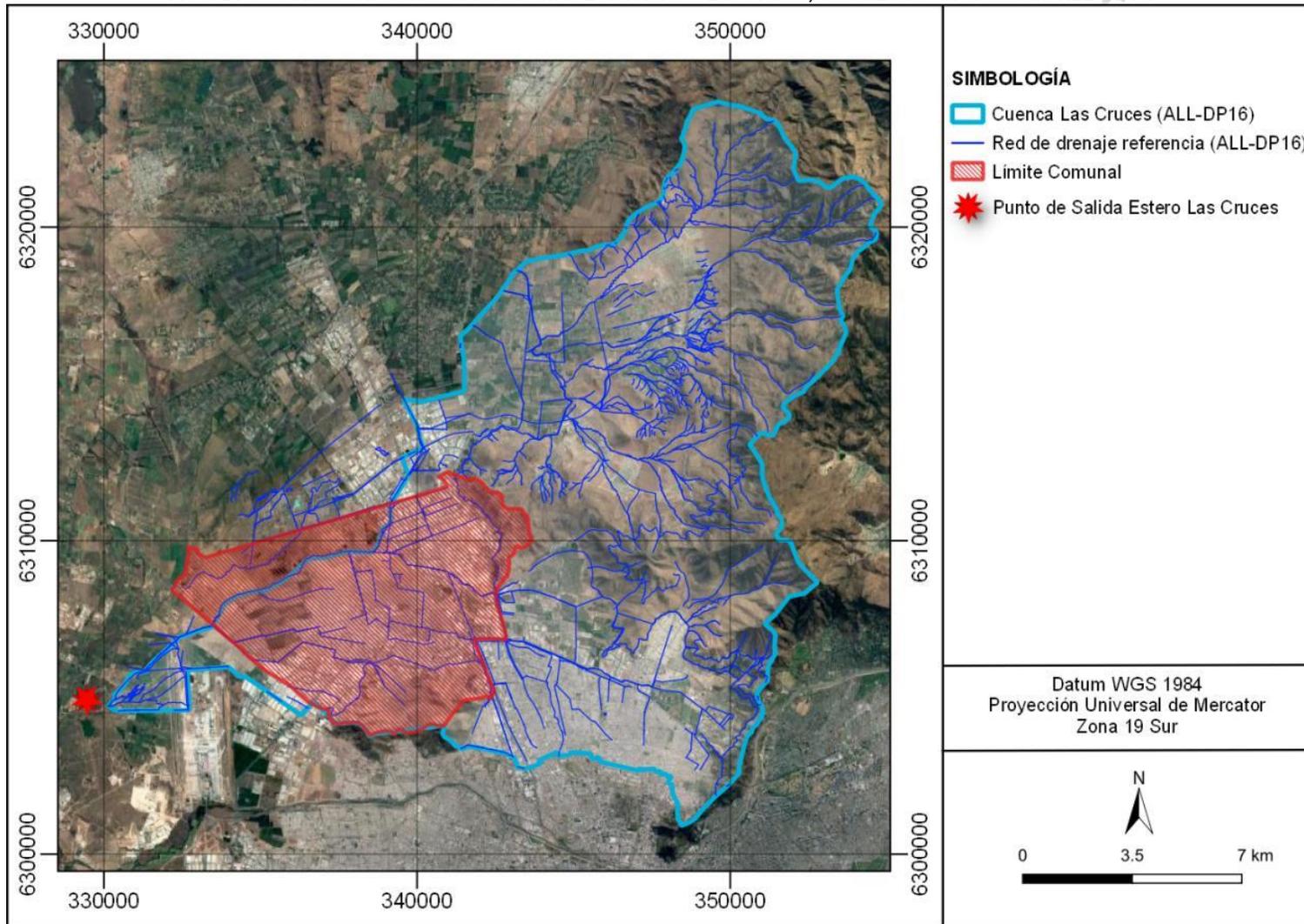
- **Sector Conchalí-Recoleta (NC-1):** Este sector comprende el área norte de la comuna de Recoleta y parte importante de la comuna de Conchalí y está conformado por tres áreas tributarias: El Salto, Benítez y Cardenal Caro. El receptor final de las aguas lluvias del sector Conchalí – Recoleta es el canal Huechuraba; el cual ingresa al sector luego de atravesar el área tributaria La Pincoya del Sector Huechuraba (CADE-IDEPE, 2001).
- **Sector Huechuraba (NC-2):** Este sector está conformado por las áreas tributarias La Pincoya y Las Bandurrias. Por lo menos hasta el año 2001, el área Las Bandurrias poseía un significativo porcentaje de áreas sin urbanizar, drenando las aguas lluvias en forma gravitacional al canal Los Choros (CADE-IDEPE, 2001). El área tributaria La Pincoya posee dos colectores separados de aguas lluvias, cuyo trazado principal va por Av. Recoleta y por Av. S. Allende, respectivamente, los cuales descargan al canal Huechuraba. El área Las Bandurrias posee un significativo porcentaje de áreas sin urbanizar y las aguas lluvias llegan en forma gravitacional al canal Los Choros.
- **Sector Chicureo (NC-3):** Esta zona es la ubicada más al norte del área aportante al estero Las Cruces, encontrándose compuesta por once áreas tributarias, según lo definido en el PM-01. Corresponde a la antigua cuenca del estero Los Patos, cuyos afluentes principales eran las quebradas, La Ñipa y El Manzano, por el norte y El Loro, La Virgen, Los Maitenes y La Región por el sur. Al año 2003, es la zona que mayor desarrollo inmobiliario presentaría en el corto plazo, estando considerados como parte de la ZODUC (Zonas de Desarrollo Urbano Condicionado) definidos en el PRMS del MINVU (AC Ingenieros, 2003). De acuerdo a lo recabado posteriormente en el estudio *Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Los Patos* (Luis Arrau del Canto, Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego, 2008), en el cual se estudió todo lo comprendido en el sector NC-3, la vía principal de escurrimiento en el sector alto resultó ser la Avenida Chicureo, con el aporte principal de las quebradas La Ñipa y El Manzano. En la zona baja, la situación no es tan clara porque los cauces son pequeños y se desbordan rápidamente. La vía principal en todo caso es el estero Los Patos.
- **Sector Las Cruces Norte (NC-4):** está formado por seis áreas tributarias, que corresponden a las áreas Carretera General San Martín, Camino Coquimbo, La Montaña, Santa Luisa, Esperanza, y Camino Lo Boza. De los antecedentes recopilados en el estudio PM-01, se ha determinado que este sector no drena en toda su superficie al estero Las Cruces, sino que la parte norte del mismo lo hace hacia el estero Colina a través de canales de derrames y del estero Los Perros.
- **Sector Las Cruces Sur (NC-5):** está formado por catorce áreas tributarias, de las cuales cuatro poseen colectores de aguas lluvias; en otras cruzan canales de desagües de aguas lluvias y otras son atravesadas por canales de riego que juegan el papel de receptores de aguas lluvias.

Cabe destacar que aun cuando la sectorización inicial estipulada en el estudio PM-01 mantiene su concepto general, en el transcurso de dicho estudio surgieron antecedentes en base a los cuales es posible afirmar que los sectores planteados inicialmente no son completamente independientes entre sí, por lo que se concluye que la visión de los procesos hidrológicos de la cuenca debiesen verse de manera integrada, y no por sectores por separado. Hay que considerar también que acuerdo a lo señalado en la descripción del sector Las Cruces Norte (NC-4), finalmente no todos los tributarios de dicho sector irían a dar al estero Las Cruces, disminuyendo el área aportante. Debido a lo anterior, en el estudio ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003) se indica un área aportante más acotada, la cual se muestra en la FIGURA C—6. Adicionalmente, es importante indicar que en el estudio PM-01 la solución propuesta para la evacuación de las aguas lluvias de la Zona Norte – Las Cruces no se condijo necesariamente con la cuenca aportante mostrada en la FIGURA C—6 ya que, según lo allí indicado, una parte del sector Chicureo (NC-3) tomaría rumbo por un canal de evacuación que conectaría directamente con el estero Colina. Dicha solución es distinta a lo que posteriormente se propuso en el estudio ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003). Es importante señalar que para efectos del presente estudio se considera la solución propuesta en el estudio ALL-DP16, dado que proviene de información más actualizada proveniente por parte de la autoridad.

A continuación se presentan las áreas tributarias (cuencas) aportantes al área de estudio. Cabe indicar que la disminución del área, respecto al PM-01, se nota en el sector Las Cruces – Norte.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—6 Áreas tributarias ubicadas en la Zona Norte – Las Cruces, actualizadas en el estudio ALL-DP16.



Fuente: Elaboración propia. Cuenca aportante y áreas tributarias: ALL-DP16 (AC-Ingenieros, 2003). Red de drenaje referencial: en base a los esteros, canales y colectores existentes y proyectados según ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003).

C.1.3.2 El estero Los Patos como aportante al estero Las Cruces

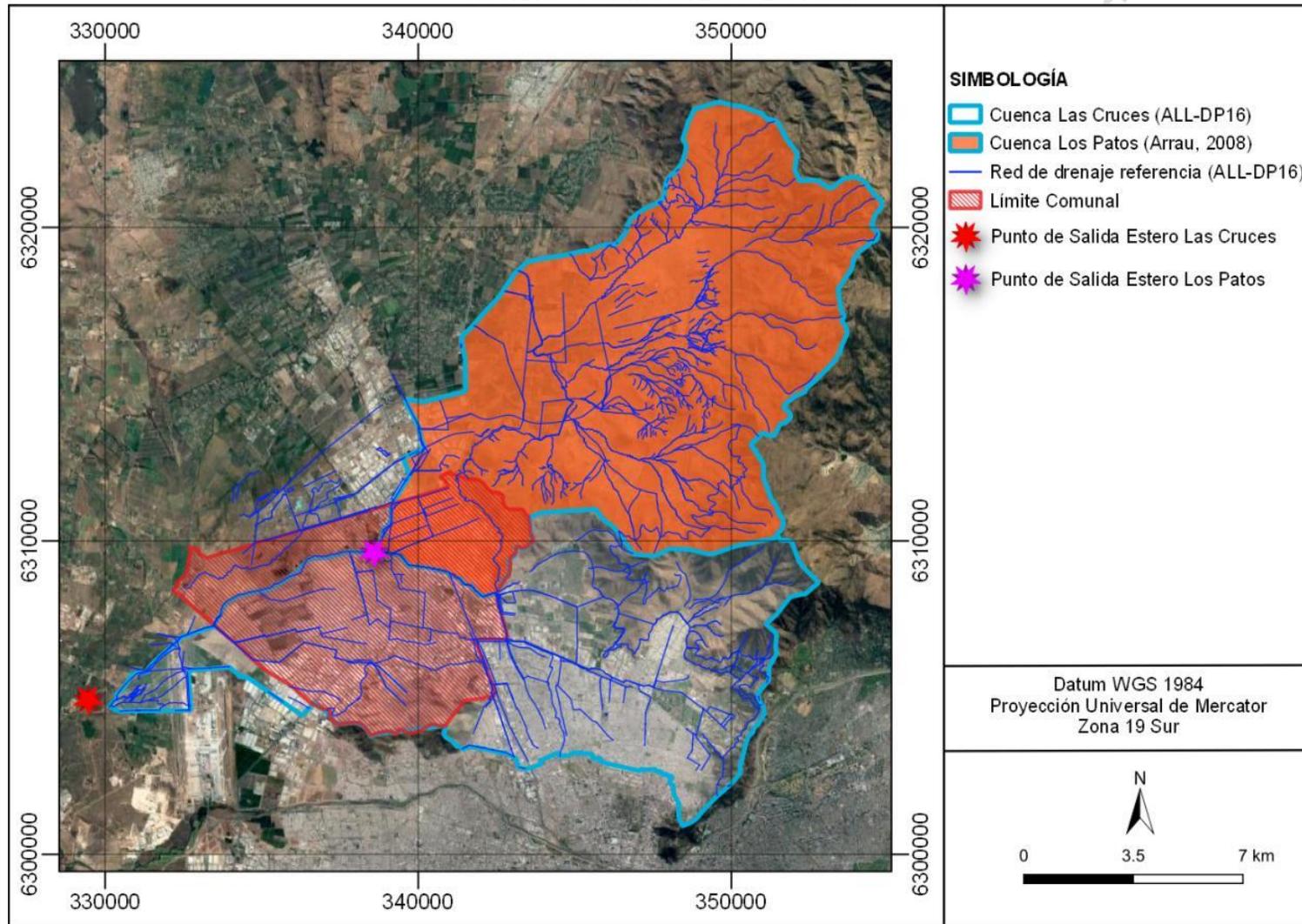
Para el análisis del estero Los Patos se toma como principal referencia al estudio “Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Los Patos, Región Metropolitana” desarrollado por Luis Arrau del Canto, Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego (2008) para la Dirección de Obras Hidráulicas. Este estudio se desarrolló con el objetivo de poner a disposición los antecedentes técnicos y legales necesarios para la construcción de las obras requeridas para el mejoramiento del estero Los Patos entre la Ruta G57 Santiago (Puente Los Patos) y su confluencia con el estero Las Cruces, en conformidad con la planificación de la red primaria y aportes superficiales asociados a dicha vía evacuadora y las obras existentes y futuras (Luis Arrau Del Canto, 2008).

Dicho estudio pone como contexto los importantes episodios de inundación del sector norponiente de Santiago, que se agravan por el creciente desarrollo inmobiliario en las localidades urbanas de Chicureo, Chamisero, Pan de Azúcar y parte de El Alfalfal, zonas que, según lo definido en el PM-01, terminarán por descargar gran parte de sus aportes al estero Los Patos para ir a dar finalmente, al estero Lampa a través del estero Las Cruces. Para eventos de cierta magnitud, esta escorrentía se traduce en considerables caudales que provocan desbordes de cauces, canales, colectores, calles y vías naturales de evacuación, las que no cuentan con la capacidad suficiente, provocando inundaciones de extensas áreas urbanas. El desarrollo inmobiliario de la zona ha modificado la situación de la escorrentía de la cuenca a lo largo de los años, de manera que junto con el desarrollo del estudio se estudiaron obras y acciones para mitigar las mayores inundaciones. La idea fue considerar la interacción entre quebradas, cauces naturales, canales y colectores existentes, con los que se proyecten de acuerdo con las definiciones que se tomen al respecto (Luis Arrau Del Canto, 2008).

El área aportante indicada en este antecedente se muestra a continuación en la FIGURA C—7, y abarca completamente el sector Chicureo (NC-3) definido en el estudio PM-01 (hay que aclarar que con Sector Chicureo se hace referencia al sector definido en el PM-01 y no a la localidad en específico), y también parte del sector Norte Las Cruces (NC-4) consistente en las áreas tributarias Ruta General San Martín, Camino Coquimbo, La Montaña y Santa Luisa. La suma de todos estos sectores equivale a un área de ~134 km².

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—7 Cuenca del Estero Los Patos.



Fuente: elaboración propia, en base a estudio Diseño Red Primaria Estero Los Patos (Luis Arrau Del Canto), 2008: cuencas aportantes, y estudio ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003): red de drenaje referencial (esteros, canales y colectores existentes y proyectados).

El estero Los Patos en la situación actual constituye el sistema de drenaje principal entre el Puente Los Patos que se ubica en la Ruta G-57 General San Martín hasta el Estero Las Cruces. Naturalmente se origina como resultado de los aportes de la quebrada Piedras Blancas y El Loro, y corresponde a la antigua vía evacuadora del valle de Chicureo. En el estudio “Diseño Red Primaria Estero Los Patos” se estudiaron las modificaciones al cauce y la naturaleza del mismo a través de fotogramas existentes en distintas épocas, estableciendo la similitud entre el trazado actual y el cauce existente en el año 1955 de manera de determinar si la faja necesaria para la realización del proyecto que ahí se plantea corresponde a deslindes de un cauce natural, o bien, se requerirá realizar expropiaciones. En base a lo anterior se pudo comprobar que ha habido constantes intervenciones del cauce del estero, y lo que era el cauce natural del estero ha sido sustituido por un cauce artificial de capacidad variable e insuficiente en varios sectores.

Por otro lado, en el estudio mencionado se cuenta con el antecedente sobre la sentencia pronunciada por el Décimo Cuarto Juzgado Civil de Santiago y recaída en el proceso caratulado “Agrícola Algarrobal Limitada y otro con Dirección General de Aguas”, que lleva el Rol 3.265/2002 de ese Tribunal, el cual, a la fecha de realización del estudio, contaba con un recurso de apelación y casación pendiente ante la I. Corte de Apelaciones de Santiago. Para entender este tema se presente una resumida secuencia de la demanda.

Con fecha 9 de Julio de 2002, don Carlos García Reus, actuando por sí y por la sociedad denominada Agrícola Algarrobal Limitada, dedujo demanda civil en contra de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, causa que quedó radicada en el Décimo Cuarto Juzgado Civil de Santiago, asignándosele el número de proceso o rol 3.265/2002. La demanda pretendía obtener la declaración de inexistencia de cauce natural, tomando como base una resolución emitida por la Dirección Regional Metropolitana de Aguas en Diciembre de 1997, que obligó a los propietarios de los terrenos que eran cruzados por lo que ese servicio denominó como Estero Los Patos (el Sr. García y la mencionada sociedad) a restituir el cauce natural antiguo en ese sector.

Con fecha 4 de Abril de 2005, el Tribunal pronuncia sentencia definitiva en la causa, donde en la parte considerativa el sentenciador estableció que no existe un Estero Los Patos sino que cauces de desagües, múltiples, erráticos y poco definidos, cosa corroborada en la propia inspección personal realizada. Con esto logró formarse la convicción o pudo establecer que efectivamente se trataba (Los Patos) de un cauce artificial, base por la cual debía acogerse la demanda. Cabe indicar, en este contexto, se señala que la Dirección General de Aguas, debidamente notificada del fallo, en junio del 2005 interpuso recursos de casación en la forma (anulación) y de apelación en contra de dicha sentencia, buscando precisamente sea ella revocada en todas sus partes. Finalmente, este fallo fue apelado y confirmado por la I. Corte de Apelaciones de Santiago, rol 4486-2005, el 7 de diciembre de 2009, quedando firme lo resuelto por el tribunal de 1ª instancia.

En consideración de lo anterior se podría concebir al canal de desagüe del estero Los Patos como un canal artificial altamente modificado.

El consultor que realizó este nuevo estudio (enfocándose exclusivamente en el estero Los Patos) consideró pertinente actualizar las curvas IDF determinadas en dicho Plan Maestro, debido a que a la fecha existían 8 años de estadísticas adicionales. Para esto se revisó la información analizada por CADE-IDEPE para la elaboración del PM-01 y la metodología utilizada para dicho fin.

C.1.3.3 El estero Colina

En el presente estudio se ha tomado la denominación de “estero Colina” al cauce natural que pasa por el borde Norponiente de la comuna de Quilicura, el cual corresponde a un tramo que va desde la confluencia del estero Colina con el estero Lampa, hasta la confluencia del estero Colina con el estero Las Cruces, aguas abajo. Este denominación se tomó en base a lo indicado en el Plan Maestro del Gran Santiago (PM-01,

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CADE-IDEPE, 2001) y el Plan Maestro de la Provincia de Chacabuco (PM-12, CADE-IDEPE, 2002). En este último antecedente se indica a este tramo como “estero Colina tramo 2”.

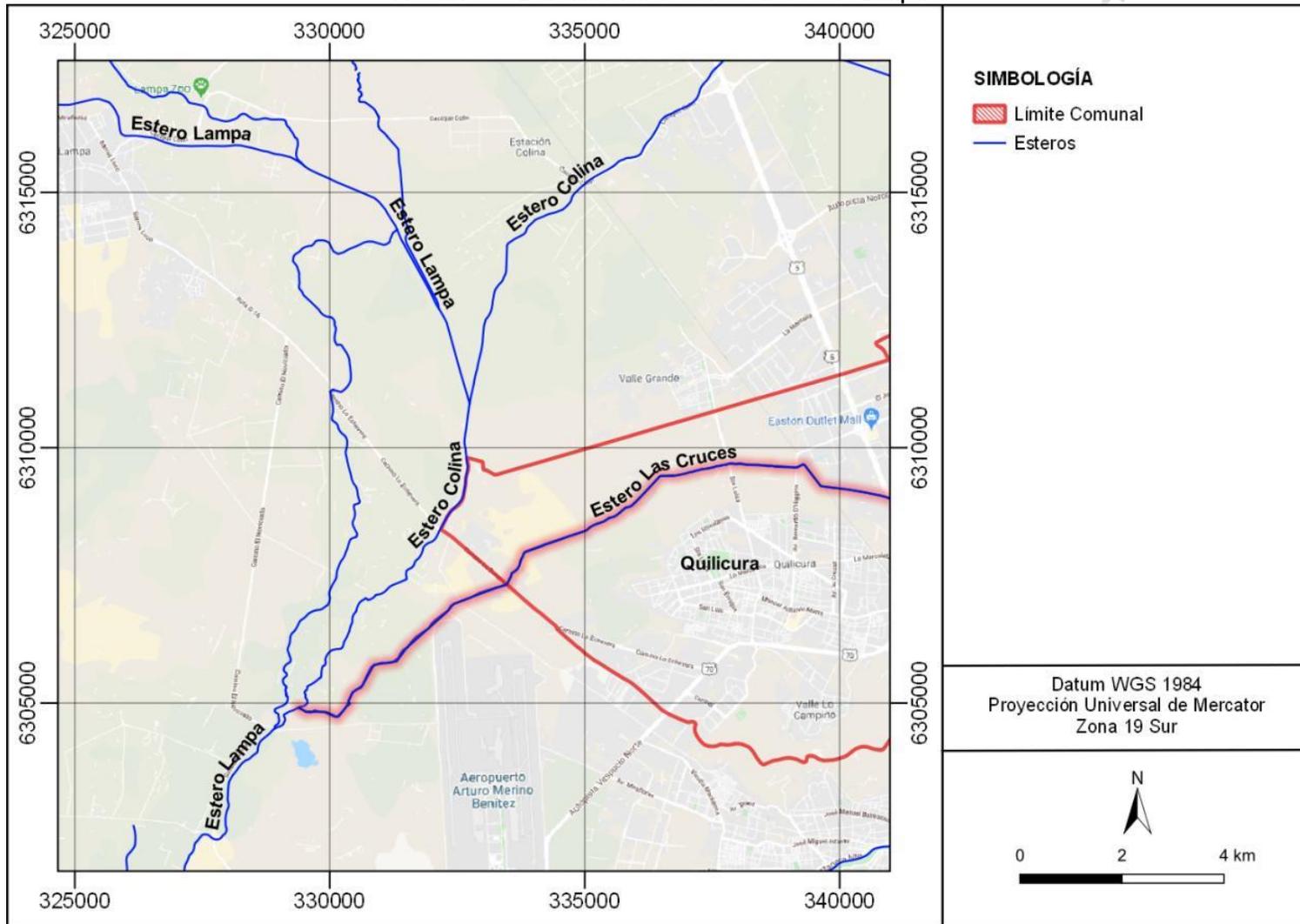
En la FIGURA C—8 se muestran las denominaciones antes indicadas, donde, en otras palabras, se puede decir que el estero Lampa pasa a llamarse “estero Colina” luego de su confluencia con el estero Colina, para luego volver a llamarse “estero Lampa” luego de su confluencia con el estero Las Cruces. Más aún, pasado este último punto el estero Lampa se encuentra con un segundo brazo del estero Lampa.

La aclaración anterior es muy importante ya que en el estudio ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003) el tramo en cuestión se indica directamente como “estero Lampa” en lugar de “estero Colina tramo 2”, provocando cierta confusión a cualquier lector que esté recopilando los antecedentes.

El área aportante del estero Colina antes de la confluencia con el estero Las Cruces, abarca cerca de ~1800 km², donde por el Norte la divisoria de aguas viene definida por el cordón de Chacabuco. La delimitación fue considerada según lo expuesto en el estudio PM-12 (CADE-IDEPE, 2002) y se muestra en la FIGURA C—9.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

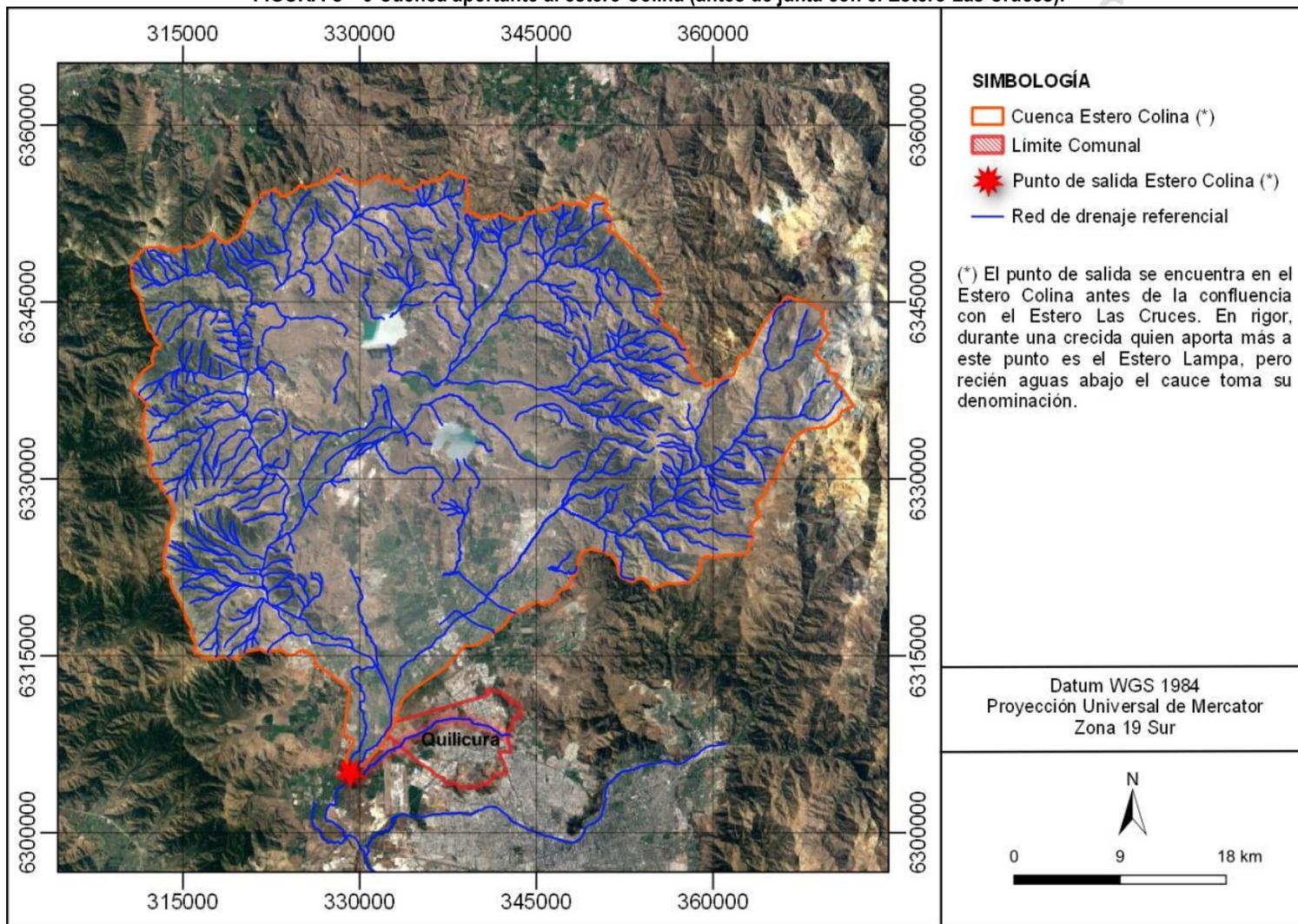
FIGURA C—8 Denominación de cauces en el estero Lampa.



Fuente: Elaboración propia. Red de drenaje referencial: basada en PM-12 (CADE-IDEPE, 2002).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—9 Cuenca aportante al estero Colina (antes de junta con el Estero Las Cruces).



Fuente: Elaboración propia. Cuenca: PM-12 (AC-Ingenieros, 2002). Red de drenaje referencial: Mapas Vectorial Biblioteca del Congreso Nacional.

C.1.4 Caudales de crecida

Para la definición de caudales se ha utilizado información elaborada en estudios anteriores, desarrollados por la Autoridad competente en la materia, teniendo en consideración que la zona de estudio es un lugar bastante intervenido y ha tenido gran cantidad de estudios respecto de su planificación.

C.1.4.1 Caudales estero Las Cruces

Los caudales del estero Las Cruces corresponden a los estimados con periodo de retorno de 100 años a partir del estudio hidrológico realizado en la Consultoría ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003).

En el análisis hidrológico del estudio ALL-DP16 se estimaron caudales de diseño para los distintos tramos de la red primaria asociada al estero Las Cruces. Este análisis consistió en la estimación de coeficientes de escorrentía representativos de las distintas áreas, la determinación de tormentas de diseño y la estimación de caudales de crecidas de períodos de retorno de 2, 5 y 10 años para el sistema de canales y cauces naturales o canalizados. En el caso de los cauces naturales (estero Los Patos, Canal Choros y estero Las Cruces) se establecieron además los caudales de períodos de retorno de 10, 25 y 100 años.

En el CUADRO C—2 muestra el aporte parcial que recibe el estero Las Cruces, desde su comienzo a partir del Canal Los Choros hasta la el lugar donde descarga el canal San Luis, inmediatamente aguas abajo del límite de la comuna de Quilicura.

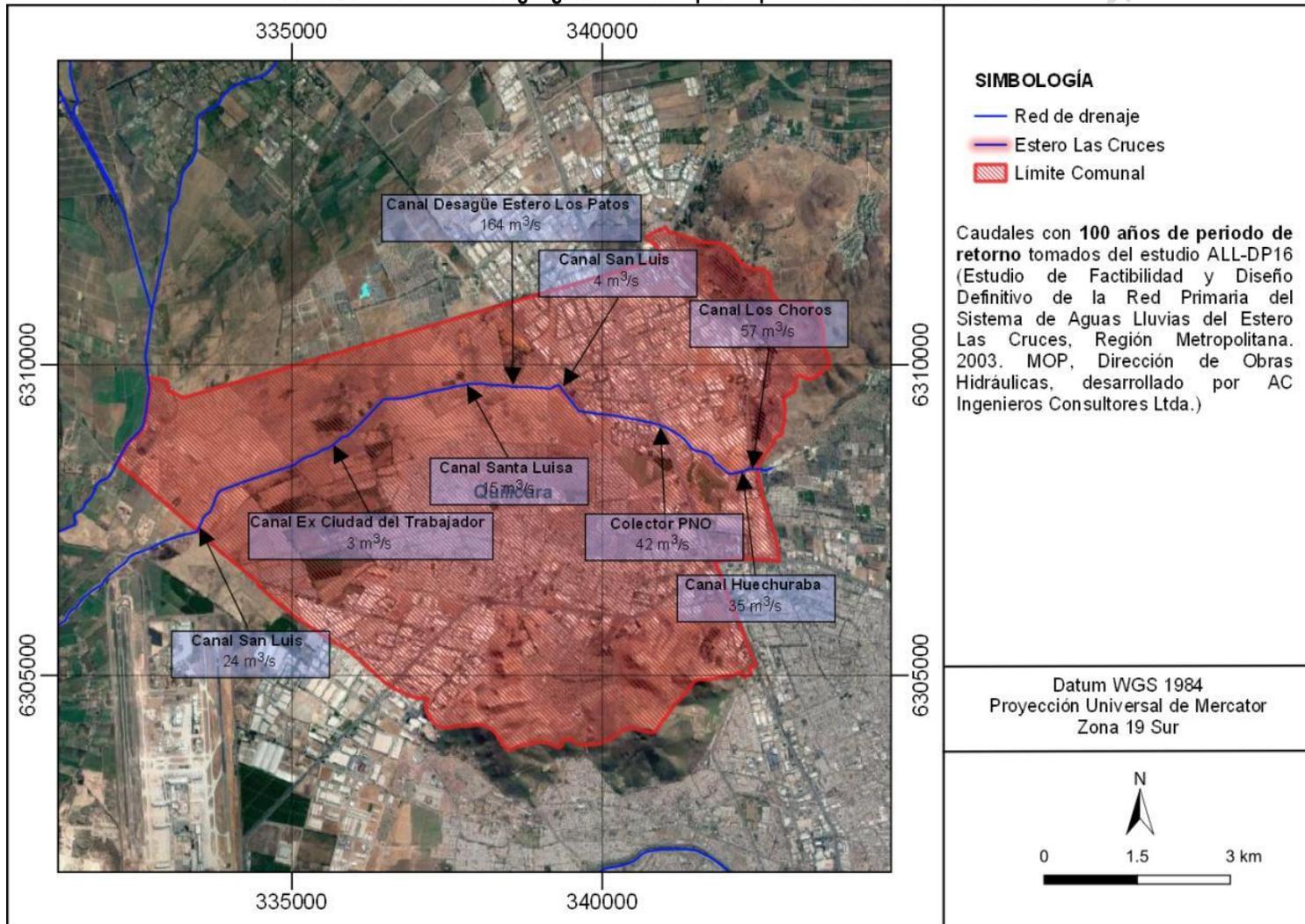
CUADRO C—2 Aportes parciales de descarga de canales y colectores en el cauce del estero Las Cruces.

