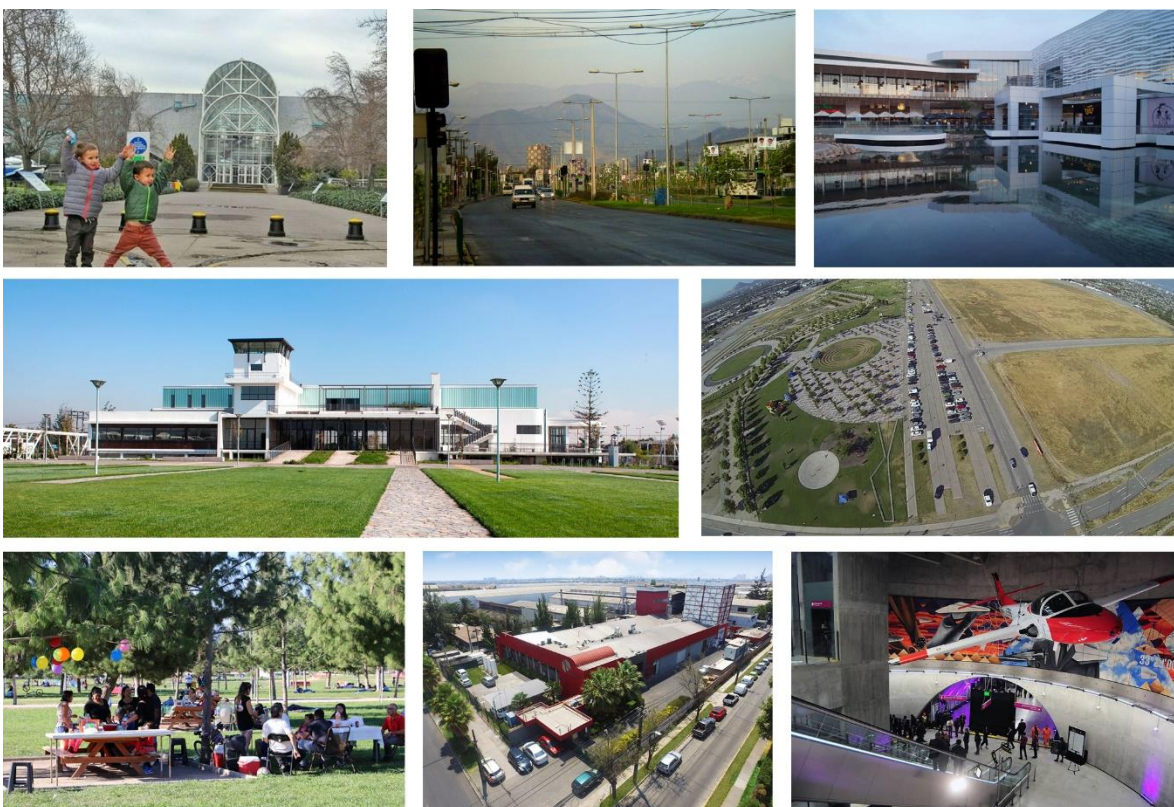


ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL CERRILLOS



ETAPA 5a, ANTEPROYECTO DEFINITIVO DEL PLAN REGULADOR COMUNAL

Estudio de Riesgos y Protección Ambiental

Edición 2
Mayo, 2023

URBE
diseño y gestión urbana
ARQUITECTOS

CERRILLOS
Municipio Ciudadano

ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN.....	6
I.1	Objetivos del estudio	6
I.2	Área de estudio	7
I.3	Alcances y limitaciones	8
I.4	Marco jurídico	9
II	ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	11
II.1	Climatología.....	11
II.1.1	Clima a escala Regional.....	11
II.1.2	Clima a escala Local	12
II.2	Geomorfología.....	15
II.2.1	Geomorfología regional.....	15
II.2.2	Geomorfología local	15
II.3	Geología	17
II.3.1	Geología regional	17
II.4	Hidrología	20
II.4.1	Hidrología regional	20
II.4.2	Hidrología local.....	20
II.5	Hidrogeología	23
II.5.1	Hidrogeología a escala local	24
II.6	Características de suelos	25
II.6.1	Suelos a escala regional	25
II.6.2	Suelos a escala local.....	26
II.7	Catastro de riesgos en la Comuna de Cerrillos	28
II.8	Patrimonio	31
II.9	Infraestructura energética	32
II.10	CONCLUSIONES ANTECEDENTES AREA DE ESTUDIO	33
III	ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	36
III.1	CONCEPTOS.....	36
III.2	REMOCIONES EN MASA.....	37
III.3	INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES.....	43
III.4	INUNDACIONES POR ANEGAMIENTO	46
IV	METODOLOGÍA.....	47
IV.1	INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES Y ANEGAMIENTO	49
IV.2	REMOCIONES EN MASA.....	50
IV.3	ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD	51
V	RESULTADOS.....	52
V.1	ÁREAS DE RIESGOS POR REMOCIONES EN MASA.....	52
V.2	ÁREAS DE RIESGOS POR INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES.....	54
V.3	ÁREAS DE RIESGOS POR INUNDACIÓN POR ANEGAMIENTO	55
VI	ZONAS NO EDIFICABLES	57
VII	ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL.....	58
VII.1	ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL.....	58
VII.2	ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR CULTURAL.....	58
VIII	CONCLUSIONES.....	59

IX BIBLIOGRAFIA..... 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema área de estudio, Comuna de Cerrillos	8
Figura 2 temperatura media	12
Figura 3 Rosa de los vientos año completo	14
Figura 4 Plano de elevaciones comuna de Cerrillos	16
Figura 5 Geología	19
Figura 6 Hidrografía comunal	22
Figura 7 Infraestructura energética región Metropolitana.....	33
Figura 8 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas	38
Figura 9 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos.....	39
Figura 10 Remociones en Masa de tipo Flujo.....	39
Figura 11 Terrazas de inundación con periodos de retorno hipotéticos	45
Figura 12 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno.....	51
Figura 13 Áreas de riesgos comuna de Cerrillos.....	54
Figura 14 Áreas de riesgos comuna de Cerrillos.....	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea Base (1980 - 2010) - Escenario 2050	13
Tabla 2: Eventos de origen antrópico y afectación a personas y viviendas, registrados durante 2018 a nivel comunal	28
Tabla 3: Eventos de origen natural y afectación a personas y viviendas, registrados durante 2018 a nivel comunal.....	28
Tabla 4: Registro de eventos de origen natural y antrópico 1970 – 2014	29
Tabla 5 Monumentos Históricos Comuna de Cerrillos.....	31
Tabla 6 Líneas de Transmisión Eléctrica, comuna de Cerrillos	32
Tabla 7 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad	52

I INTRODUCCIÓN

La Ilustre Municipalidad de Cerrillos, llamó a licitación para el desarrollo del estudio “Actualización Plan Regulador Comunal Cerrillos”. Este instrumento tiene por objeto de estudio el territorio total de la comuna de Cerrillos, el cual no cuenta con un instrumento actualizado de carácter comunal que integre, planifique y norme dicho territorio.

Se presenta a continuación los resultados del Estudio de Riesgos Naturales de la comuna, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica, permitiendo así identificar las limitantes y las potencialidades que ofrece el territorio para su desarrollo.

Además de lo anterior, entre los antecedentes principales para el estudio están los instrumentos de planificación territorial de escala comunal e intercomunal vigentes que rigen actualmente el territorio comunal, ya que la comuna de Cerrillos no cuenta con un Plan Regulador Comunal:

- Plan Regulador Comunal de Maipú, D.O. 30.10.1965 y modificaciones: (1) Seccional Lo Errázuriz, D.O. 01.04.1991, y (2) Decreto N°169, D.O. 17.01.1997. (Municipalidad de Cerrillos).
- Plan Regulador Comunal de Santiago, D.O. 27.01.1990 y su modificación por Resolución N°31, D.O. 24.09.1991. (Municipalidad de Cerrillos).
- Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), D.O. 04.11.1994 y sus modificaciones: (1) Resolución N°6, D.O. 20.11.2000, (2) MPRMS-80, D.O. 12.02.2006 y (3) MPRMS-105, D.O. 11.11.2016 (SEREMI MINVU RM).

Mediante estos instrumentos de planificación se ha logrado regular, en parte, el desarrollo urbanístico de la comuna.

I.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo de este trabajo es generar un estudio fundado de riesgo y protección ambiental, identificando y delimitando en el área de estudio los riesgos que han de ser incorporados y/o adecuados en la Actualización Plan Regulador Comunal, de acuerdo con lo señalado por el artículo 2.1.17 y 2.1.18 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Junto con ello se identificarán las áreas de protección de recursos de valor natural.

Los objetivos específicos de este estudio consisten en:

- Elaborar de un catastro, descripción y reconocimiento de los principales peligros naturales y antrópicos que pueden afectar al área de estudio, así como sus factores condicionantes y detonantes.
- Elaborar una Línea de base del medio físico y natural a través de información secundaria y primaria levantada en terreno.
- Identificar y describir los tipos de riesgos presentes en el área de estudio.
- Delimitar las áreas de riesgos consideradas en el área de estudio.

I.2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la comuna de Cerrillos. La superficie de la Comuna de Cerrillos es de 16,75 km² (Municipalidad de Cerrillos), que corresponde al 0,11% del territorio regional y 0,83% del territorio provincial. Cuenta con una población de 80.832 habitantes, según datos del Censo de 2017 (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017) equivalente al 1,14% de la población regional. El 100% de su superficie corresponde a área urbana. Presenta una densidad poblacional de 48 hab/ha, la cual se manifiesta en el territorio con una intensidad de ocupación de suelo muy baja, en relación a lo que se espera de un área metropolitana.

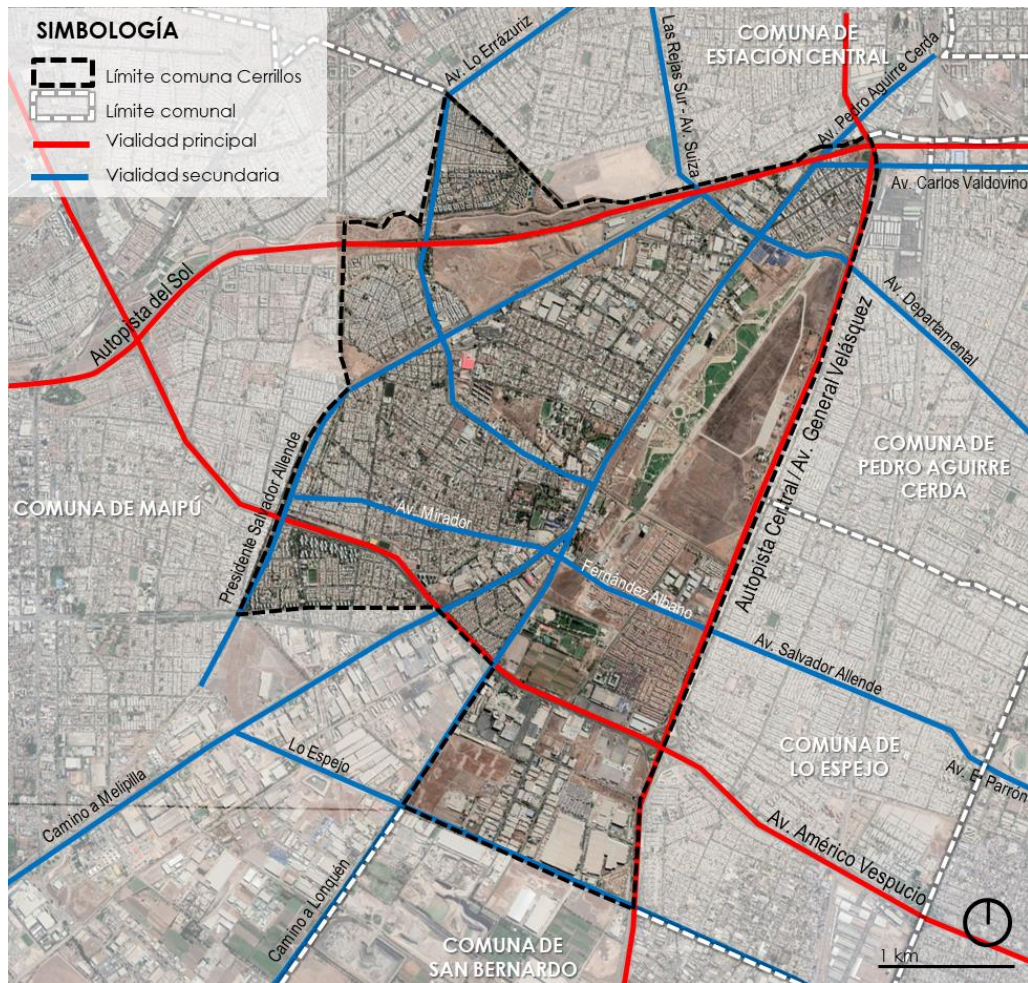
Los límites administrativos de la comuna son: al norte la comuna de Estación Central, al sur la comuna de San Bernardo, al oriente la Comuna de Pedro Aguirre Cerda y la comuna de Lo Espejo, y al poniente la comuna de Maipú.