Canal o Colector de Descarga	Ubicación respecto a ruta G57 (km)	Caudal (m ³ /s)	
		T = 10 años	T = 100 años
		Aporte Parcial	Aporte Parcial
Canal Los Choros	0,000	38	57
Canal Huechuraba	0,013	25	35
Colector PNO	1,790	22	42
Canal San Ignacio	3,726	2,5	4
Canal Desagüe Estero Los Patos	4,447	116	164
Canal Santa Luisa	5,200	5	15
Canal ex Ciudad del Trabajador	7,691	2	3
Canal San Luis	10,472	19	24

Fuente: (AC Ingenieros, 2003).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—10 Ubicación geográfica de los aportes parciales al estero Las Cruces.



Fuente: Elaboración propia. Caudales: ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Es importante señalar que el estero Los Patos resulta aportar gran parte del caudal total del estero Las Cruces. Tanto en el CUADRO C—3 como en la FIGURA C—10 se indica un caudal 164 m³/s, derivado del estudio ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003). Como se indicó anteriormente, dicho caudal fue analizado en el estudio “Diseño Red Primaria Estero Los Patos” (Luis Arrau Del Canto, 2008), actualizándose el estudio, y sus resultados se muestran en el CUADRO C—3 y en la FIGURA C—11.

CUADRO C—3 Descarga del estero Los Patos al estero Las Cruces, para periodos de retorno de 10 y 100 años.

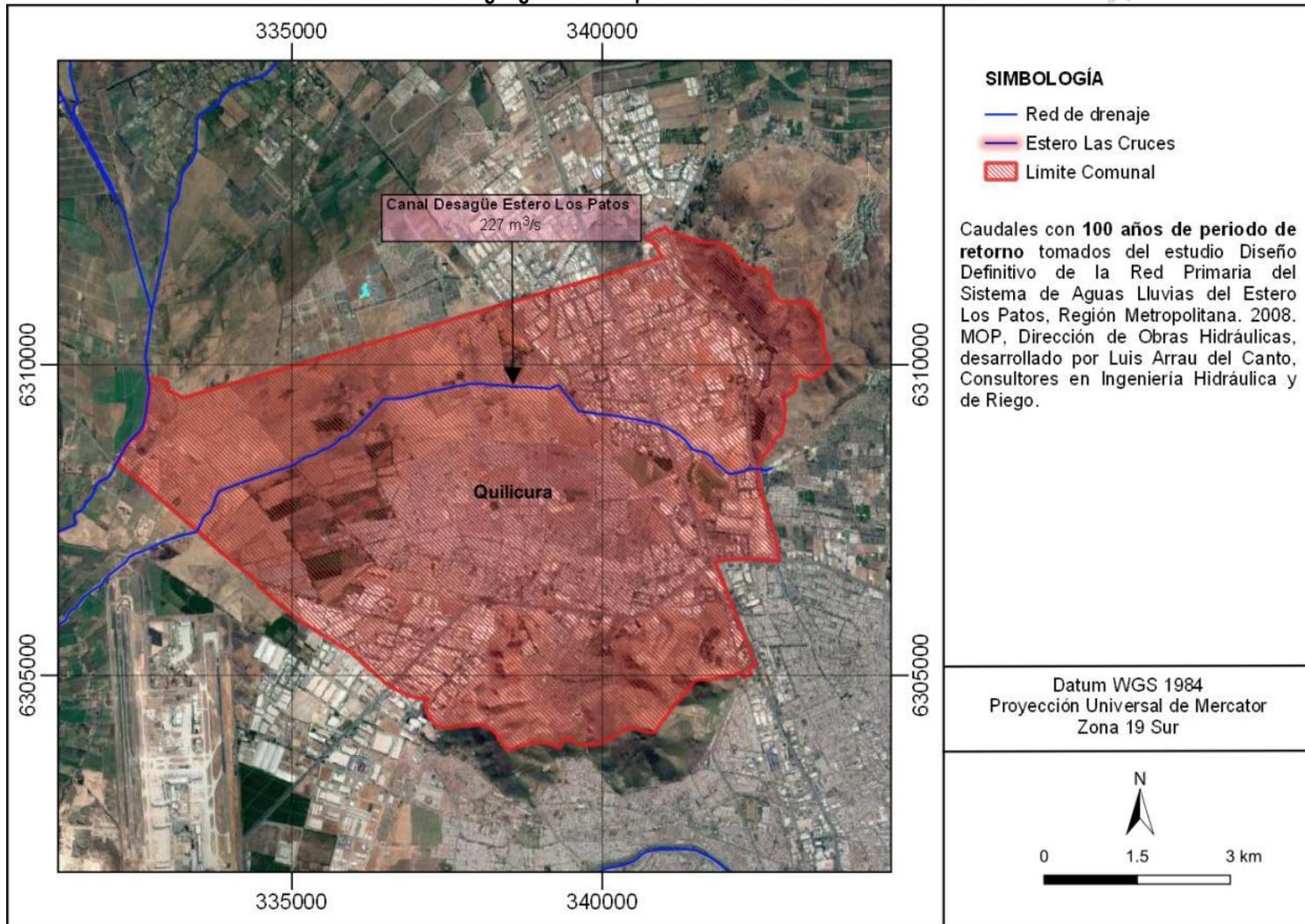
Canal o Colector de Descarga	Ubicación respecto a ruta G57 (km)	Caudal (m ³ /s)	
		T = 10 años	T = 100 años
		Aporte Parcial	Aporte Parcial
Canal Desagüe Estero Los Patos	4,447	157	227

Fuente: (Arrau, 2008).

Dado lo anterior, se actualiza el caudal de estero los Patos a 227 m³/s para un periodo de retorno de 100 años.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—11 Ubicación geográfica del aporte del estero Los Patos al estero Las Cruces.



Fuente: Elaboración propia. Caudales: Estudio estero Los Patos (Arrau, 2008).

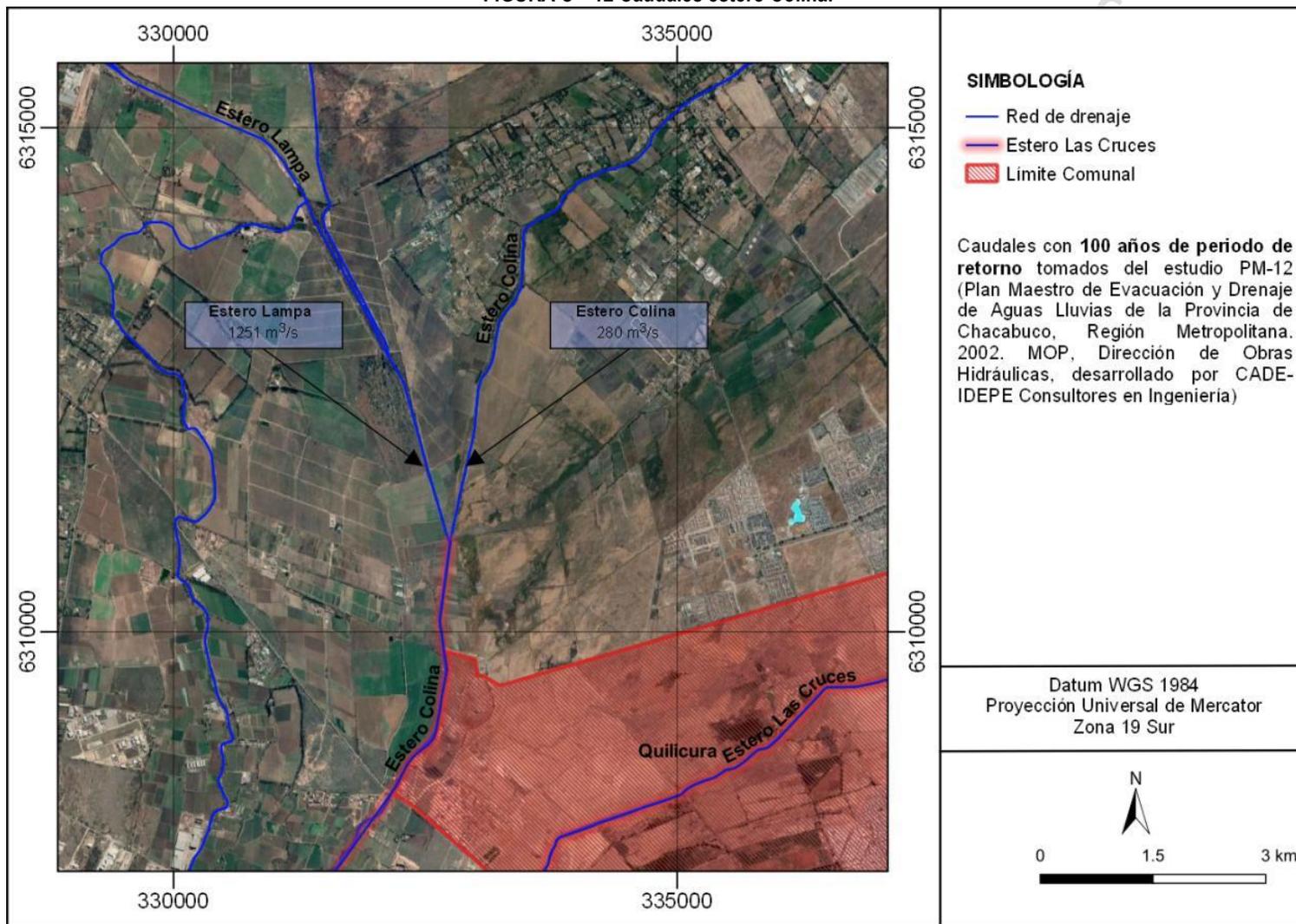
C.1.4.2 Caudales estero Colina

Los caudales del estero Colina corresponden a los estimados con periodo de retorno de 100 años a partir del estudio hidrológico realizado en el estudio PM-12 (CADE-IDEPE, 2002), según se muestra en la figura a continuación:

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—12 Caudales estero Colina.

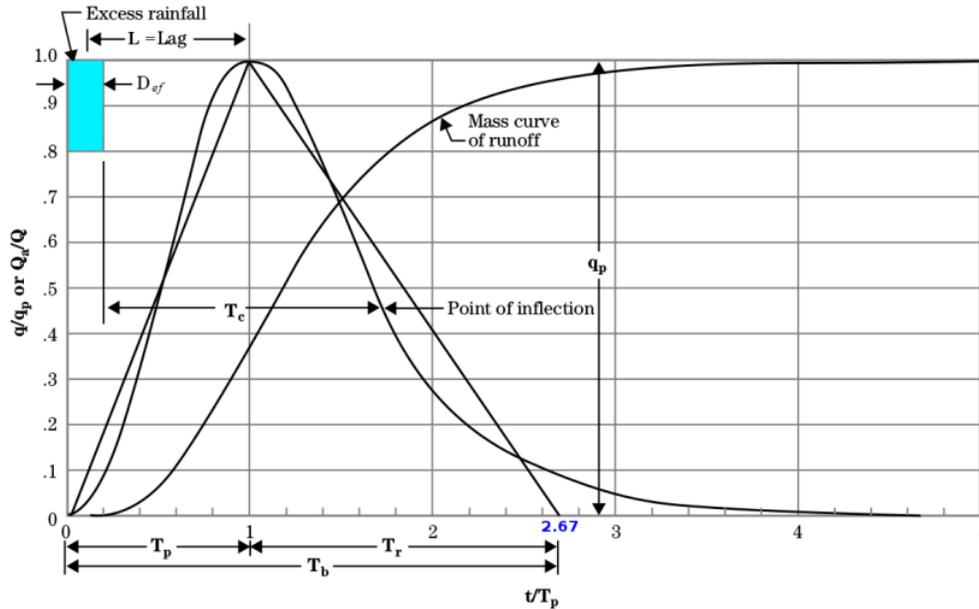


Fuente: Elaboración propia, en base a estudio PM-12 (CADE-IDEPE, 2002).

C.1.5 Hidrogramas de crecida para el Estero Las Cruces

Con el objeto de definir los caudales en función del tiempo (hidrogramas de crecida), se utilizó la metodología del Hidrograma Unitario Adimensional del Soil Conservation Service (SCS). Este hidrograma parte de la consideración de un hidrograma triangular cuya altura corresponde al caudal peak, según se presenta en la FIGURA C—13.

FIGURA C—13 Hidrograma Unitario Adimensional del SCS.



El hidrograma triangular puede tomar una forma más suave (forma que también se muestra en la FIGURA C—13) a partir de los valores adimensionales indicados en el CUADRO C—4:

CUADRO C—4 Valores adimensionales de hidrograma del SCS.

t/T_p	q/Q_p	t/T_p	q/Q_p	t/T_p	q/Q_p
0	0	1.1	0.99	2.4	0.147
0.1	0.03	1.2	0.93	2.6	0.107
0.2	0.1	1.3	0.86	2.8	0.077
0.3	0.19	1.4	0.78	3	0.055
0.4	0.31	1.5	0.68	3.2	0.04
0.5	0.47	1.6	0.56	3.4	0.029
0.6	0.66	1.7	0.46	3.6	0.021
0.7	0.82	1.8	0.39	3.8	0.015
0.8	0.93	1.9	0.33	4	0.011
0.9	0.99	2	0.28	4.5	0.005
1	1	2.2	0.207	5	0

Como se ha señalado, el hidrograma mostrado en la FIGURA C—13 básicamente se incorpora el caudal peak (Q_p) como la altura del triángulo, pero aún quedaría la incógnita del tiempo al peak (T_p), que se representa con la siguiente fórmula:

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

$$T_p = \frac{D_{ef}}{2} + 0.6 \cdot t_c$$

Donde $D_{ef}/2$ corresponde al centroide (temporal) del hietograma la tormenta y t_c al tiempo de concentración de la cuenca aportante, donde, en los dos casos, se debe considerar la misma unidad de tiempo, ya sea en horas, minutos o segundos. Ambas variables resultan ser desconocidas dentro del presente estudio, ya que de lo desprendido del estudio ALL-DP16 y el estudio en el estero Los Patos, solo se tiene a los caudales.

Antes de proseguir hay que destacar que la elaboración de los hidrogramas solo busca dar una forma razonable a la crecida y no buscan ser una representación precisa de una hipotética tormenta.

Para la elaboración de los hidrogramas se ha considerado el supuesto de que los inicios de las crecidas, en cada caso, se da en el mismo instante del centroide temporal de la tormenta, con lo que $D_{ef}/2$ toma valor 0. De esta manera solo queda determinar el tiempo de concentración. En esta ocasión, se consideró particularmente a la fórmula de Giandotti, la cual se expresa como:

$$t_c = \frac{4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m}}$$

Dónde:

- t_c : Tiempo de concentración (h)
- L : Longitud del cauce (km)
- H_m : Diferencia de nivel entre la cota media y la cota mínima de la cuenca (m)
- A : Área de la cuenca (km²)

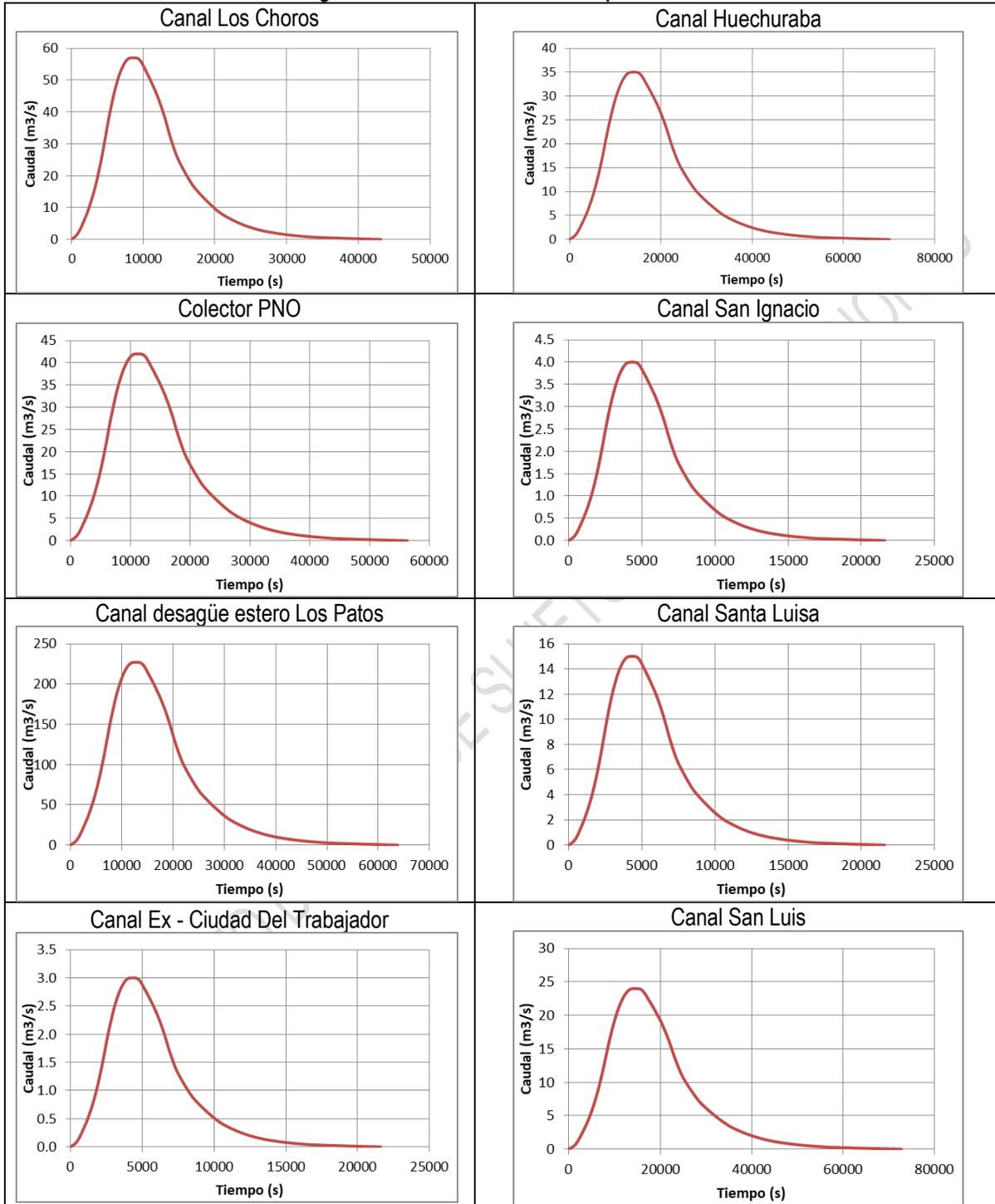
CUADRO C—5 Variables consideradas para calcular el tiempo de concentración.

Canal o Colector Aportante	$H_m(m)$	$A (km^2)$	$L (km)$	$H_{min}(m)$	$T_c(hr)$	$T_{peak}(seg)$
Canal Huechuraba	534	16,88	9,8	498	6,49	14.010
Canal Desagüe estero Los Patos	774	133,91	22,8	484	5,91	12.761
Canal San Luis	507	18,76	7,8	478	6,74	14.553
Canal Los Choros	707	44,82	12,6	503	4,00	8.635
Colector PNO	521	12,36	5,6	492	5,21	11.262

En el caso de Canal San Ignacio, Canal Santa Luisa y Canal Ex-Ciudad del Trabajador, al no existir claridad de las zonas aportantes que fueron determinadas en el PM-01 o el estudio ALL-DP16, se trabajó con un tiempo de concentración de 2 hrs. determinando valores del tiempo al peak de 4320 segundos.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO C—6 Hidrogramas de crecida considerados para la modelación hidráulica.



C.2 MARCO GEODINÁMICO

Chile se ubica en un margen convergente activo de placas oceánica-continental (FIGURA C—14), 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, Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, 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 deflecta 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 C—14 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.3 GEOMORFOLOGÍA

La comuna de Quilicura se ubica en el sector norte de la cuenca de Santiago, la cual se encuentra inmersa dentro de la depresión intermedia, unidad geomorfológica limitada al este por la Cordillera de los Andes y al oeste por la Cordillera de la Costa (FIGURA C—15).

La zona norte de la cuenca se encuentra caracterizada por ser principalmente el relleno de abanicos aluviales del río Mapocho y de los esteros Colina y Lampa. El abanico del río Mapocho limita en su parte distal con el abanico del estero Colina al norte y hacia el oeste con la Cordillera de la Costa y los depósitos de origen volcánico en el sector de Pudahuel.

El abanico del estero Colina se extiende hacia el suroeste, limitando con el abanico del Mapocho al sur y del estero Lampa al poniente. Este último con ápice en el sector noroeste de la cuenca, se extiende hacia el sureste, limitando al este con los depósitos del estero Colina, y al sur con los del río Mapocho y los depósitos de ceniza (FIGURA C—16).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—15 Unidades morfoestructurales a escala regional 1:1.000.000.

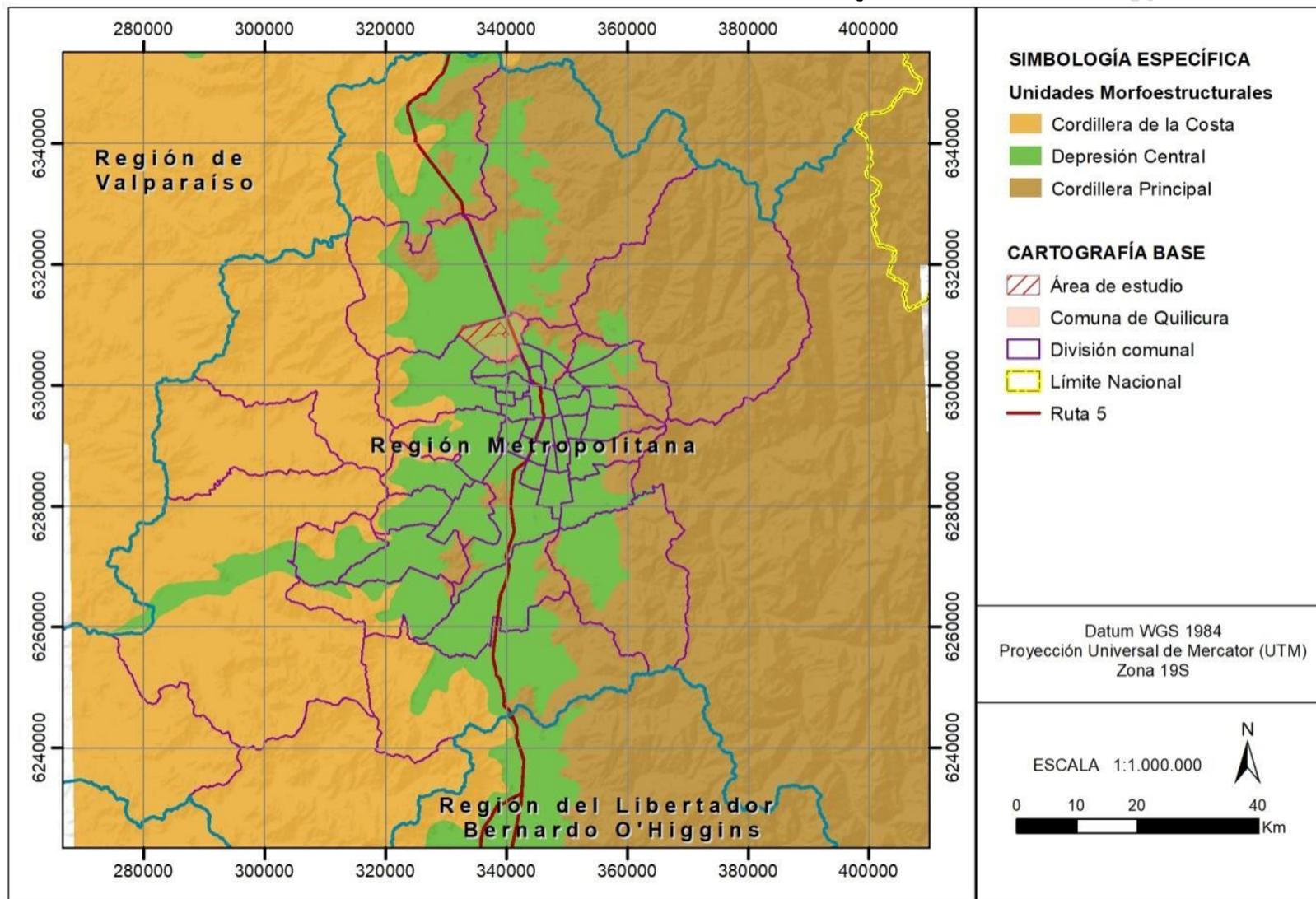
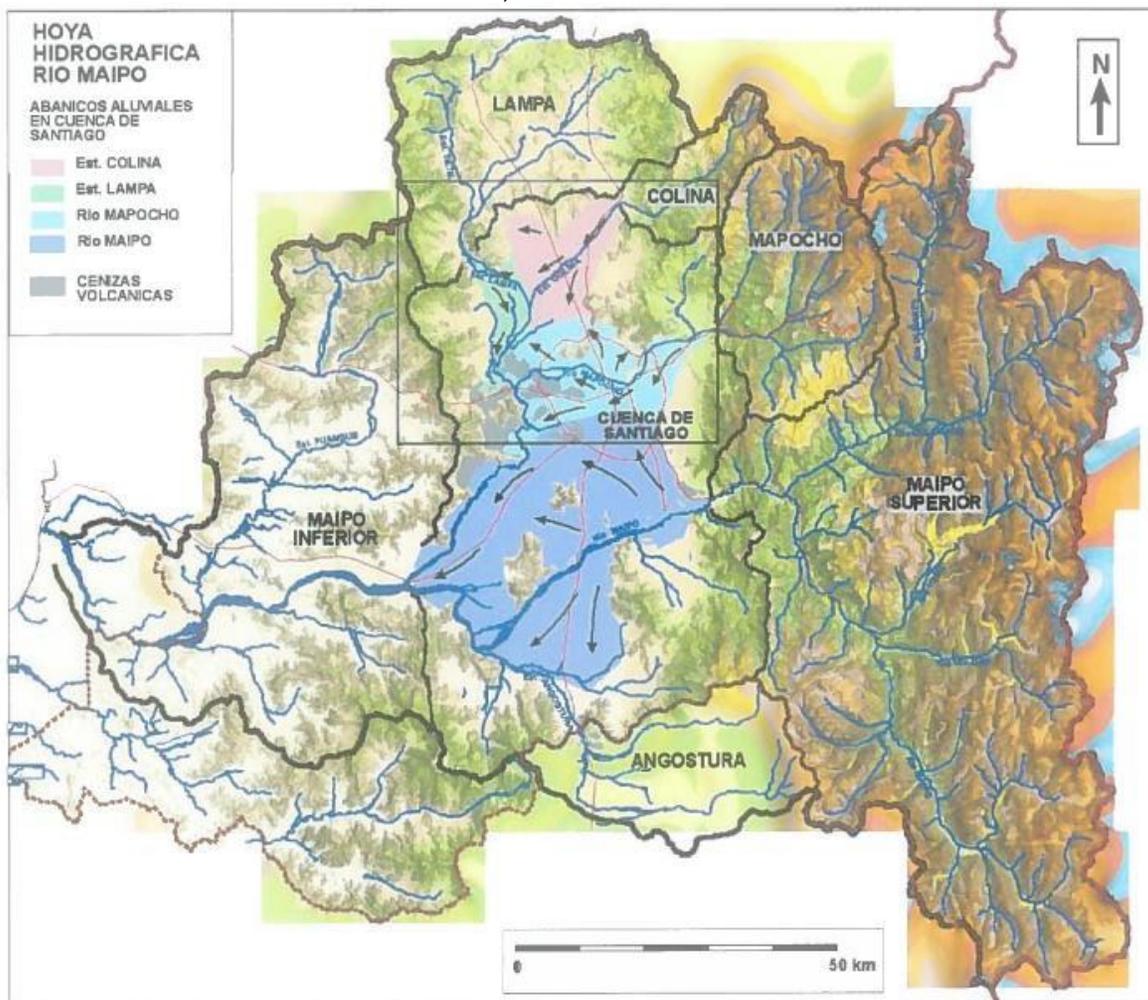


FIGURA C—16 Abanicos aluviales de la Hoya Hidrográfica del Río Maipo, Región Metropolitana. Al norte se enmarca la zona norte de la cuenca, donde se ubica el área de estudio.



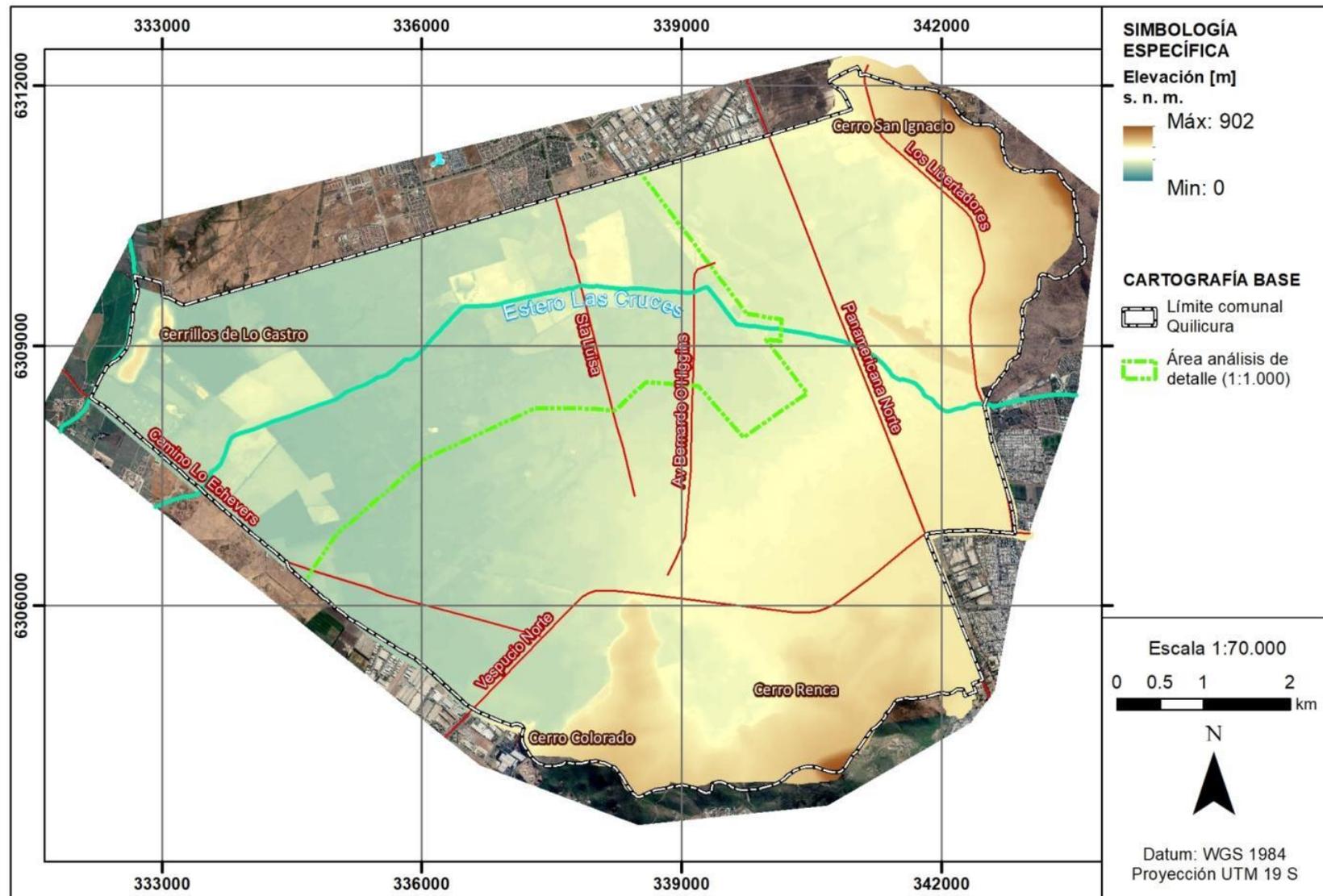
Fuente: Tomado de Sernageomin (2002).

El área de detalle estudiada y formada por los relieves llanos de la intersección de estos abanicos, tiene muy bajas pendientes y cotas bajo los 500 m s.n.m. Sin embargo, en el área comunal sobresalen los cerros San Ignacio, Punta Verde, Cerro Renca y Colorado que llegan como máximo a los 900 m s. n. m. ilustrados en la FIGURA C—17.

El análisis morfométrico elaborado a partir del modelo digital de elevación indica que la pendiente promedio del área de estudio de detalle es de 4,5°, por tanto es mayormente un sector plano, donde las mayores pendientes se presentan en los cerros, lo que se puede observar en la carta morfométrica de pendientes (FIGURA C—18).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—17 Carta morfométrica de elevaciones en metros sobre el nivel del mar.



C.4 GEOLOGÍA

Las unidades geológicas del área de estudio se encuentran asociadas a las unidades geomorfológicas, en particular, los depósitos no consolidados originados por acción de los cauces que depositan sedimentos en la zona estudiada.

C.4.1 Unidades de Roca

Como su nombre lo indica corresponden a las unidades rocosas del área de estudio, que a su vez son las unidades más antiguas que afloran en el área de estudio. Corresponden a las unidades más competentes y consolidadas en comparación a los depósitos cuaternarios, y exhiben una cobertura de vegetación seca, pero abundante. Se distinguen dos grupos principales:

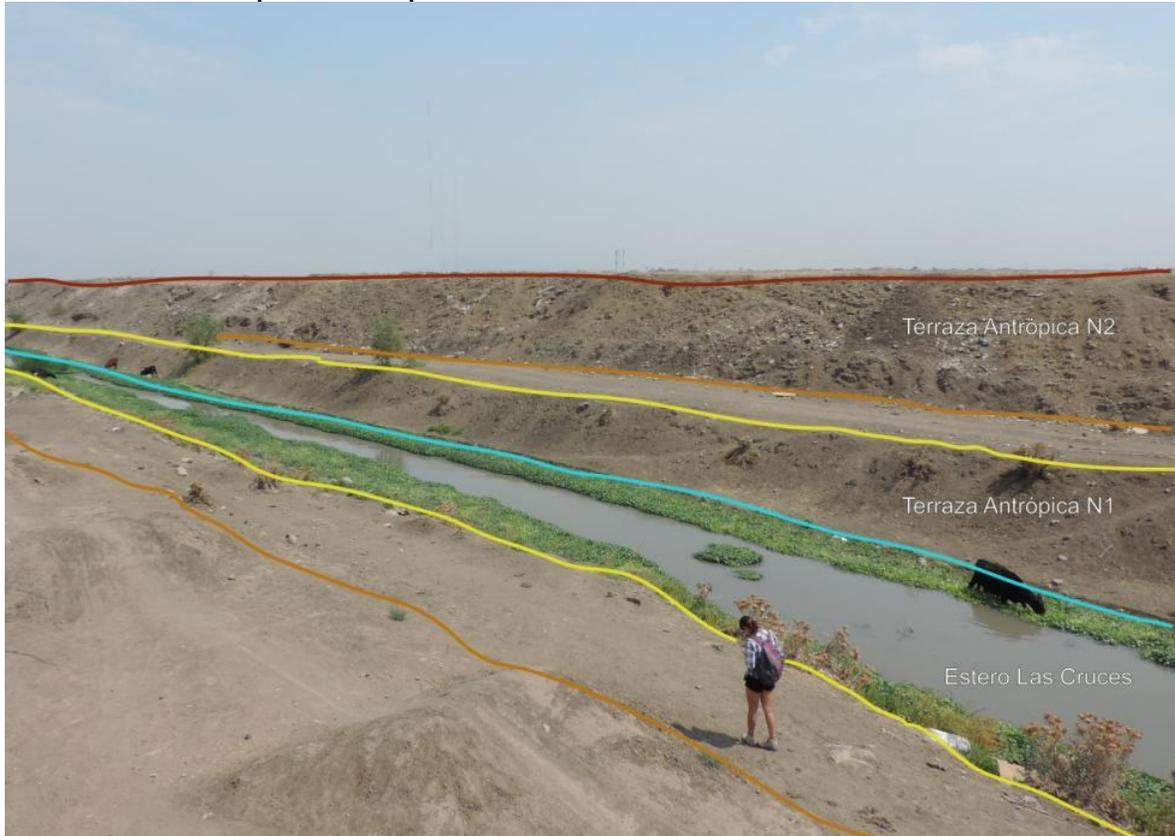
- **Formaciones de origen volcánico y sedimentario de edad Mesozoica a Terciaria (MTvs):** Estas rocas de origen volcánico corresponden a lavas intermedias (andesitas) que afloran en el cerro Renca y en el Cerro San Ignacio, que exhiben meteorización química y física. Este proceso es el que desencadena el fracturamiento de los afloramientos a bloques que podrían generar caídas de rocas. Además, hay evidencias de metamorfismo en algunos sectores, asociado a mayores grados de fracturamiento de los afloramientos y de la roca en profundidad. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos no consolidados como coluvios proveniente de laderas arriba o de algunas quebradas que transportan sedimentos fluvio-aluviales. Finalmente, los sectores donde afloran estas formaciones representan las zonas de mayor pendiente de la comuna.
- **Cuerpos intrusivos de edad Mesozoica a Terciaria (Kg):** Intruyen a la unidad volcano-sedimentaria en sectores de mayor competencia de los cerros. Son primordialmente granodioritas.

C.4.2 Depósitos no consolidados

- **Depósitos aluviales del Mapocho (Qam):** Se ubican al sur de la comuna y sobre ellos se emplaza casi la totalidad de la urbanización de Quilicura. Está constituido por los depósitos distales del abanico del río Mapocho y corresponden a gravas arenosas y arenas con intercalaciones de corrientes de barro.
- **Depósitos aluviales del estero Colina (Qac):** Se ubican entre los depósitos del abanico del Río Mapocho y del Estero Lampa. Cubren la mayor parte del área de estudio de detalle. Los depósitos son principalmente tamaño arcilla y limo y están cubiertos por depósitos antrópicos de relleno.
- **Depósitos aluviales del Estero Lampa (Qal):** Se ubican en el extremo norponiente del área de estudio y corresponden a los depósitos del abanico del Estero Lampa. Están constituidos por maicillos graníticos tamaño arena lavados por la acción fluvial.
- **Depósitos coluviales (Qc):** Corresponden a gravas de mala selección que se ubican en las faldas de los cerros de la comuna. Se depositan sobre las unidades de roca descritas en la sección anterior.
- **Depósitos fluvio-aluviales (PIHa):** corresponden a los depósitos de quebradas de origen fluvio-aluvial generados en los cerros de la comuna.
- **Depósitos fluviales actuales (PIhf):** Corresponden a los depósitos de los cursos de agua y se encuentran en el cauce actual del Estero Lampa, el Estero las Cruces, Desagüe Los Perros y otros canales que correspondían a cursos naturales que fueron canalizados.
- **Depósitos antrópicos (Ha):** Corresponde a relleno artificial que ha sido acumulado sobre los depósitos aluviales que se emplazaban naturalmente en el área. Están constituidos por arenas, plásticos, desechos de origen doméstico e industrial, con baja o nula compactación. Forman terrazas de 5 a 12 metros sobre la altura de los cauces. Se encuentra en constante crecimiento por el uso de

vertedero que se le da al área en torno al estero Las Cruces, se distinguen varios niveles de terrazas antrópicas (FIGURA C—19). Representan la mayor cobertura superficial del área de estudio de detalle.

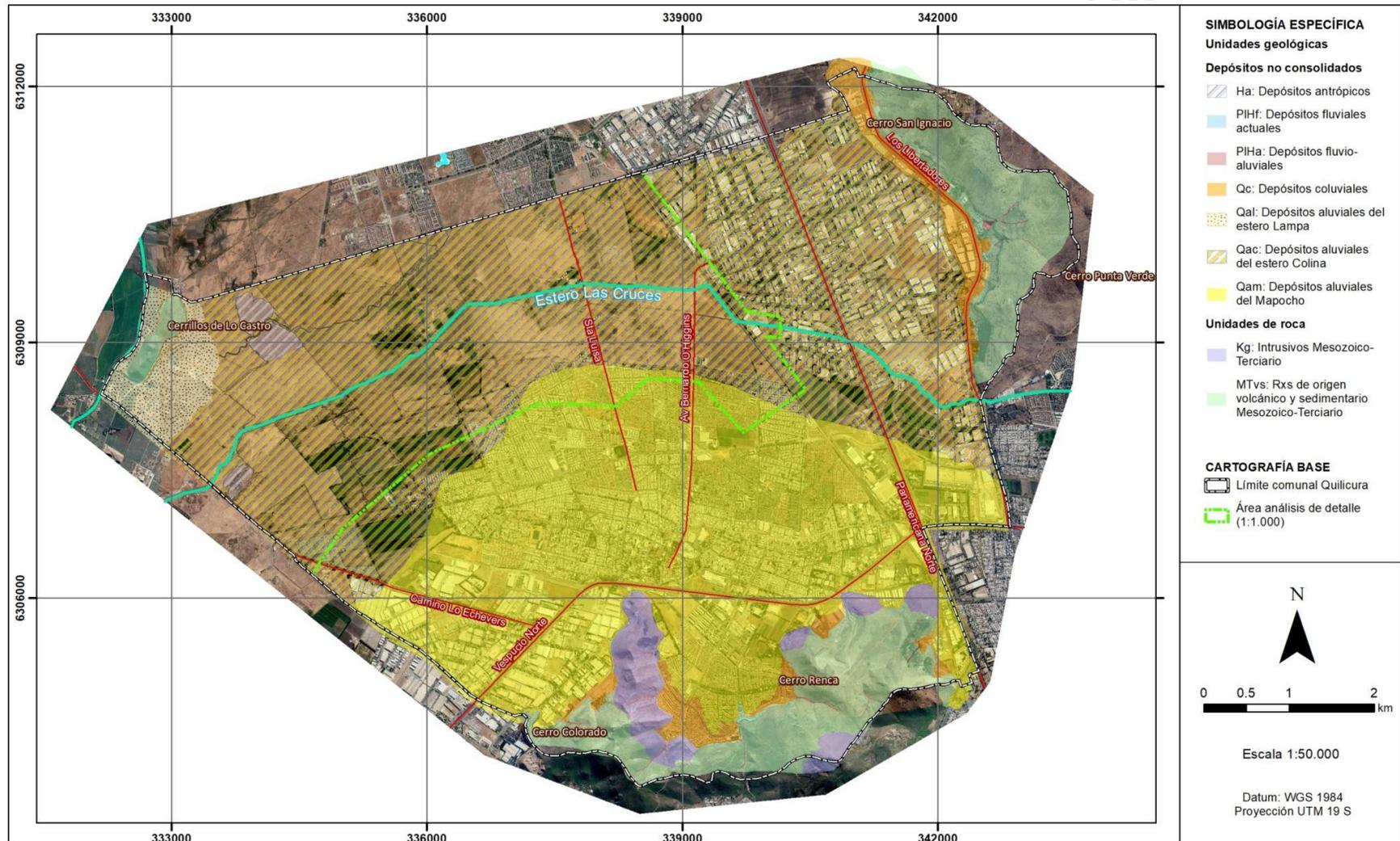
FIGURA C—19 Depósitos antrópicos de relleno sobre el nivel del cauce del Estero Las Cruces.



A continuación se ilustran en escala gráfica 1:50.000 (FIGURA C—20) las unidades geológicas descritas en el área comunal. Estas fueron mapeadas a escala 1:1.000 en el área de detalle y 1:5.000 en el resto del área comunal.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—20 Mapa geológico del área de estudio a escala gráfica 1:50.000.



C.5 HIDROGEOLOGÍA

C.5.1 Hidrogeología a escala regional

Varios estudios gravimétricos indican que la cuenca de Santiago tiene un relleno relativamente somero, con un espesor medio cercano a 250 m, y que presenta tres subcuencas que superan los 500 m de espesor, que no representan más del 30% de la superficie de la cuenca (San Juan, 2015). A escala de la cuenca, se han diferenciado tres unidades hidrogeológicas principales por su permeabilidad y por su posición estratigráfica:

- Unidad A: Es la unidad basal y la de mayor espesor de la secuencia. Predominan los materiales clásticos de tamaño limo y arcilla. A esta unidad, debido a los materiales que la componen y al grado de compactación, se le considera impermeable.
- Unidad B: Esta unidad sobreyace a la Unidad A y está constituida por depósitos fluviales y fluvio-glaciares que se distribuyen en lentes de diferente granulometría. Es considerado el acuífero principal de la cuenca y tiene espesores que aumentan hacia el sur.
- Unidad C: Esta unidad sobreyace a la Unidad B, es discontinua y está constituida por material fino (principalmente depósitos piroclásticos y lacustres). No es una unidad favorable para contener acuíferos.

La recarga del acuífero la cuenca de Santiago se asocia a las precipitaciones que ocurren más intensamente en la Cordillera de los Andes, y que se canalizan a través de los cauces que se encuentran en ella, para infiltrarse una vez que alcanzan la Depresión Intermedia. Como la mayor parte de la recarga ocurre en la parte este de la cuenca, los niveles piezométricos más altos se encuentran en la parte este de la cuenca, y desde ahí descienden progresivamente, es decir, existe un gradiente general desde el este hacia el oeste.

Las zonas donde los niveles se encuentran más altos se asocian a los lugares de mayor recarga, esto es los ríos Maipo y Mapocho, la de niveles más bajo en la zona donde se encuentra la descarga natural de la cuenca, esto es, a través de los depósitos del río Maipo en la zona de la Provincia de Talagante.

C.5.2 Hidrogeología a escala comunal

Como se explicaba anteriormente, el río Mapocho es uno de los principales puntos de recarga de la cuenca de Santiago. Esta entrada de agua se traduce en un flujo hacia el suroeste que, en cierta medida, bloquea el escurrimiento del agua de la parte norte de Santiago, lo que levanta los niveles piezométricos de esta zona, y se traduce en una serie de humedales, que se extienden desde la zona de Batuco por el norte hasta la comuna de Quilicura.

Adicionalmente, la comuna de Quilicura se encuentra en la zona de intersección de los abanicos aluviales que forman el río Mapocho y el estero Colina en la Depresión Intermedia, de manera que la comuna se encuentra en una zona relativamente más baja que otras comunas ubicadas tanto hacia el norte como hacia el sur.

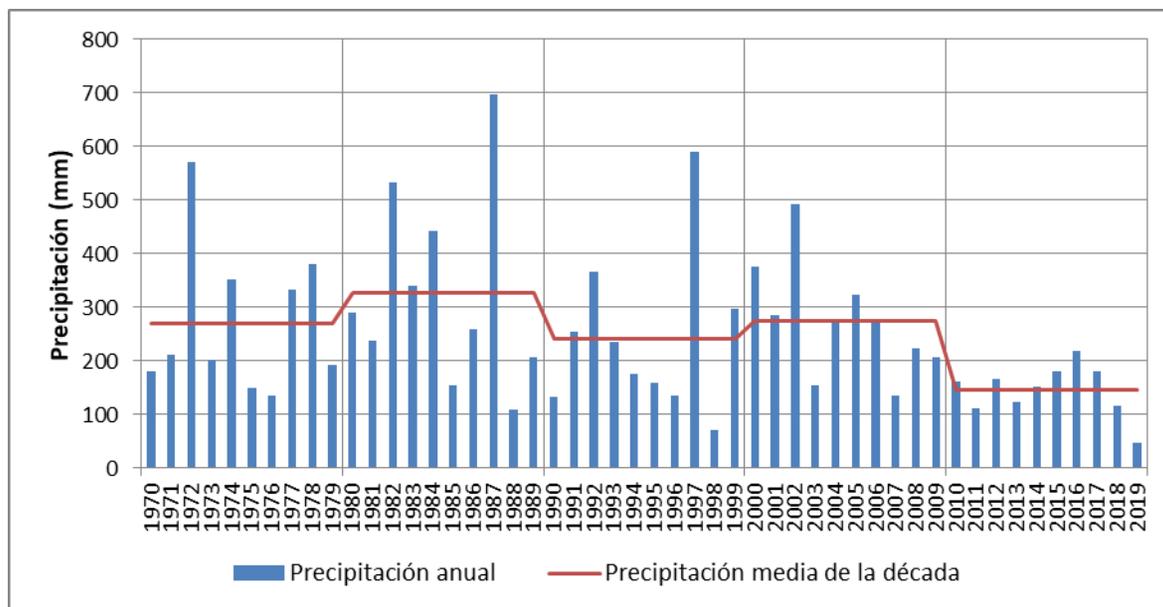
La combinación de los dos factores anteriores determina que los niveles piezométricos en gran parte de la comuna se encuentren muy cerca de la superficie o que, incluso, afloren naturalmente. Esto último ocurre especialmente en las zonas más cercanas al estero Las Cruces.

C.5.3 Variación temporal de niveles piezométricos

Si bien este estudio busca centrar sus resultados en la comuna de Quilicura, como la Dirección General de Aguas cuenta con pocos puntos de monitoreo en la comuna, y varios de los pozos cuentan con un registro poco extenso, que no permite analizarlo, se utilizaron los niveles medidos en un área más extensa, que incluye comunas vecinas.

La revisión de niveles se ha concentrado en la gran sequía que ha afectado a la zona central de Chile durante la década del año 2010, que ha presentad el menor registro de precipitaciones en 50 años (FIGURA C—21) lo que, posiblemente, puede atribuirse al cambio climático.

FIGURA C—21 Precipitaciones medidas en la estación Aeropuerto Pudahuel (DMC)



Antes de la década de 2010, algunos de los pozos revisados presentaban niveles con poca variación, y otros tenían un descenso lento, pero constante. Aunque alrededor del año 2010, varios de los pozos que se revisaron comenzaron a presentar un descenso continuo del nivel en aquellos que no lo presentaban, como es el caso del pozo Agua Potable Santa Victoria en la comuna de Huechuraba, o un descenso a una tasa mayor en aquellos que si tenían descenso, como ocurre en los pozos Aeropuerto Pudahuel o Fundo La Montaña, en la comuna de Lampa (FIGURA C—21), también hay otros pozos que presentan descensos en el nivel antes de la disminución de las precipitaciones. En consecuencia, no se identificaron situaciones relativas a los niveles que pudieran ser atribuidas directamente a la sequía que afecta a la zona central de Chile.

C.6 SISMICIDAD

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde oriental de la placa tectónica Sudamericana y se caracteriza por su sismicidad debido a la subducción de la placa tectónica de Nazca, como se explicó en la sección anterior del Marco geodinámico.

El fenómeno de subducción produce un alto nivel de acoplamiento mecánico en la zona de contacto, lo que causa la acumulación de grandes cantidades de energía que, al liberarse, ocasionan grandes terremotos. Esto se presenta en forma de una banda sísmica activa muy angosta (100-150 kilómetros de ancho) y profundidad variable (entre 5 y 150 km de profundidad) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. En la zona de estudio, el contacto entre ambas placas se extiende hasta alrededor de los 40 - 53 km de profundidad (Tassara & Hackney, 2006). En consideración de estas condiciones geológicas, Chile históricamente ha sido afectado por grandes terremotos.

El área de estudio en particular ha sido afectada por terremotos interplaca tipo thrust⁷, por ejemplo, los terremotos de 1730, 1873, 1906 y 1985 (Lara & Rauld, 2003), cuyos largos de ruptura se presentan en la

⁷ Para ver las definiciones de los tipos de terremotos ver el ANEXO 0

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—22 y sus características principales en el CUADRO C—7. Además, se han registrado terremotos intraplaca de profundidad intermedia, tales como los de 1965 y 1971 y sismos de magnitud cercana a 7, con características de terremoto han afectado a la zona, como por ejemplo el de 1822.

Los terremotos ocurridos en Chile previamente al año 1960 no han sido registrados mediante sismómetros modernos, razón por la cual no poseen información instrumental que permita determinar sus características. Por lo tanto, las áreas de ruptura de los terremotos previos a dicha fecha han sido estimados en otros estudios utilizando los datos históricos de intensidad de daño mediante la metodología propuesta por Kausel & Ramírez (1992). Todos los datos históricos utilizados se obtuvieron desde Urrutia & Lanza (1993) y Petit-Breuilh (2001).

En la FIGURA C—23 se presenta un mapa con la sismicidad registrada por la red sismológica internacional (catálogo NEIC del USGS) entre los años 1973 y 2020, considerando solo los sismos con magnitudes superiores a 5,5. De la distribución de los sismos es posible realizar una serie de observaciones respecto a la distribución espacial de la sismicidad entre los 31,5°S y los 36°S.

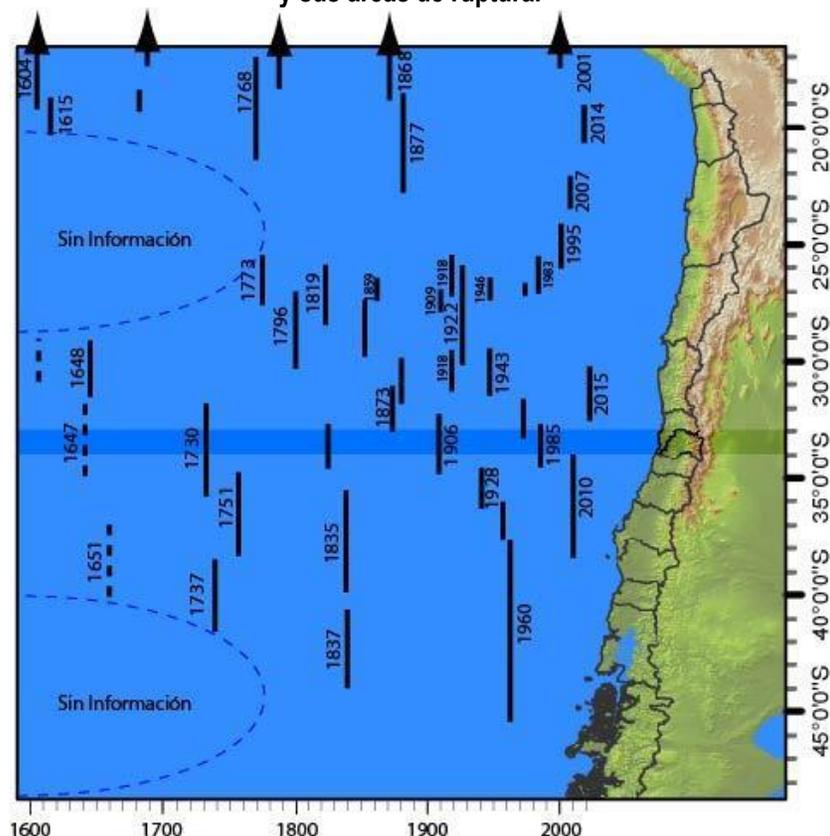
1. La mayor parte de la sismicidad se dispone en una línea paralela a la costa y en los primeros 30 km de profundidad. Esta sismicidad es la que se produce en la interfaz de subducción (sismos interplaca) y prácticamente no muestra variaciones latitudinales. Ejemplo de este tipo de sismos, es el ocurrido en 1985, cuya profundidad y magnitud fueron de 33 km y $M_w = 8,0$, respectivamente, o así también el ocurrido el año 2010, cuya profundidad y magnitud fueron de 30 km y $M_w = 8,8$, respectivamente.
2. Entre los 31°S y los 34,5°S hay una importante cantidad de sismos ubicados bajo los 60 km, estos son los sismos intraplaca de profundidad intermedia. En el área de estudio, se aprecia un aumento de esta actividad sísmica, por lo que se debe tener en cuenta que existe una probabilidad más alta de ocurrencia en esta zona de sismos de tales características, en comparación a las zonas que se ubican al sur de los 34,5°S. Ejemplos de estos sismos son los de 1647, 1943 y 1971, estos dos últimos tuvieron profundidades entre los 55 y 40 km, y magnitudes $M_w = 8,1$ y $M_w = 7,5$ respectivamente y que afectaron fuertemente la Región Metropolitana.
3. Existe una marcada relación entre la profundidad del epicentro y la magnitud. Hacia la zona cordillerana es donde se concentran mayormente los sismos de más de 100 km de profundidad (predominantemente entre los 31°S y 34°S), con magnitudes, en general, no superiores a $M_s = 5,8$.
4. En menor medida, también ocurren sismos corticales en la placa Sudamericana, en las inmediaciones de la Cordillera de la Costa y de la Cordillera de Los Andes. Estos eventos corresponden a sismos producidos por fallas superficiales, cuyos focos se encuentran a una profundidad menor a 30 km y están asociados a fallas geológicas activas en superficie.

CUADRO C—7 Datos de terremotos históricos de subducción magnitud superior a 7.5 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

Fuente: Elaboración propia en base a Kausel & Ramírez (1992).

FIGURA C—22 Terremotos de subducción históricos con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura.



Fuente: Elaboración propia. En línea continua las zonas de ruptura bien identificadas, en línea discontinua las zonas de ruptura inferidas.

Se observa que la región que enmarca la zona de estudio se encuentra regida por diferentes tipos de sismos, asociadas a tres tipos de fuentes: intraplaca de profundidad intermedia, interplaca (*thrust*) y superficiales, los cuales denotan la dinámica que se ejerce en la interacción de ambas placas, en la cual una subducta a la otra. De lo anterior, se desprenden las principales fuentes sísmicas reconocidas en el área de estudio (ver definiciones de los tipos de terremotos ver el Anexo B.1).

- **Sismos Interplaca tipo Thrust**

Corresponden a aquellos eventos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana. Este tipo de eventos alcanzan grandes magnitudes. Ejemplos de estos sismos que han afectado fuertemente a la zona del presente estudio corresponden a los de 1906 y 1985. Sus magnitudes estimadas fueron de $M_w = 8,2$ y $M_w = 8,0$ respectivamente. Esta zona por lo tanto, se considera una fuente activa que puede generar altas intensidades en la zona.

- **Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia**

Esta fuente está compuesta por sismos que ocurren dentro de la placa de Nazca. Las profundidades de estos sismos son mayores a 50 km y llegan hasta los 150-200 km. Recientemente, se ha puesto en evidencia que este tipo de eventos poseen notorias diferencias con los de contacto interplaca en las características de la fuente, reflejándose en mayores daños producidos en la zona epicentral y altas aceleraciones máxima reportadas. Los sismos que han causado mayor daño en la zona de estudio corresponden a sismos de estas

características, como los sismos de 1965 y 1971. Además, el aumento en la concentración de estos sismos registrados al sur de los 31° de latitud sur, abarcando la zona de estudio (cercana a los 33° sur) permite considerar que la zona tiene el potencial de generar grandes terremotos como los ya mencionados.

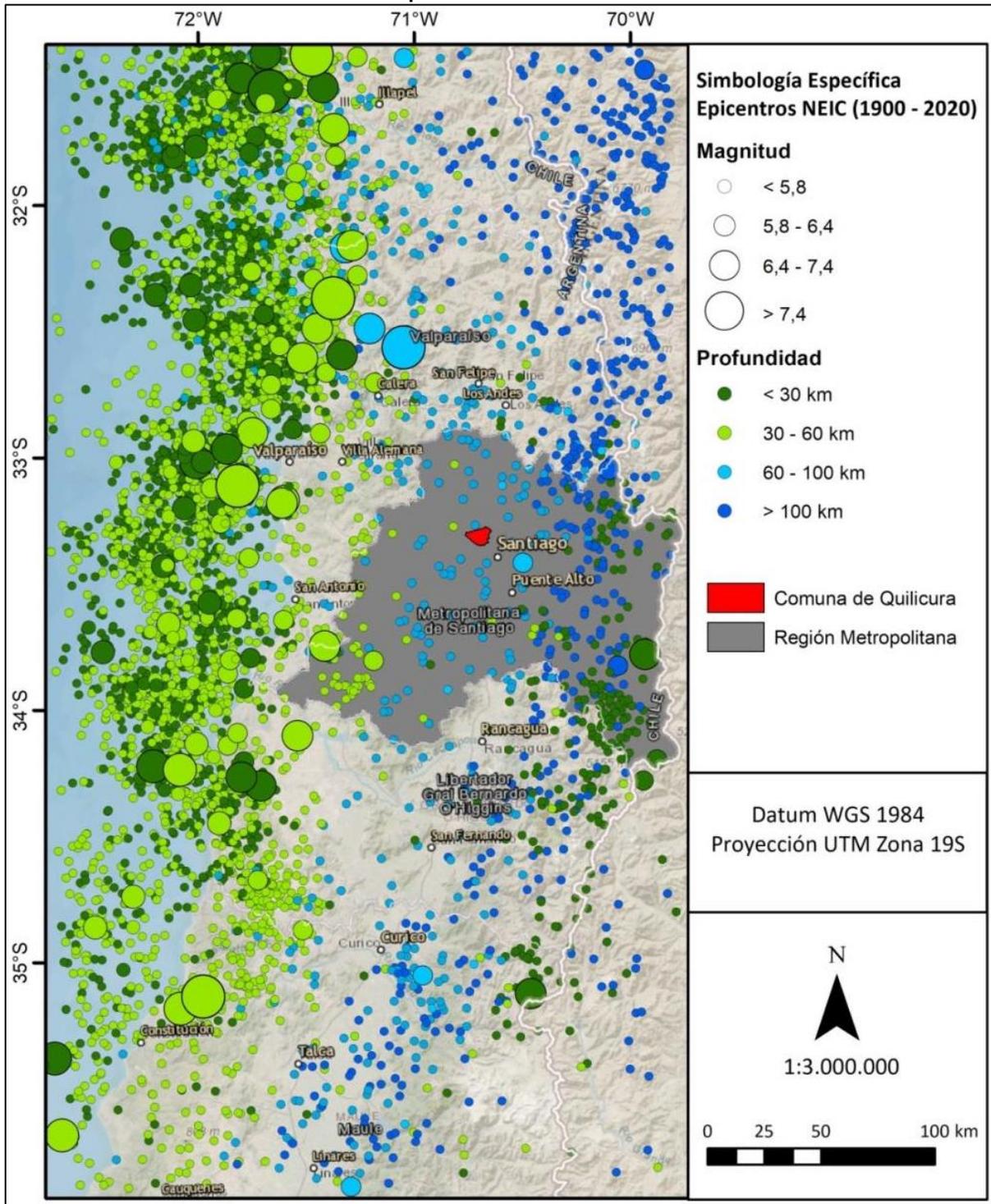
- **Sismos Corticales**

Corresponde a sismos producidos por fallas superficiales, cuyos focos se encuentran a una profundidad menor a 30 km, y están asociados a fallas geológicas activas en superficie. De acuerdo a SERNAGEOMIN (2003) y a PMA-GCA (2008), que recopilan antecedentes generales de fallas, no se registran fallas activas en la región que abarca el área de estudio. Sin embargo, según los registros instrumentales de sismicidad de la red sismológica internacional (catálogo NEIC del USGS), los sismos corticales aparecen en aumento desde los 33° de latitud hacia el sur (FIGURA C—23). Estos sismos evidencian que los procesos de formación de Los Andes se encuentran aún activos y que liberan esfuerzos, en forma de sismos, en fallas corticales activas.

La comuna de Quilicura se encuentra ubicada en el límite entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Central. Actualmente se considera que la Cordillera de la Costa es un relieve antiguo y poco activo, cuyo alzamiento se asocia a procesos que involucran el ante-arco completo, más que a la acción de fallas puntuales que generen deformación en la corteza. Lo anterior se complementa con el hecho de que no se ha reconocido alguna falla que señale evidencias de actividad de deformación activa en este límite, ni en las cercanías inmediatas de la comuna PMA-GCA (2008) (FIGURA C—24).

La falla activa más cercana a la comuna que ha sido reconocida, corresponde a la falla San Ramón (Rauld & Campos, 2002; Armijo, y otros, 2010; Rauld R. , 2011). Esta es una falla inversa que se ubica en el límite de la Depresión Central con la Cordillera Principal, es decir a unos 25 km al oriente de la comuna. A pesar de que a la falla San Ramón se le considera una falla activa y capaz de generar sismos corticales de magnitud aproximada $M_w = 6.5$, esta no implicaría una amenaza sísmica mayor sobre la comuna. Esto es debido principalmente a la rápida atenuación de las ondas sísmicas en los sismos corticales, lo que implicaría aceleraciones del orden de 0.1g a partir de un sismo magnitud $M_w = 6.9$ (Pérez, Ruiz, Vargas, Rauld, Rebolledo, & Campos, 2014).