Por otro lado, los límites físicos comunales¹ son los siguientes:

- Al norte limita con el Zanjón del Aguada, desde la prolongación del eje de Avenida Las Torres hasta el eje de Avenida Lo Errázuriz; donde continua por esta vía hasta empalmar con el Canal Ortuzano; luego se desciende por este canal hasta nuevamente seguir el recorrido del Zanjón de la Aguada, llegando al lindero poniente de Avenida General Velásquez (variante Cerrillos).
- Al este continua por el lindero poniente de Avenida General Velásquez (variante Cerrillos), desde el Zanjón de la Aguada hasta el eje de calle Lo Espejo (Avenida Lo Sierra).
- Al sur limita con el eje de la calle Lo Espejo, desde el lindero poniente de Avenida General Velásquez (variante Cerrillos) hasta el eje del Camino a Lonquén; para continuar luego por este eje, desde eje de calle Lo Espejo hasta el eje de Avenida Américo Vespuccio. Luego se sigue por la Avenida Américo Vespuccio, desde el eje de Camino a Lonquén hasta la prolongación de la Avenida 5 de Abril; para continuar por el eje de esta prolongación hasta la línea del ferrocarril a Cartagena (entre calles Del Ferrocarril y Presidente Salvador Allende).
- Al Oeste limita con la línea del ferrocarril, desde el eje de Avenida 5 de abril hasta el eje de Avenida Las Torres; luego se continúa por el eje de Avenida Las Torres, incluyendo su prolongación, hasta el Zanjón de la Aguada.

¹ DFL-1; DFL-1-3260 del 17.03.1981 y SECPLAN Cerrillos 2018.

Figura 1 Esquema área de estudio, Comuna de Cerrillos



Fuente: Elaboración URBE en base a foto Google Earth

I.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Para este estudio se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de fotografías aéreas, visitas a terreno y la evaluación de los distintos factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, a una escala 1:5.000 (considerando que la gran mayoría de la información geológica está a una escala mayor a 1:50.000). Se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la interpretación.

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

Respecto de la inundación por desborde de cauces y anegamientos se realizó una revisión de estudios hidráulicos de los principales cursos de agua de la comuna, los Instrumentos de Planificación vigentes y visitas a terreno.

I.4 MARCO JURÍDICO

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

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

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

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

- **1.-Zonas inundables o potencialmente inundables**, Debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos. **De acuerdo con las definiciones utilizadas en este informe, corresponde a las áreas de riesgo por desbordes de cauces, anegamiento y tsunami.**
- **2.-Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas**, Corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa
- **3.-Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica**, ríos de lava o fallas geológicas, no zonificados en este estudio
- **4.-Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.**

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un Estudio Fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las

acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, cuando corresponda.

Haciendo una agrupación de las amenazas naturales que generan la definición de zonas de riesgo según la OGUC, se reconocen procesos de Inundación por desborde de cauces, inundación por tsunami, anegamiento; Remociones en Masa e incendios. Además de lo anterior, las Normas Chilenas de construcción incorporan las variables sísmicas, considerando que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo (de la cual sólo se hará referencia en el presente estudio). Más adelante se presenta una descripción de las amenazas antes señaladas.

Las “áreas de protección de recursos de valor natural” corresponden a todas aquellas en que existan zonas o elementos naturales protegidos por el ordenamiento jurídico vigente, tales como: bordes costeros marítimos, lacustres o fluviales, parques nacionales, reservas nacionales y monumentos naturales.

Las “Áreas de Riesgo” corresponderán a zonas con distintos niveles de susceptibilidad ante un determinado proceso, evaluada como la superposición de antecedentes, no determinándose niveles de peligrosidad o probabilidad de ocurrencia en el tiempo. La definición de áreas de riesgo estará acotada al área estudio, independiente que el análisis haya incorporado áreas que quedan fuera de las áreas urbanas. Respecto de Áreas de protección de recursos de valor natural, se recopilará la información del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas, para el área de la comuna. (2.1.18 OGUC).

II ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

II.1 CLIMATOLOGÍA

II.1.1 Clima a escala Regional

Las principales características climáticas que presenta la Región Metropolitana corresponden al tipo "mediterráneo", de estación seca larga y con un invierno lluvioso. La temperatura media anual es de 13,9°C, en tanto que el mes más cálido corresponde al mes de enero, alcanzando una temperatura de 22.1°C, y el mes más frío corresponde al mes de julio con 7,7°C. El sello característico lo constituyen las lluvias, cuyas variaciones permiten destacar condiciones bastantes precarias alcanzando promedios anuales de 356,2 mm. Las precipitaciones decrecen desde la costa hacia la depresión intermedia, para aumentar nuevamente en la cordillera de los Andes; originándose de esta manera líneas bioclimáticas generales de la región y de la zona central de Chile.

Con respecto a las precipitaciones presentan una irregularidad, debido a que un año puede ser muy lluvioso y el siguiente muy seco. En el sector de Colina y en menor grado en la zona de Santiago, existen climas más áridos y con mayores fluctuaciones térmicas, que reflejan la penetración del clima de estepa, fenómeno que se debe a la presencia de la cordillera costera relativamente alta que actúa como pantalla, dificultando la penetración de las condiciones climáticas marítimas, en cuanto a la humedad relativa que se presenta en la cuenca de Santiago se puede decir que esta decrece progresivamente.

La presencia de la Cordillera de la Costa y el alejamiento del mar son los principales factores que producen las características de continentalidad del clima de la región de Santiago. En esta región se distinguen dos tipos de climas templado de tipo mediterráneo: con estación seca prolongada y frío de alturas en la Cordillera de los Andes.

Su característica principal es la presencia de una estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que llegan a cero grados.

Las precipitaciones se registran durante las temporadas invernales, especialmente durante los meses de mayo, junio, julio y agosto.

Dentro de la Cuenca de Santiago existen diferencias climáticas locales producidas por el efecto del relieve, al pie oriental de la Cordillera de la Costa y, debido al rol de biombo climático de ésta, se presentan áreas de mayor sequedad, e incluso con características de semiaridez.

El clima frío de altura se localiza en la Cordillera de los Andes por sobre los 3.000 metros de altura. Las bajas temperaturas y las precipitaciones sólidas caracterizan este tipo climático la cual permite la acumulación de nieve y campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta cordillera.

II.1.2 Clima a escala Local

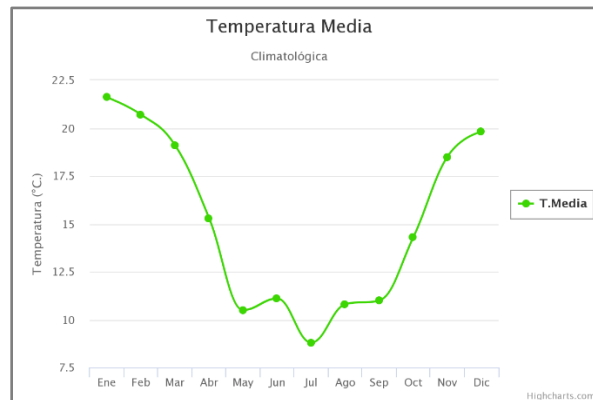
Cerrillos no posee características diferentes a la Región Metropolitana, se encuentra influenciada por un clima Templado Seco o Mediterráneo, con una estación seca prolongada, que va de 7 a 8 meses y presenta marcadas diferencias estacionales. La temperatura media anual es de 14,2°C, en tanto la máxima media del mes más cálido (enero) es de 29,0°C y la mínima media del mes más frío (julio) de 2,8°C. La oscilación térmica anual es de 14°C. El régimen pluviométrico se caracteriza por una precipitación anual de 370 mm, siendo el mes de julio el más lluvioso, con una precipitación 96,4 mm. En los registros históricos se tiene que para el año 1968 se registran mínimos de 41,4 mm de agua caída y 1998 71,6 mm, en tanto entre los más lluviosos se registran 682 mm en 1987 y 590.3 mm para 1997. La estación seca es de 8 meses: noviembre a abril inclusive.

Temperaturas

Las temperaturas en la comuna de Cerrillos, de acuerdo a la estación meteorológica, Los Cerrillos ad. (330023) registra para el año 2005 el siguiente climograma de temperaturas medias mensuales.

Los tres meses con mayor temperatura media mensual corresponde a enero (21,6°C), febrero (20,7°C) y diciembre (19,8°C). Respecto de los meses con temperaturas promedio mensual más fríos, corresponden a junio, julio y agosto.

Figura 2 temperatura media



Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anual/temperaturaMediaAnual/330023/2005>.

Precipitaciones

De acuerdo con el estudio “Normales climatológicas Región Metropolitana”, del Ministerio del Medio Ambiente. Los valores consignados en el estudio representan a las “normales” climatológicas del periodo reciente 1980-2015. Ellos fueron tomados de estaciones que disponían de series continuas de datos y que no habían sufrido cambios de instrumental o de localización durante el periodo, que en el caso de la comuna corresponde a la estación de Cerrillos

Esta información es complementaria a la entregada en el estudio “Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050”, encomendado por el Ministerio del Medio Ambiente.

En cuanto a los resultados de la temperatura en la comuna se observa un aumento de la temperatura máxima y media anual aproximada a 2,4° Celsius respecto de la proyección del escenario del año 2050.

Respecto de los resultados de las precipitaciones en la comuna, se observa una disminución de la precipitación normal anual de 49 mm respecto de la proyección del escenario del año 2050, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1 Línea Base (1980 - 2010) - Escenario 2050

		LINEA BASE (1980 - 2010)									ESCENARIO 2050								
COMUNA	ID	TXE	TNE	TXJ	TNJ	Temed	Tjmed	PPA	PPA MIN	PPA MAX	TXE 50	TNE 50	TXJ 50	TNJ 50	Temed 50	Tjmed 50	PPA 50	PPA 50 MIN	PPA 50 MAX
Cerrillos		30,6	12,1	14,9	4,2	20,3	9,1	339	334	344	33	14,2	16,9	5,8	22,4	10,8	290	285	294
TXE: Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, ENERO).																			
TNE: Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, ENERO).																			
TXJ: Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, JULIO).																			
TNJ: Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, JULIO).																			
Temed: Temperatura media del período estival (diciembre - enero - febrero).																			
Tjmed: Temperatura media del período invernal (junio - julio - agosto).																			
PPA: Precipitación normal anual.																			
PPA MIN: Precipitación anual más baja en cada subcomuna.																			
PPA MAX: Precipitación anual más alta en cada subcomuna.																			

Fuente: <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>

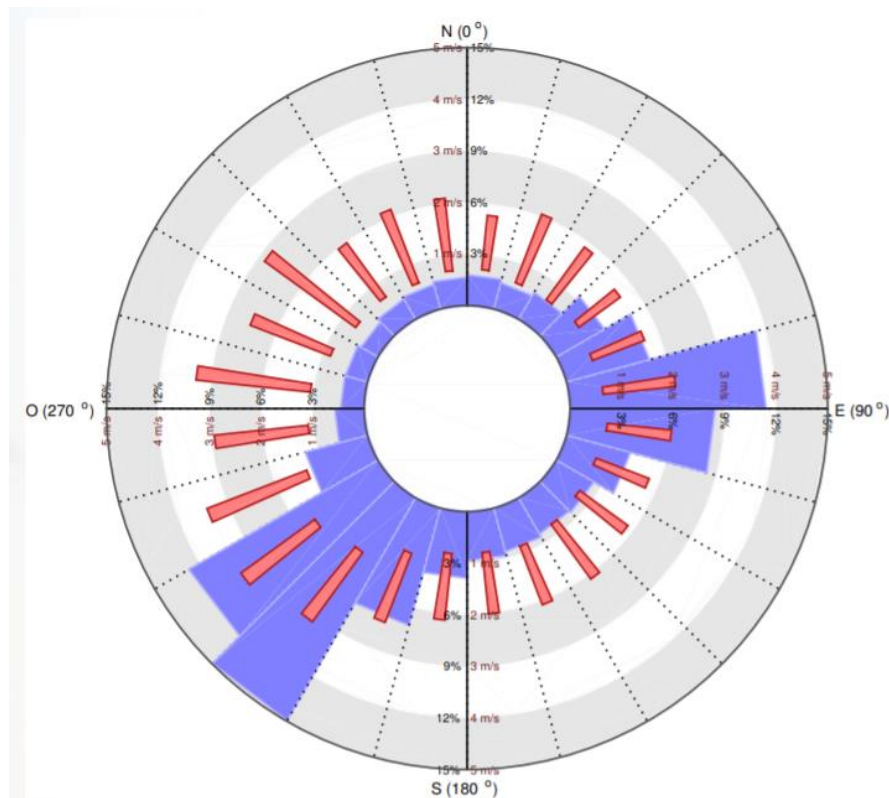
Vientos

Los vientos predominantes en la cuenca de Santiago corresponden a vientos Sur y del Suroeste, procedentes de la costa, estos se internan a través de los valles del Maipo y Mapocho

La rosa de los vientos de año completo confirma la procedencia suroeste, de los vientos dominantes y de mayor intensidad (4 a 5 m/s). Estacionalmente los vientos de mayor intensidad se concentran en los meses de verano con dirección suroeste. En los meses

de invierno los vientos predominantes provienen del oriente, con menor intensidad que en verano.

Figura 3 Rosa de los vientos año completo



Fuente: http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/Reportes//minenergia_eolico_5e17c42e2ff84/informe_eolico.pdf

Existen vientos locales que descienden de la cordillera al valle, producto de las diferencias de presiones, la velocidad fluctúa de 2 a 3 m/s. Estos son los encargados de ventilar la cuenca. Los vientos presentan diferencias en la circulación en periodos día-noche y de acuerdo a las estaciones, aumentando en primavera, disminuyen en otoño y se ausentan durante los periodos de invierno. Esta condición permite que de la calidad y condición atmosférica, en invierno, sea más crítica, sumado a la contracción de la capa de inversión térmica.