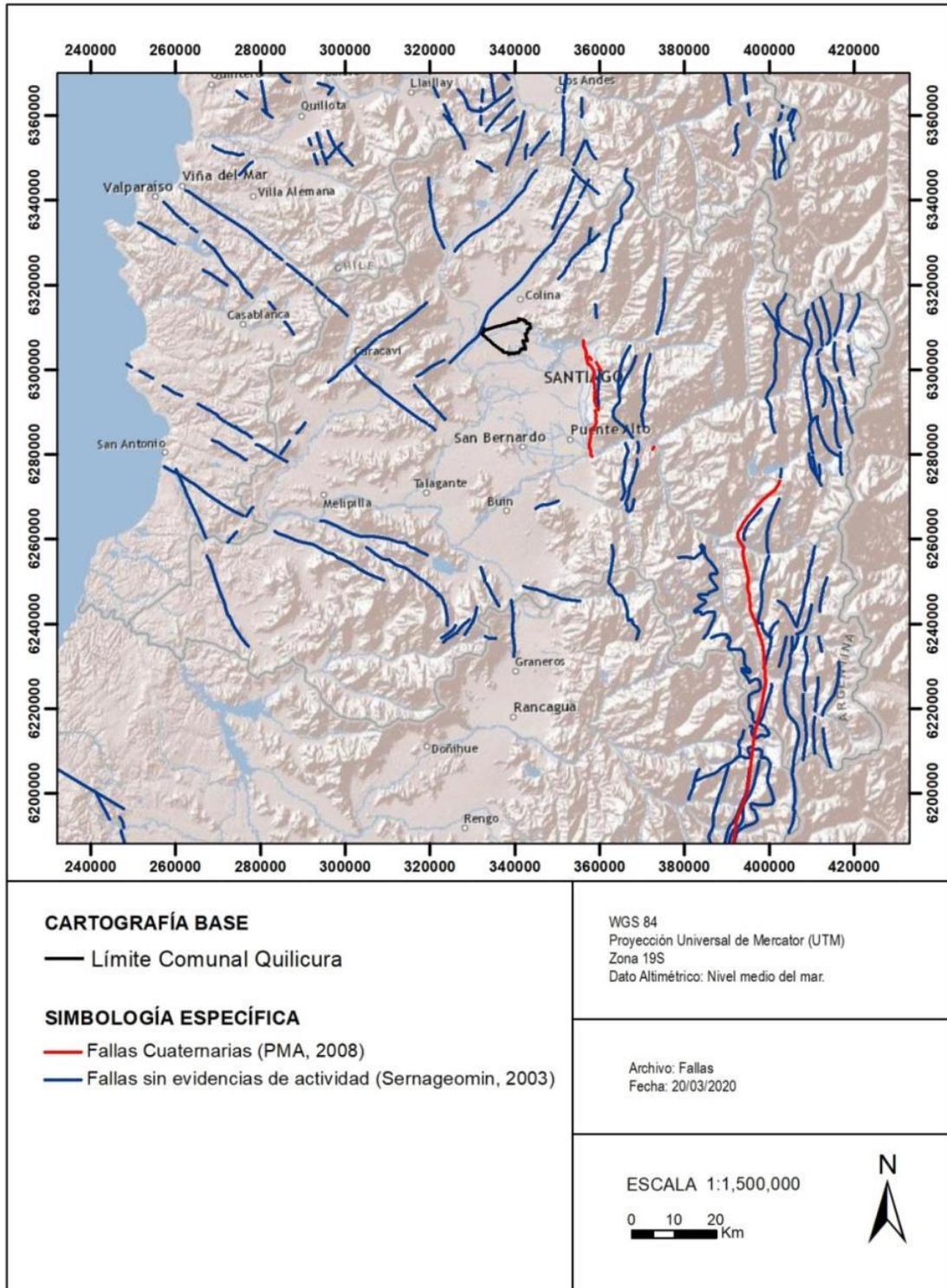
FIGURA C—23 Mapa de eventos sísmicos ocurridos entre 1900 y 2020 entre los 31° y 36°S aproximadamente.



Fuente: Elaboración propia a partir del Catálogo NEIC.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA C—24 Mapa de fallas activas y posiblemente activas en torno al área de estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN (2003) y PMA-CGA (2008).

ANEXO D RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES PARA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Como primera actividad se recopilaron de los antecedentes disponibles de estudios promovidos por Servicios Públicos, como la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), I. Municipalidad de Quilicura, entre otros. A continuación se presentan los estudios recopilados y otros antecedentes de interés:

- Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), y sus modificaciones. Resolución N° 20 de 6 de octubre de 1994 del Consejo Regional Metropolitano.
- Plan Maestro de Evacuación de Aguas Lluvias del Gran Santiago. 2001. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería. (En adelante se hará alusión a este estudio como PM-01).
- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de la Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. 2002. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería.
- Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Las Cruces, Región Metropolitana. 2003. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda. (También conocido como consultoría ALL-DP16).
- Adecuación de la Ingeniería de Detalle del Proyecto de Canalización del Estero Las Cruces, Tramo Ruta 57 a Desembocadura Estero Lampa, Región Metropolitana, 2004. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda.
- Diagnóstico y Proposición Plan Maestro de Manejo de Cauces Naturales, Cuenca del Estero Lampa. Región Metropolitana”. 2004. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda.
- Análisis de Técnicas Alternativas y Complementarias para las Soluciones de Aguas Lluvia en una Cuenca. Aplicación al Valle de Chicureo, 2007. Elaborado por Bárbara Lorena Astudillo Cáceres (Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Profesor Guía: Luis Arrau del Canto).
- Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Los Patos, Región Metropolitana. 2008. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por Luis Arrau del Canto, Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego. (En adelante se hará alusión a este estudio como “Diseño Red Primaria Estero Los Patos”).
- Estado de la Red Primaria de Santiago a Julio de 2015, plano escala 1:50.000, 2015, Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas.

a. Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), y sus modificaciones. Resolución N° 20 de 6 de octubre de 1994 del Consejo Regional Metropolitano.

El Plan Regulador Metropolitano de Santiago (en adelante PRMS), aprobado el año 1994, corresponde al instrumento de planificación urbana cuyo objetivo es regular y orientar el proceso de desarrollo urbano de las 34 comunas que conforman el Gran Santiago, a través de zonificaciones de uso del suelo que permitirán acoger su crecimiento poblacional al año 2020.

De acuerdo al PRMS, los territorios asociados tanto al Estero Las Cruces como al Estero Lampa se clasifican como "Áreas de Alto Riesgo para los Asentamientos Humanos", siendo sectores en los cuales estos emplazamientos se deben restringir en forma parcial o total. En específico, estos sectores entran en la categoría de Áreas de Alto Riesgo Natural por Inundación de Cauces Naturales, comprendiendo tanto el cauce como las fajas adyacentes, entrando en la sub-categoría de "Recurrentemente Inundables", donde se incluyen las franjas de protección por socavamiento por acción de las aguas.

De acuerdo al PRMS, en estos sectores solo se permiten las instalaciones mínimas complementarias a las actividades del aire libre, prohibiéndose expresamente todo tipo de edificaciones y construcciones que impliquen la presencia prolongada de personas o la concentración de ellas sin la posibilidad de evacuación expedita y/o que interfieran el libre curso de las aguas. Se señala también que los proyectos de urbanización, edificación y/o destinados al acondicionamiento y explotación de los terrenos emplazados en estas áreas, deberán ser aprobados por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) previamente a su ejecución o iniciación. El MOP también se encargará de la aprobación de estudios y proyectos específicos desarrollados por los propietarios de terrenos afectados por estas normas, donde se detalle los límites del área inundable que afecte a su predio, así como a las obras a realizarse para protegerlo.

Los usos de suelo y las normas técnico-urbanísticas específicas que rigen estas áreas son:

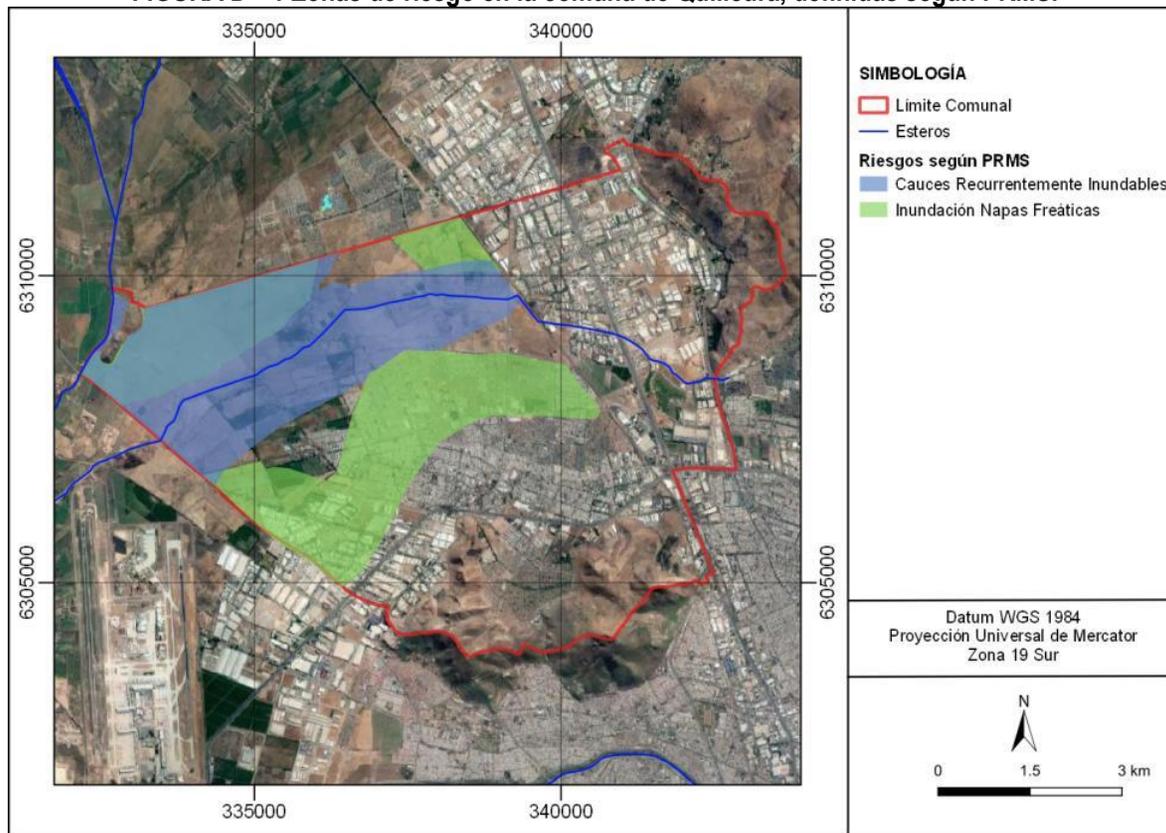
CUADRO D—1 Usos de suelo y las normas técnico-urbanísticas específicas para áreas recurrentemente inundables.

Uso de Suelo Permitidos	% Máximo de Ocupación del Suelo	Coefficiente Máximo de Constructibilidad
Equipamiento de Escala Intercomunal y Comunal de: <ul style="list-style-type: none">• Áreas verdes.• Recreacional-Deportivo.• Esparcimiento y Turismo al aire libre.	1,00%	0,001

Fuente: Plan Regulador Metropolitano de Santiago, Resolución N° 20 de 6 de octubre de 1994 del Consejo Regional Metropolitano.

La zona de estudio también comprende un sector que clasifica en la categoría de áreas de Riesgo Geofísico Asociados a Inundación Recurrente, sin embargo el tramo del cauce considerado en este tipo de área solo fue incluido para que la ubicación de la condición de borde quedara fuera de la comuna de Quilicura, abarcando toda la zona de interés comprendida en ella. En la FIGURA D—1 se muestra la ubicación de las zonas de riesgo mencionadas dentro de la zona de estudio.

FIGURA D—1 Zonas de riesgo en la comuna de Quilicura, definidas según PRMS.



Fuente: Elaboración propia, en base a www.ide.cl.

b. Plan Maestro de Evacuación de Aguas Lluvias del Gran Santiago. 2001. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería (en adelante se hará alusión a este estudio como PM-01).

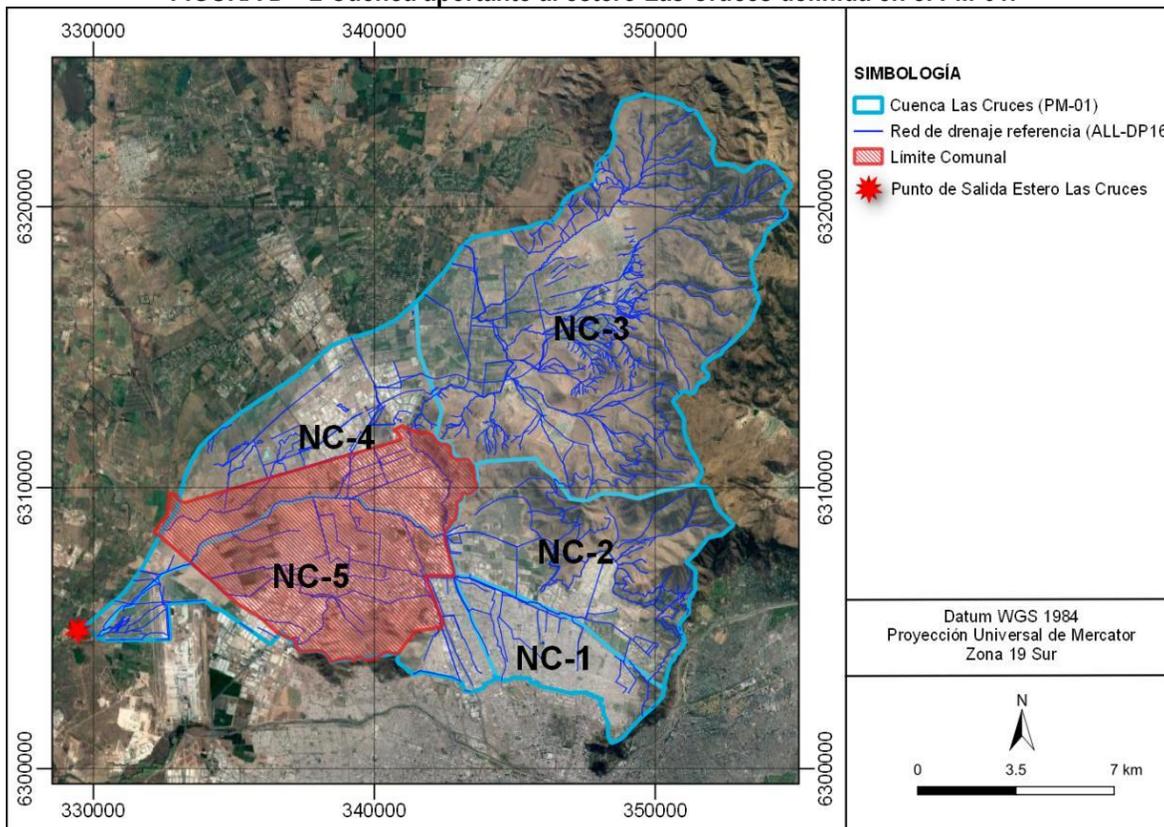
El objetivo general de este estudio fue formular y elaborar el Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Santiago, complementando con un Plan Maestro para la cuenca del Estero Las Cruces. El área de estudio comprendió las zonas urbanas consolidadas y de expansión determinadas en el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) y en los Planes Reguladores de las comunas que forman parte del mismo PRMS. Posteriormente, el área fue ampliada, incluyéndose también toda la zona urbana de la cuenca del estero Las Cruces, tanto actual como con sus posibles zonas de expansión. El horizonte del estudio es el año 2020, de modo que en los casos que los planes reguladores no tengan contemplado dicho horizonte, ha sido tarea del Consultor hacer las respectivas proyecciones de uso del suelo.

El Consultor planteó realizar una zonificación de la ciudad de Santiago considerando el criterio de división según las cuencas de drenaje que naturalmente existen, dado que es ésta la condicionante de las soluciones que finalmente se adopten. De esta manera se dividió las áreas tributarias en 4 zonas conforme al cauce natural que actúa como receptor y conductor final de la escorrentía superficial generada durante tormentas. De este modo el Gran Santiago se encuentra subdividido en las siguientes 4 grandes cuencas: Zona Norte – Las Cruces cuyo cauce natural receptor corresponde al estero Las Cruces; Zona Norte – Mapocho, que tal como lo indica su nombre su cauce receptor natural corresponde al río Mapocho; Zona Centro, cuyo cauce natural receptor corresponde al Zanjón de La Aguada; y Zona Sur, la cual drena hacia los ríos Maipo y Mapocho poniente.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

En el estudio en curso, solo es de interés la Zona Norte – Las Cruces, la cual se muestra en la FIGURA D—2 junto a una red drenaje referencial tomada a partir de los planos del estudio posterior ALL-DP16. La zona incluye cinco áreas tributarias donde NC-1 corresponde al territorio Conchalí-Recoleta, NC-2 a Huechuraba, NC-3 a Chicureo, NC-4 a Las Cruces Norte y NC-5 a Las Cruces Sur, según se muestra en la FIGURA D—2.

FIGURA D—2 Cuenca aportante al estero Las Cruces definida en el PM-01.



Fuente: Elaboración propia, en base a estudio PM-01 (CADE-IDEPE, 2001): cuenca aportante, y estudio ALL-DP16 (AC Ingenieros, 2003): red de drenaje referencial.

En la elaboración del PM-01, se describen los cauces de recepción de las áreas indicadas en la FIGURA D—2. Dichos cauces son:

- *Canal Huechuraba*: Este canal recibe, gravitacionalmente o a través de algunos colectores, las aguas lluvias del sector oriente de la comuna de Huechuraba, de parte de la comuna de Conchalí y del sector norte de la comuna de Recoleta. Nace en el sector de Rinconada El Salto (comuna de Huechuraba). Se inicia con dirección sur - poniente hasta llegar a Av. Juan Cristóbal. En este punto continúa aproximadamente paralelo a Av. Américo Vespucio, por el costado Norte. Antes de llegar a Av. El Guanaco, el canal cruza A. Vespucio, continuando su trazado por el costado Sur, hasta Av. Independencia. En este punto, el canal cruza nuevamente A. Vespucio a través de un conducto cerrado, descargando al norponiente del cruce a un canal de menor capacidad. En este tramo el canal toma dirección hacia el norte, por el costado poniente de la carretera General San Martín. Finalmente, el canal Huechuraba entrega sus aguas al estero Las Cruces en el sector de Puente Verde. El canal Huechuraba funciona como evacuador de aguas lluvias y derrames de riego, habiendo sido construido por la I. Municipalidad de Conchalí con el fin de evacuar aguas lluvias.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

- *Canal Los Choros*: El canal Los Choros es el receptor de las aguas lluvias del sector poniente de la comuna de Huechuraba. Desemboca al estero Las Cruces en Puente Verde. Este canal nace en el sector de Av. Américo Vespucio con calle Santa Rosa y continúa en dirección norte, paralelo a esta última. Al llegar al sector El Carmen de Huechuraba, cambia de dirección hacia el poniente para luego descargar sus aguas al inicio del estero Las Cruces, en el Puente Verde. El canal Los Choros es el receptor de las aguas lluvias del sector de la comuna ubicado al poniente de Puntilla Chacarillas, con excepción de las aguas de algunas quebradas que pudiesen ser interceptadas por el canal El Carmen.
- *Canal Desagüe estero Los Patos*: El canal Desagüe Estero Los Patos corresponde al desagüe artificial del Estero Los Patos, el cual junto a la Quebrada La Ñipa drenaban antiguamente todo el valle de Chicureo. Las prácticas agrícolas y las urbanizaciones han borrado el cauce del estero Los Patos, aun cuando se mantiene como el único cauce potencialmente adecuado para el drenaje de las aguas del valle de Chicureo. Actualmente, el canal Desagüe Estero Los Patos nace en el puente Los Patos, recientemente construido sobre la Carretera General San Martín. En este punto la canalización cruza un terreno agrícola sin urbanizar con dirección poniente, hasta chocar con un loteo industrial que obliga a su cambio de dirección (hacia el sur) hasta el límite predial. En este punto el canal retoma la dirección poniente y poco aguas abajo cruza el camino Coquimbo, empalmando con un canal de mayor magnitud que corre en dirección norte-sur. Desde aquí el canal Desagüe estero Los Patos corre en dirección sur cruzando la calle Camino La Montaña, para luego (unos 200 m aguas abajo del cruce) cambiar a dirección sur-poniente hasta llegar a la Ruta 5 Norte. En esta vía las alcantarillas existentes son claramente insuficientes. Aguas abajo del cruce anterior, el canal se desarrolla dentro de otra urbanización industrial en dirección sur-poniente hasta la esquina de Av. Las Industrias con calle San Juan de la Fuente. En este punto el canal toma dirección poniente hasta el cruce con la línea del ferrocarril. Unos 2 km. aguas abajo de cruce ferroviario el canal cambia nuevamente de dirección (sur-poniente) empalmando, según información de lugareños, con el estero Los Perros, el cual descarga al estero Colina (CADE-IDEPE, 2001). Es importante tener en cuenta que a pesar de lo definido en el PM-01, el canal Batuco es quien hace de interceptor natural de las aguas lluvias de todas las quebradas de Chicureo, donde presenta una longitud aproximada de 10,35 km.
- *Estero Las Cruces*: Recibe los aportes de los cauces antes señalados, además de las áreas denominadas Las Cruces Norte y Sur. Descarga finalmente sus aguas en el estero Lampa, a alrededor de 5 km aguas abajo del puente Lo Echevers. El estero Las Cruces se desarrolla en el sector norponiente de la ciudad de Santiago. Nace en el sector de Puente Verde de la carretera General San Martín, en la confluencia de los canales Los Choros y Huechuraba. En un primer tramo, entre la carretera General San Martín y la línea ferroviaria, el estero Las Cruces recorre sectores industriales de la comuna de Quilicura, para luego continuar hacia el surponiente por áreas rurales de Quilicura y Pudahuel, hasta su confluencia con el estero Colina. Entre su nacimiento y la desembocadura en el estero Colina, recibe por el norte los caudales provenientes del estero Los Patos, el cual drena la cuenca de los cerros de Chicureo.

Como parte de los estudios básicos previos de hidrología y de uso actual y futuro del suelo, se dedicó un estudio hidrológico de la cuenca aportante a fin por objetivo final estimar los caudales e hidrogramas de crecida de las cuencas no urbanas que descargan o atraviesan sobre áreas urbanas de la ciudad de Santiago y de la cuenca del estero Las Cruces, para períodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, con base a esto se pasó a realizar la estimación de los caudales de crecida mediante los métodos racional y del hidrograma unitario sintético, respectivamente; estos se muestra en el CUADRO D—2.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO D—2 Estimación de Caudales en Cauces Naturales, estudios básicos PM-01.

IDENTIFICACIÓN CAUCE / CAUDAL (m ³ /s)	T (años)				
	5	10	20	25	50
Río Mapocho antes junta estero Lampa	320	710	1.400	1.880	3.745
Esteros Lampa antes de Junta con estero Colina	365	490	650	715	950
Esteros Lampa antes junta con el río Mapocho	645	860	1.145	1.260	1.680
Esteros Colina en Cerrillos Lo Castro	295	385	460	505	570
Esteros Colina antes de junta esteros Las Cruces y Lampa	300	390	466	510	575
Esteros Las Cruces	105	140	165	175	210

Fuente: PM-01 (CADE-IDEPE, 2001).

Luego de estas estimaciones previas, se define a partir de este estudio el uso del software CAICE Visual SWMM para simular el escurrimiento de las aguas lluvias en cuencas urbanas. Las características principales de este modelo es que consta de tres modos de operación, otorgándole una gran flexibilidad al momento de modelar. El primer modo corresponde al módulo hidrológico (Runoff), donde se realiza básicamente la transformación de la precipitación en hidrograma de escorrentía. El segundo modo corresponde a control y calidad de agua (Transport), donde se puede estudiar principalmente la distribución y propagación de contaminantes en redes, y un tercer modo, denominado módulo hidráulico (Extran), encargado de la propagación de las crecidas, tanto en secciones prismáticas como no prismáticas. En esta consultoría se empleará el módulo de Hidrología y el módulo Hidráulico.

c. Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de la Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. 2002. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería.

El objetivo general de esta consultoría fue formular y elaborar el Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de la Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. Dentro de los objetivos específicos de los propuestos se cuenta el estudiar el problema de evacuación y drenaje de aguas lluvias del área del estudio y proponer una solución integral y coherente con las cuencas aportantes, realizar una caracterización y diagnóstico de la infraestructura existente en la situación actual y futura del área del estudio; proponer, simular, analizar y seleccionar alternativas de solución al problema de evacuación y drenaje para el área del estudio, definir la Red Primaria y Secundaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias y estimar los volúmenes de agua que se aportarán a los cauces naturales receptores como producto de los diseños propuestos.

Como parte del diagnóstico y capacidad hidráulica de los cauces receptores, se realizaron modelaciones hidráulicas en el estero Lampa, desde su nacimiento hasta su descarga al río Mapocho. Se trabajó con el modelo HEC-RAS 1D el cual mediante la consideración de la topografía real del cauce y sus accidentes naturales, la rugosidad del fondo del río y la existencia o no de estructuras de atravesado u otras, calcula las alturas de agua máximas para las distintas secciones del cauce, conformando de este modo el eje hidráulico.

Caudales de diseño

Para el cálculo de los caudales de diseño, se realizó una modelación hidrológica de la cuenca del estero Lampa. Para esto se utilizó el software “CAICE Visual SWMM”.

En cuanto a la forma de modelar los cauces naturales con el programa “Visual SWMM”, se indica que un nodo representó un punto de control asociado a un área tributaria, definida por sus características particulares, tales

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

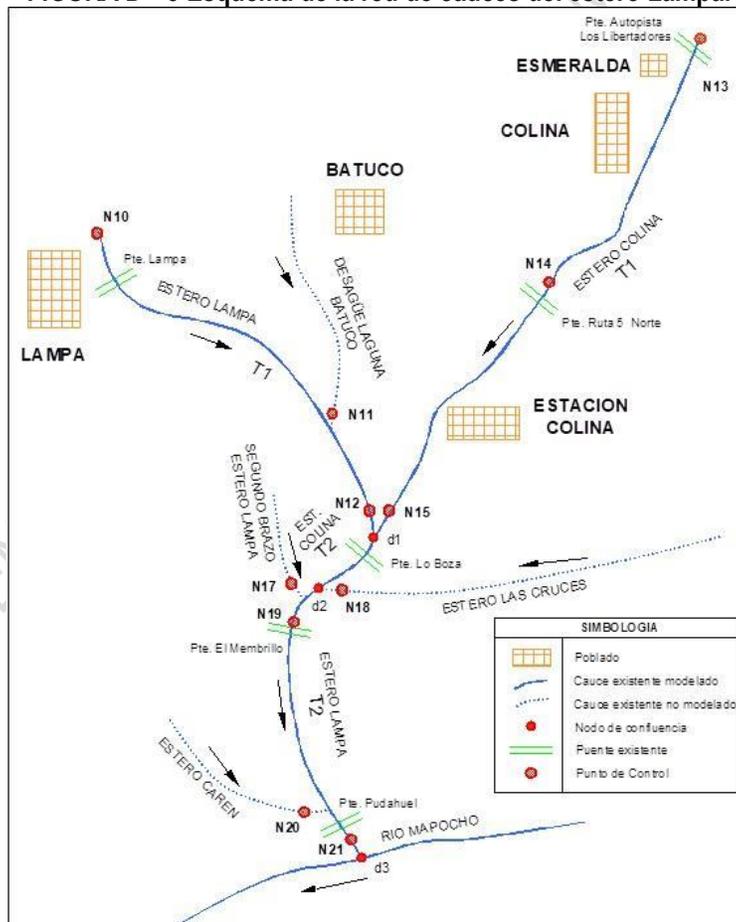
como pendiente, área, longitud del cauce principal, tiempo de concentración, etc. Cabe destacar, sin embargo, que un nodo también puede representar un cambio en las características físicas de la estructura existente.

Para la realización de la modelación se contó con información relacionada al análisis de las características de los suelos, su uso actual y futuro, precipitaciones, lluvia de diseño y por último, un análisis fluviométrico de los caudales máximos instantáneos registrados en las estaciones ubicadas en el área de estudio. En la transformación de la lluvia bruta en lluvia neta y de ésta en escorrentía, se producen pérdidas que pueden clasificarse tanto en pérdidas iniciales, constituidas por la interceptación de la vegetación, el almacenamiento en las depresiones de la superficie y la infiltración (en terreno no impermeabilizado), las cuales se producen antes que empiece el escurrimiento; y por otro lado en pérdidas continuas durante la duración de la lluvia, constituidas por la infiltración y la evaporación.

Para la modelación hidráulica, en la FIGURA D—3 se muestra un esquema de la red de cauces que conforman la parte baja de la cuenca del estero Lampa. El esquema de modelación considera los caudales determinados.

Asociado al esquema anterior, en el CUADRO D—3 se detalla la sectorización realizada para la modelación hidráulica.

FIGURA D—3 Esquema de la red de cauces del estero Lampa.



Fuente: CADE-IDEPE (2002).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO D—3 Sectorización considerada en la Modelación Hidráulica del estero Lampa.

Tramo	Ubicación	Km. inicial	Km. final
Estero Lampa Tramo 1 (T1)	Entre la localidad de Lampa y la confluencia con el estero Colina (nodo d1)	0	13.51
Estero Colina Tramo 1 (T1)	Entre la localidad de Esmeralda y la confluencia con el estero Lampa (nodo d1)	0.000.	23.453
Estero Colina Tramo 2 (T2)	Entre la confluencia con el estero Lampa y la descarga del estero Las Cruces (nodos d1 y d2)	23.453	25.285
		0	4.5
Estero Lampa Tramo 2 (T2)	Entre la descarga del estero Las Cruces y el río Mapocho	4.5	15.508
Río Mapocho	Desde nodo d3 hacia aguas abajo	-	-

Fuente: CADE-IDEPE (2002).

En el CUADRO D—4 se entregan los caudales de diseño para los tramos indicados en el CUADRO D—3, para periodos de retorno que van desde los 2 hasta los 100 años.

CUADRO D—4 Sectorización considerada en la Modelación Hidráulica del estero Lampa.

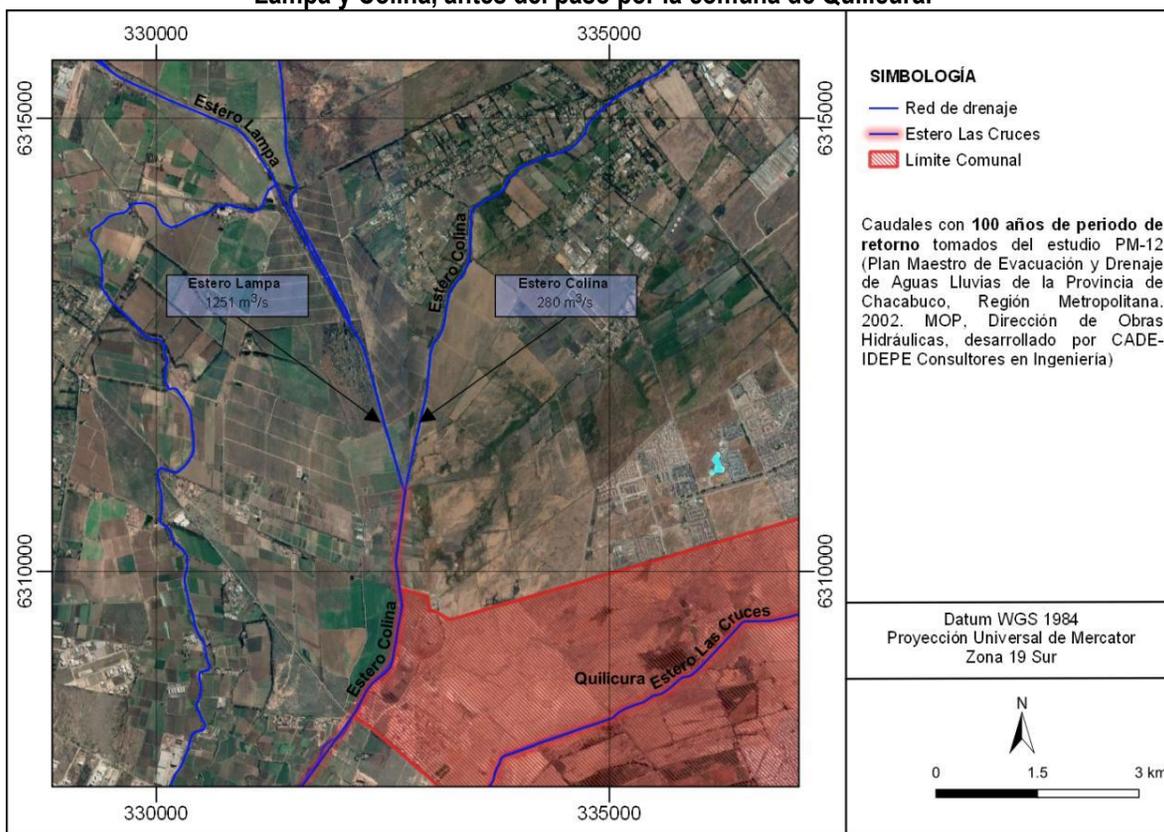
Tramo	(Km.)	Caudales Q (m ³ /s)					
		Periodo de Retorno (años)					
		2	5	10	25	50	100
Lampa Tramo 1	0,000	79	248	369	619	822	1.141
Lampa Tramo 1	9,107	85	265	394	674	903	1.251
Colina Tramo 1	0,000	5	13	20	35	40	60
Colina Tramo 1	13,734	34	75	110	175	225	280
Colina Tramo 2	23,651	160	385	572	928	1242	1.678
Colina Tramo 2	5,250	249	530	758	1183	1551	2.039
Lampa Tramo 2	6,000	250	533	762	1190	1560	2.049
Lampa Tramo 2	13,115	254	543	775	1220	1605	2.109
Río Mapocho	452-INH	524	1033	1425	2080	2625	3.299

Fuente: CADE-IDEPE (2002).