La inversión térmica de subsidencia impide la mezcla del aire de las capas inferiores con el que está a más altura ocasionando condiciones desfavorables de ventilación (los contaminantes permanecen encerrados en contacto con la población y la naturaleza). La vaguada costera, empeora las condiciones de ventilación, en términos simples, es una onda de presión que se manifiesta en dos fases, la primera fase con un sentido noreste, propiciando la acumulación de contaminantes sobre Santiago. En una segunda fase, los

vientos de la vaguada van de mar a cordillera, ingresando aire costero húmedo que contribuye a limpiar la atmósfera.

La presencia de los cordones montañosos que conforman la Cuenca de Santiago debilita los vientos, lo que incide directamente en la acumulación de contaminantes atmosféricos, ya que, si los vientos son débiles, no son capaces de transportar las partículas y gases generados por la actividad propia de una urbe como Santiago.

II.2 GEOMORFOLOGÍA

II.2.1 Geomorfología regional

Existen tres grandes secciones en la cuenca de Santiago, asociadas a la condición de flanco de valle andino, depresión periférica y de *coast range*, las que se distinguen claramente por las formas de acumulación y del piedmont, heredados del Cuaternario, y por los procesos dinámicos actuales. En las tres secciones predominan los flujos de detritos de carácter estacional, sobre todo en los sistemas de vertientes y en los conos torrenciales.

En la Cordillera de la Costa, en ambiente de *coast range*, predominan los procesos de erosión y la presencia de regolitización profunda. Existen superficies de erosión residual a diferentes altitudes. Los sistemas de acumulación son menos expresivos y las formas de glacis, reducidas. Los sistemas de vertientes proveen abundante material detrítico y regolito a los talwegs, y presentan un aspecto más bien rexistático, a diferencia del flanco andino, que en el piso de media montaña comprendido por la carta geomorfológica, es más bien biostático.

II.2.2 Geomorfología local

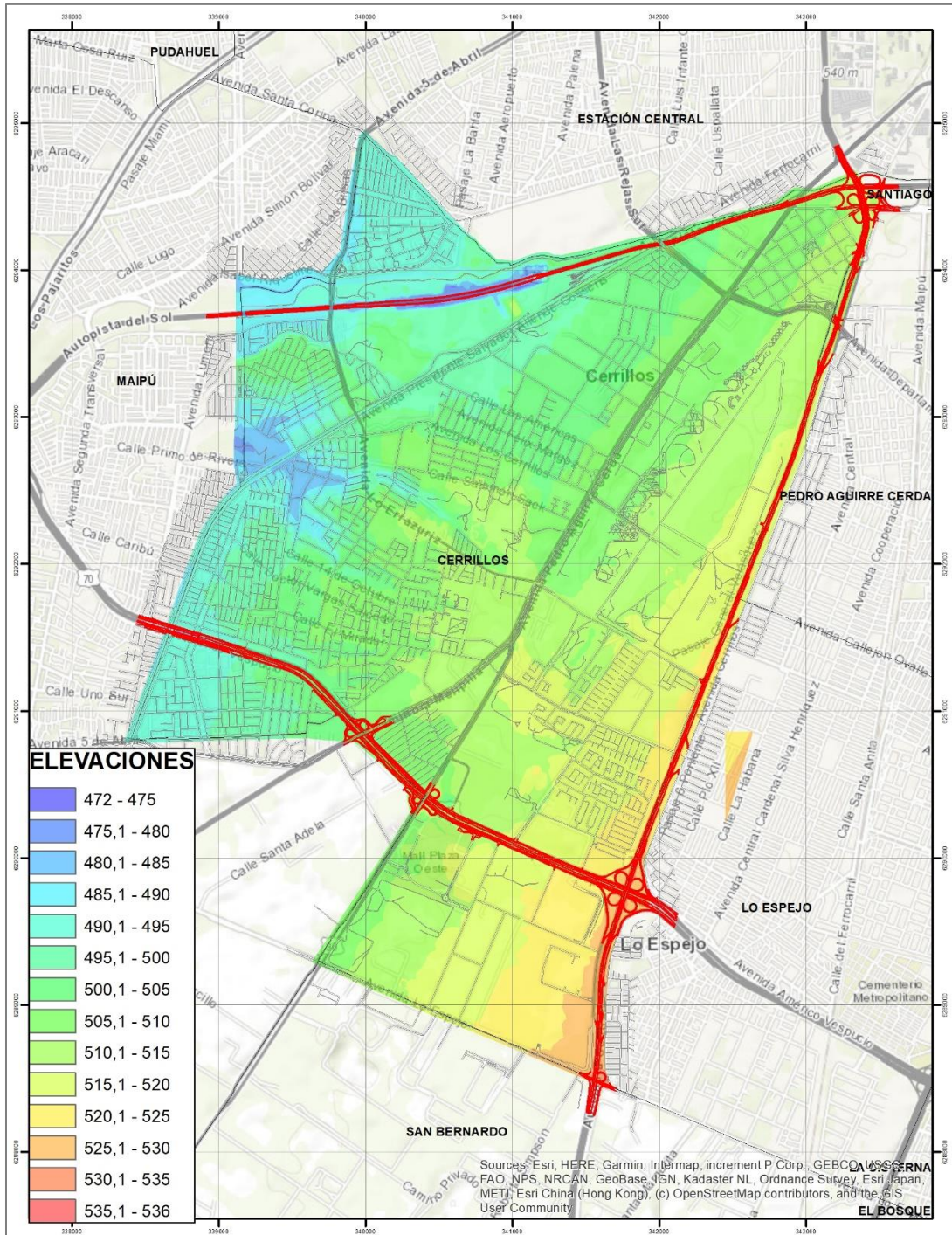
La comuna de Cerrillos se encuentra inserta en la cuenca de Santiago, a una altura promedio de 500 msnm., representada por un plano inclinado con una topografía de lomajes suaves en dirección norte (producto del metamorfismo terciario). Los terrenos de la cuenca son de orígenes aluvional, volcánicos en periodos geológicos del terciario inferior y depósitos fluviales del periodo cuaternario generados por los ríos Maipo y Mapocho. En tanto las zonas aledañas al cauce del Zanjón de la Aguada fueron rellenadas con sedimentos de origen fluvial más reciente, a ello debe la escasa consolidación y los rellenos de ripios y arenas. Esta zona corresponde a relieves aterrazados a lo largo del zanjón encontrándose allí los sectores más bajos de la comuna.

Se pueden identificar tres unidades morfológicas:

- Planicies al sur de la comuna en sentido oriente poniente (sector ex aeródromo).
- Sector de lomajes suaves que se extiende al centro y al sector poniente de la comuna representada en el sector de Las Torres norte.

- Sector de valle y terrazas que comprenden el antiguo y actual cauce del Zanjón de la Aguada de orientación este-oeste, en que se localizan las zonas más bajas de la comuna la diferencia de nivel va de 1 a 3 metros, generando pendientes sobre el 30%.

Figura 4 Plano de elevaciones comuna de Cerrillos



Fuente: Elaboración propia.

II.3 GEOLOGÍA

II.3.1 Geología regional

La Depresión Intermedia está limitada a la altura de la Cuenca de Santiago, al N por el Cordón de Chacabuco y al S por el Cordón de Paine. El desarrollo interior de cordones de menores alturas como es el caso del Cordón del Manzano individualiza dos zonas en la cuenca: al N del Cordón mencionado se desarrollan las cuencas del estero Til-Til y Chacabuco-Polpaico y al Sur la Cuenca de Santiago propiamente tal, (Falcón et.al.1970).

El espesor del relleno de la Cuenca de Santiago, así como la calidad de los materiales depositados, no son del todo conocidos, especialmente en sus partes más profundas, pues ningún pozo lo ha atravesado completamente. El sondaje más profundo alcanza a 432 m. perforado en un sector de Pudahuel (Emparán, 1966). Por otra parte, mediante estudios gravimétricos se ha determinado el desarrollo de una columna de sedimentos con espesores que fluctúan entre 400-480 m. (Kausel, 1959). Un perfil de refracción sísmica realizado por Draguicevic-Meinardus (1962) ha detectado que el basamento desciende hacia el E, estimándose que en la zona de Pudahuel el espesor de los sedimentos sería aproximadamente de 400 m. con un depósito de cenizas volcánicas de forma lenticular de 40 m. de potencia.

Existe consenso en que los mayores aportes de sedimentos provenientes de la C. de Los Andes a través de los cursos de aguas principales, Maipo y Mapocho, ríos que han sufrido variaciones en sus cursos a causa de su fuerte sedimentación, de modo que gran parte de la Cuenca ha sido rellenada por materiales fluviales, aun cuando se ha constatado la existencia de sedimentos glacio-fluviales, corrientes de barro, eólicos, lacustres y laháricos.

Los ríos que fluyen hacia la Cuenca de Santiago: Maipo, Mapocho, Lampa, Angostura, han dado forma a abanicos aluviales, de los cuales destaca por su considerable extensión el abanico del Maipo el cual constituye más del 50% del relleno. De dimensiones más pequeñas el abanico del río Mapocho se desarrolla hacia el extremo septentrional de la Cuenca de Santiago. Los abanicos de los ríos Lampa, Colina y Angostura son de dimensiones sensiblemente menores.

Numerosos autores y con diversos fines (estratigráficos, hidrogeológicos, geotécnicos, geomorfológicos) se han preocupado de los sedimentos cuaternarios que rellenan la Cuenca, en cuanto a su origen modo de depositación, calidad, distribución, etc.

Brüggen (1934,1935, 1950) en base a estudios de superficie y sondajes estableció para el Cuaternario tres épocas glaciales. Este autor considera que la depositación de todos los materiales presentes en la cuenca se realizó a partir de la 2a. glaciación y está integrada por sedimentos glaciales, glaci-fluviales y fluviales.

Karzulovic (1958), estudia pozos, realiza observaciones de terreno y recopila información relativa a aguas subterráneas. Supone para el Cuaternario 3 glaciaciones (Morrena 1a,

Aluvial, Morrena 2a, Aluvial 2a. Morrena 3a. y Aluvial Moderno). Atribuye a la Morrena 2a. los depósitos cineríticos de Pudahuel, Barrancas, Maipú, Cerrillos y vertiente occidental de la C. de Los Andes y al aluvial 2° (A.S.) la depositación del Cono de rodados del Maipo.

Segerstrom, castillo, Falcón (1964) llevaron a cabo observaciones en la Cuenca de Santiago que les permiten discrepar con Brüggén y Karzulovic (op cit) sobre el origen glacial de los sedimentos que estos autores atribuyen a la época glacial y Morrenas 1a. y 2a. respectivamente. Consideran que estos materiales (diamictos) fueron depositados por corrientes de barro; al igual que los depósitos de tipo diamicto-pumiciticos desarrollados entre Pudahuel y Cerrillos.

Valenzuela (1973, 1978) realiza estudios geotécnicos de los suelos de fundación en la mayor parte del área sub-urbana y urbana de Santiago. Basa sus estudios en perforaciones especiales destinadas a este fin, así como en pozos perforados por CORFO y Empresas Particulares e informaciones recopiladas por IDIEM además de las excavaciones del Metro e interpretación de fotografías aéreas. Define 11 unidades de suelo en el área, las cuales describe, clasifica y caracteriza como suelo de fundación, determinando además su distribución y espesor, relaciones estratigráficas, posible origen y comportamientos frente a solicitaciones sísmicas.

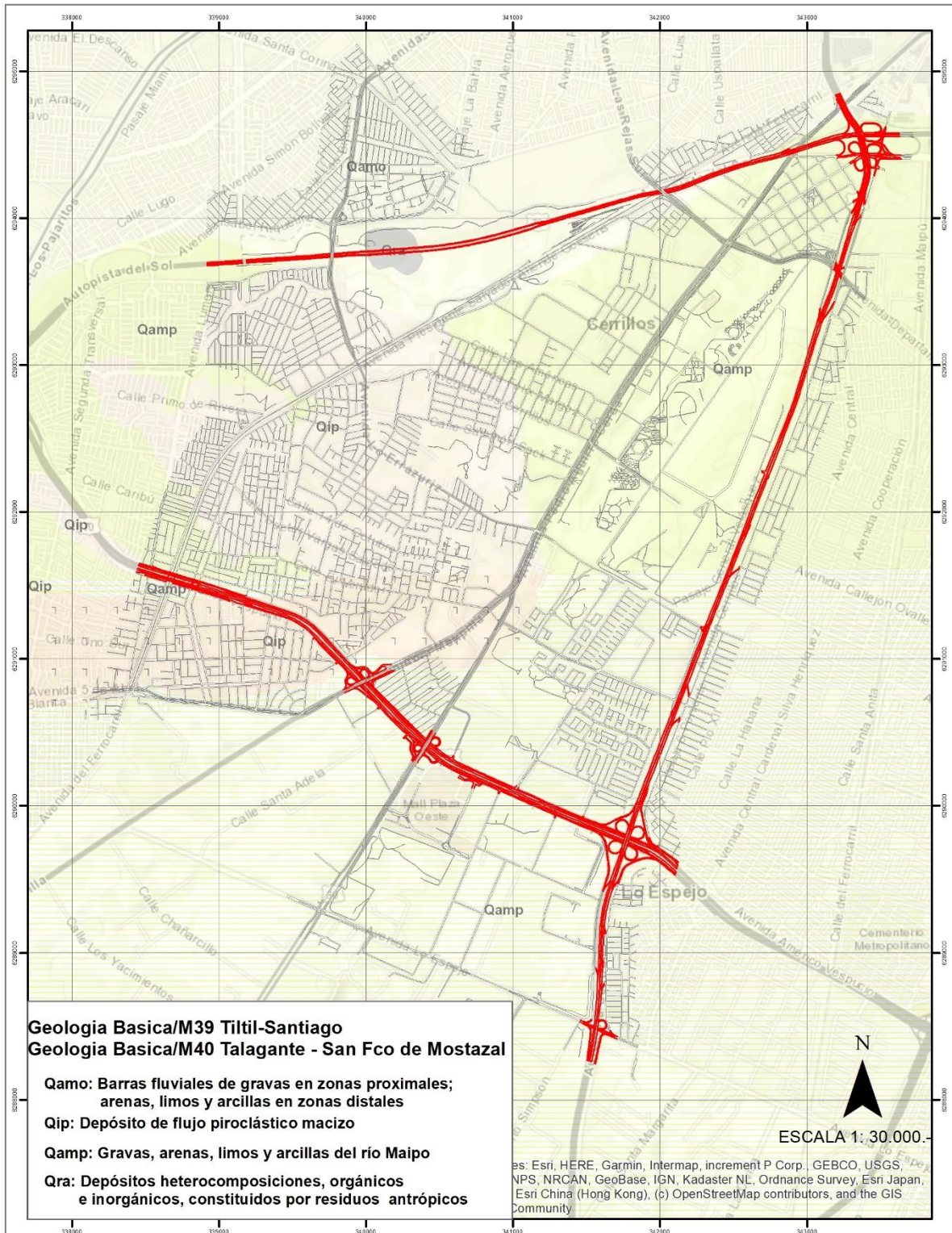
Establece que la unidad denominada "arenas del Lampa y Colina" corresponde a arenas finas a medias con lentes constituidos por sedimentos finos, pumicitas y gravas, los cuales tienen distribución areal reducida constituyendo depósitos lenticulares de espesores máximos del orden de los 3. m.

La unidad denominada "depósitos de pumacita" corresponde a depósitos de desarrollo importante en Pudahuel, Maipú, Cerrillos en donde subyace hacia el N y S a la unidad denominada "Finos del NW" .

La unidad "Ripios del Mapocho" está constituida en un alto porcentaje por bolones de hasta 80 cms. de diámetro, así como ripios y gravas con intercalaciones de lentes irregulares de arenas y finos. Esta unidad se desarrolla en el sector centro-oriental del área y su límite S se ubica cercano al cauce actual del río Mapocho.

La unidad "Ripios de Santiago" constituida por ripios y gravas muy compactadas con lentes de arena y sedimentos finos se desarrolla en la zona central y S de la ciudad de Santiago. Presenta un espesor promedio de 60 m, aun cuando por sondaje se han reconocido espesores superiores (150 m), bajo los cuales existen limos y arcillas hasta una proximidad de 236 m. Hacia el S se extienden hasta el río Maipo y hacia el W recubre los de pósitos de pumicitas.

Figura 5 Geología



Fuente: Geología Básica/M39 Tiltit-Santiago, Geología Básica/M40 Talagante - San Foco de Mostazal, SERNAGEOMIN.

II.4 HIDROLOGÍA

II.4.1 Hidrología regional

Los recursos hídricos se dividen en superficiales y subterráneos. Los recursos superficiales en el caso de la Región Metropolitana están constituidos por el río Maipo y sus tributarios, entre los cuales se incluye el río Mapocho cuya cuenca andina es independiente.

El principal sistema colector de aguas superficiales es la cuenca del Maipo, cuya vertiente de captación coincide por el este con el límite de Argentina; drena una superficie de 15.000 kilómetros cuadrados, y su cauce principal presenta un recorrido de 250 kilómetros desde su nacimiento hasta las laderas del volcán Maipo hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

La hoya del río Maipo tiene una extensión de 15.380 kilómetros cuadrados, se origina al pie occidental del volcán del mismo nombre. Este río tiene un régimen de alimentación mixta, presentando dos crecidas anuales: en invierno por precipitaciones y otra en primavera por deshielos cordilleranos. Su escurrimiento posee un caudal medio anual de 92,3 m³/seg.

El río Maipo recibe en la cordillera tres grandes tributarios: los ríos Volcán, Colorado y Yeso. En la Cuenca de Santiago recibe por el norte el río Mapocho, su principal afluente; este río drena la parte norte de la cuenca que atraviesa la ciudad de Santiago. En el curso inferior sus tributarios son el estero Puangue, de origen cordillerano costero y régimen pluvial, por lo que su aporte de aguas lo produce en invierno.

En su curso medio el río Maipo recibe a los ríos Clarillo y Angostura. El primero de ellos desagua una hoyada lateral en donde se encuentra el embalse Pirque. En el curso superior caen al Maipo otros esteros de escaso caudal como son Popeta, El Sauce y San Juan y finalmente el río Maipo, tras un recorrido de 250 kilómetros desemboca, en Llolle inmediatamente al sur del puerto de San Antonio (Región de Valparaíso).

II.4.2 Hidrología local

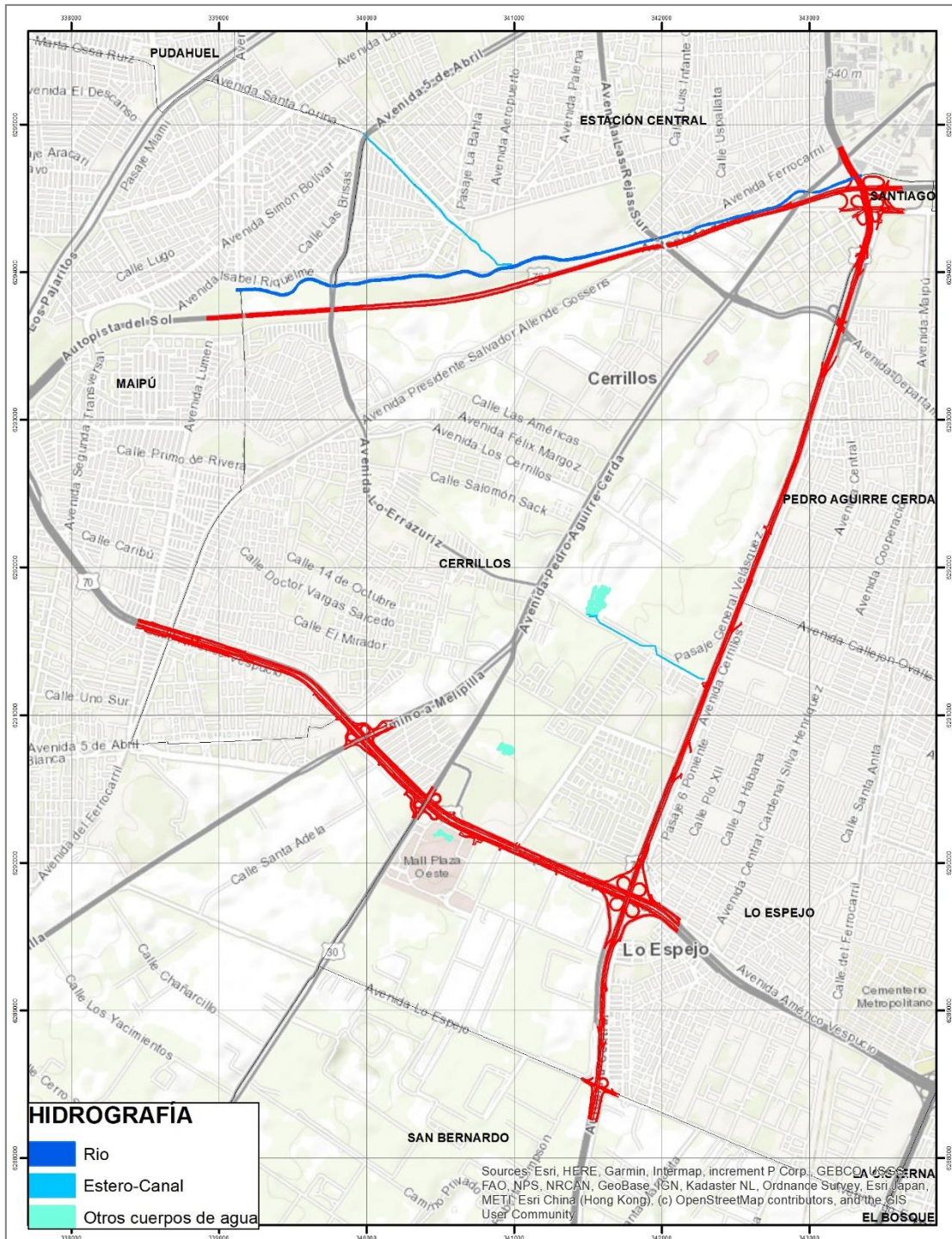
Los cursos de agua presentes en la comuna son el Zanjón de la Aguada y el Canal Ortuzano, ambos desaguan en el río Mapocho y presentan crecidas en los períodos de invierno y primavera.

El Zanjón constituye uno de los principales cursos evacuadores de aguas lluvias de la Región Metropolitana, el Plan Maestro de Aguas Lluvias lo inserta como el sistema de evacuación principal de la Zona Centro. El Zanjón tiene su origen en cauce de la quebrada de Macúl y finaliza al desaguar en el río Mapocho en la comuna de Maipú, con una extensión de 26,4 Km. de longitud aprox., la extensión aproximada en la comuna de Cerrillos es de 4,3 km. Entre las comunas que descargan aguas lluvias al Zanjón se

encuentran: La Florida, Macúl, San Joaquín, San Miguel, Pedro Aguirre Cerda, Santiago, Cerrillos, Estación Central y Maipú.

Tanto el Zanjón de la Aguada como el Canal Ortuzano se encuentran canalizados y en algunos tramos se encuentran a una cota mayor a la Ruta del Sol, situación que puede ser de relevancia durante las crecidas extraordinarias (condición que se da con el incremento de las precipitaciones cuando se activa el “fenómeno del niño”). De este modo la Ruta del Sol puede formar parte del cauce del Zanjón, al producirse los desbordes y por la tendencia natural a recuperar su antiguo cauce, no obstante, la finalización de los trabajos de canalización debiera terminar con los problemas de inundación, situación que será posible constatar en futuros eventos. A este respecto El Plan Maestro de Aguas Lluvias, señala que las obras de mejoramiento del Zanjón, consiste en la regularización del cauce y revestimiento de las secciones de hormigón, con objeto de permitir un aumento en la capacidad, hasta caudales correspondientes a lluvias de 100 años de periodo de retorno (caudales 311 a 351 m³/seg), de este modo las áreas inundadas quedan desafectadas de dicho riesgo.

Figura 6 Hidrografía comunal



Fuente: Elaboración propia.

II.5 HIDROGEOLOGÍA

La Región Metropolitana incluye la casi totalidad de la cuenca del río Maipo, salvo parte de su curso inferior, y la cuenca del estero Alhué, afluente del río Rapel. Para la descripción de las principales formaciones acuíferas existentes en esta región sin embargo, se ha considerado íntegramente el río Maipo, dejándose la descripción de los acuíferos del estero Alhué para ser incluida en la correspondiente al río Rapel, perteneciente a la VI Región.

Dada la importancia del río Maipo desde el punto de vista del uso de los recursos de aguas subterráneas, y tomando en cuenta las características diferentes que muestran las subcuencas que lo componen, se estimó procedente efectuar una división que contempla ocho unidades hidrogeológicas diferentes. Dichas unidades son las siguientes:

- Til-Til – Lampa
- Chaca buco – Polpaico
- Colina – Batuco
- Maipo - Mapocho Superior
- **Maipo – Mapocho**
- Maipo Inferior
- Puange
- Angostura

Maipo – Mapocho

Esta cuenca abarca desde poco al norte del río Mapocho hasta el río Maipo por el sur, incluyendo toda la ciudad de Santiago al igual que San Bernardo, Maipú y otras localidades. Por el este llega hasta los primeros contrafuertes de la Cordillera de Los Andes y por el oeste hasta la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa.

Formaciones acuíferas

El relleno sedimentario de la cuenca es de origen fluvial y fluvio-glacial, excepto entre Pudahuel y Maipú, en que además se encuentran depósitos de ceniza volcánica. Por su gran extensión las características de los acuíferos presentan diferencias en distintos sectores. En el sector alto del río Mapocho los acuíferos superficiales son homogéneos, con balones, gravas y arenas en una matriz arcillosa, con una potencia media de 20 m y cobijan napas libres. El contenido de arcilla aumenta a partir de unos 25 a 30 m de profundidad, hasta llegar a la roca fundamental que se ubica a más de 130 m de la superficie.

El sector norte del río Mapocho, entre el cordón del San Cristóbal y los cerros de Renca presenta estratos acuíferos discontinuos y heterogéneos, con potencias variables entre 15 y 30 m, mayores en las cercanías del río Mapocho, y formados principalmente por grava y arena con poca arcilla. La roca basal se ubica a 200 m de profundidad o más.

Aguas abajo del área anterior siguiendo el curso del río Mapocho, entre Renca y Maipú, la ceniza volcánica presente disminuye la calidad de los acuíferos, que siendo en algunos lugares confinados y en otros con napa libre, están formados principalmente por gravas y arenas, a profundidades variables y con espesores entre 5 y 30 m. Los estudios realizados en el área indican que la roca se ubicaría a más de 400 m de profundidad.