En el estudio en curso es de interés conocer los caudales al final Lampa Tramo 1 (1.251 m³/s) y al final de Colina Tramo 1 (280 m³/s); lo anterior puesto que son los caudales que pasan por los límites de la comuna de Quilicura. Para mejor esquematización estos se indican en la FIGURA D—4.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA D—4 Esquema de los caudales de crecida con 100 años de periodo de retorno, en los esteros Lampa y Colina, antes del paso por la comuna de Quilicura.

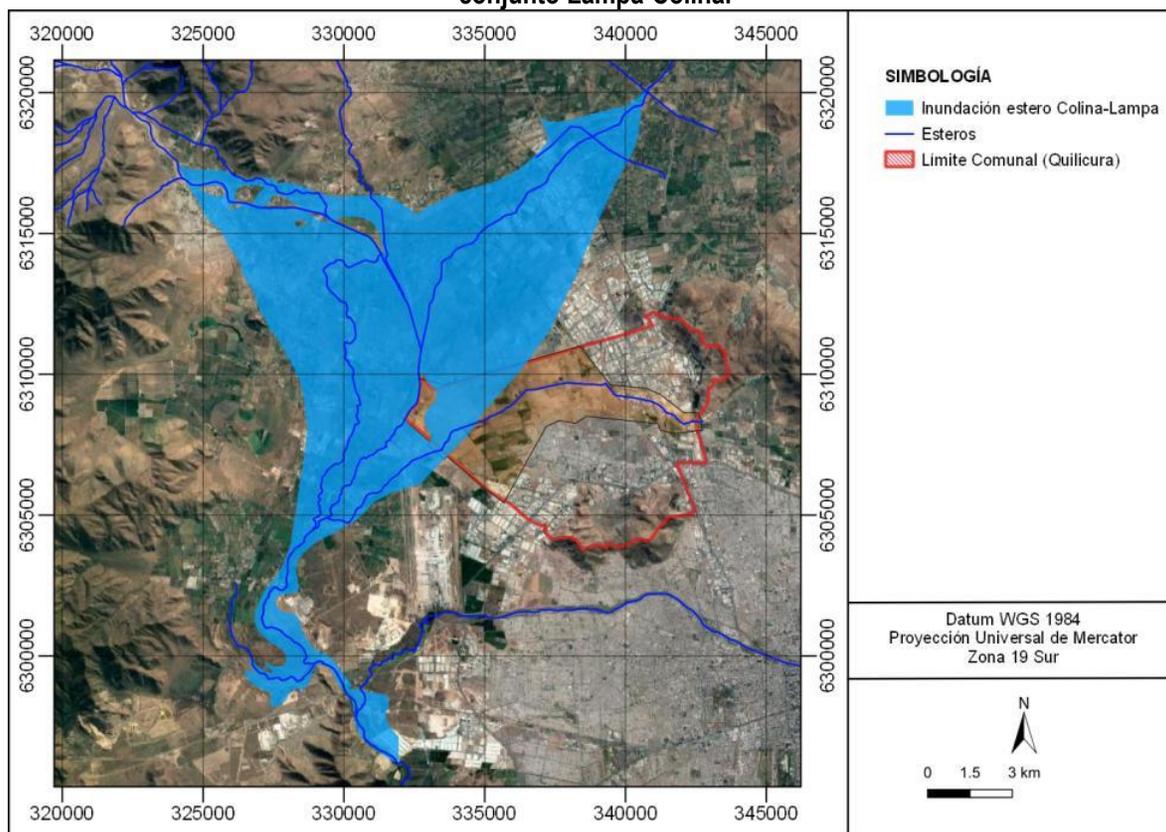


Fuente: Elaboración propia, en base a estudio CADE-IDEPE (2002).

Los resultados de la modelación en HEC-RAS fueron definidas en los planos escala 1:20.000 correspondientes de dicho estudio, en específico al "Diagnóstico de los Cauces Naturales de Drenaje Superficial", en los cuales se incluyeron las áreas de inundación estimadas a partir del cálculo del eje hidráulico, para los periodos de retorno de 2, 10 y 100 años.

El mapa de la inundación para 100 años de periodo de retorno se muestra en la FIGURA D—5.

FIGURA D—5 Inundación estimada en modelo HEC-RAS con 100 años de periodo de retorno para el conjunto Lampa-Colina.



Fuente: Elaboración propia, en base a estudio CADE-IDEPE (2002).

d. Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Las Cruces, Región Metropolitana. 2003. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda. (También conocido como ALL-DP16).

El objetivo de este estudio se dividió en 3 elementos: estudios a nivel de factibilidad para la totalidad de la Red Primaria que permite la evacuación de las aguas lluvias de la zona norte de Santiago, considerando tanto la red de colectores como de los canales y cauces naturales que permiten evacuar las aguas lluvias, y considerando como marco de referencia general para el estudio se consideró la Red Primaria propuesta en el Plan Maestro de Aguas Lluvias del Gran Santiago (PM-01); otro elemento es la elaboración del anteproyecto de las soluciones seleccionadas para los esteros Los Patos, Las Cruces y canal Los Choros; y la ingeniería de detalle de las obras de canalización del estero Las Cruces entre la Ruta G57 Carretera General San Martín y su confluencia con el estero Lampa. Este estudio es la base para la estimación de los caudales del estudio en curso, por lo que se hará descripción de la metodología empleada para determinar los caudales.

El análisis hidrológico hecho en la Consultoría ALL.DP-16 consistió en la estimación de coeficientes de escorrentía representativos de las distintas áreas, la determinación de tormentas de diseño y la estimación de caudales de crecidas de periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 100 años para el sistema de cauces naturales (estero Los Patos, Canal Choros y estero Las Cruces).

El coeficiente de escorrentía (C) que representa la razón entre la tasa máxima de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta multiplicada por el área aportante depende de las

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

características morfológicas y del tipo y uso del suelo de la zona de interés, pudiendo variar su valor entre 0 y 1. Este último valor representa a superficies teóricamente impermeables, mientras que su valor inferior a superficies totalmente permeables.

A diferencia de la metodología empleada en la consultoría PM-01, en la cual se igualó el coeficiente de escorrentía con la tasa de impermeabilidad del terreno, en el presente análisis se tomó en consideración los valores entregados en la literatura especializada para distintas características de superficies. En el CUADRO D—5 se entrega una tabla resumen con valores de C recomendados por la literatura especializada para distintos tipos de cobertura.

CUADRO D—5 Valores del Coeficiente de Escorrentía Recomendados Según Tipo de Superficie (CADE-IDEPE, 2002).

Tipo de Superficie	Coeficiente de Escorrentía
Calzadas	
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Ladrillo	0,70 – 0,85
Aceras y Pasajes	0,75 – 0,85
Techos	0,75 – 0,95
Prados en Suelos Arenosos	
Planos ($\leq 2\%$)	0,05 – 0,10
Medios (2% a 7%)	0,10 – 0,15
Gran Pendientes ($>7\%$)	0,15 – 0,20
Prados en Suelos Arcillosos	
Planos ($\leq 2\%$)	0,13 – 0,17
Medios (2% a 7%)	0,18 – 0,22
De gran pendiente ($>7\%$)	0,25 – 0,35

Fuente: "Desing & Construction of Sanitary and Storm Sewer". Manual N°37 de la ASCE.

Las tormentas de diseño se determinaron en base a las isoyetas y a las curvas IDF del PM-01, y a los hietogramas adimensionales propuestos por Varas (1988). Según PM-01 a cada isoyeta, correspondiente a la precipitación máxima diaria con período de retorno de 10 años, se le debe asociar una serie de curvas IDF de acuerdo a la siguiente expresión, válida para tormentas menores de 8 horas.

$$I_t^T = a \cdot t^b$$

Donde I_t^T es la intensidad media de la precipitación, en mm/h , para una tormenta de duración t , en horas, y período de retorno T en años; el coeficiente a se elige del CUADRO D—6 y el coeficiente b se fijó en -0.3301, -0.3589 y -0.3723 para períodos de retorno de 2, 5 y los comprendidos en el rango entre 10 y 100 años, respectivamente.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO D—6 Valores del coeficiente α .

P24 (T=10 años) (mm)	Período de Retorno (años)					
	2	5	10	25	50	100
70	8.26	10.42	11.94	14.13	15.75	17.36
72	8.50	10.73	12.28	14.53	16.20	17.86
74	8.74	11.02	12.62	14.93	16.65	18.35
76	8.97	11.32	12.96	15.34	17.10	18.85
78	9.21	11.62	13.30	15.74	17.55	19.34
80	9.45	11.92	13.65	16.14	18.00	19.84
90	10.63	13.41	15.35	18.16	20.25	22.32

Fuente: "Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Santiago". Cade-Idepe-DOH, 2001.

Los pasos seguidos para determinar la tormenta de proyecto, para el área de estudio, fueron definir una duración, determinar la isoyeta que pasara por su centro de gravedad de todas las sub-áreas que aportan al estero Las Cruces y elegir un período de retorno. Con esta información se obtuvieron los coeficientes a y b según lo expuesto y se calculó la intensidad media de diseño.

Se estimaron los caudales de diseño, en forma preliminar, para los distintos tramos de los colectores y/o cauces, aplicando el método racional modificado. Este método precisa del conocimiento del área aportante, de su coeficiente de escorrentía ponderado y de una tormenta de diseño de duración similar al tiempo de concentración del área aportante.

Se consideraron tormentas, aplicadas en toda el área a sanear, con duraciones variables al tiempo de concentración mayor del sistema considerado, cada 30 minutos con una duración máxima superior a una hora con intervalos de tiempo cada 10 minutos y según la distribución Tipo II, propuesta por Varas, que fue con la que se obtuvieron mayores caudales.

Para la modelación se utilizó el modelo XP-SWMM de Caice. Los caudales máximos definidos para el presente estudio corresponden al valor de caudal mayor alcanzado en cada tramo para cada una de las tormentas de distintas duraciones modeladas.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

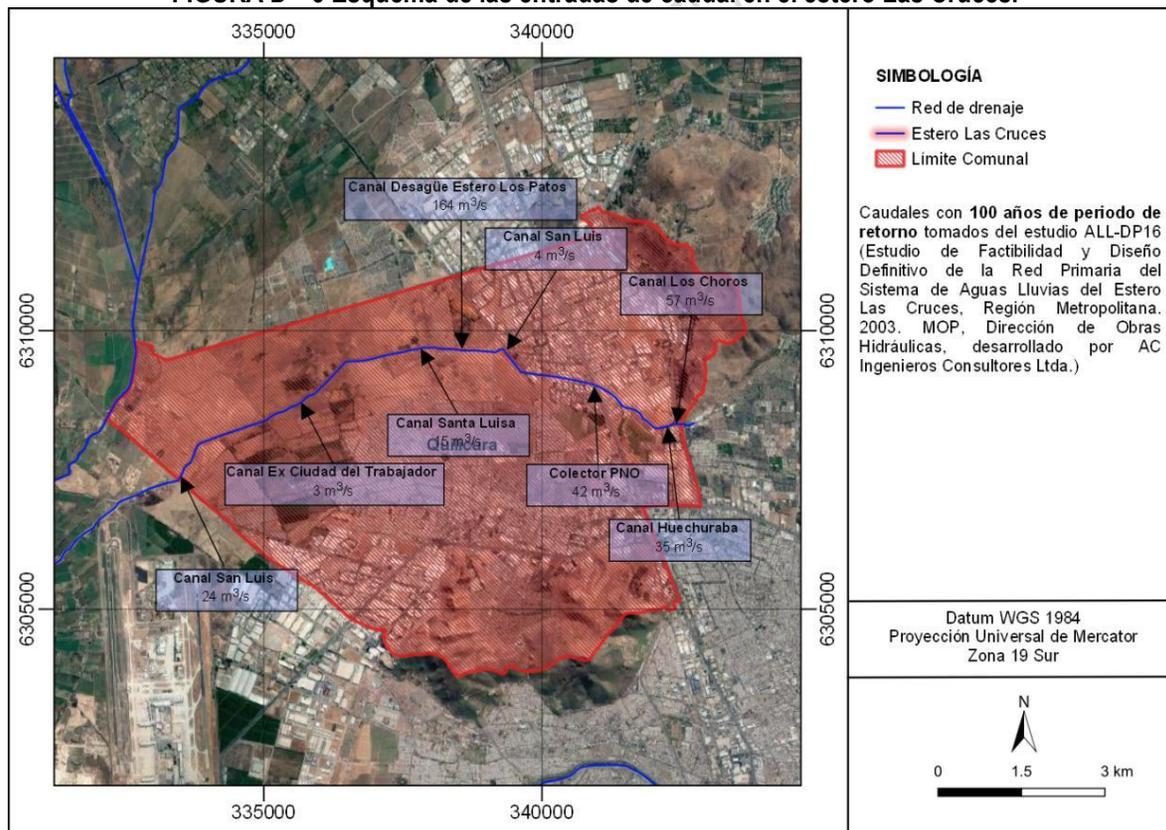
CUADRO D—7 Aportes parciales y caudales acumulados en el cauce del estero Las Cruces).

Canal o Colector de Descarga	Ubicación respecto a ruta G57 (km)	Caudal (m ³ /s)	
		T = 10 años	T = 100 años
		Aporte Parcial	Aporte Parcial
Canal Los Choros	0,000	38	57
Canal Huechuraba	0,013	25	35
Colector PNO	1,790	22	42
Canal San Ignacio	3,726	2,5	4
Canal Desagüe Estero Los Patos	4,447	116	164
Canal Santa Luisa	5,200	5	15
Canal ex Ciudad del Trabajador	7,691	2	3
Canal San Luis	10,472	19	24
Entrega Estero Lampa (Colina*)		7	7

Fuente: (AC Ingenieros, 2003).

Dada la relevancia de este antecedente, en la FIGURA D—6 se muestra un esquema para identificar geográficamente las entradas de caudal al estero Las Cruces.

FIGURA D—6 Esquema de las entradas de caudal en el estero Las Cruces.



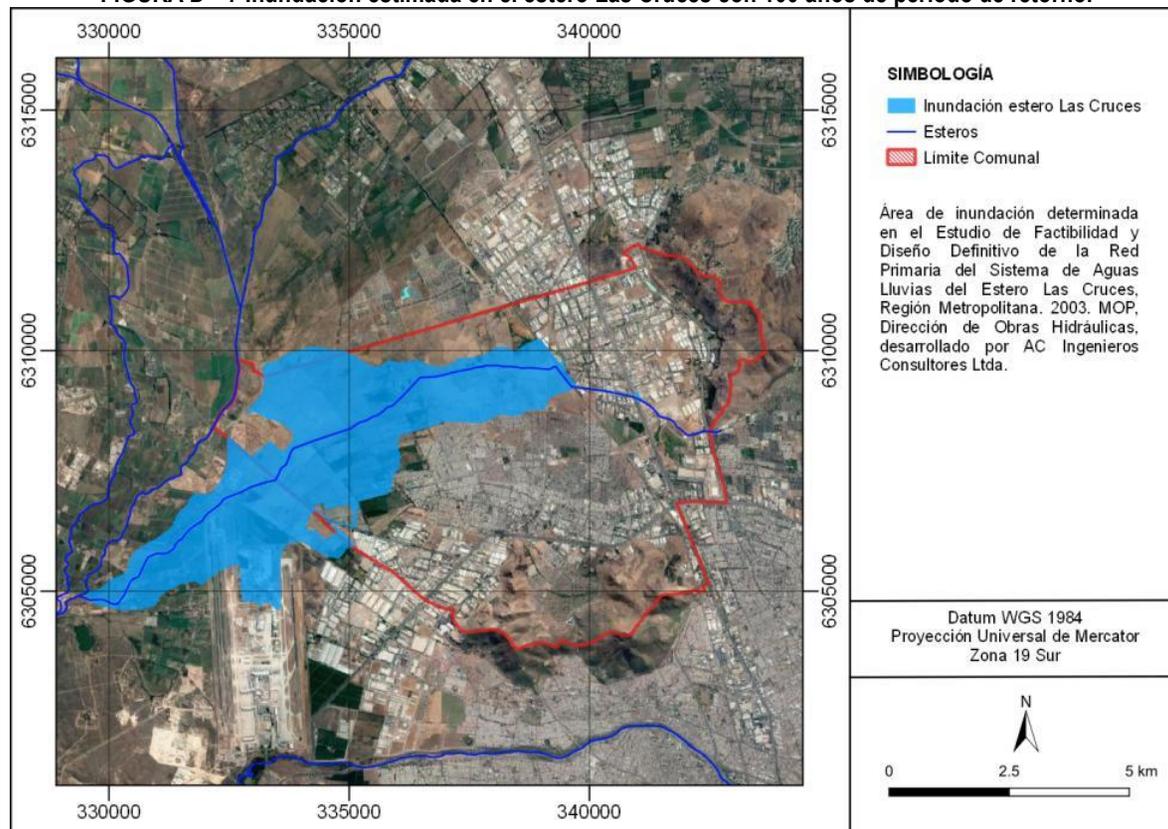
Fuente: Elaboración propia en base a estudio AC Ingenieros, 2003.

Es importante importante señalar que como parte de la ingeniería de detalle, en este estudio ya se reconoce una limitada capacidad hidráulica de los puentes que cruzan el estero Las Cruces, donde se verificó

la necesidad de reemplazar (al año 2003) la totalidad de ellos en el tramo en que se proyecta la canalización. Los puentes que señalan como críticos a ser reemplazados y que a fecha del 2020 aún existen sin modificaciones, con calle Santa Luisa, con calle San Luis, con camino Lo Echevers.

En este estudio también se determinaron los ejes hidráulicos en el estero Lampa en la zona de descarga, para períodos de retorno de 10 y 100 años.

FIGURA D—7 Inundación estimada en el estero Las Cruces con 100 años de periodo de retorno.



Fuente: Elaboración propia en base a estudio AC Ingenieros, 2003.

e. Adecuación de la Ingeniería de Detalle del Proyecto de Canalización del Estero Las Cruces, Tramo Ruta 57 a Desembocadura Estero Lampa, Región Metropolitana, 2004. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda.

El objetivo central de este proyecto fue generar los antecedentes para la licitación de la construcción, a partir del año 2005, de aquellas obras que permitan dar la factibilidad a las descargas de los colectores de la red primaria, que evite la inundación en puntos críticos generada por eventos de lluvia frecuentes y al mismo tiempo, adecuarse a las limitaciones presupuestarias actuales y mediatas que enfrenta el Ministerio de Obras Públicas.

Se desarrolló por las limitaciones presupuestarias que el Ministerio de Obras Públicas (MOP) experimentaba en aquel entonces, proyectando que en el corto y mediano plazo, era difícil enfrentar las inversiones requeridas para la construcción de las obras de canalización del estero Las Cruces de la manera como estaban previstas en el proyecto de ingeniería elaborado en la Consultoría ALL.DP-16. "Estudio de

Factibilidad y Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Las Cruces. Región Metropolitana”.

Dado que los antecedentes básicos para el desarrollo de este proyecto correspondieron a los generados como parte del proyecto original ALL-DP16, no existen antecedentes hidrológicos o hidráulicos que aporten información actualizada.

f. Diagnóstico y Proposición Plan Maestro de Manejo de Cauces Naturales, Cuenca del Estero Lampa. Región Metropolitana”. 2004. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda.

Este estudio consiste en una completa revisión y recopilación de antecedentes bibliográficos existentes para el área en estudio, referidos a: cartografía, aerofotogrametría, topografía, geomorfología e hidrografía, características granulométricas de los cauces, hidrología, hidráulica y mecánica fluvial, extracciones de áridos, canteras y zonas de empréstitos, antecedentes periodísticos, identificación de zonas críticas, evolución histórica de los cauces, planes reguladores, vegetación, y catastro de obras tales como puentes, bocatomas y defensas fluviales.

El estudio señala que debe ser considerado como un marco de referencia y herramienta de planificación y programación tendiente a la identificación y ordenamiento de las acciones e inversiones a aplicar en relación al manejo integral de los cauces naturales, en el ámbito hidráulico fluvial y su relación con los aspectos físicos, ambientales, legales, culturales y sociales asociados a su entorno. Además, este Plan Maestro permitirá realizar una adecuada coordinación entre entes del Estado en su rol de agentes reguladores o inversores.

Este Plan Maestro analiza específicamente los cauces del estero Til Til o Polpaico, el estero Lampa, el estero Colina, y el estero Las Cruces: desde puente Verde de la Ruta G-57 General San Martín, hasta su confluencia con el estero Lampa.

Este estudio recopila en gran parte lo señalado en los estudio **Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de la Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana** (CADE-IDEPE, 2002) y el **Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Las Cruces** (AC Ingenieros, 2003).

Algo que destacar de este antecedente es la identificación de problemas de inundación que presentan los cauces en estudio se clasificaron según su ocurrencia, en problemas frecuentes y poco frecuentes, en función de la frecuencia de ocurrencia de las crecidas, tomando como antecedentes los dos estudios del párrafo anterior. Para poder individualizar los problemas identificados en informes técnicos relativos a este tema y los identificados por la comunidad, se realizó un conjunto de entrevistas a los propios usuarios de los cauces, a representantes de las juntas de vecinos y a personal calificado en los municipios involucrados, destinado a conocer los problemas y zonas críticas de los cauces asociadas al paso de crecidas.

Los problemas de inundación clasificados como “Frecuentes”, corresponden a aquellos que se les puede asociar a periodos de retorno bajos, es decir, menores o iguales a los 10 años. En general corresponderán a aquellas situaciones identificadas por los usuarios ubicados en el entorno de los cauces.

Por otro lado, los problemas de inundación clasificados como “Poco Frecuentes” corresponden a aquellos asociados a crecidas cuyo periodo de retorno es superior a 25 o 50 años. La identificación de los problemas corresponde fundamentalmente al desarrollo de estudios técnicos y en menor medida a la información de la comunidad. Esto último en razón de que no necesariamente dicha comunidad conoce el real efecto de este

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

tipo de crecidas, ya sea porque no ha ocurrido o, dada una situación de emergencia, desconoce la magnitud completa del evento.

En el CUADRO D—8 y CUADRO D—9 se resumen los problemas de inundación “Frecuentes” como “Poco Frecuentes” identificados, además como información complementaria se indica para cada una de las zonas identificadas el origen probable del problema.

CUADRO D—8 Zonas de inundación frecuente en el estero Lampa – Colina y estero Las Cruces. (AC Ingenieros, 2004).

Cauce	Sector	Superficie (ha)	Problema	Origen o Causa del Problema
Lampa-Colina	Desde aguas arriba de la confluencia de los esteros Lampa-Colina hasta aguas abajo de la confluencia del Lampa con el estero Las Cruces	4.806,3	Desborde generalizado	Falta de capacidad del estero Lampa para recibir las aguas aportantes del estero Colina, lo cual se ve agravado por la baja pendiente que se presenta en la zona de la confluencia
Las Cruces	Aguas abajo del cruce de la línea férrea, en toda su extensión.	966,1	Desbordes en ambas riberas	Falta de capacidad en todo el tramo, lo cual es influenciado por el río Mapocho

CUADRO D—9 Zonas de inundación poco frecuente en el estero Lampa – Colina y estero Las Cruces. (AC Ingenieros, 2004).

Cauce	Sector	Superficie (ha)	Problema	Origen o Causa del Problema
Lampa-Colina	Desde el badén Lucero y Ruta 5 Norte las cuales se emplazan en los esteros Lampa y Colina respectivamente hasta la confluencia del Lampa con el Río Mapocho	11.548,1	Desborde generalizado	Falta de capacidad hidráulica del estero Lampa en todo el tramo. Se agrava por la baja pendiente que presenta el cauce, especialmente en la zona de confluencia del estero Lampa con el Colina, los aportes hídricos del ya desbordado estero Las Cruces y la influencia que ejerce el río Mapocho sobre el estero Lampa
Las Cruces	Aguas abajo del cruce de la Ruta 5, en toda su extensión	1.797,3	Desbordes en ambas riberas	Falta de capacidad del cauce y de las obras de arte, especialmente la ubicada en el camino Lo Echevers.

g. Análisis de Técnicas Alternativas y Complementarias para las Soluciones de Aguas Lluvia en una Cuenca. Aplicación al Valle de Chicureo, 2007. Elaborado por Bárbara Lorena Astudillo Cáceres (Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Profesor Guía: Luis Arrau del Canto).

Este estudio tiene orígenes académicos, desarrollado como parte de un trabajo de titulación. El objetivo fue desarrollar un modelo de simulación del escurrimiento de aguas lluvias del sector alto del valle de Chicureo para la situación actual de la zona, determinando las áreas de inundación correspondientes a éstas, y establecer posibles medidas de mitigación complementarias o alternativas a las ya planteadas por estudios en curso, utilizando como referencias las zonas de inundación generadas por la modelación actual y la modelación futura.

Este estudio consideró que los antecedentes aportados por el estudio Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Los Patos, Región Metropolitana (Arrau, 2008), son los necesarios para definir la línea base del estudio..

Se señala que el valle de Chicureo corresponde a una zona bien particular, dada la historia que presenta en relación a la evacuación de aguas lluvias. Esto, ya que la red de drenaje natural **ha sido prácticamente borrada por las urbanizaciones**, además, las prácticas agrícolas principalmente durante la Reforma Agraria, motivaron a utilizar terrenos que en un momento correspondían a **cauces naturales, como terrenos agrícolas**. Todos estos hechos provocaron que el valle quedara prácticamente sin una salida adecuada para las aguas de las cuencas altas, generando graves problemas de anegamiento.

También se señala que antiguamente, el valle de Chicureo contaba con dos cauces principales de evacuación, el estero Los Patos, y la quebrada La Ñipa. **El estero Los Patos**, se formaba por la confluencia de las quebradas La Virgen y El Loro, **continuando en dirección sur poniente hasta descargar sus aguas al estero Las Cruces**. Además, contaba con un aporte desde el sur, previo al cruce con la ruta G57, el cauce aportante era conformado por las quebradas La Región y Los Maitenes, drenando el sector sur de la cuenca. La segunda vía de evacuación, la quebrada La Ñipa, drenaba el sector norte de la cuenca de Chicureo. Tenía como aportes, además la quebrada el Manzano. Finalmente, descargaba al estero Los Patos a pocos kilómetros de distancia de la descarga de este último con el Estero Las Cruces.

El aporte de todo esto consiste en en poner sobre la mesa los antecedentes que permiten entender que el canal de desagüe del estero Los Patos es una zona muy intervenida por la que, en condiciones ideales, debiese pasar una gran cantidad de caudal y que en su estado actual se encuentra en condiciones bastante desfavorables.

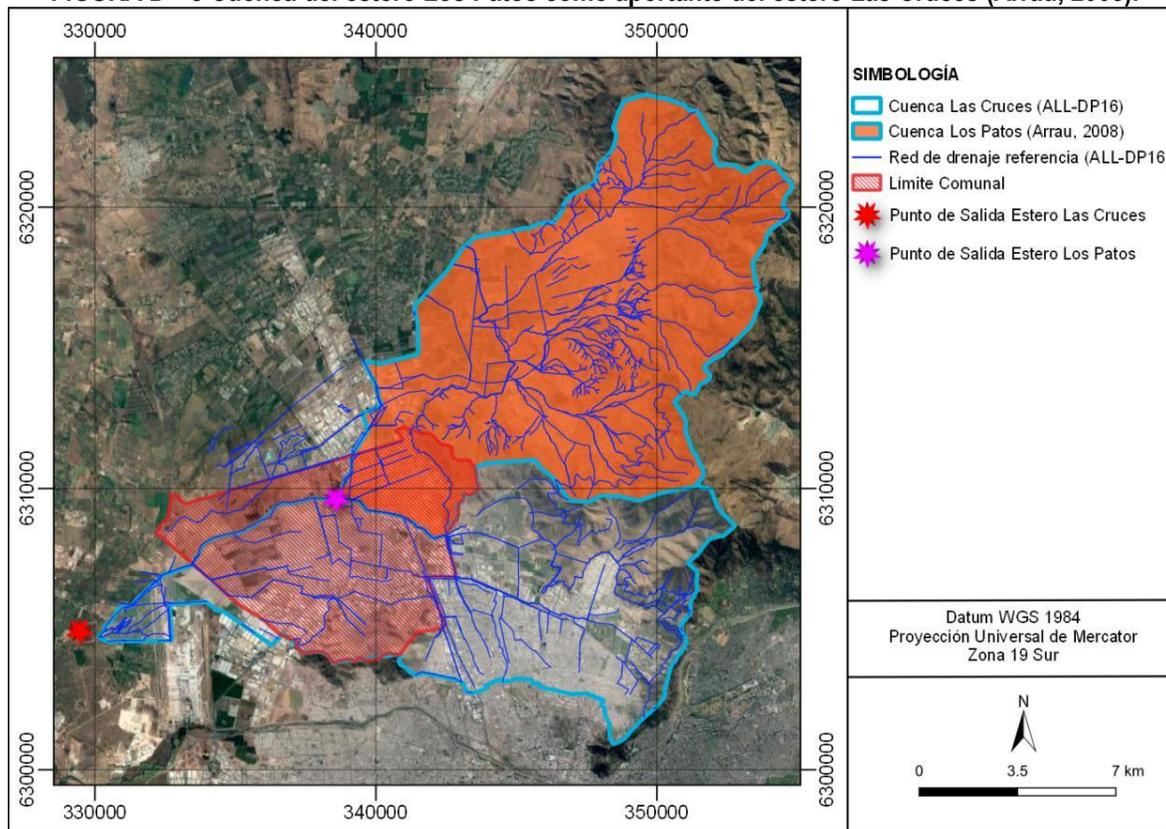
h. Diseño Definitivo de la Red Primaria del Sistema de Aguas Lluvias del Estero Los Patos, Región Metropolitana. 2008. MOP, Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollado por Luis Arrau del Canto, Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego.

Este estudio es muy importante de considerar ya que el estero Los Patos es un aporte importante del estero Las Cruces, en términos de caudal. El objetivo de este estudio fue poner a disposición de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) los antecedentes técnicos y legales necesarios para la construcción de las obras requeridas para el mejoramiento del estero Los Patos entre la Ruta 57 Santiago - Los Andes (Puente Los Patos) y su confluencia con el estero Las Cruces, en conformidad con la planificación de la red primaria y aportes superficiales asociados a dicha vía evacuadora y las obras existentes y futuras correspondientes a otros servicios relacionados con su trazado, concordante con las posibilidades de financiamiento sectorial de la DOH o con posibles aportes privados para ello.

En la FIGURA D—8 se muestra el sector correspondiente al área aportante del Estero Los Patos dentro del área aportante considerada para el Estero Las Cruces dentro del Plan Maestro Metropolitano de Santiago (CADE-IDEPE, 2001). Este sector de la cuenca ocupa una superficie de ~134 km², correspondiendo a cerca del 48% del área total.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA D—8 Cuenca del estero Los Patos como aportante del estero Las Cruces (Arrau, 2008).



Fuente: Elaboración propia en base a estudio de AC Ingenieros (2003): cuenca del estero Las Cruces, y estudio de Arrau (2008): cuenca del estero Los Patos.

Por otra parte, es importante señalar que en este estudio se hace referencia a la “Sentencia definitiva causa Rol 3.265/2002, 14° Juzgado Civil de Santiago, caratulada Agrícola Algarrobal Ltda. y otro con Dirección General de Aguas”, estableciéndose a partir de ella que el cauce denominado como “Estero Los Patos” por la Dirección General de Aguas no es tal, sino se trata de un canal artificial colector de derrames, construido por la mano del hombre.

Como parte del estudio de hidrología se actualizaron las curvas IDF que se plantearon en el Plan Maestro del Gran Santiago (CADE-IDEPE, 2001), las cuales consideraban estadísticas hasta el año 1998, aportando al análisis 8 años de estadísticas nuevas. Para esto se revisó la información analizada para la elaboración del PM-01 y la metodología utilizada para dicho fin. En el CUADRO CUADRO D—10 se presentan los caudales estimados para diferentes periodos de retorno.

CUADRO D—10 Aportes en el Estero Los Patos en distintos puntos de control.

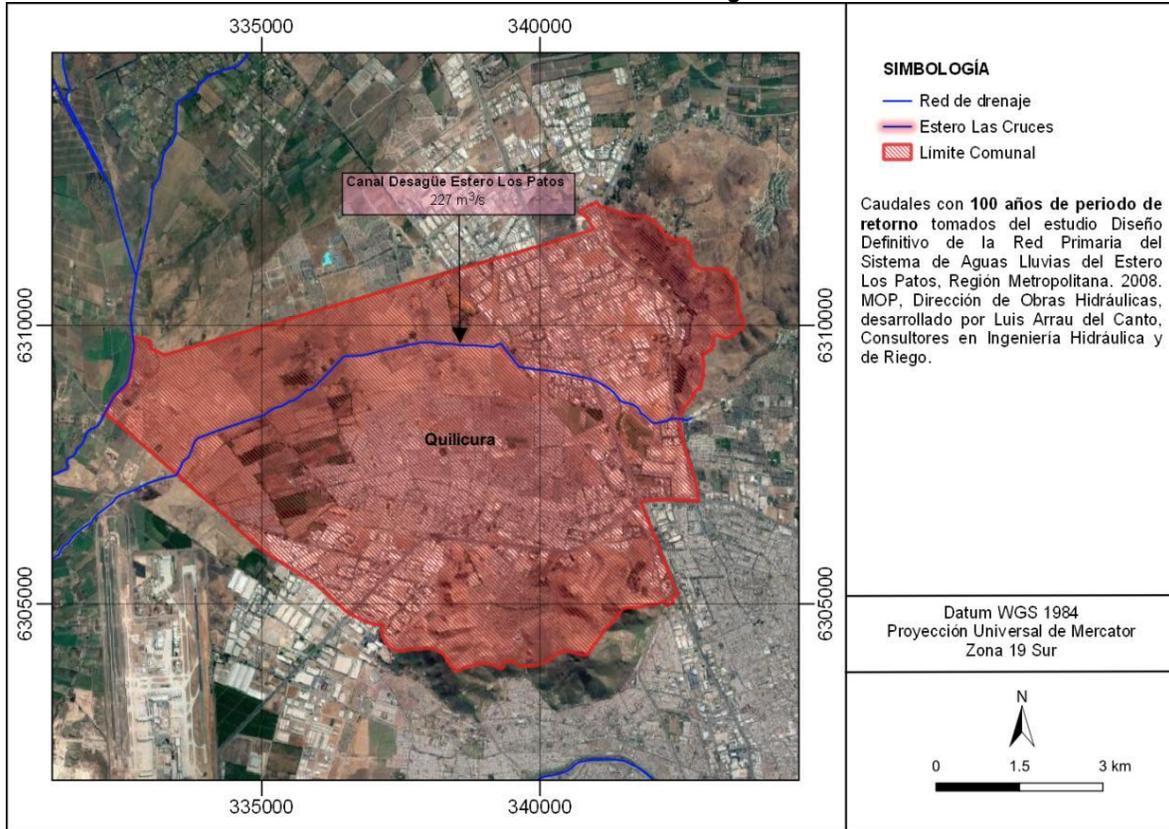
Cauce	Punto de Control	Caudal (m ³ /s)				
		5	10	25	50	100
Estero Los Patos	La Ñipa	23,35	27,27	29,57	32,46	40,30
	La Virgen	68,13	79,97	86,89	95,61	119,29
	Puente Los Patos	117,59	136,20	147,08	160,79	197,99
	Descarga Estero Los Patos A Estero Las Cruces	135,66	156,81	169,19	184,77	227,07

Fuente: Arrau (2008).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

En la la FIGURA D—9 se esquematiza el caudal del canal de Desagüe del estero Los Patos que desemboca en el estero Las Cruces.

FIGURA D—9 Caudal de salida del estero Los Patos dirigido hacia el estero Las Cruces.



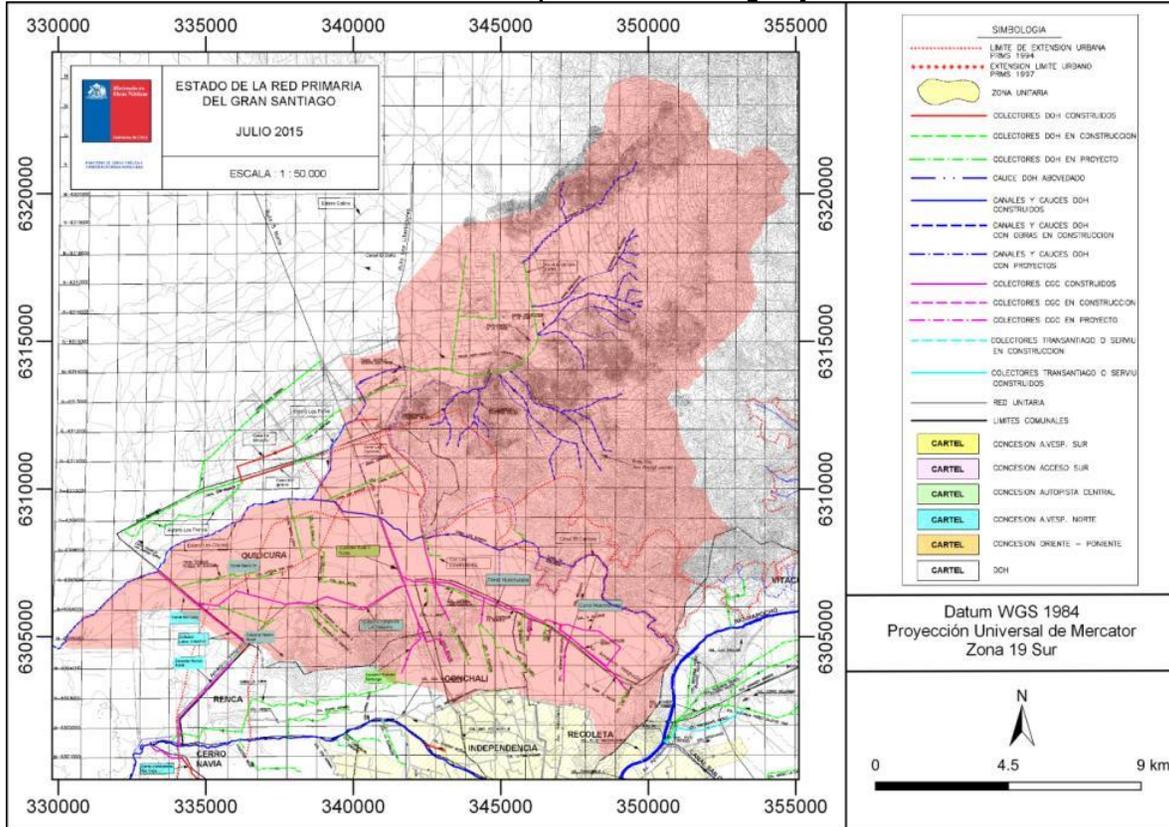
Fuente: Elaboración propia, en base a estudio estero Los Patos (Arrau, 2008).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

i. Estado de la Red Primaria de Santiago a Julio de 2015, plano escala 1:50.000, 2015,
Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas.

A continuación se presenta el plano del estado de la red primaria, a julio de 2015, elaborado por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH).

FIGURA D—10 Estado red primaria de Santiago a julio de 2015.



Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas (DOH):

ANEXO E DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO

E.1 MODELO HIDRÁULICO IBER 2D

El modelo hidráulico utilizado en este estudio es IBER 2D. Iber (Bladé, 2014) es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial.

El modelo IBER consta actualmente de tres módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros.

En el módulo hidrodinámico se resuelven las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, también conocida como 2D Shallow Water Equations (2D SWE) o ecuaciones de St. Venant bidimensionales. Dichas ecuaciones asumen a una distribución de presión hidrostática y una presión relativamente uniforme de la velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por las mareas en estuarios. Asimismo, la hipótesis de distribución uniforme de velocidad en profundidad se cumple habitualmente en ríos y estuarios, aunque pueden existir zonas en las que dichas hipótesis no se cumplan debido a flujos locales tridimensionales o acúñas salinas.

En la actualidad, los modelos numéricos basados en ecuaciones de aguas someras bidimensionales son los más usados en estudios de dinámica fluvial y litoral, evaluación de zonas inundables y cálculo de transporte de sedimentos y contaminantes.

E.2 ECUACIONES HIDRODINÁMICAS

En el módulo hidrodinámico se resuelven las ecuaciones de conservación de la masa y de momento en las dos direcciones horizontales:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} = M_s$$

$$\frac{\partial hU_x}{\partial t} + \frac{\partial hU_x^2}{\partial x} + \frac{\partial hU_xU_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} + \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g h^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + 2\Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h\tau_{xx}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{xy}^2}{\partial y} + M_x$$

$$\frac{\partial hU_y}{\partial t} + \frac{\partial hU_xU_y}{\partial x} + \frac{\partial hU_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} + \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g h^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + 2\Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h\tau_{xy}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{yy}^2}{\partial y} + M_y$$

En donde h es el calado, U_x , U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, Z_s es la elevación de la lámina libre, τ_s es la fricción en la superficie libre debido al rozamiento producido por el viento, τ_b es la fricción debido al rozamiento del fondo, ρ es la densidad del agua, Ω es la velocidad angular de rotación de la Tierra, λ es la latitud del punto considerado, τ_{xx}^2 , τ_{xy}^2 , τ_{yy}^2 son las tensiones tangenciales efectivas horizontales, y M_s , M_x , M_y son respectivamente los términos fuente/sumidero de masa y momento, mediante los cuales se realiza la modelación de precipitación, infiltración y sumideros.

Se incluyen los siguientes términos fuente en las ecuaciones hidrodinámicas:

- Presión hidrostática
- Pendiente del fondo
- Tensiones tangenciales viscosas y turbulentas
- Rozamiento del fondo
- Rozamiento superficial por el viento

- Precipitación
- Infiltración

E.2.1 Fricción de Fondo

El fondo ejerce una fuerza de rozamiento sobre el fluido que es equivalente al rozamiento con una pared, con la particularidad de que, en general, en ingeniería hidráulica la rugosidad del fondo es elevada, como ocurre en ríos y estuario.

La fricción del fondo tiene un doble efecto en las ecuaciones de flujo. Por un lado, produce una fuerza de fricción que se opone a la velocidad media y, por otro lado, produce turbulencia. Ambos efectos se pueden caracterizar por la velocidad de fricción u_f , que no es más que una forma de expresar la tensión tangencial de fondo como unidades de velocidad:

$$u_f = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}$$

Donde τ_b es el módulo de la fuerza de fricción de fondo, y ρ es la densidad del agua.

En los modelos promediados en profundidad no es posible calcular la velocidad de fricción por medio de funciones de pared estándar, tal y como se hace en los contornos tipo pared, ya que las ecuaciones no se resuelven en la dirección vertical. Por lo tanto, es necesario relacionar la velocidad de fricción u_f con la velocidad media promediada en profundidad mediante un coeficiente de fricción. La tensión de fondo se puede expresar como:

$$\tau_b = \rho u_f^2 = \rho C_f U^2$$

En donde C_f es el coeficiente de fricción de fondo. Existen diferentes expresiones que permiten aproximar el coeficiente de fricción C_f . La mayor parte de ellas asumen flujo uniforme en canal con un perfil logarítmico de velocidad en profundidad.

A diferencia de los modelos 1D, en los modelos 2D el radio hidráulico deja de definirse como área de la sección mojada entre perímetro mojado, ya que en 2D no tiene sentido el definir una sección transversal. Tomando una columna de fluido de anchura Δx y calado h , el radio hidráulico se calcularía como:

$$R_h = \frac{A}{P_m} = \frac{h\Delta x}{\Delta x} = h$$

Por lo tanto, en los modelos hidráulicos es lo mismo hablar de radio hidráulico y de calado.

La fricción de fondo se evalúa mediante la fórmula de Manning, la cual utiliza el coeficiente de Manning n como parámetro. La fórmula de Manning utiliza el siguiente coeficiente de rugosidad:

$$C_f = g \frac{n^2}{h^{1/3}}$$

E.2.2 Tensiones Efectivas

Las tensiones efectivas horizontales que aparecen en las ecuaciones hidrodinámicas incluyen los efectos de las tensiones viscosas, de las tensiones turbulentas y los términos de dispersión debido a la no homogeneidad en profundidad del perfil de velocidad.

$$\tau_{ij}^e = \tau_{ij}^v - \overline{u'_i u'_j} + D_{ij}$$

En donde τ_{ij}^v son las tensiones viscosas, $\overline{u'_i u'_j}$ son las tensiones turbulentas (también llamadas tensiones de Reynolds), y D_{ij} son los términos de dispersión lateral:

$$D_{ij} = \frac{1}{h} \int_{z_b}^{z_s} (U_i - \bar{u}_i)(U_j - \bar{u}_j) dz$$

Los términos de dispersión se desprecian en las ecuaciones 2D-SWE (hipótesis de perfil de velocidad uniforme en profundidad), debido a la imposibilidad de calcularlos de forma general con un modelo promediado en profundidad. Su importancia será menor cuanto menos uniforme sea el perfil de velocidad en profundidad. Una situación típica en la que los términos pueden cobrar importancia es en canales con codos o radios de curvatura pequeños, así como en la confluencia de canales.

Las tensiones viscosas se calculan a partir de la viscosidad cinemática del fluido (ν) como:

$$\tau_{ij}^v = \nu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

En general, excepto cerca de las paredes, y excepto en flujo laminar, el orden de magnitud de las tensiones viscosas es mucho menor que el del resto de los términos que aparecen en las ecuaciones hidrodinámicas.

Las tensiones turbulentas son varios órdenes de magnitud mayores que las tensiones viscosas, especialmente en zonas de recirculación, en donde la producción de turbulencia es elevada. En el caso de las ecuaciones de aguas someras bidimensionales las tensiones turbulentas constituyen 3 nuevas incógnitas a calcular, que sumadas al calado y a las velocidades U_x , U_y producen un total de 6 incógnitas. Esto es lo que se conoce como problema de cierre de la turbulencia, porque es necesario resolver un conjunto de 3 ecuaciones con 6 incógnitas. Debido a ello, es necesario utilizar un modelo de turbulencia que permite calcular dichas tensiones turbulentas. La mayoría de los modelos de turbulencia calculan los términos de difusión turbulenta a partir de la siguiente expresión:

$$-\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_t \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right)$$

Donde ν_t es la viscosidad turbulenta, que se calcula mediante el modelo de turbulencia. El problema radica en que no existe un modelo de turbulencia *universal*, que permite calcular de forma precisa las tensiones turbulentas, por lo que a lo largo del tiempo se han ido desarrollando diferentes modelos de mayor o menor complejidad. La formulación de Boussinesq es utilizada por todos los modelos de turbulencia incluidos en IBER.

E.2.3 Condiciones de contorno hidrodinámicas

En un problema bidimensional es necesario distinguir entre dos tipos de contornos: abiertos y cerrados. Los contornos cerrados, también llamados contornos de tipo pared, son impermeables, no permitiendo el paso del fluido a través de ellos.

E.2.3.1 Contornos cerrados

La presencia del contorno tipo pared genera una fuerza de rozamiento lateral en el fluido, de manera similar a la fricción ejercida por el rozamiento de fondo. Se pueden imponer las siguientes condiciones de contorno tipo pared:

- Condición de deslizamiento libre (tensión tangencial nula)
- Condición de fricción de pared (funciones de pared)

La condición de deslizamiento libre equivale a despreciar la tensión de rozamiento generada por los contornos tipo pared sobre el fluido. En general en ingeniería hidráulica, y especialmente en ingeniería fluvial, la superficie de contacto con los contornos laterales es mucho menor que la superficie de contacto con el fondo debido a la separación entre escalas horizontal y vertical, por lo que la fuerza de rozamiento en los contornos de pared se puede despreciar. En este caso se impondría una condición de deslizamiento libre en los contornos cerrados.

En problemas en los que la dimensión horizontal y vertical son similares (canales de sección muy estrecha) estas fuerzas de rozamiento pueden tener cierta importancia en el desarrollo del flujo, aunque en general la influencia es pequeña. Si se quiere tener en cuenta el efecto del rozamiento lateral se puede introducir una condición de contorno tipo fricción, que consiste en imponer una fuerza tangencial en dirección opuesta al flujo en el contorno. En este caso en IBER se distingue entre régimen turbulento liso y régimen turbulento rugoso en función de la rugosidad de la pared y de la velocidad del flujo en las proximidades de la pared.

La velocidad de fricción de pared (u_*) se define en función de la fricción de pared (τ_w) como:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$$

La velocidad tangencial a la pared puede expresarse como una función de la velocidad de fricción, de la altura de rugosidad y la distancia a la pared como:

$$|u| = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(E \cdot \frac{y u_*}{\nu} \right)$$

Donde y es la distancia en perpendicular a la pared, y E es un parámetro cuyo valor depende de las características del flujo. Para el cálculo de E , en IBER se consideran condiciones de flujo turbulento liso, turbulento rugoso, y transición entre turbulento liso y rugoso.

E.2.3.2 Contornos abiertos

En los contornos abiertos se pueden imponer diferentes tipos de condiciones de contorno. Para que las ecuaciones de aguas someras bidimensionales estén bien planteadas desde el punto de vista matemático, el número de condiciones a imponer en los contornos abiertos depende de si se trata de un contorno de entrada o de salida de flujo, así como del tipo de régimen en el contorno (rápido/lento). En un contorno de entrada es necesario imponer 3 condiciones de contorno si el régimen es supercrítico (una para cada una de las tres

ecuaciones de St. Venant), mientras que si se produce régimen subcrítico es suficiente con imponer 2 condiciones. En un contorno de salida es suficiente con imponer una única condición si el régimen es subcrítico, mientras que no es necesario imponer ninguna condición si el régimen es supercrítico.

Lo más habitual en hidráulica fluvial es que el flujo discorra en régimen lento en los contornos del tramo modelado. En este caso lo más habitual es imponer el calado o el nivel de la superficie libre en el contorno de aguas abajo. En el contorno aguas arriba se suele imponer el caudal total de entrada (m^3/s) y la dirección de flujo, que en general, a falta de datos más precisos, se asume perpendicular al contorno de entrada.

E.2.4 Condiciones de Contorno Internas

Las condiciones de contorno internas se utilizan para modelar estructuras hidráulicas tipo compuertas, vertederos o puentes que entran en carga.

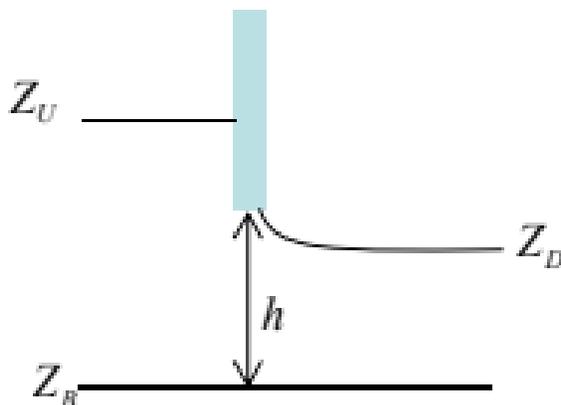
La condición de contorno interna implementada en IBER se puede utilizar para modelar las siguientes condiciones de flujo:

- Flujo bajo compuerta
- Flujo sobre vertedero en lámina libre
- Combinación de compuerta y vertedero
- Pérdida localizada

E.2.4.1 Compuerta

Se considera la condición de desagüe bajo compuerta, que puede funcionar libre o anegada. Los datos a suministrar son el coeficiente de desagüe, la cota de fondo de la compuerta, la altura de la apertura de la compuerta y el ancho de la misma. Por defecto se toma un valor del coeficiente de descarga de $C_d = 0.6$.

FIGURA E—1 Esquema de la condición de contorno interna de compuerta

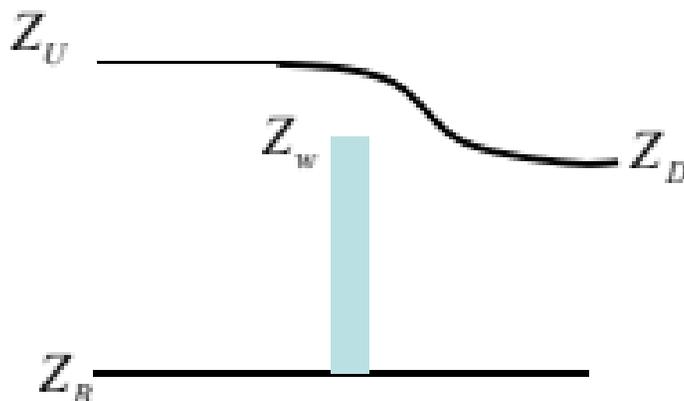


	$(Z_D - Z_B)/(Z_U - Z_B)$	Ecuación de descarga
Compuerta libre	0.00 – 0.67	$Q = C_d B h \sqrt{2g(Z_U - Z_B)}$
Transición	0.67 – 0.80	$Q = C_d B h \sqrt{6g(Z_U - Z_D)}$
Compuerta anegada	0.80 – 1.00	$Q = C_d B h \sqrt{2g(Z_U - Z_D)}$

E.2.4.2 Vertedero

Se considera la ecuación de desagüe para vertedero rectangular, que puede funcionar libre o anegado. Los datos a suministrar son la cota superior del vertedero, el coeficiente de desagüe y la longitud de vertedero. Por defecto se toma un valor del coeficiente de descarga de $C_d = 1.7$.

FIGURA E—2 Esquema de la condición de contorno interna de vertedero.

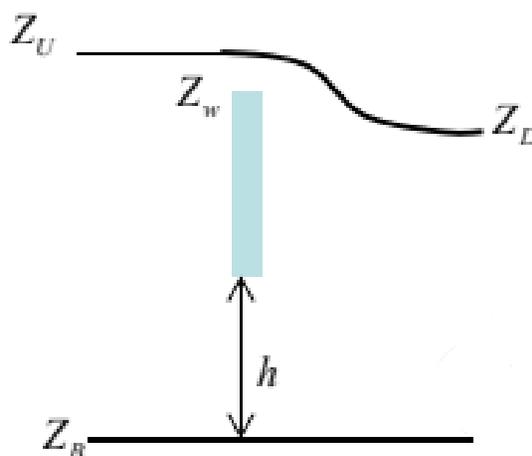


	$(Z_D - Z_W)/(Z_U - Z_W)$	Ecuación de descarga
Vertedero libre	<0.67	$Q = C_d B (Z_U - Z_W)^{1.5}$
Vertedero Anegado	>0.67	$Q = 2.6C_{dw} B (Z_D - Z_W)(Z_U - Z_D)^{0.5}$

E.2.4.3 Combinación de compuerta con vertedero

Este caso constituye una condición que combina las dos anteriores, por lo que se deben identificar tanto los parámetros de la compuerta como los del vertedero. El caudal total desagüado se obtiene de como la suma del caudal bajo compuerta y del caudal sobre vertedero.

FIGURA E—3 Esquema de la condición de contorno interna de compuerta – vertedero.



ANEXO F DEFINICIÓN DE LA RUGOSIDAD PARA EL MODELO HIDRÁULICO

Para definir las rugosidades se trabajó con el coeficiente de rugosidad de Manning, de acuerdo a la literatura correspondiente (Chow, 1994). El coeficiente de Manning, presentado por el ingeniero irlandés Robert Manning, permite trabajar la siguiente ecuación de flujo:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = A \cdot R_h^{\frac{2}{3}}$$

Dónde:

- Q : Caudal (m³/s)
- n : Coeficiente de Manning
- i : Pendiente (m/m)
- A : Área (m²)
- R_h : Radio Hidráulico

Existen diversos factores que afectan al coeficiente de rugosidad de Manning, entre los que destacan la rugosidad superficial (el tamaño y la forma de los granos), la presencia de vegetación, las irregularidades, el alineamiento, el tamaño y la forma del canal, la sedimentación y la socavación, las obstrucciones, el cambio estacional, etc. No existe un método exacto que permita determinar el coeficiente de Manning. Para el caso del cauce en se ha optado por utilizar la metodología de Cowan (1996), procedimiento para estimar el valor del coeficiente de Manning, el cual queda dado por:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m_5$$

Dónde:

- n : Coeficiente de Manning
- n_0 : Valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados
- n_1 : Corrección por efecto de las rugosidades superficiales
- n_1 : Corrección por la variación de forma y tamaño de la sección transversal
- n_3 : Corrección debido a las obstrucciones
- n_4 : Corrección por presencia de vegetación
- m_5 : Consideración del efecto de los meandros

Cada uno de estos parámetros se determina según la comparación de las características del cauce vistas en terreno versus los valores propuestos por Cowan, según se presenta en el cuadro a continuación:

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO F—1 Valores para el cálculo del coeficiente de Manning mediante método de Cowan.

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0,020
	Corte en roca		0,025
	Grava fina		0,024
	Grava gruesa		0,028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0,000
	Menor		0,005
	Moderado		0,010
	Severo		0,020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0,000
	Ocasionalmente alternante		0,005
	Frecuentemente alternante		0,010-0,015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0,000
	Menor		0,010-0,015
	Apreciable		0,020-0,030
	Severo		0,040-0,060
Vegetación	Baja	n_4	0,005-0,010
	Media		0,010-0,025
	Alta		0,025-0,050
	Muy alta		0,050-0,100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m	1,000
	Apreciable		1,150
	Severo		1,300

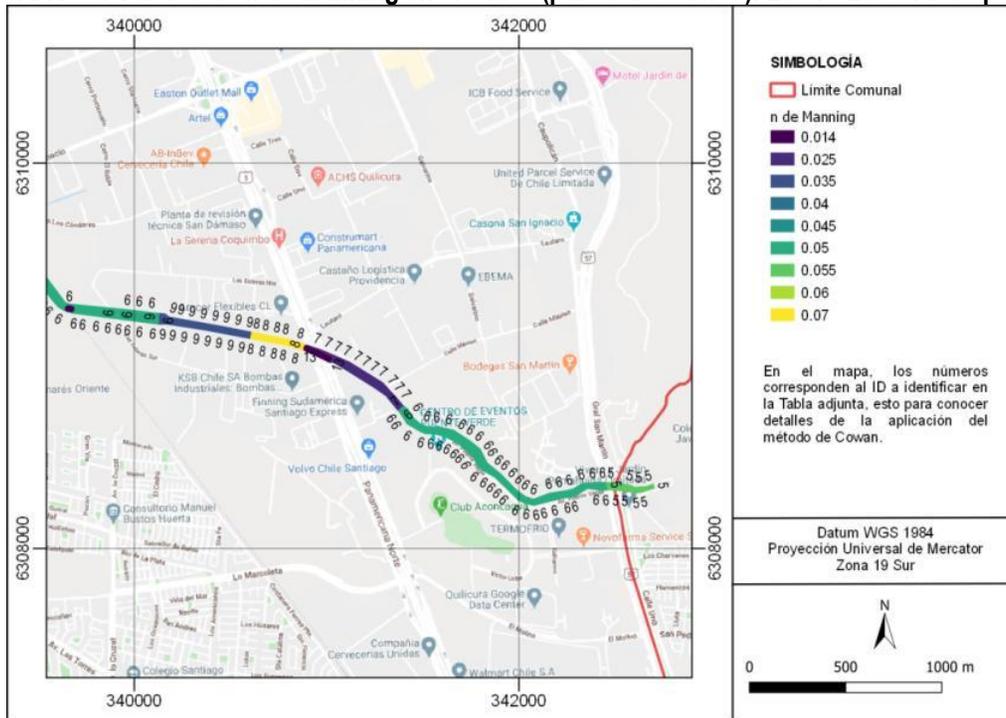
Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow (1996)

Dada las características del estado actual del estero Las Cruces, se puso especial atención a las condiciones actuales, pues la alta presencia de vegetación desfavorece las condiciones originales de los cauces, perjudicando el escurrimiento y aumentando el valor de los coeficientes de Manning.

En la FIGURA F—1, FIGURA F—2 y FIGURA F—3, se muestran los valores de rugosidad n de Manning estimados para el cauce del estero Las Cruces. En el mapa se muestra el identificador (ID) para ver el detalle del cálculo con el método de Cowan

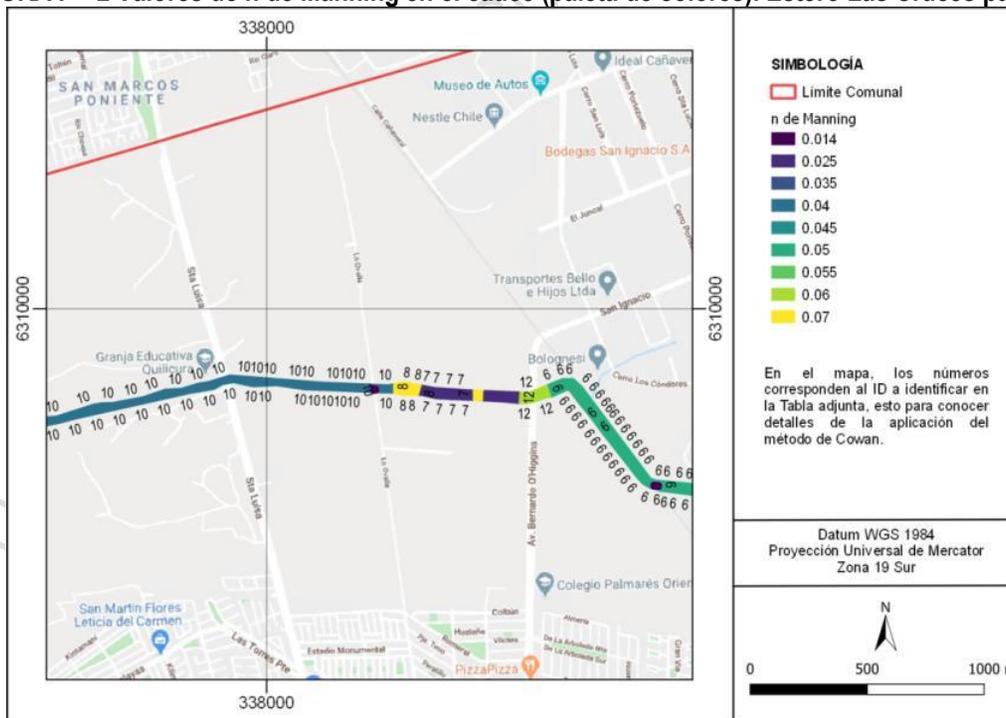
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA F—1 Valores de n de Manning en el cauce (paleta de colores). Estero Las Cruces parte 1.