Siguiendo hacia aguas abajo por el Mapocho, entre Maipú y Talagante, en una franja de unos 8 Km de ancho, se encuentran los acuíferos de mejor calidad de la cuenca, con predominio de gravas y arenas y muy poco contenido de finos, a profundidades de hasta 70 m. Las napas son libres y no existe información acerca del espesor del relleno.

En el sector al sur del río Mapocho, donde se ubica prácticamente toda la ciudad de Santiago, el espesor del relleno es de más de 400 m, con acuíferos de buena calidad constituidos por gravas, arenas y algo de arcillas y espesores que pueden sobrepasar los 100 m en las cercanías de San Bernardo, disminuyendo ligeramente hacia el norte hasta unos 50 a 60 m cerca del río Mapocho.

II.5.1 Hidrogeología a escala local

De acuerdo con los antecedentes aportados por el Proyecto Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable, Región Metropolitana (OTAS) la gran unidad hidrogeológica ubicada en el Gran Santiago corresponde a: "Subcuenca Maipo – Santiago". El relleno sedimentario de la cuenca constituye un acuífero no confinado (permeable), característica que la hace más frágil en materia de contaminación (los residuos se infiltran con facilidad).

El OTAS señala que el nivel de la napa se encuentra a una profundidad aproximada que va de 20 a 60 metros (mediana profundidad).

Otros estudios señalan que la napa ha descendido entre 10 y 20 cm² en los últimos veinte años. Cálculos más específicos³ señalan que el nivel de la napa en Cerrillos es de 40 metros de profundidad al este de la comuna y 65 al sur. Las aguas freáticas escurren en substratos inferiores de oriente a poniente.

Respecto de la calidad de las napas, el Estudio de Impacto Ambiental del Portal Bicentenario, señala que podrían encontrarse dos fuentes de contaminación de acuíferos relacionadas a la actividad del ex aeródromo, derrames combustibles y solventes, pero no han sido evaluados. Los resultados de sondajes realizados en el sector del ex aeródromo señalan parámetros con valores normales⁴. El estudio de Impacto relaciona

² Estudio "Condiciones Ambientales y análisis de Riesgo del Terreno", correspondiente al Aeropuerto de Cerrillos

³ Estudio Impacto Ambiental, vial y de Riesgos, Zonas Industriales Exclusivas Molestas, Comuna de Cerrillos. Geotécnica. 1996.

⁴ Geología e Hidrogeología, y anexos relacionados del Estudio de Impacto Ambiental Portal Bicentenario. 2005.

dos riesgos en zonas industriales, señala que los contaminantes de la napa están dados por la presencia de nitratos entre 11 y 20 mg/, (normal es de 10mg/l)⁵

Asociado a este recurso, el proyecto OTAS RM señala la recuperación de acuífero de primera prioridad para gran parte de la superficie comuna como uno de los objetivos ambientales. Se indica como urgente adoptar en forma inmediata medidas de reparación, rehabilitación, saneamiento, restauración o mejoramiento, para el caso tiene directa relación con recuperar los niveles y puesto que constituye fuente importante para el consumo humano.

II.6 CARACTERÍSTICAS DE SUELOS

II.6.1 Suelos a escala regional

Los suelos se dividen en clases según sus características generales. La clasificación se suele basar en la morfología y la composición del suelo, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir, por ejemplo, la profundidad, el color, la textura, la estructura y la composición química. La mayoría de los suelos tienen capas características, llamadas horizontes; la naturaleza, el número, el grosor y la disposición de éstas también es importante en la identificación y clasificación de los suelos.

Las propiedades de un suelo reflejan la interacción de varios procesos de formación que suceden de forma simultánea tras la acumulación del material primigenio. Algunas sustancias se añaden al terreno y otras desaparecen. La transferencia de materia entre horizontes es muy corriente. Algunos materiales se transforman. Todos estos procesos se producen a velocidades diversas y en direcciones diferentes, por lo que aparecen suelos con distintos tipos de horizontes o con varios aspectos dentro de un mismo tipo de horizonte.

Los suelos que comparten muchas características comunes se agrupan en series y éstas en familias. Del mismo modo, las familias se combinan en grupos, y éstos en subórdenes que se agrupan a su vez en órdenes.

A continuación, se describen las características generales de los órdenes de suelos presentes en la Región Metropolitana:

Alfisoles: Suelos de climas húmedos y subhúmedos con un porcentaje de saturación de bases mayor al 35% y horizonte argílico. Características: 1) Epipedón ócrico, no oscurecido por el humus. 2) Horizonte argílico (acumulación aluvial de arcillas). 3) Porcentaje de saturación de bases menor al 35%. 4) Horizonte argílico moderadamente saturado por Ca⁺² y Mg^{+2,5}. El horizonte aluvial superior se caracteriza por pérdida de bases, materia orgánica, sílice y sesquióxido.

⁵ “Estudio Impacto Ambiental, Vial y de Riesgos, Zonas Industriales Exclusivas Molestas, Comuna de Cerrillos”. Geotécnica. 1996.

Entisoles: Suelos minerales recientes con muy escaso desarrollo. Pueden existir en cualquier tipo de clima y bajo cualquier tipo de vegetación. La mínima evolución de estos suelos puede explicarse por el tipo de substrato, como por ejemplo la arena de cuarzo, en la cual los horizontes no se forman rápidamente. También puede ocurrir que los factores de formación del suelo no hayan tenido tiempo suficiente para actuar o que los materiales parentales sean muy recientes (cenizas volcánicas, aluviones recientes). Si se trata de superficies muy inestables (pendientes abruptas) o de zonas con un clima muy frío y seco, el desarrollo del suelo también se retarda. Suelos de laderas.

Inceptisoles: Suelos de desarrollo incipiente con horizontes de leve desarrollo (horizonte cámbico) y que contienen minerales fáciles de alterar. Son particularmente importantes en los climas de tundra, alta montaña (tundra andina). A menudo se encuentran sobre superficies geomorfológicas relativamente jóvenes o bien relativamente inestables (ello explica la dificultad para que hayan actuado los factores de formación de suelos).

Mollisoles: Se encuentran principalmente en el valle central de la R.M., con un epipedón mólico y un porcentaje de saturación de bases > 50%. Muchos de ellos son de alta productividad. Características: 1) Se exige la presencia de un epipedón mólico, de color pardo oscuro o negro. 2) Domina el Ca en los horizontes A y B. 3) Porcentaje de saturación de bases > 50% en el horizonte mólico. 4) Dominio de arcillas cristalinas con moderada a alta CIC (capacidad de intercambio catiónico). Se forman bajo vegetación de praderas (descomposición de la materia orgánica en profundidad). Habituales en las comunas de Buin, San Bernardo, Calera de Tango, parte de Paine, Peñaflo, Talagante.

Vertisoles: Normalmente son suelos de relieves planos y con un régimen hídrico de difícil manejo. Características: 1) Elevado contenido de arcilla (montmorrillonita) que se contrae o dilata según las reservas de agua disponibles en el suelo, 2) presencia de profundas y amplias grietas en estación seca, 3) evidencias de un movimiento en el suelo (por dinámica de las arcillas) lo que puede provocar superficies de fricción en un ángulo de 20° a 30°, 4) pedoturbación, 5) automullimiento. Estas dos últimas características restringen la formación de estratas de suelo diferentes. 6) También hay autores que hablan de autoengullimiento (verto significa: dar vuelta). Suelos presentes en la Provincia de Chacabuco, al norte de la comuna de Lampa.

Misceláneos: Misceláneos de diferentes naturalezas. Es decir, sectores en los que no hay suelo o bien es incipiente. También puede tratarse de sectores inaccesibles con pendientes muy pronunciadas en los cuales los suelos son de escaso desarrollo (misceláneos de cerro y de cordillera andina, entisoles de cordillera andina).

II.6.2 Suelos a escala local

Los suelos de la comuna son de origen fluvial, son suelos jóvenes de escasa profundidad y desarrollo, del tipo inceptisol por el norte y Mollisol por el sur, estos últimos presentan un mayor desarrollo en sus horizontes. Estos suelos se encuentran clasificados como Qrs (mollisol), asociados a los depósitos fluviales del río Maipo, y Qp (inceptisol).

Respecto del tipo QP, está constituido principalmente por pumacitas, piedra pómez y cenizas volcánicas, en el relieve preexistente (lomajes), poseen gran compactación, alta densidad y granulometría uniforme, son suelos que presentan dificultades al drenaje, al saturarse con mucha rapidez: En estas zonas las aguas escurren rápidamente en superficie y dada la condición de lomajes estas drenan hacia zonas más bajas, principalmente en dirección del Zanjón y hacia el sur oeste de la comuna.

Hacia el sur de la comuna los suelos son suelos profundos con un horizonte 18 cm aprox. fértiles, rico en materia orgánica, oscuro, de buena estructura y un porcentaje de saturación de bases superior a un 50% de características limo arcillosas (suelos más pesados) poseen una permeabilidad que va de moderada a moderadamente lenta, de acuerdo a las condiciones de consolidación, las capacidades de uso varían de I a IV.

Análisis de la contaminación en terrenos de exAeropuerto Los Cerrillos
(<http://www.aviacion.cl/contaminacioncerrillos.htm>)

Antecedentes

- En las 245 hectáreas que cubre el Aeropuerto Los Cerrillos se desarrollaron actividades aéreas desde el año 1928 hasta el año 2006, siendo por casi 50 años el principal centro de operaciones aéreas comerciales, militares y deportivas.
- Esas operaciones involucraron ser la base de operaciones de los aviones de transporte y de combate de la FACH, la base de mantenimiento de LAN, y actividades de mantenimiento aeronáutico privadas. Todas ellas en un período en el cual no había una conciencia de conservación, por lo que los residuos eran enterrados en el mismo terreno del Aeropuerto.
- Como antecedente solamente, los motores de aviones como el DC-6, que constituyeron la base de LAN y la FACH por más de 20 años, tenían una capacidad de cerca de 200 litros de aceite por cada motor, los que eran cambiados cada 100 horas de vuelo, y el aceite quemado era almacenado en pozos en la tierra en el mismo aeropuerto Los Cerrillos, ya que no había sistemas de reciclaje.
- Además, todos los aviones de motores recíprocos utilizaban (y utilizan) bencina de Aviación que para obtener el alto octanaje que se requiere para su uso en aviación, requiere incorporar el aditivo tetraetilplomo (TEL), la que es una sustancia altamente tóxica, y los estanques de ese combustible fueron almacenados bajo tierra durante los casi 80 años de operaciones.
- Asimismo, las actividades de mantenimiento a gran escala realizadas por la FACH y LAN en sus maestranzas en ese Aeropuerto incluía el pintado y despintado de aviones que generaba una gran cantidad de químicos que caían en la tierra, el uso de líquidos hidráulicos y el desecho de ácidos de baterías de plomo-ácido.

El plan de desarrollo comunal, PLADECO 2011- 2015, respecto de la contaminación de los suelos del ex aeródromo de Cerrillos, señala que, "Se presume que en sectores donde se ubican los estanques de combustible en terrenos del ex Aeródromo Cerrillos, con el correr de los años se ha producido contaminación del suelo y de la napa; esto a

consecuencia de derrames y posterior infiltración en el terreno de los líquidos fugados. Existe presunción que se formaron 2 lentes de combustible en la columna de suelo bajo dichos sectores: uno con los combustibles cuya densidad es inferior a 1 y en consecuencia son más livianos que el agua, de tal forma que se ubica en la parte superior del acuífero y otro cuyos compuestos son más densos que el agua y se ubica en la base del acuífero. Sobre esta materia no existen antecedentes concluyentes, pero es preciso tener presente esta circunstancia como una posibilidad real con el objeto de proteger a la población. La dirección de escurrimiento de las aguas subterráneas va de nororiente a sur poniente y podría existir alguna posibilidad que se contamine algún pozo de extracción de agua potable fuera del recinto aeroportuario⁶.

II.7 CATASTRO DE RIESGOS EN LA COMUNA DE CERRILLOS

De acuerdo al estudio “Informe Estadístico Anual 2018 de ONEMI, Período del 1° de enero a 31 de diciembre de 2018”⁷. Respecto de los riesgos de origen antrópico que afectaron la comuna, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 2: Eventos de origen antrópico y afectación a personas y viviendas, registrados durante 2018 a nivel comunal

Evento	N° de Eventos	Total de Afectados	Afectado	Damificado	Albergado	Damificado Laboral	Fallecido	Herido/ Lesionado	Evacuado	Vivienda Daño Menor	Vivienda Daño Mayor	Vivienda Destruida
Accidente Materiales Peligrosos	2	25						18	10			
Alteración de Infraestructura	3											
Incendio Estructural	1	15						4	15	1		
Incendio Forestal	2											

Fuente: Informe Estadístico Anual 2018 de ONEMI

Tabla 3: Eventos de origen natural y afectación a personas y viviendas, registrados durante 2018 a nivel comunal

Evento	N° de Eventos	Total de Afectados	Afectado	Vivienda Daño Menor	Vivienda Daño Mayor	Vivienda Destruida
Sistema Frontal	1	260	260	65		

Fuente: Informe Estadístico Anual 2018 de ONEMI

⁶ PLADECO I.M CERRILLOS 2011- 2015

⁷ Informe Estadístico Anual de ONEMI Año 2018 – N°4

Tabla 4: Registro de eventos de origen natural y antrópico 1970 – 2014

FECHA	TIPO DE EVENTO	SECTOR	FUENTE	EFFECTOS	CAUSA
30-12-1970	Incendio	Población 31 de agosto Cuadra 21 Av. Buzeta	El Mercurio	No indica nº de viviendas destruidas.	brasero mal apagado
20-06-1971	Tempestad	Aeropuerto Cerrillos	El Mercurio	Cerrado por 1 día.	fuerte frente de pp. viento y nieve
30-06-1971	Incendio	Nueva México 0610	El Mercurio		colilla de cigarro y ebriedad
02-01-1975	Sismo		El Mercurio	Epicentro 120 km noroeste de Santiago.	
06-02-1975	Incendio	Industria CIC Camino a Melipilla	El Mercurio		Chispa que saltó al algodón
01-09-1976	Sequía		El Mercurio		zona de escasez de agua
10-02-1978	Incendio	Aeropuerto de Cerrillos	El Mercurio	También se destruyeron 15 automóviles	no se conocen
03-04-1979	Explosión	industria de plásticos	El mercurio	la explosión origino un incendio	falla en estufa industrial
03-04-1979	Incendio	fábrica de plásticos y acrílicos	El mercurio		explotó horno
13-12-1980	Incendio	Av Central	La Tercera	Evacuados sede social. Se supone que fue intencional	
31-05-1981	Tempestad	calle Carlos Valdovinos	El Mercurio	Viviendas y calles inundadas	
13-04-1982	Incendio	Aeropuerto Los Cerrillos	Las Últimas Noticias		no indica
14-07-1982	Tempestad	comuna	El Mercurio	calles anegadas	muy fuerte
14-07-1982	Tempestad	toda la región	El Mercurio	pasos bajo nivel anegados e inutilizados; calles anegadas; 576 familias damnificadas	pp. y viento - muy fuerte
14-07-1982	Tempestad	Población Cerrillos	El Mercurio	campamentos anegados por agua	
12-08-1982	Lluvias	Población Cerrillos	El mercurio	9 familias damnificadas	muy fuerte
30-03-1989	Incendio	feria del hogar	El mercurio		recalentamiento de conductores eléctricos
12-05-1993	Incendio	las Américas 78	La Tercera		no indican
01-07-1993	Tempestad		El Mercurio	Por acumulación de aguas paso bajo nivel inundados	
17-04-1994	Incendio	Población Raúl Mesone	El Mercurio	Se hicieron presentes 9 compañías de Bomberos.	Inflamación de cocinilla
27-07-1994	Inundación		El Mercurio	Desborde del canal Errazuriz inundó barrios cercanos como Las Américas y Salvador Allende.	

FECHA	TIPO DE EVENTO	SECTOR	FUENTE	EFFECTOS	CAUSA
05-10-1994	Escape		El Mercurio	Fábrica de pinturas SIPA. El incidente se produjo cuando se trasladaba el amoníaco en un recipiente hacia el interior de la industria.	Amoníaco Líquido.
27-04-1995	Tempestad		El Mercurio	Un árbol calló sobre una vivienda.	
16-06-1995	Explosión	Vertedero Lo Errazuriz	El Mercurio	La explosión ocurrió cuando 4 operarios de la empresa manipulaban la gasolina cerca de un anafre encendido.	Mala manipulación de gasolina.
03-08-1995	Incendio	Población Juanita Aguirre	El Mercurio		Colchón alcanzado por estufa.
23-11-1998	Incendio	Av. Los Cerrillos 960	El mercurio	fuego se inició en empresa papelera y se propagó a viviendas	
14-08-1999	Contaminación		El mercurio	comuna afectada por nube tóxica del incendio de la industria de Maipú. Se hizo lavado y aspirado de calles	por nube tóxica
05-09-1999	Lluvias		El Mercurio	calles anegadas	
09-09-2001	Incendio	Calle Dominica 7125.	El Mercurio	Vivienda de material ligero, la víctima vivía sola.	
07-07-2002	Incendio	Calle Las Américas 222.	El Mercurio	Vivienda de material ligero. Vivía solo.	
05-01-2003	Incendio	Pabellón Juan XXIII del hogar Pequeño Cotelengo de Cerrillos.	El Mercurio		Contacto de cables eléctricos y las cañerías de agua caliente.
12-11-2004	Lluvias		El Mercurio	Viviendas inundadas por un temporal.	Inestabilidad postfrontal, al chocar con la cordillera, produjo precipitaciones mucho mayores a las esperadas.
12-08-2006	Incendio	Empresa Carpas Ossandón, ubicada en la calle Suiza 45.	El Mercurio	Los trabajadores fallecidos dormían en el lugar donde se inició el siniestro, ambos se encontraban bajo los efectos del alcohol.	Se inició en el sector de la cocina y casino del lugar.
23-11-2008	Incendio	Ex aeródromo.	El Mercurio	Las hectáreas corresponden a pastizales.	
13-02-2011	Incendio		La Tercera	Incendio afectó 2 bodegas.	

Fuente: https://online.desinventar.org/desinventar/#CHL-1257983285-chile_inventario_historico_de_desastres

II.8 PATRIMONIO

Se entiende por patrimonio el conjunto de bienes valiosos, materiales o inmateriales, heredados de los antepasados. Reflejan el espíritu de una época, de una cultura, y de una región. El patrimonio que va pasando de generación en generación conforma el sello distintivo de un pueblo, es por esto que a través del patrimonio se conoce la identidad nacional de un país.

En Chile, la protección oficial del patrimonio comienza el año 1925, a partir de la primera Ley sobre Monumentos Nacionales que, en un principio, solo consideró al patrimonio histórico, arqueológico y monumental (edificios monumentales). Posteriormente en el año 1970, se modifica la legislación Ley 17.288 y se incorpora la declaratoria de zonas, sitios, localidades, barrios o poblaciones, de manera de cautelar el patrimonio urbano y rural en una mirada de conjunto y territorio. De esta forma, el Consejo de Monumentos Nacionales, organismo dependiente del MINEDUC, tiene por función identificar y proteger el patrimonio nacional, y la supervisión de sus intervenciones.

El patrimonio y particularmente los principales valores identitarios de la comuna de Cerrillos se relacionan al aeropuerto, al cordón industrial, a las poblaciones de obreros y también a la actividad agrícola, la cual resistió por varias décadas gracias a la condición de restricción del aeropuerto, pero que paulatinamente ha venido siendo desplazada por el desarrollo de la ciudad.

En la actualidad, el patrimonio oficial de la comuna tan solo consta de Monumentos Históricos (MH), todos ellos elementos relacionados al Aeropuerto de Cerrillos y la Fuerza Aérea.

A continuación se presentan los MH que actualmente se encuentran en la comuna de Cerrillos

Tabla 5 Monumentos Históricos Comuna de Cerrillos

Nombre	Documento Jurídico
a) La unidad de Antena del radar Gaviota que perteneció al primer radar de vigilancia del aeropuerto con que conto la Fuerza Aérea de Chile que, a su vez, fue el primer radar de base terrestre del país; operando desde principios de la década del 70 hasta mediados de los años 80 en la ciudad de Antofagasta. b) Cuatro aeronaves: Avión Cessna 195 fabricado en 1951, Avión Douglas DC- 3 C- S1C3G fabricado en 1943, Helicóptero MBB BO 105L- SA1 fabricado en 1984, Avión Vultee BT-13 ^a fabricado en 1942.	Decreto N° 1307 (2006)
Aeronave Beechcraft T-34 "Mentor", de 1948, Aeronave Beechcraft D-18S, de 1945; Aeronave De Havilland DH-60 G "Gipsy Moth", de 1927; Aeronave Bell 47 D1, de 1945; Aeronave Cessna T-37 B "Tweety Bird", de 1954; Aeronave Culver Cadet LFA-445, N° 9563, de 19	Decreto N° 818 (2002) Decreto N° 1307 (2006)
Once aeronaves del Museo Nacional Aeronáutico y del Espacio	Decreto N° 342 (2002) Decreto N° 1307 (2006)

Fuente: www.monumentos.gob.cl

II.9 INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA

El sistema de transmisión eléctrica del área de estudio forma parte del Sistema Eléctrico Nacional, que anteriormente correspondía al Sistema Interconectado Central (SIC). El Sistema Eléctrico Nacional, nace en el año 2017, en el momento en que los actuales sistemas del norte grande y del centro sur del país, se unifican alcanzando los 3.100 Km y abarcando casi la totalidad del territorio nacional, desde la ciudad de Arica por el norte, hasta la Isla de Chiloé, en el sur. Este sistema tiene una capacidad instalada de 24.000 MW y atiende una demanda máxima de 11.000 MW.

La empresa que presta servicios de energía eléctrica en la comuna de Cerrillos es:

- ENEL Distribución Chile: Perteneciente al grupo Enel Américas, la Compañía chilena de electricidad es la empresa distribuidora de electricidad más grande del país. Posee un área de concesión de 2.065,4 km² totales en la Región Metropolitana de Santiago.

A continuación, se enlistan todas las líneas de transmisión que surten el área de estudio:

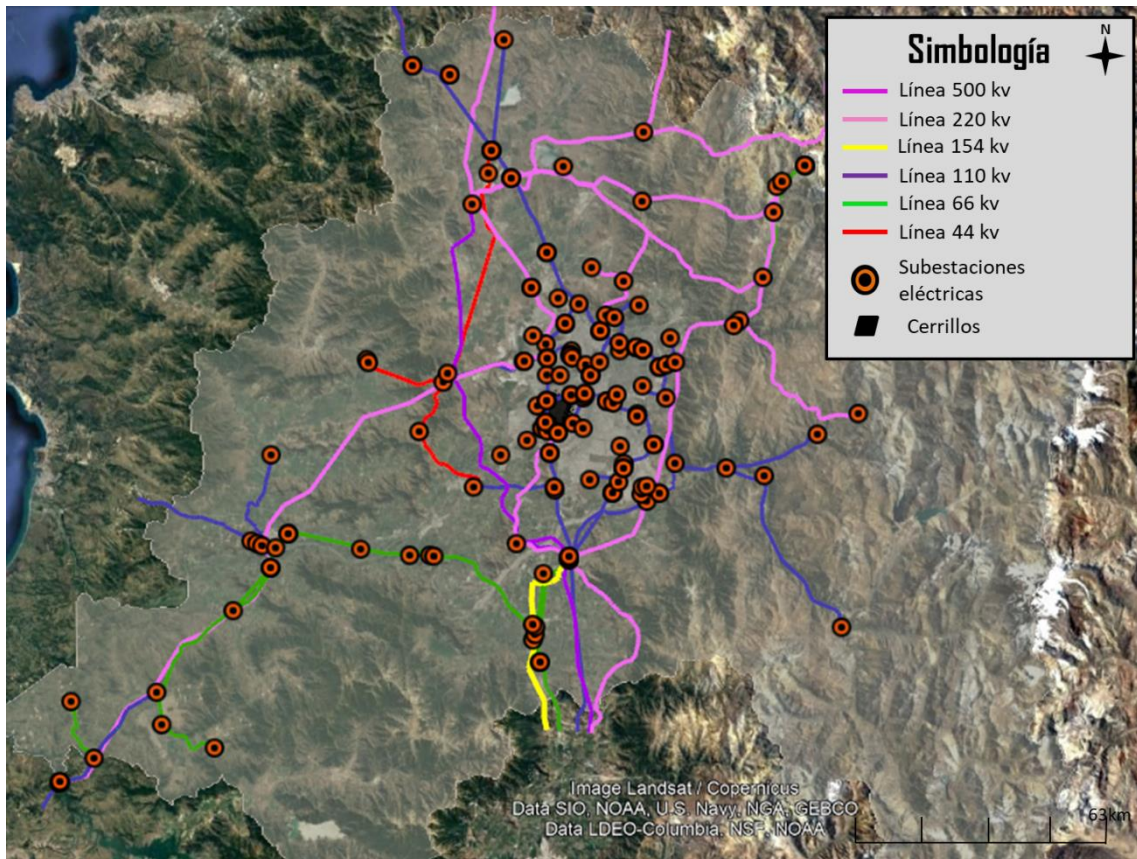
Tabla 6 Líneas de Transmisión Eléctrica, comuna de Cerrillos

Nombre	Propiedad	Tensión Kv
Chena - Cerro Navia 110kv	ENEL distribución	110
Chena – Cerro Navia – Lo Valledor 110kv	ENEL distribución	110
Chena – Cerro Navia – Pajaritos 110kv	ENEL distribución	110
Chena – Ochagavía 110kv	ENEL distribución	110

Fuente: elaboración URBE en base a mapa de Infraestructura eléctrica, Superintendencia de Electricidad y combustible, Ministerio de Energía.

La infraestructura que permite el suministro al área de estudio se encuentra fuera de la comuna: centrales generadoras, líneas de transmisión y subestaciones eléctricas, siendo estas últimas las que bajan el voltaje para entregar la energía a las empresas distribuidoras. En el siguiente mapa se distinguen las subestaciones energéticas y las líneas SIC de la Región Metropolitana, contando Cerrillos con líneas de 110 kv únicamente.

Figura 7 Infraestructura energética región Metropolitana



Fuentes: Elaboración URBE sobre Google Earth en base a Infraestructura de datos espaciales, Comisión Nacional de Energía, Ministerio de Energía.