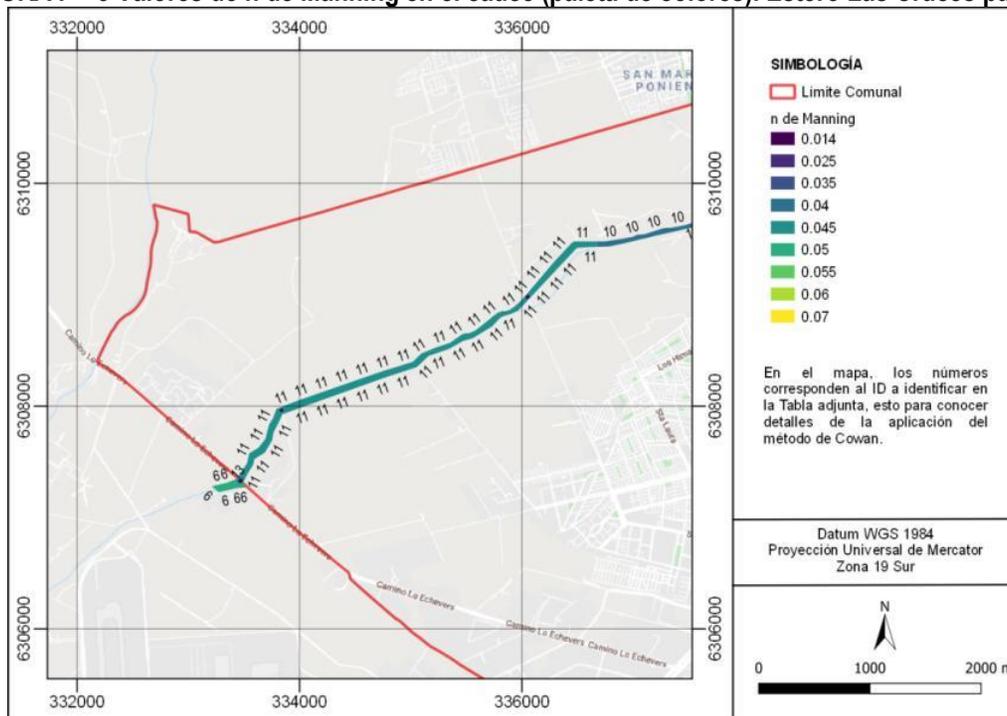
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA F—2 Valores de n de Manning en el cauce (paleta de colores). Estero Las Cruces parte 2.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA F—3 Valores de n de Manning en el cauce (paleta de colores). Estero Las Cruces parte 3.



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del valor n_0 se consideraron los valores indicados en Chow (1959), donde en específico se tomó para todos los casos el valor de 0,02 de corte en tierra, siendo el más asimilable para el cauce, incluso en las partes revestidas de hormigón. En el CUADRO F—2 se muestra un resumen con los resultados determinados, los cuales se complementan entre lo evidenciado en terreno (Anexo C) y la ortofoto acompañada del DTM.

CUADRO F—2 Valores para el cálculo de la rugosidad n mediante método de Cowan.

ID	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m_5	n de Manning
5	0,02	0,005	0,005	0	0,025	1	0,055
6	0,02	0	0	0	0,03	1	0,050
7	0,02	0	0	0	0,005	1	0,025
8	0,02	0	0	0	0,05	1	0,070
9	0,02	0	0	0	0,015	1	0,035
10	0,02	0,01	0,005	0	0,005	1	0,040
11	0,02	0,01	0,005	0	0,01	1	0,045
12	0,02	0	0,01	0	0,03	1	0,060

Fuente: Elaboración propia.

Para las planicies potencialmente inundables, el coeficiente de Manning se estimó directamente a partir de los valores entregados en las tablas especificadas por Chow (1994), las cuales se presentan a continuación. En específico, se estimaron valores de corrientes mayores (D3).

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

CUADRO F—3 Tabla con coeficientes de rugosidad de Manning tomadas de Chow (1959)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<i>b.</i> Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
<i>a.</i> Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
<i>b.</i> Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
<i>c.</i> Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
<i>d.</i> Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de <i>n</i> es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
<i>a.</i> Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	0.060
<i>b.</i> Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

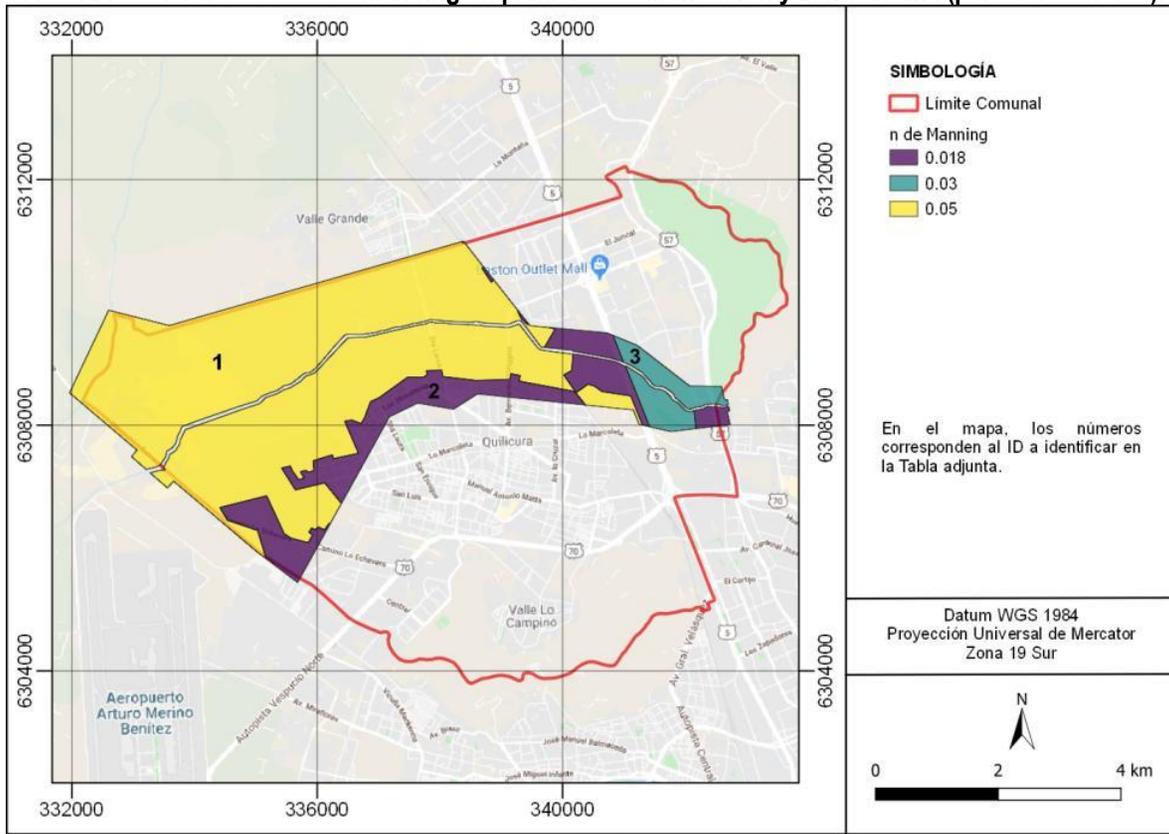
Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow (1996)

Para los sectores urbanos impermeables, se ha considerado un valor de 0,018, tomado desde literatura técnica.

En la FIGURA F—4 se presentan los valores del coeficiente de Manning para las planicies de inundación y la zona urbana.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

FIGURA F—4 Valores de n de Manning en planicies de inundación y zona urbana (paleta de colores).



Fuente: Elaboración propia.

DOCUMENTO DE AVANCE

ANEXO G DESCRIPCIÓN DE PUNTOS RELEVANTES PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA

A continuación se describen los puntos relevantes identificados, tanto por la presencia de obras de arte como por otras características que se identificaron en las visitas a terreno realizadas los días 13 de febrero de 2020, y 5 de marzo de 2020. Durante las visitas se visualizaron en terreno las características de la morfología de las cuencas, las coberturas, los tipos de suelo, y las principales características de los cauces de la zona (esteros Las Cruces, Colina, Los Patos) en la comuna de Quilicura, respecto a rugosidades, tipo de lecho, granulometría, entre otros.

a. Punto 1: Ruta G-57

- Puente Calle 1: Puente Tablero.
- Puente Ruta G-57 al Norte: Puente Tablero.
- Puente Ruta G-57 al Sur: Puente Tablero.
- Puente Verde: Puente Tablero.

El conjunto no resulta ser un punto crítico de la modelación. Los 4 tableros fueron visitados en terreno, estimando medidas para su incorporación en el modelo IBER (FIGURA G—1).

FIGURA G—1 Entrada del Canal Los Choros al estero Las Cruces. El puente es el Calle 1, caletera de la Ruta G-57 (marzo, 2020).



b. Entrada del canal Huechuraba al estero Las Cruces.

FIGURA G—2 Entrada del Canal Huechuraba al estero Las Cruces. En el fondo el estero Las Cruce. Nótese la cantidad de vegetación (febrero, 2020).



c. Estero Las Cruces entre Ruta G-57 y Ruta 5

FIGURA G—3 Estero Las Cruces 1 km aguas debajo de la Ruta G-57 (vista hacia aguas arriba). (marzo, 2020).



FIGURA G—4 Estero Las Cruces 1 km aguas arriba de la Ruta 5N (vista hacia aguas arriba). (marzo, 2020).



DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A CALIFICACIONES

d. Punto 2: Ruta 5 Norte

- Ruta 5: Alcantarilla rectangular larga.

Esta alcantarilla resulta ser un punto muy crítico dentro del modelo. En el MDT así como en imágenes satelitales se determinó una extensión de ~150 metros. En la visita a terreno se estimaron medidas asociadas a su capacidad, donde lamentablemente existía un nivel de agua (en periodo de estiaje) que difícilmente permitió identificar el fondo. Por otro lado, se descarta la posibilidad de identificar el fondo a través de los planos *as built* ya que, según lo visto en terreno, inmediatamente aguas abajo existe un tramo muy embancado, que no asegura una limpieza en el sector de la alcantarilla (que también puede estar embancada). Dada la imposibilidad de estimar una altura del agua y de poder realizar una topobatimetría, se consideraron las medidas realizadas en terreno hasta la cota del agua. En la FIGURA G—5 y FIGURA G—6 se muestran fotos tomadas en la visita.

FIGURA G—5 Estero Las Cruces antes de la Ruta 5N (vista hacia aguas abajo). (marzo, 2020).



FIGURA G—6 Estero Las Cruces después de la Ruta 5N (vista hacia aguas abajo). (marzo, 2020).



e. Punto 3: Interferencia menor

- Interferencia menor: No hay claridad de la estructura, posiblemente sea un paso peatonal.

No es un punto crítico de la modelación. Este solo se pudo identificar en el MDT y la ortofoto asociada, ya que en la visita a terreno no se tuvo acceso al estar rodeado de recintos privados del sector industrial. Se especula como un paso peatonal colocado por privados. Para su incorporación en el modelo se supusieron dimensiones mínimas.

f. Punto 4: Paso peatonal Las Esteras

- Paso peatonal Las Esteras: Estructura metálica angosta.

No es un punto crítico de la modelación. Resulta ser un paso de peatones que une las calles Las Esteras. Se tomaron dimensiones en terreno para incorporarlo al modelo.

g. Punto 5: Puente Ferrocarriles (FFCC)

- Puente Ferrocarriles: Alcantarilla Rectangular.

Punto crítico de la modelación. Lamentablemente no se pudo acceder ya que el acceso resulta ser complejo. La situación se puede asimilar al estado de la alcantarilla de la Ruta 5, y las medidas se estimaron a partir del MDT, descartando la posibilidad de tomarse a partir de los planos *as built* al rodearse de un sector que en su estado actual se encuentra muy embancado y rodeado de vegetación.

h. Punto 6: Puente O'Higgins

- Puente O'Higgins: Puente Tablero.

No resulta ser un punto crítico de la modelación. El tablero fue visitado en terreno, estimando medidas para su incorporación en el modelo IBER. Foto de la visita se muestra en la FIGURA G—7.

FIGURA G—7 Estero Las Cruces antes del puente O'Higgins (vista hacia aguas abajo). (marzo, 2020).



i. Sector descarga estero Los Patos al estero Las Cruces

FIGURA G—8 Canal de desagüe estero Los Patos en Línea de Ferrocarriles (marzo, 2020).



FIGURA G—9 Canal de desagüe estero Los Patos antes de descarga hacia estero Las Cruces (cerca de Puente Lo Ovalle), (marzo, 2020).



j. Punto 7: Puente Lo Ovalle

- Puente Lo Ovalle: Alcantarillas Rectangulares.

Punto crítico de la modelación. Fue visitado en terreno identificando tres alcantarillas cuadradas de bajas dimensiones, que permiten el paso del agua. Foto de la visita se muestra en la FIGURA G—10.

FIGURA G—10 Estero Las Cruces en puente Lo Ovalle (vista hacia aguas abajo), (marzo, 2020).



DOCUMENTO DE AV

k. Punto 8: Puente Santa Luisa

- Puente Santa Luisa al Norte: Puente Tablero.
- Puente Santa Luisa al Sur: Puente Tablero.

El conjunto no resulta ser un punto crítico de la modelación. Los 2 tableros fueron visitados en terreno, estimando medidas para su incorporación en el modelo IBER. Foto de la visita se muestra en la FIGURA G—11.

FIGURA G—11 Estero Las Cruces en puente Santa Luisa (vista hacia aguas abajo), (marzo, 2020).



I. Punto 9: Puente San Luis

- Puente San Luis: Alcantarillas Rectangulares.

Punto crítico de la modelación. Fue visitado en terreno identificando dos alcantarillas cuadradas de bajas dimensiones, que permiten el paso del agua. Foto de la visita se muestra en el FIGURA G—12.

FIGURA G—12 Estero Las Cruces en puente San Luis (vista hacia aguas arriba), (marzo, 2020).



FIGURA G—13 Estero Las Cruces visto hacia aguas abajo desde el puente San Luis, (marzo, 2020).



m. Sector Colo Colo

FIGURA G—14 Estero Las Cruces en Colo-Colo (vista hacia aguas arriba), (marzo, 2020).



n. Punto 10: Puente Sin Nombre

- Puente Sin Nombre: Alcantarillas Circulares.

Punto crítico de la modelación. Fue visitado en terreno identificando dos alcantarillas circulares de bajas dimensiones en muy mal estado (una de ellas rota) y demás rodeada de un sector con vegetación y acumulación de basura. Sin embargo se evidencia un paso del agua. A pesar de que la estructura es casi un badén se incorporaron las dos alcantarillas circulares de dimensiones mínimas. Foto de la visita se muestra en la FIGURA G—15.

FIGURA G—15 Estero Las Cruces en puente Sin Nombre (marzo, 2020).



o. Punto 11: Puente Camino Lo Echevers

- Puente Camino Lo Echevers: Alcantarillas Rectangulares.

Se considera un punto crítico de la modelación, a pesar de estar cerca de la salida del modelo. Fue visitado en terreno identificando tres alcantarillas cuadradas de bajas dimensiones, que permiten el paso del agua. Foto de la visita se muestra en el FIGURA G—16.

FIGURA G—16 Estero Las Cruces en Camino Lo Echevers (vista hacia aguas abajo), (febrero, 2020).



FIGURA G—17 Descarga del Canal San Luis al estero Las Cruces (febrero, 2020).



DOCUMENTO DE AVANCE

COMUNICACIONES

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

11. ÁREAS DE RIESGO GENERADOS POR LA ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA

Este documento corresponde a aquella parte del Estudio de Riesgos de la Memoria Explicativa de la Actualización del Plan Regulador Comunal de Quilicura, que identifica las áreas de riesgo generadas por la actividad o intervención humana que existen en la Comuna de Quilicura

Los resultados de este trabajo corresponden a la identificación y zonificación de las áreas urbanas susceptibles a ser afectadas por algún peligro generado por la actividad o intervención humana de acuerdo a lo establecido en el numeral 4 del artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)⁸.

La zonificación aquí presentada sirve de base para definir si se aplica o no sobre dichas áreas la calificación de Área de Riesgo, con las consecuencias normativas que ello conlleva.

11.1. Alcance y limitaciones

Para la elaboración de este documento, se han revisado diversos antecedentes provenientes de documentos escritos, fotos, imágenes aéreas y satelitales, testimonios, recorridos de terreno, entre otros, que dan cuenta de las consecuencias de la actividad o intervención humana en la comuna de Quilicura y que pudiera fundamentar incluir partes de ese territorio comunal como un Área de Riesgo en la categoría 4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana a que se refiere el artículo 2.1.17. de la OGUC.

Las **limitaciones** más importantes son: i) no existe documentación sistemática que dé cuenta de la naturaleza de los materiales vertidos en los terrenos analizados. ii) imposibilidad de hacer ingreso a los terrenos que se analizan por impedimento directo de sus propietarios, por lo que no ha sido posible corroborar en terreno los antecedentes secundarios tenidos a la vista o referidos por diversas personas.

11.2. Normas provenientes del PRMS⁹

El Título 8° Área Restringida o Excluida al Desarrollo Urbano del PRMS, establece normas referidas a la definición de Áreas de Riesgos.

De todas las normas allí establecidas, para el caso de la comuna de Quilicura, solamente es dable aplicar el numeral 4 del último párrafo del artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones¹⁰ en los riesgos establecidos en el Artículo 8.2.1.2. De Derrumbe y asentamiento del Suelo, ya que el resto está referido a otro tipo de riesgos o bien caben en la categoría de Zona No Edificable, definida en el tercer inciso del Artículo 2.1.17. OGUC.

El texto del Artículo 8.2.1.2. PRMS es el siguiente:

Artículo 8.2.1.2. De Derrumbe y Asentamiento del Suelo

⁸ Versión 10 Julio 2019.

⁹ Plan Regulador Metropolitano de Santiago

¹⁰ Artículo 2.1.17. OGUC, se refiere a las áreas restringidas al desarrollo urbano que podrán ser definidas en los planes reguladores, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA

Estudio de riesgos y protección ambiental

Corresponden a áreas que presentan inestabilidad estructural por estar constituidas por rellenos artificiales o por corresponder a pozos originados por actividades extractivas de materiales pétreos, áridos, arcillas y puzolanas.

En este sentido los vocablos “rellenos artificiales” resultan claves para la aplicación de este artículo en el caso de Quilicura.

Es preciso agregar además que el artículo 2.1.17. OGUC vigente a la fecha, señala que en los Planes Reguladores se podrán definir, zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana, sobre lo cual la División de Desarrollo Urbano del MINVU ha emitido dos Circulares (Circular N° 269 de fecha 18.06.2014 – DDU 350 y, Circular N° 272 de fecha 05.08.2014 – DDU 0417).

11.3. Identificación de áreas de riesgo

11.3.1. Rellenos sector norte

Una parte importante de los terrenos del sector norte de la comuna de Quilicura ha sido utilizada desde la década de 1990 como destino de materiales varios de desechos, escombros y materiales sacados de excavaciones de obras civiles (obras subterráneas, túneles y similares). Esta actividad se ha realizado sin que existan registros ni controles sobre ella. Se desconoce qué tipo de materiales se han acopiado, su naturaleza, composición o procedencia. Tampoco existen registros de volúmenes y también se desconocen aspectos técnicos de la forma en que ellos han sido depositados.

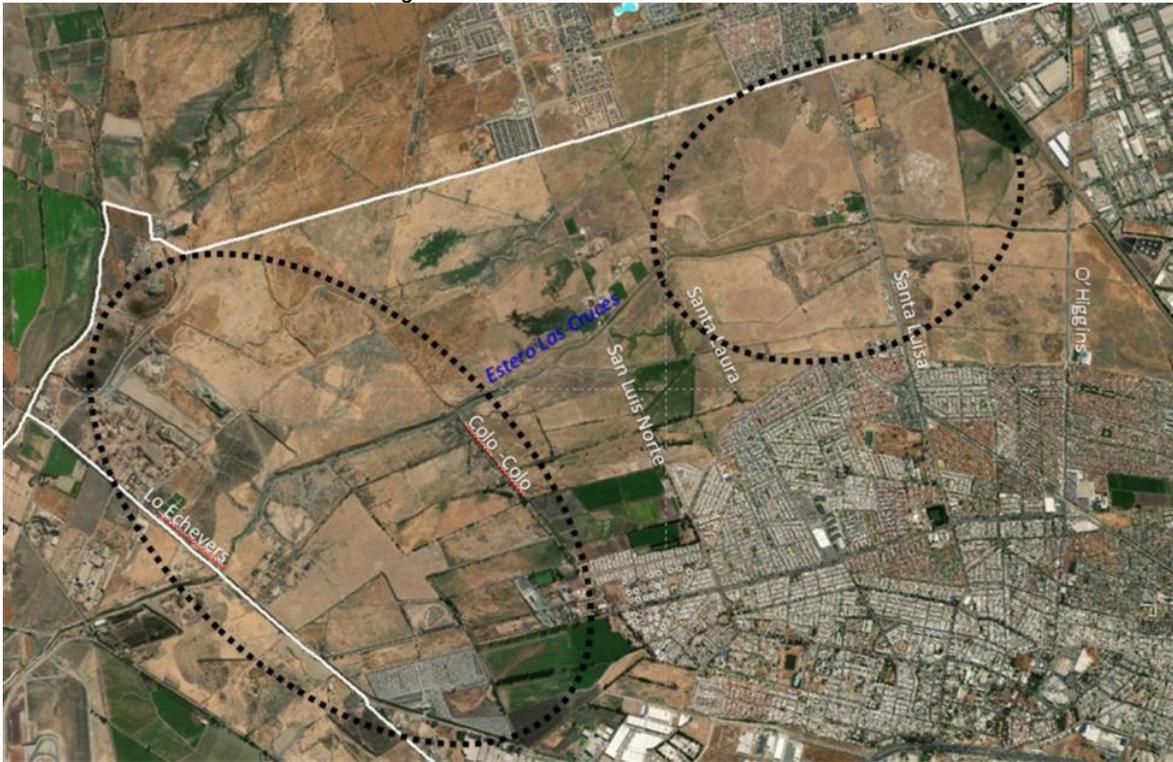
Con todo, estos rellenos han modificado significativamente la topografía del lugar, con rellenos de diversas alturas y formas. En las Figuras siguientes se muestran los lugares que ha sido rellenados y secciones transversales que muestran ejemplos de las alturas de algunos de ellos. A modo de ejemplo, el relleno más alto en el sector San Luisa alcanza (enero 2020) una altura de 9.0 m sobre el nivel de calle Santa Luisa en tanto en el sector de Lo Echevers, uno de los rellenos está 12.7 m más alto que Lo Echevers.

El efecto de estos rellenos es el cambio sustancial del suelo, la topografía y el escurrimiento de las aguas superficiales. La eliminación del suelo natural a afectando la biodiversidad preexistente, en especial los sectores al norte del Estero Las Cruces que formaban parte del Área Prioritaria de Protección de la Biodiversidad Humedales de Batuco.

La naturaleza desconocida de los materiales depositados, la existencia de algunas denuncias a la autoridad sobre el acopio de materiales peligrosos, las denuncias verbales recogidas en actividades de participación ciudadana y otros antecedentes secundarios indican que en esos rellenos podrían haber acopiado materiales peligrosos o contaminantes que pudieran poner en riesgo la salud humana o la biodiversidad, y por tanto sería mérito suficiente para utilizar la figura normativa definir un Área de Riesgo aplicando el numeral 4 del último párrafo del artículo 2.1.17. de la OGUC, a estableciendo esas áreas como Zonas o terrenos de riesgos generados por la actividad o intervención humana.

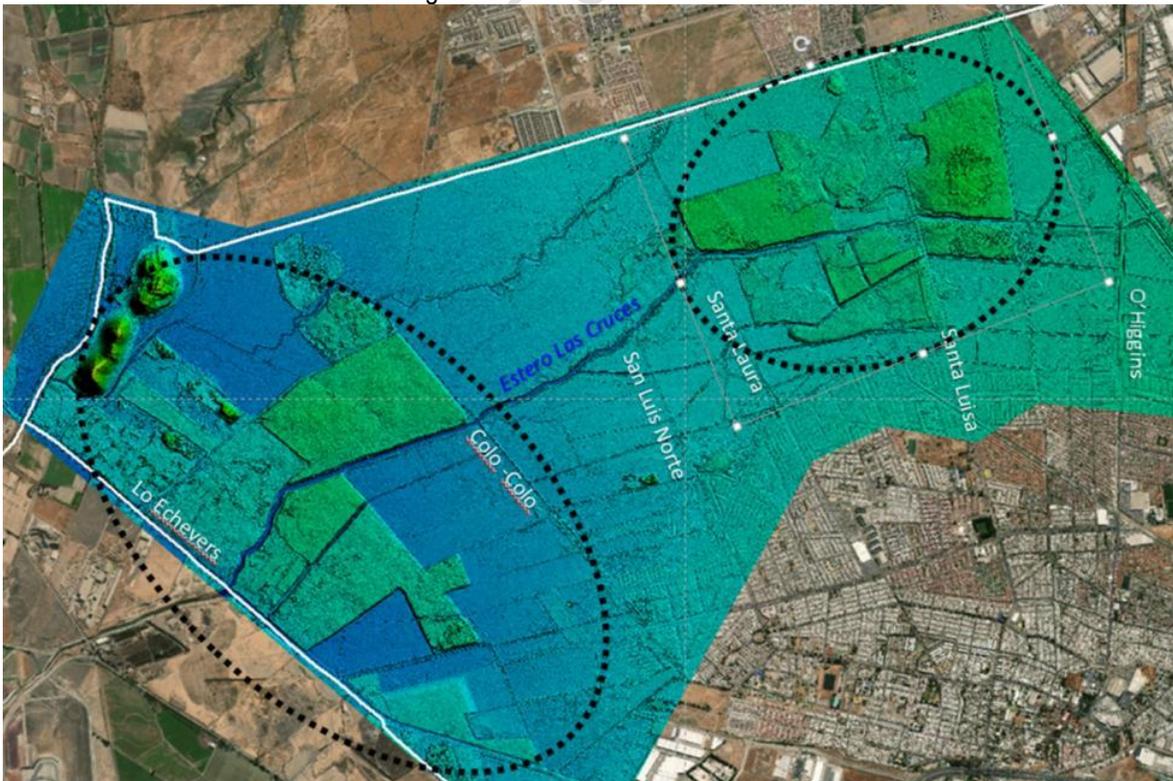
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
Estudio de riesgos y protección ambiental

FIGURA N° 11—1 Imagen satelital de los rellenos en el sector Estero Las Cruces



Fuente. Elaboración propia sobre imagen Open Source World Imagery (fecha desconocida)

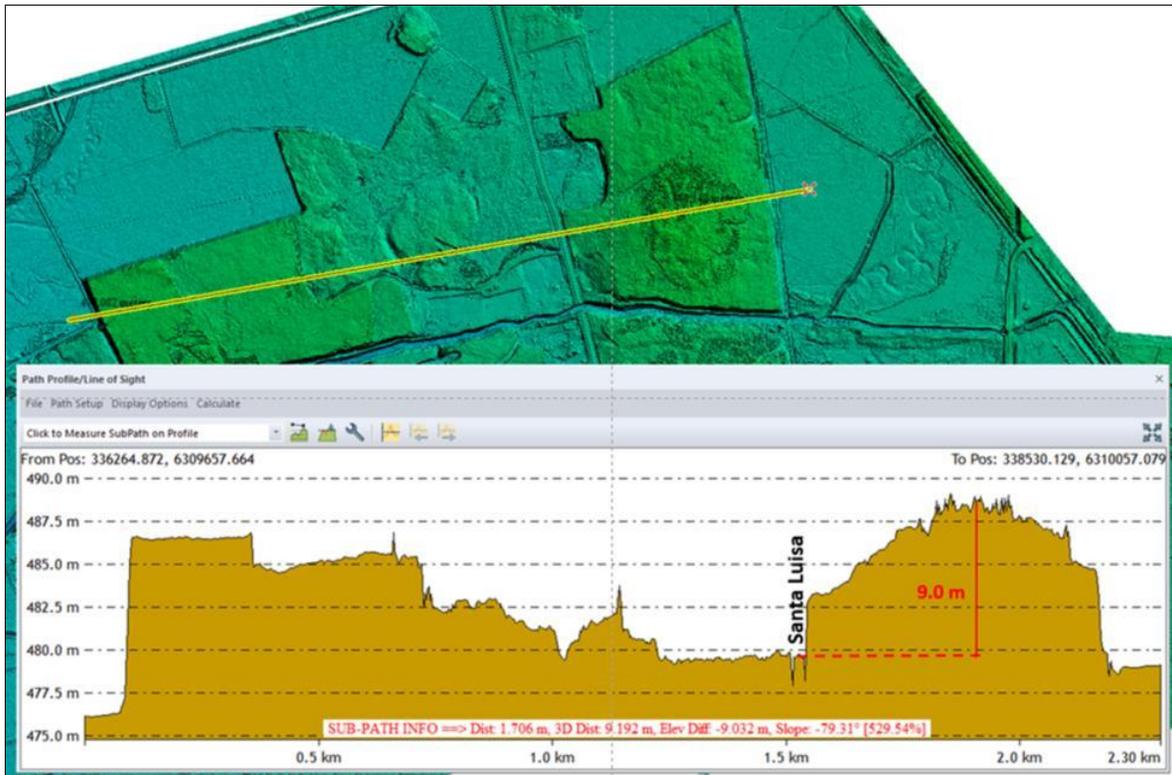
FIGURA N° 11—2 Imagen 3D de los rellenos en el sector Estero Las Cruces



Fuente. Elaboración propia sobre MDT de 0.5m levantado en enero 2020

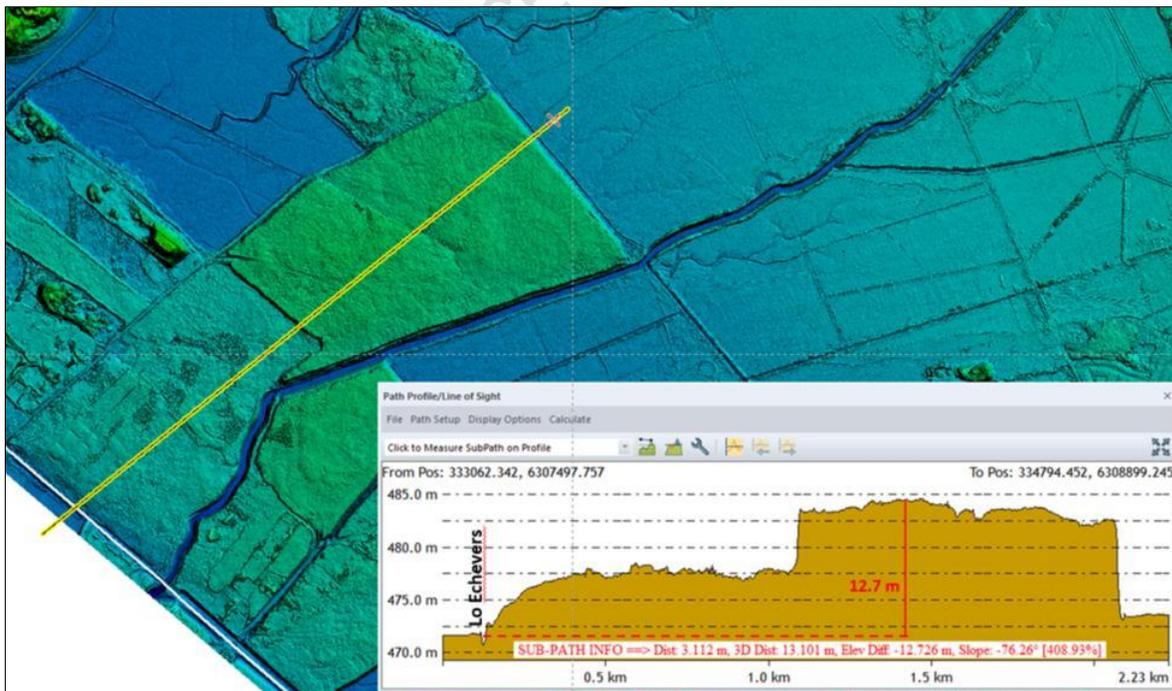
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
Estudio de riesgos y protección ambiental

FIGURA N° 11—3 Sección transversal en sector Santa Luisa



Fuente. Elaboración propia sobre MDT de 0.5m levantado en enero 2020

FIGURA N° 11—4 Sección transversal en sector Lo Echevers



Fuente. Elaboración propia sobre MDT de 0.5m levantado en enero 2020

11.3.2. Ex vertedero Cerros de Renca

En la ladera nor-oriental del Cerro Renca, en un terreno de aproximadamente 86.2 hectáreas, funcionó entre 1978 y el año 1996 un vertedero que operó recibiendo residuos sólidos domiciliarios de diversas comunas de Santiago. Ese año, 1996, por resolución de la autoridad sanitaria (ex SESMA) fue clausurado debido a su agotamiento como sitio de disposición final (término de su vida útil). En el año 2004 se elaboró un plan de cierre y se realizaron algunas obras para conducir los líquidos percolados a piscinas de lixiviación, el control de las emisiones de gas y una cubierta con capas de arcilla. Sin embargo, diversos documentos e informes muestran que el plan de cierre nunca se realizó a cabalidad y que hasta el día de hoy persisten serios problemas.

En el capítulo 5.5.4.2 del Estudio de Diagnóstico Comunal del cual forma parte este informe, se detallan diversos aspectos de su devenir. En las siguientes Figuras se muestra su ubicación y una vista.