II.10 CONCLUSIONES ANTECEDENTES AREA DE ESTUDIO

Las principales características climáticas que presenta la Región Metropolitana corresponden al tipo "mediterráneo", de estación seca larga y con un invierno lluvioso. La temperatura media anual es de 13,9°C, en tanto que el mes más cálido corresponde al mes de enero, alcanzando una temperatura de 22,1°C, y el mes más frío corresponde al mes de julio con 7,7°C. Respecto de las proyecciones de temperaturas en la comuna se observa un aumento de la temperatura máxima y media anual aproximada a 2,4° Celsius respecto de la proyección del escenario del año 2050. Las precipitaciones por su parte proyectan una disminución de la precipitación normal anual (2010) de 49 mm respecto de la proyección del escenario del año 2050.

Los vientos predominantes en la cuenca de Santiago corresponden a vientos Sur y del SurOeste, procedentes de la costa, estos se internan a través de los valles del Maipo y Mapocho, llegando a intensidades de 4 a 5 m/s en los meses de verano. Los vientos presentan diferencias en la circulación en periodos día-noche y de acuerdo con las estaciones, aumentando en primavera, disminuyen en otoño y se ausentan durante los

periodos de invierno. Esta condición permite que de la calidad y condición atmosférica, en invierno, sea más crítica, sumado a la contracción de la capa de inversión térmica.

Respecto de su geomorfología, la comuna cuenta con una altura promedio de 500 msnm., representada por un plano inclinado con una topografía de lomajes suaves en dirección norte (producto del metamorfismo terciario). Los terrenos de la cuenca son de orígenes aluvional, volcánicos en periodos geológicos del terciario inferior y depósitos fluviales del periodo cuaternario generados por los ríos Maipo y Mapocho. Los suelos de origen volcánico presentan una infiltración menor que los suelos de origen aluvional, pudiendo los primeros tener problemas de anegamiento. En tanto las zonas aledañas al cauce del Zanjón de la Aguada fueron rellenadas con sedimentos de origen fluvial más reciente, a ello debe la escasa consolidación y los rellenos de ripios y arenas. Esta zona corresponde a relieves aterrizados a lo largo del zanjón encontrándose allí los sectores más bajos de la comuna, siendo estos potenciales sectores inundables.

Los cursos de agua presentes en la comuna son el Zanjón de la Aguada y el Canal Ortuzano, ambos desaguan en el río Mapocho y presentan crecidas en los períodos de invierno y primavera. El Zanjón constituye uno de los principales cursos evacuadores de aguas lluvias de la Región Metropolitana, el Plan Maestro de Aguas Lluvias lo inserta como el sistema de evacuación principal de la Zona Centro. Tanto el Zanjón de la Aguada como el Canal Ortuzano se encuentran canalizados y en algunos tramos se encuentran a una cota mayor a la Ruta del Sol, situación que puede ser de relevancia durante las crecidas extraordinarias (condición que se da con el incremento de las precipitaciones cuando se activa el “fenómeno del niño”).

La hidrogeología, de acuerdo con los antecedentes aportados por el Proyecto Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable, Región Metropolitana (OTAS) la gran unidad hidrogeológica ubicada en el Gran Santiago corresponde a: “Subcuenca Maipo – Santiago”. El relleno sedimentario de la cuenca constituye un acuífero no confinado (permeable), característica que la hace más frágil en materia de contaminación (los residuos se infiltran con facilidad). El OTAS señala que el nivel de la napa se encuentra a una profundidad aproximada que va de 20 a 60 metros (mediana profundidad). Cálculos más específicos⁸ señalan que el nivel de la napa en Cerrillos es de 40 metros de profundidad al este de la comuna y 65 al sur. Las aguas freáticas escurren en substratos inferiores de oriente a poniente.

Los suelos de la comuna son de origen fluvial, son suelos jóvenes de escasa profundidad y desarrollo, del tipo inceptisol por el norte y Mollisol por el sur, estos últimos presentan un mayor desarrollo en sus horizontes. Estos suelos se encuentran clasificados como Qrs (mollisol), asociados a los depósitos fluviales del río Maipo, y Qp (inceptisol). Respecto del tipo QP, está constituido principalmente por pumacitas, piedra pómez y cenizas volcánicas, en el relieve preexistente (lomajes), poseen gran compactación, alta densidad

⁸ Estudio Impacto Ambiental, vial y de Riesgos, Zonas Industriales Exclusivas Molestas, Comuna de Cerrillos. Geotécnica. 1996.

y granulometría uniforme, son suelos que presentan dificultades al drenaje, al saturarse con mucha rapidez: En estas zonas las aguas escurren rápidamente en superficie y dada la condición de lomajes estas drenan hacia zonas más bajas, principalmente en dirección del Zanjón y hacia el sur oeste de la comuna.

La contaminación de los suelos del ex aeródromo Cerrillos, se origina por su utilización por casi 50 años como el principal aeródromo nacional, lugar donde se depositaron los residuos de las mantenciones de las aeronaves (FACH y LAN). De acuerdo a lo señalado en el pladeco 2011 – 2015 “Se presume que en sectores donde se ubican los estanques de combustible en terrenos del ex Aeródromo Cerrillos, con el correr de los años se ha producido contaminación del suelo y de la napa; esto a consecuencia de derrames y posterior infiltración en el terreno de los líquidos fugados”.

Respecto de la flora y fauna, en la comuna en su sector rural remanente, está desprovista de vegetación nativa (que es propio o endémico), predominando especies herbáceas características de ambientes con fuertes impacto por la presencia y accionar del hombre. En el sector urbano, las áreas verdes de la comuna corresponden a parques que han sido plantados con especies introducidas, que, aunque contribuyen a aumentar la biodiversidad en términos genéricos, no lo hacen respecto de las especies nativas.

El Informe Estadístico Anual 2018 de ONEMI, registró para la comuna de Cerrillos un total de 8 eventos antrópicos, con un total de 40 afectados. El mismo informe respecto de los riesgos naturales para el mismo periodo registró un evento con 260 afectados. De los registros de presa consulados en desinventar.org para el periodo 1970 – 2014 arroja que principalmente se registraron incendios y explosiones, seguido por lluvias e inundaciones.

III ANTECEDENTES TEÓRICOS

III.1 CONCEPTOS

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, 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

* 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

indirectas de un proceso geológico en una determinada zona (Gonzalez de Vallejo, et al., 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).

III.2 REMOCIONES EN MASA

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

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

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

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

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

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

montañosos y de la cordillera de Los Andes, se incluyen avalanchas de roca, lahares y flujos asociados a volcanismo.

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

Figura 8 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas

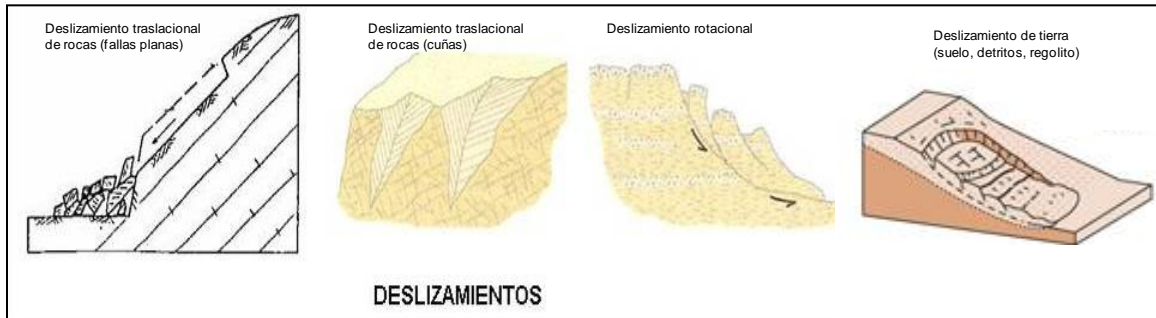


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

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

y dependiendo de las condiciones, pueden ser el inicio de otro tipo de remociones en masa más masivas (Hunggr, 2014). Ver Figura a continuación.

Figura 9 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

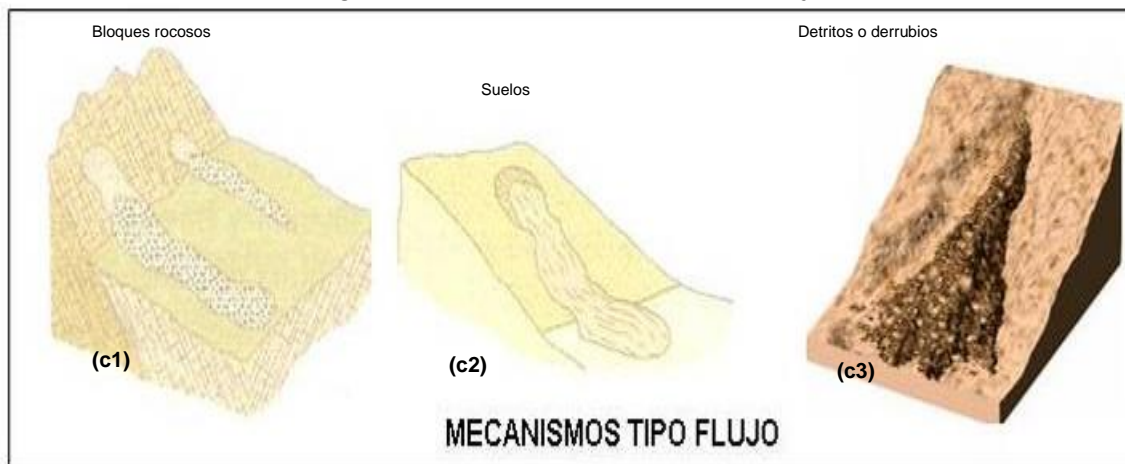


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002.

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

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

Figura 10 Remociones en Masa de tipo Flujo



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002.

Factores condicionantes y desencadenantes.

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

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

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

Geología y geotecnia: Las características geológicas de un sector son usualmente descritas a partir de los tipos de materiales presentes (distintas litologías, sedimentos y coberturas de suelo), por la disposición que presentan (estratificación, contactos, presencia de fallas y sistemas de diaclasas). Sin embargo, para estudiar las remociones en masa no sólo es importante conocer la composición y tipo de masa sensible a ser movilizadas, sino que también cómo se espera que se comporte en términos mecánicos y resistentes. Es importante considerar el grado de alteración y meteorización de los macizos rocosos, así como caracterizar su fábrica estructural (tipo, disposición y condición de las discontinuidades), y estimar u obtener valores de la resistencia de la roca intacta, del macizo y de sus discontinuidades. También es importante describir el comportamiento de los materiales ante la presencia de agua (porosidad, permeabilidad, humedad, densidad de los materiales que lo componen).

Geomorfología: Las condiciones geomorfológicas de un área estarán gobernadas por los distintos procesos que modelan la superficie, y pueden ser descritas en términos de rangos de pendientes, topografía presente, a altura de las laderas y la forma que presentan (laderas regulares o irregulares, con pendiente positiva o negativa). De esta forma, topografías escarpadas, con altas pendientes, propiciarán la generación de varios tipos de remociones en masa (como flujos, deslizamientos y caídas), influidos por la acción gravitatoria. Los rangos críticos de pendientes para cada tipo de remoción en masa son variables.

Hauser (1993) señala que pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas serían favorables para el desarrollo de flujos o aluviones, mientras que Sauret (1987) en Sepúlveda (1998) señala que aluviones podrían generarse en pendientes menores (que no sobrepasen los 15°). Laderas en roca con pendientes mayores a 35° serían susceptibles a que se generen deslizamientos, y en un caso sísmico, esta pendiente podría ser sólo mayor que 15° (Keefer, 1984). En el caso de caídas de rocas, podrían generarse ante un sismo a partir de un macizo rocoso

fracturado, meteorizado, y poco resistentes, en zonas donde los taludes son mayores o iguales a 40° (Keefer, 1984). En algunos tipos de remoción en masa, donde es relevante el espesor de suelo y cobertura vegetal, se consideran además aspectos geográficos del área, como por ejemplo orientación con respecto al norte lo que puede finalmente influir por ejemplo en el grado de humedad de la ladera y exposición al sol.

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

Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas: El agua, tanto en superficie como por debajo de ella, condiciona en forma directa e indirecta la generación de remociones. La forma y distribución de sistemas de drenaje en superficie, así características de caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por un lado, genera presiones intersticiales lo que reduce la resistencia, aumenta los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno y genera fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002) y reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas.

Intervención antrópica: El hombre genera de forma planificada o no, modificaciones en el medio. La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, obras de minería, etc., en muchas ocasiones deja las laderas más susceptibles a la ocurrencia de eventos producto de diseños mal concebidos, con ángulos mayores a los que es capaz de resistir en forma natural los materiales, o que no consideran el control estructural que tendrá un talud de forma natural. En algunas ocasiones, el resultado son geometrías de laderas irregulares o con pendientes negativas que finalmente causarán desestabilización. Sin embargo, también existen obras antrópicas robustas, que disminuirán la susceptibilidad ante remociones en masa, y esa consideración será incluida y abordada en el presente trabajo. Cabe señalar, que al igual que las precipitaciones, la intervención antrópica en algunos casos resulta el agente desencadenante de un evento.

A diferencia de los factores condicionantes, los factores desencadenantes corresponden a agentes activos y pueden ser considerados como factores externos que provocan o

gatillan inestabilidades (González de Vallejo et al., 2002). En la mayoría de los casos, son varias causas las que finalmente contribuyen al movimiento de una ladera, aunque con frecuencia se atribuyen a sismos o precipitaciones intensas, sin embargo, deben existir las condiciones predeterminadas para su ocurrencia.