FIGURA N° 11—5 Vista General del Terreno ocupado por el Ex Vertedero Cerros de Renca



Fuente: Elaboración propia en SIG .Representación Google Earth

FIGURA N° 11—6 Imagen aérea del Ex Vertedero Cerros de Renca



Foto: tomada del sitio web <https://prezi.com/laedwat94pbx/caso-ex-vertedero-de-quilicura/>

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
Estudio de riesgos y protección ambiental

Los antecedentes indican que se trata de un pasivo ambiental que contiene residuos domiciliarios, pero sin que exista certeza tampoco que pueda contener otro tipo de residuos ya que no existen registros de la manera en que fue gestionado y supervisado el tipo de residuos allí depositados.

Ante tal incertidumbre, es posible suponer que el ex Vertedero Cerros de Renca es un área que contiene suelos con potencial presencia de contaminantes y por tanto es dable declararla como Área de Riesgo de acuerdo al numeral 4. del Artículo 2.1.17. OGUC: Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana, materia en todo caso que corresponde decidir al proceso de planificación.

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

12. ZONAS NO EDIFICABLES

El artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones referido a Áreas Restringidas la Desarrollo Urbano, en su inciso tercero define las zonas no edificables de la siguiente manera:

Por “zonas no edificables”, se entenderán aquellas 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.”

Luego, en su inciso sexto señala:

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

En este marco, este estudio identifica las obras de infraestructura peligrosa situadas al interior del área en planificación, identifica las obras de infraestructura peligrosa ubicadas fuera del área en planificación pero que su franja o radio de protección afecta el área en planificación, identifica los cuerpos legales que dan origen a la protección y señala gráficamente en los planos las franjas o radios de protección aplicables.

Cabe notar que el Plan Regulador Metropolitano de Santiago, en su capítulo 8.4., denomina estas zonas como Áreas de Resguardo de Infraestructura Metropolitana. Por esta razón, en adelante se usará el término Área de Resguardo en lugar de Zona No Edificable.

12.1. Infraestructura peligrosa en el área de planificación

En la comuna de Quilicura se identifican las siguientes áreas de resguardo:

- Área de resguardo de infraestructura de transporte correspondiente al aeropuerto Arturo Merino Benítez regulado por:
 - Decreto N° 173 del 19/02/2004, del Ministerio de Defensa Nacional, D.O. 19/02/2004
 - Artículo 8.4.1.3. PRMS.
- Área de resguardo de vías ferroviarias ubicadas en los terrenos de EFE entre el límite urbano sur y el límite urbano norte, regulada por:
 - Ley General de Ferrocarriles, Decreto 1.157 de 1931 y sus modificaciones posteriores (artículo 34, 35, 36 y 42 de la LGF)
 - Artículo 8.4.1.1. PRMS.
- Faja de seguridad de Líneas de Alta Tensión de 220 KV que corren por Av. Las Torres y Faja de seguridad de Líneas de Alta Tensión de 110 KV que corren por el sector cerro San Ignacio hacia el Cerro Renca, ambas reguladas por:
 - los Artículos 108 al 111 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, NSEG 5. E.n.71. (Superintendencia de Electricidad y Combustibles)
 - Literal b. del Artículo 8.4.3. del PRMS.
 - Último inciso del Artículo 5.1.9. de la OGUC que señala: “No se autorizarán construcciones de ningún tipo debajo de las líneas de alta tensión ni dentro de la franja de servidumbre de las mismas.”

12.1.1. Área de resguardo del Aeropuerto Arturo Merino Benítez

12.1.1.1. Infraestructura presente en el área de planificación

La infraestructura que da origen al área de resguardo, las pistas del aeropuerto AMB, no se encuentra en la comuna de Quilicura, sin embargo la extensión territorial de los resguardos sí tienen efectos en el territorio comunal. En la Figura siguiente se muestran las áreas afectadas por las áreas de resguardo b), d), e) y f) contenidas en la legislación de origen.

FIGURA N° 12—1 Áreas de Resguardo del Aeropuerto Arturo Merino Benítez sobre Quilicura.



Fuente: Elaboración propia. Extracto del Plano Restricciones Normativa Intercomunal.

12.1.1.2. Cuerpos legales que dan origen a la protección

El cuerpo legal que establece la zona de protección que afecta una pequeña porción de la comuna de Quinta Normal es el Decreto N° 173 del Ministerio de Defensa Nacional, D.O. 19/02/2004, a través del cual se aprobó Plano PP-03-01 (escala 1:20.000), confeccionado por la Dirección de Aeronáutica Civil que determinó las Zonas de protección para el aeropuerto "Arturo Merino Benítez y sus radioayudas".

Sobre el territorio de la comuna de Quilicura tienen efectos las restricciones establecidas por las siguientes áreas:

AREA "b": Es el terreno comprendido bajo la superficie de las trayectorias de aproximación -despegue. Esta área para la Pista existente 35-17 y para la Pista en proyecto 35L-17R, se ubica en los siguientes 1.500 m.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA

Estudio de riesgos y protección ambiental

medidos a continuación del término del Área "a". Para el sector Sur de la pista existente 35-17, esta área se ubica en los siguientes 1.192 m. medidos a continuación del término del Área "a". Esta área constituye una zona de mediano riesgo de accidentes de aviación, y la restricción de altura quedará determinada por la superficie de rasante aplicada a partir de los extremos frontales de la franja de pista, con una pendiente del 1,4%. Se exceptúa de lo anterior, el sector Sur de la pista existente 35-17, la cual por tener el umbral de pista desplazado para las aproximaciones, se aplicará una pendiente de 2%, medidos a partir de los extremos frontales de la franja de pista.

ÁREA "d": Es el terreno comprendido bajo la superficie horizontal interna del Aeropuerto, definida por arcos de círculo de 4.000 m. de radio, centrados en los extremos de la pista y unidos por líneas rectas tangentes. La restricción de altura, para ambas pistas, para el Área "d" es uniforme, de 45 m. medidos desde el nivel medio de las pistas.

ÁREA "e": Es el terreno comprendido bajo la superficie cónica del Aeropuerto, en una franja concéntrica al Área "d". Tiene 2.000 m. de ancho, medidos hacia el exterior y a continuación del Área "d".

La restricción de altura para el Área "e", quedará determinada por la superficie de rasante aplicada a partir del límite exterior del Área "d", a una altura de 45 m., medidos del nivel medio de las pistas y con una pendiente del 5% hacia el exterior.

ÁREA "f": Es el terreno comprendido bajo la superficie de transición de las pistas. Esta área para la Pista existente 35-17 y para la Pista en proyecto 35L-17R, se ubica en franjas laterales y paralelas a la Franja de Pista, de 315 m. de ancho, medidos a cada costado de la Franja de Pista. La restricción de altura para el Área "f" quedará determinada por la superficie de rasante aplicada a partir de los bordes laterales de la Franja de Pista, con una pendiente de 14,3% hacia el exterior de la franja, hasta alcanzar una altura de 45 m. medidos con referencia al nivel de la pista.

Las zonas de protección a la navegación aérea quedan incorporadas automáticamente a los "Planos Reguladores Urbanos". El Plan PRMS se refiere a esta materia en su artículo 8.4.1.3.

En relación a la aplicación del Decreto 173 del año 2004, existió un pronunciamiento de la División Jurídica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, respecto de la Toma de Razón con alcance, que cursó la Contraloría General de la República el que se presenta en la Figura 3-2 siguiente.

Se hace notar que ni el "ÁREA "a" ni el "ÁREA "c" afectan territorio de Quilicura.

12.1.1.3. Plano

En el plano de Áreas Restringidas al Desarrollo Urbano (PRCQ-R) se encuentran graficadas las líneas que representan las áreas de restricción de altura aeropuerto AMB. Este trazado en el Plano del Plan es indicativo debido a que el plano válido para todo efecto es el oficial que acompaña el Decreto 173 de 2004, confeccionado por la Dirección General de Aeronáutica Civil (Plano PP-03-01 escala 1:20.000).

12.1.2. Fajas de resguardo de vías ferroviarias

12.1.2.1. Infraestructura presente en el área de planificación

El área de planificación es cruzada de norte a sur por vías férreas de la Empresa de Ferrocarriles del Estado, entre el límite comunal sur (comuna de Renca) y el límite comunal norte (comuna de Lampa). Se trata de la línea férrea principal que comunica con el norte del país y el puerto de Valparaíso

FIGURA N° 12-2 Trazado de línea férrea en Quilicura



Fuente: Elaboración propia sobre imagen Google Earth

12.1.2.2. Cuerpos legales que dan origen a la protección

Las franjas de resguardo de las líneas férreas están contenidas en los artículos 34, 35, 36 y 42 de la Ley N°1.157 del 13/07/1931 modificada por Ley N°18021 del 28/08/1981, que señala (textual):

Art. 34. En los terrenos colindantes con un ferrocarril y a menos de distancia de veinte metros de la vía, no es permitido:

- 1. Abrir zanjas, hacer excavaciones, explotar canteras o minas, hacer represas, estanques, pozos o cualquiera otra obra de la misma clase que pueda perjudicar a la solidez de la vía;*
- 2. Construir edificios de paja o de otra materia combustible;*
- 3. Hacer depósitos o acopios de materiales inflamables o combustibles.*

Art. 35. Es igualmente prohibido, a menos de 5 metros de distancia de la vía:

- 1. Construir edificios o fachadas u otras obras elevadas de más de 5 metros de alto sobre el nivel de la vía;*
- 2. Dar a los muros o cierros que se construyan, salida sobre la vía. Podrá, sin embargo, abrirse salidas, con permiso de la autoridad, en los predios que el ferrocarril partiere; y*
- 3. Hacer depósitos o acopios de frutos, materiales de construcción o cualesquiera otros objetos.*

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
Estudio de riesgos y protección ambiental

Art. 36. Tampoco se podrá:

1. Construir muros o cierros a menos de dos metros de distancia de la vía. En ningún caso, los cierros podrán construirse de materias inflamables o combustibles;
2. Hacer plantaciones de árboles a menos de doce metros;
3. Ejercer el derecho de cortar los árboles plantados a esa distancia sin el permiso de la autoridad gubernativa del departamento, concedido con previa audiencia de la empresa. Lo mismo se observará para la corta de los árboles situados a menor distancia que existieren al tiempo de construirse el ferrocarril.

Art. 42. La distancia de que se habla en los artículos 34, 35 y 36, se medirá horizontalmente desde el pie de los taludes de terraplenes, desde la arista superior de los cortes y a falta de unos y otros, desde una línea que corra paralela y a metro y medio de distancia del riel exterior.

Asimismo es dable considerar lo dispuesto en el artículo 8.4.1.1. de la ordenanza del PRMS, la cual establece (textual):

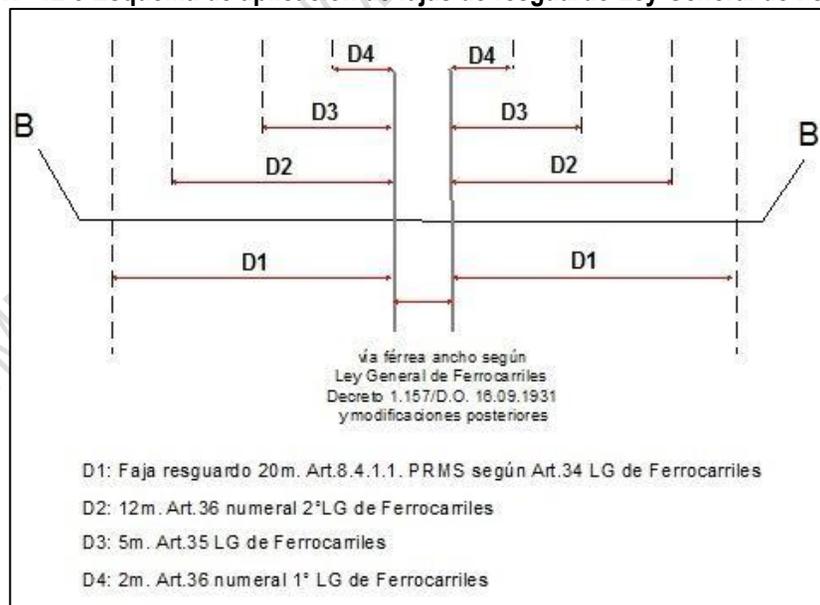
Artículo 8.4.1.1 Fajas de Resguardo de Vía Ferroviarias

Corresponden a los terrenos colindantes con la vía férrea, cuyo ancho es de 20 m a ambos costados, conforme al artículo 34 de la Ley general de Ferrocarriles, en las cuales no se podrá efectuar construcciones definitivas, salvo las necesarias para la operación del propio ferrocarril.

12.1.2.3.Plano

En el Plano Áreas Restringidas al Desarrollo Urbano (PRCQ-R) se encuentra graficado un sector u área que representa la máxima de 20 metros de acuerdo a la Ley General de Ferrocarriles, a partir de la línea férrea más externa. No obstante, al interior de ellas deberán entenderse las demás restricciones estipuladas en los artículos 34, 35 y 36 y medidas según el artículo 42 de la misma Ley acogidas como restricciones por el Plan Regulador Comunal.

FIGURA N° 12-3 Esquema de aplicación de fajas de resguardo Ley General de Ferrocarriles



Fuente: SEREMI MINVU Región Metropolitana.

D1: Corresponde a la Faja de Resguardo de 20 (m), según el Artículo 8.4.1.1. del PRMS y el Artículo 34 de la Ley General de Ferrocarriles.

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA

Estudio de riesgos y protección ambiental

El Artículo 34 de la Ley General de Ferrocarriles menciona que “en los terrenos colindantes con un ferrocarril y a menos de una distancia de veinte metros de la vía, no es permitido:

1. Abrir zanjas, hacer excavaciones, explotar canteras o minas, hacer represas, estanques, pozos o cualquiera otra obra de la misma clase que pueda perjudicar a la solidez de la vía;
2. Construir edificios de paja o de otra materia combustible; y
3. Hacer depósitos o acopios de materiales inflamables o combustibles.

Asimismo, el Artículo 8.4.1.1. Fajas de Resguardo de Vías Ferroviarias del PRMS menciona que, en terrenos colindantes con la vía férrea, cuyo ancho es de 20 m a ambos costados, “no se podrá efectuar construcciones definitivas, salvo las necesarias para la operación del propio ferrocarril”.

D2: Corresponde a la Faja de Resguardo de 12 (m), según el numeral 2° del Artículo 36 de la Ley General de Ferrocarriles, en el cual se menciona que “no se podrá hacer plantaciones de árboles”.

D3: Corresponde a la Faja de Resguardo de 5 (m), según el Artículo 35 de la Ley General de Ferrocarriles, en el cual se menciona que está prohibido:

1. Construir edificios o fachadas u otras obras elevadas de más de 5 metros de alto sobre el nivel de la vía;
2. Dar a los muros o cierros que se construyan, salida sobre la vía. Podrá, sin embargo, abrirse salidas, con permiso de la autoridad, en los predios que el ferrocarril partiere; y
3. Hacer depósitos o acopios de frutos, materiales de construcción o cualesquiera otros objetos.

D4: Corresponde a la Faja de Resguardo de 2 (m), según el numeral 1° del Artículo 36 de la Ley General de Ferrocarriles, en el cual se menciona que no se podrá “construir muros o cierros”.

Todas las distancias se miden de acuerdo al Artículo 42 de la Ley General de Ferrocarriles, en el cual se menciona que “la distancia de que se habla en los artículos 34, 35 y 36, se medirá horizontalmente desde el pie de los taludes de terraplenes, desde la arista superior de los cortes y a falta de unos y otros, desde una línea que corra paralela y a metro y medio de distancia del riel exterior”.

12.1.3. Fajas de resguardo de líneas de alta tensión eléctrica

12.1.3.1. Infraestructura presente en el área de planificación

El área de planificación es cruzada por dos líneas de alta tensión: línea Cerro Navia – Lampa de 220 KV y línea Batuco – Cerro Navia de 110 KV.

La línea de 220 KV corre en sentido norte-sur. En el área urbana consolidada está sobre un bien nacional de uso público en la platabanda central de Av. Las Torres. Cabe señalar que existen tramos en los cuales aún no se materializa la vía pública.

La Línea de 110 KV corre en su parte norte sobre el Cerro San Ignacio, para luego girar hacia el poniente por la comuna de Huechuraba para luego volver a atravesar por el sector enlace Vespucio Ruta 5 hacia el Cerro Renca. Tiene un ramal por la platabanda central de Av. San Ignacio.

FIGURA N° 12-4 Trazado de líneas de alta tensión en Quilicura



12.1.3.2. Cuerpos legales que dan origen a la protección

La determinación de la franja de resguardo de las líneas de alta tensión se basa en los artículos 108 y 111 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, NSEG 5. E.n.71. (Superintendencia de Electricidad y Combustibles), aprobado por el Decreto N°4.188 del Ministerio del Interior de fecha 22/09/1955.

Artículo 108.

No podrán construirse líneas aéreas de cualquier categoría sobre edificios existentes, ni hacer construcciones debajo de las líneas aéreas existentes, salvo casos especiales que autorice expresamente la Dirección.

Artículo 109.

- 1. La separación entre un edificio o construcción y el conductor más próximo de una línea aérea de cualquier categoría deberá ser tal que no haya peligro para las personas de entrar en contacto con dicho conductor, por inadvertencia, sin el uso de medios especiales. En los casos normales deberán respetarse las separaciones mínimas que establecen las disposiciones que siguen en este mismo artículo. En los casos especiales resolverá la Dirección.*

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
Estudio de riesgos y protección ambiental

2. Como zona expuesta de un edificio o construcción, frente a un conductor, se considerará:
 - Para líneas de Categoría A, las partes exteriores del edificio o construcción ubicadas a menos de 1.50 m. sobre el nivel del conductor y a menos de 2 m. bajo dicho nivel.
 - Para líneas de Categoría B, las partes exteriores del edificio o construcción ubicadas a menos de 2 m. sobre el nivel del conductor y a menos de 2.50 m. bajo dicho nivel.
 - Para las líneas de categoría C, igual que para categoría B, pero aumentadas las distancias en 1 cm. por cada Kv. de tensión nominal en exceso de 25 Kv.
3. La distancia entre el conductor y un plano vertical paralelo a la dirección de la línea y que pase por el punto más saliente de la zona expuesta, deberá ser por lo menos la siguiente:
 - 1.30 m. para las líneas de la categoría A.
 - 2.00 m. para las líneas de la categoría B.
 - 2.50 m. más 1 cm. por cada Kv. de tensión nominal, en exceso sobre 25 Kv., para las líneas de la de categoría C.
4. Si en toda la extensión de la zona expuesta no existieran ventanas u otros elementos a los cuales tengan normalmente acceso las personas, las distancias especificadas en el inciso anterior podrán reducirse en 0.50 m.
5. Para los efectos de los incisos anteriores del presente artículo se considerarán los conductores desviados por efecto del viento. En todo caso se supondrá una desviación mínima de 30° respecto de la vertical.

El tercer inciso del literal b Sub-Estaciones y Líneas de Transporte de Energía Eléctrica del artículo 8.4.3 de la Ordenanza del PRMS (Resolución N°20 del 06/10/1994 y sus modificaciones) establece lo siguiente:
Para los efectos de la aplicación del presente Plan Metropolitano, se consideran las siguientes fajas de protección cuyas dimensiones dependen de la tensión de la red medida en Kilovolt.

CUADRO N°3-1 Fajas de protección de líneas de alta tensión.

Usos de Suelo Permitidos	Distancia Mínima a cada Costado del Eje de la Línea Según Tensión Tensión (KV) Faja Protección (m) a eje/ancho total		
- Equipamiento de:			
Áreas Verdes	66	7 m	14 m
(se considerarán solo árboles frutales u ornamentales aislados que no sobrepasen los 4 m de altura).	110	10 m	20 m
	154	15 m	30 m
	220	20 m	40 m
	500	27 m	54 m
- Vialidad			

Fuente: Ordenanza PRMS.

Cabe señalar que el último inciso del artículo 5.1.9. de la OGUC establece (textual): "No se autorizarán construcciones de ningún tipo debajo de las líneas de alta tensión ni dentro de la franja de servidumbre de las mismas."

12.1.3.3. Plano

Para la línea de 220 KV de tensión, y aplicados lo dispuesto en el Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, NSEG 5. E.n.71. (Superintendencia de Electricidad y Combustibles); se tiene que la franja de resguardo es:

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA

Estudio de riesgos y protección ambiental

$2,5 \text{ m} + 220 * 0,01 \text{ m} = 4,7 \text{ m}$ a cada costado del último conductor de cada lado.

Por otra parte, aplicando lo dispuesto en el literal b. del artículo 8.4.3. del PRMS, se tiene que la faja de resguardo es de 20 m a cada costado del eje de la línea.

Dado que resulta poco viable identificar el lugar exacto del trazado del último conductor de cada lado, se opta por aplicar el criterio del PRMS; es decir 20 metros a cada lado medidos desde el eje de la línea.

Para la línea de 110 KV de tensión, y aplicados lo dispuesto en el Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, NSEG 5. E.n.71. (Superintendencia de Electricidad y Combustibles); se tiene que la franja de resguardo es:

$2,5 \text{ m} + 110 * 0,01 \text{ m} = 3,6 \text{ m}$ a cada costado del último conductor de cada lado.

Por otra parte, aplicando lo dispuesto en el literal b. del artículo 8.4.3. del PRMS, se tiene que la faja de resguardo es de 10 m a cada costado del eje de la línea.

Dado que resulta poco viable identificar el lugar exacto del trazado del último conductor de cada lado, se opta por aplicar el criterio del PRMS; es decir 10 metros a cada lado medidos desde el eje de la línea.

En el plano Áreas Restringidas al Desarrollo Urbano (PRCQ-R), se encuentra graficada la faja de resguardo de 20 metros a cada costado del eje de cada una de las líneas de alta tensión.

12.2. CAUCES ARTIFICIALES PROVENIENTES DEL PRMS

El literal c. Cauces artificiales del artículo 8.2.1.1. referido a Áreas de altos riesgos para los asentamientos humanos por inundación, señala:

c. Cauces Artificiales:

Corresponden a obras de canalización de aguas. Los proyectos respectivos deberán consultar fajas de protección a ambos costados del borde del cauce, según lo establezca el organismo competente para cada caso en particular. En los Planes Reguladores Comunales se deberá graficar estos cauces artificiales y sus fajas de restricción y establecer los usos de suelo para estas últimas. En el caso que esos cauces se entuben, el uso de suelo será el de área verde, siempre que no se incorporen bajo la infraestructura vial.

La literatura indica que no existen regulaciones vigentes que determinen alguna cuantía de la faja de protección a que hace mención el citado artículo del PRMS. El Código de Aguas refiere solamente a la accesibilidad de las servidumbres pero no establece anchos mínimos ni fajas de protección.

En el caso de Quilicura, la Comisión Nacional de Riego reconoce solamente 3 canales de regadío en el área, tal como se puede apreciar en la Figura siguiente: El Canal El Carmen, que bordea el cerro San Ignacio, el canal Pinto Solar que proviene desde la comuna de Independencia y cruza Conchalí hasta derivar por el borde de la calle El Molino hacia el costado del ferrocarril, y finalmente el Canal San Luis de Quilicura el cual proviene también desde el sur, deriva por el costado norte de Américo Vespucio para luego tomar, probablemente por Las Violetas hasta virar hacia el norte por Colo-Colo.

El canal Pinto Solar no tiene tramos reconocibles y lo más probable es que, al igual que la mayor parte del canal Pinto Solar, esté entubado por tanto no son interpretables sobre la cartografía. Así para efectos de su reconocimiento sólo se dibuje el Canal El Carmen, y el tramo visible del Canal San Luis de Quilicura, lo que se muestra en la Figura subsiguiente.

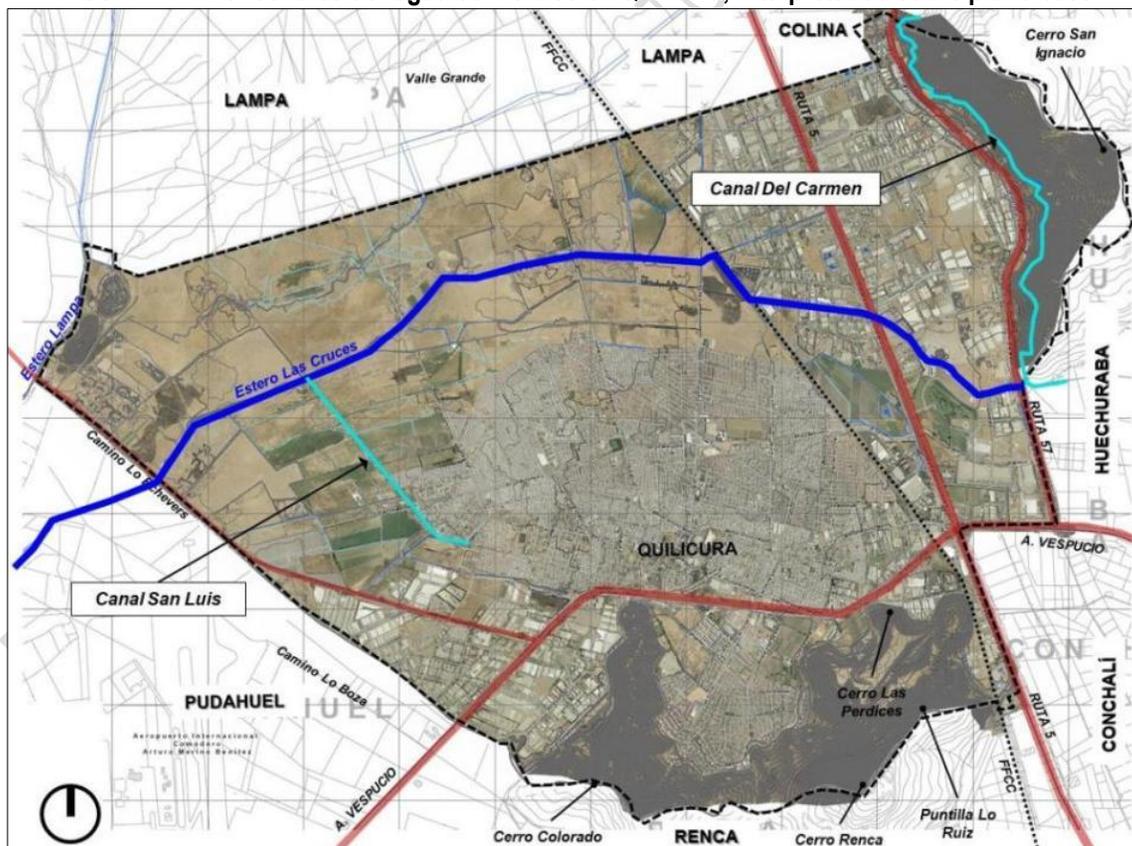
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE QUILICURA
Estudio de riesgos y protección ambiental

FIGURA N° 12-5 Canales de regadío en la Comuna de Quilicura, según Comisión Nacional de Riego.



Comisión Nacional de Riego (<https://esir.cnr.gob.cl/>)

FIGURA N° 12-6 Canales de regadíos visibles en Quilicura, interpretados sobre plano base



Comisión Nacional de Riego (<https://esir.cnr.gob.cl/>)

Fuente: Elaboración propia sobre la base de antecedentes de la Comisión Nacional de Riego (<https://esir.cnr.gob.cl/>) y Cartografía Base Digital Municipalidad de Quilicura.

12.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que existen tres tipos de infraestructura peligrosa que generan áreas de resguardo definidas en el artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, y son las siguientes:

Área de resguardo de infraestructura de transporte del aeropuerto Arturo Merino Benítez (Decreto N°173 del 19/02/2004 del Ministerio de Defensa Nacional D.O. 19/02/2004 y artículo 8.4.1.3. PRMS) que limita la altura de las edificaciones en partes de la comuna de Quilicura.

Área de resguardo de vías ferroviarias de 20 metros de ancho a cada lado de las vías ubicadas en los terrenos de EFE entre límite comunal sur (con comuna de Renca) y límite comunal norte (con comuna de Lampa) (artículo 34 Ley General de Ferrocarriles y artículo 8.4.1.1. PRMS) y las derivadas de la aplicación de los artículos 35 y 36 de la LGF. Todos ellos, en vinculación con el artículo 42 de la misma Ley.

Faja de seguridad de 40 metros de ancho al eje de las Líneas de Alta Tensión de 220 KV y faja de seguridad de 20 metros de ancho al eje de las Líneas de Alta Tensión de 110 KV (Artículo 56 del DFL N° 1 de 1982, del Ministerio de Minería y en los Artículos 108 al 111 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, NSEG 5. E.n.71. (Superintendencia de Electricidad y Combustibles), "Instalaciones de Corrientes Fuertes" y literal b. del artículo 8.4.3. PRMS).

Todas estas fajas de restricción se encuentran debidamente señaladas en el Plano de Áreas Restringidas al Desarrollo Urbano (PRCQ-R).

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

DOCUMENTO DE AVANCE SUJETO A MODIFICACIONES

13. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL

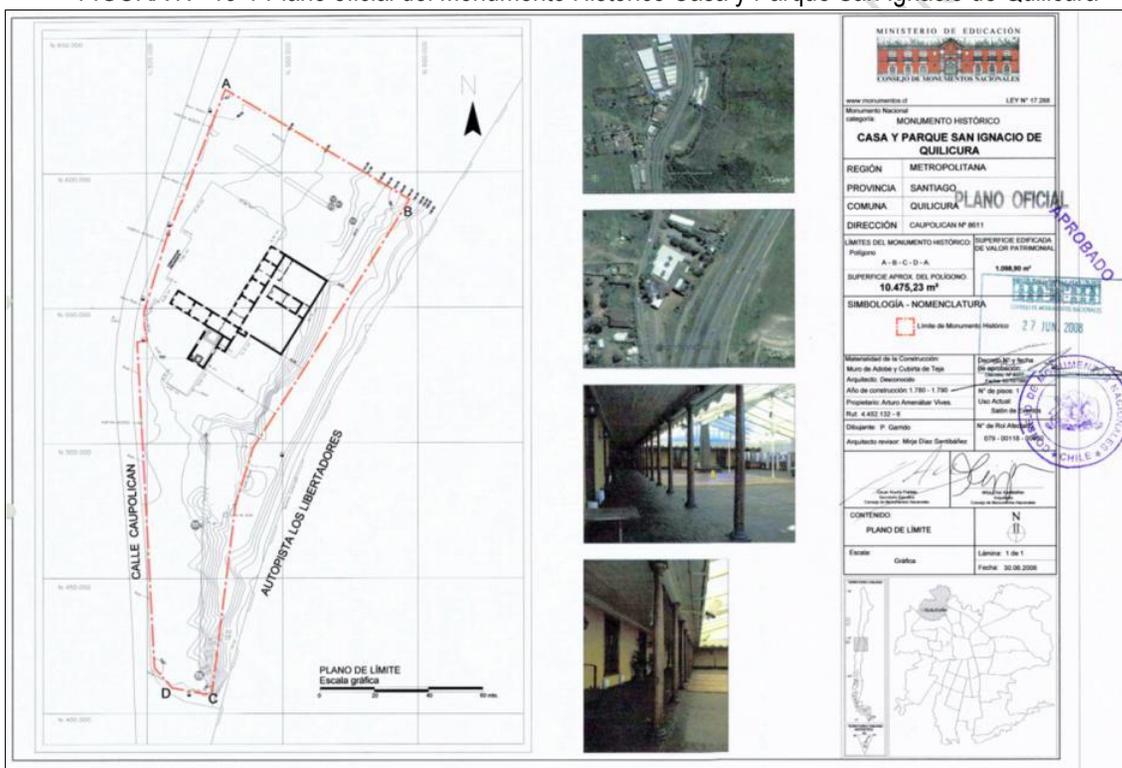
13.1. Áreas de protección de recursos de valor natural y patrimonial cultural

En el área en planificación no existen áreas de protección de valor natural que se encuentren protegidos por el ordenamiento jurídico vigente.

13.2. Áreas de protección de recursos de valor patrimonial cultural

En el área en planificación sólo existe un inmueble con protección oficial: el Monumento Histórico Casa y Parque San Ignacio de Quilicura, ubicada en Caupolicán 8611, comuna de Quilicura. En la Figura siguiente se muestra el plano oficial de protección.

FIGURA N° 13-1 Plano oficial del Monumento Histórico Casa y Parque San Ignacio de Quilicura



Fuente: <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/casas-san-ignacio-quilicura>

Los cuerpos legales que avalan esta protección son el Decreto N° 8377 (02/10/1980) y el Decreto N° 2556 (18/08/2008) que fija los límites.