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

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

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

Existen numerosos estudios, antecedentes históricos e información de prensa que dan cuenta de eventos de tipo flujo en la zona precordillerana y cordillerana de la zona Central de Chile. Hauser (1985) plantea una evidente relación entre la generación de aluviones en la zona central con precipitaciones anormalmente intensas (más de 60 mm/24 horas en períodos invernales). Precipitaciones de intensidad media en periodos prolongados de tiempo pueden ser consideradas como factores desencadenantes de flujos (Padilla, 2006). Eventos de precipitaciones anormales llevan consigo también, un aumento de la escorrentía superficial que incrementa la erosión del suelo suelto, elemento importante en la generación de flujos. Es importante señalar la ocurrencia de flujos en áreas urbanas donde el material movilizado se satura en agua por causas humanas (ruptura de cañerías, entre otros).

Sismos: Los terremotos pueden provocar movimientos de todo tipo en las laderas, dependiendo de sus características y de parámetros sísmicos, como magnitud y distancia a la fuente (González de Vallejo et al., 2002). Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad (Lara 2007). Según González de Vallejo et al. (2002), los desprendimientos de bloques, deslizamientos, flujos y avalanchas de roca son las remociones en masa más frecuentes producto de un fenómeno sísmico, mientras Keefer (1984) señala que corresponderían a caídas de rocas, deslizamientos desagregados de suelos en laderas con pendientes mayores a 15° y deslizamientos de roca en laderas con pendientes mayores a 40°, y en forma secundaria, derrumbes en suelo, deslizamientos en bloques de suelo y avalanchas de tierra, estableciendo magnitudes mínimas aproximadas para la generación de cierto tipo de fenómenos de remociones en masa, en base a observaciones de eventos generados. Por ejemplo, para sismos con magnitud menor o igual a 5,3 se establece en 50 kilómetros la máxima distancia desde el foco y zonas con ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos disgregados (Keefer, 1984). De la misma forma, se establece en 10 kilómetros la máxima distancia entre el foco de un sismo con magnitud cercana a 5,5 y zonas con flujos de detritos y deslizamientos masivos. Cabe señalar que estas condiciones no contemplan amplificaciones locales o efectos de sitio que pudiese desencadenar remociones en masa.

Intervención antrópica: El hombre, como ente modificador del medio, genera una serie de cambios que, en algunos casos, son el principal desencadenante de remociones en masa. Los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas, producto de la impermeabilización artificial de los suelos o el desvío de cauces sin las correctas medidas paliativas, pueden generar cambios en las propiedades de los materiales y variaciones en el nivel freático. Por otro lado, la obstrucción de cauces con basura y escombros puede aumentar el material a movilizar durante un aluvión, o bien, la mala mantención de redes de alcantarillado y agua potable, pueden desencadenar aluviones (por ejemplo, el aluvión en el Cerro el Litre (Valparaíso) el año 2009). La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, entre otros, sin un análisis geotécnico adecuado, puede ocasionar desestabilización, así como el poco mantenimiento de sistemas de contención, o bien la limpieza de laderas sin la guía de un especialista.

III.3 INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES

Las inundaciones corresponden, en la mayoría de los casos, a un fenómeno de origen natural y recurrente para un río. “Estadísticamente, los ríos igualarán o excederán la inundación media anual, cada 2,33 años (Leopold et al. 1984, en Rojas, 2009). La mayor parte de las inundaciones resultan de la interacción que se produce entre el agua y el sedimento que se mueve o permanece en el cauce del río (Keller & Blodgett, 2007).

Keller & Blodgett (2007), definen inundación como un proceso natural por el cual el flujo rebosa el cauce, relacionando el proceso generalmente con la cantidad y distribución de

las precipitaciones en una cuenca. Para estos autores, el fenómeno puede caracterizarse por el caudal como por la altura de la lámina de agua.

Para Monsalve (1999, en Rojas, 2009), no se deben confundir los términos entre creciente e inundación. Una creciente es simplemente la ocurrencia de caudales relativamente grandes, en cambio una inundación es la ocurrencia de caudales suficientemente grandes que se salen de su cauce, de esta forma una creciente puede o no causar una inundación, como también una inundación puede o no provenir de una creciente (ej. Elevación del nivel del mar, represamientos). Conceptos similares son los ocupados en Estados Unidos por el Servicio Nacional de Meteorología, el que tiene un sistema de alertas de inundación designando una altura precisa en un lugar determinado. La fase de crecida, comienza cuando se sobrepasa el nivel establecido, esperando que comience una inundación, una vez que el caudal se sitúa por debajo del nivel de crecida el río se encuentra en fase de encausamiento (Strahler, 1992).

En síntesis, todas las definiciones apuntan a la superación de la capacidad de evacuación del cauce, pasando el agua a ocupar la llanura de inundación o lecho mayor, la definición de esta zona depende de la perspectiva del estudio, "como categoría topográfica es muy plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión; hidrológicamente, está mejor definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río padre" (Schmudde, 1968, en Rojas, 2009), en síntesis corresponde a una zona relativamente plana ubicada en una zona adyacente al cauce que sufre inundaciones periódicas.

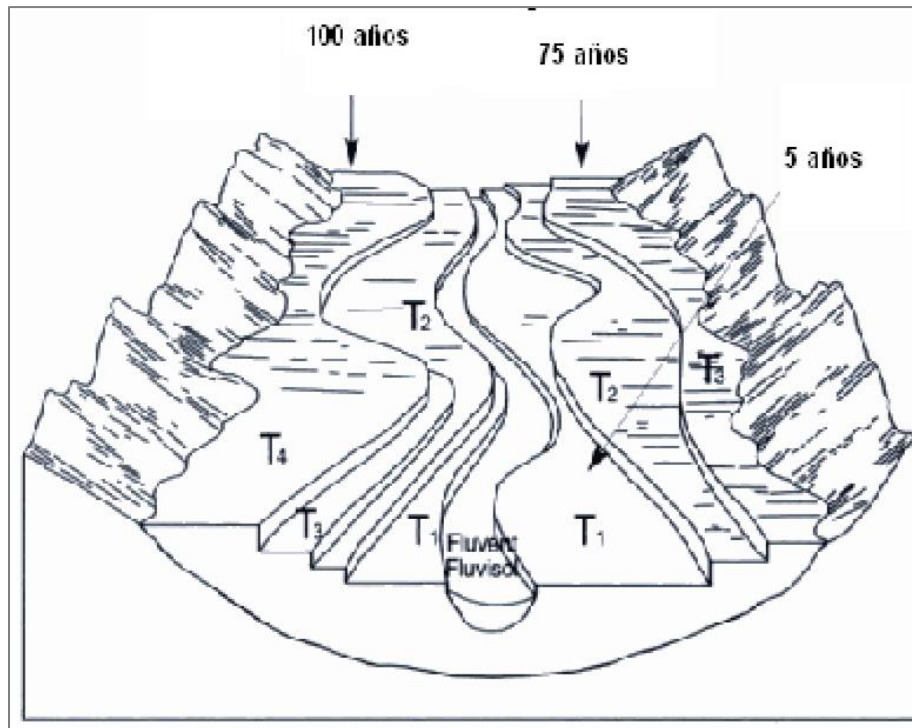
El sistema fluvial responde al aporte de agua desde fuera del sistema (Camarasa, 2002, en Rojas, 2009), produciendo una aceleración de los procesos de erosión, transporte y sedimentación en el área afectada. En la intensificación de un proceso de crecida que puede terminar en inundación, intervienen factores espacio-temporales del evento, que dicen relación con la propagación del agua valle abajo, algunos de estos factores fueron expuestos por Mateu (1988, en Rojas, 2009): condiciones climáticas e hidrológicas previas registradas en la cuenca; caracteres físicos de la cuenca: topografía, superficie drenada, litología, cubierta vegetal, uso de suelo, canalizaciones, tipo de suelo, densidad y jerarquización de la red de drenaje. Características de los canales: morfología del lecho, geometría del cauce, procesos naturales, obstrucciones.

Para determinar los alcances de una posible inundación se utiliza el concepto de intervalo de recurrencia o tasa de retorno, entendido como el tiempo promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud determinada, se acostumbra a denotarlo con T (Aparicio, 1989; Chow et al. 1994; Keller & Blodgett, 2007, en Rojas, 2009), generalmente y si las metodologías y datos disponibles lo permiten, cada terraza de inundación tendrá su propio período de retorno (Figura).

Tarback & Lutgens (2005, en Rojas, 2009), clasifican las inundaciones en primer lugar por sus causas, sean estas naturales o humanas. A partir de ello establecen una clasificación

por cuatro tipos de inundaciones: inundaciones regionales; inundaciones repentinas o avenidas; inundaciones por obstrucción de hielo; inundaciones por rotura de represas.

Figura 11 Terrazas de inundación con periodos de retorno hipotéticos



Fuente: Modificado de Porta & López-Acevedo, 2005

Keller & Blodgett (2007), identifican dos tipos de inundaciones: inundaciones de cabecera y de valle. Las Inundaciones de cabecera se producen en las partes altas de las cuencas fluviales, por rotura de presas, diques y obstrucciones de hielo. Por su parte las inundaciones de valle son las más conocidas, comúnmente aparecen en la prensa y son el resultado de tormentas que saturan el suelo y hacen aumentar la escorrentía. Ollero (1997, en Rojas, 2009), identifica seis tipos de inundaciones en cursos fluviales, y agrega las inundaciones provocadas por el mar pero con la sinergia de las crecidas fluviales

Los efectos de una inundación pueden ser vistos desde el punto de vista del medio natural como del medio antrópico. En el medio natural podemos mencionar: movilización de gran cantidad de sólidos desde la cabecera de la cuenca; aceleración de los procesos de erosión, transporte y sedimentación; generación de corrientes anárquicas en llanos de inundación como también microformas de relieve; variaciones de geometría y trazado del cauce; renovación del ambiente fluvial y de los hábitats. En el medio humano las consecuencias son en su mayoría negativas: daños en infraestructuras; repercusiones en la vida humana (falta de comunicaciones, gastos económicos, cesantía, efectos psicológicos, sociológicos, problemas de salud, abastecimiento, etc.); pérdida de vidas humanas (Ollero, 1997, en Rojas, 2009).

III.4 INUNDACIONES POR ANEGAMIENTO

La inundación por anegamiento se define como formas de acumulación de aguas de lluvia sobre el terreno, y oteando hacia la causalidad, por lo general en este caso también existe una situación de desbalance, la cual se da entre el volumen de la lluvia precipitada en un determinado lapso de tiempo y la capacidad de evacuación de un suelo dado, tanto horizontal como verticalmente.

Si bien ello es cierto, existen complicaciones. Estas se derivan de los cambios en la permeabilidad, en la saturación del suelo, y en la micro-topografía de la superficie, ya sean por causas naturales o artificiales,

Los cambios en la permeabilidad del suelo pueden ser positivos o negativos. Entre las acciones positivas, es decir, que incrementan la permeabilidad está la aradura y la incorporación de materia orgánica. Los efectos negativos tienen como causa la intervención en términos de compactación y/o de cobertura con materiales impermeables, como son las construcciones, los concretos y los asfaltos, incluso la aplicación de petróleo o aceite quemado a los caminos de tierra o la adición de una cubierta de maicillo y su apisonamiento.

La saturación del suelo se refiere concretamente a dos situaciones⁹: 1°- la existencia natural de áreas hidromórficas o con presencia semi-constante a constante de la napa en superficie, lo que impide la percolación de las aguas lluvias, puesto que un suelo con estas características se comporta como un material impermeable y, 2°- los suelos pueden sufrir saturación progresiva, más o menos rápida según su permeabilidad, ante la ocurrencia de precipitaciones prolongadas o intensas, lo cual conduce a una situación similar a la anterior. Se trata del concepto de permeabilidad efectiva.

En este caso, si un suelo dado ve superada su capacidad de infiltración y evacuación subterránea de las aguas, lo cual es común que ocurra cuando las lluvias son intensas, se generará un excedente pluviométrico que deberá permanecer en superficie por el lapso de tiempo post-lluvia necesario para que la situación se normalice.

Las variaciones en la micro-topografía se refieren a cambios en la configuración del terreno que crean desniveles y obstáculos para el drenaje superficial. Este hecho tiene una causal fundamental: el hombre. Las construcciones que este efectúa (diques, terraplenes, camellones, soleras, muros, etc.) vienen a constituirse en obstáculos para que el agua circule libremente sobre los terrenos siguiendo las diferencias de pendiente. Esto ocurre tanto en el ámbito rural como en el urbano.

En el primero de los casos, los terraplenes de las carreteras y de las vías férreas suelen cumplir el rol de diques por insuficiencia de alcantarillas transversales, generando

⁹ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

enlagunamientos hacia aguas arriba. En las ciudades, prácticamente todas las construcciones son obstáculos al escurrimiento de las aguas lluvias, las cuales terminan por acumularse en sectores ligeramente más bajos sin posibilidad de circular ni infiltrarse.

Frente a la ocurrencia de precipitaciones, la malla de calles y avenidas de una ciudad se transforma en una “red fluvio-vial” que, siguiendo la inclinación del eje de cada una de ellas funcionando como cauces, va creando flujos que confluyen progresivamente, sumando sus aguas en dirección de los sectores topográficamente más deprimidos. Probablemente, con base en un levantamiento topográfico detallado de las calles de una ciudad sea posible establecer claramente de donde vienen y para donde van las aguas, y los diferentes puntos de concentración, lo cual puede servir como herramienta de decisión sobre qué hacer y donde hacer en el contexto de las medidas que deben emanar de los planes maestros de aguas lluvias.

Por otra parte, cuando los anegamientos en el área rural llegan a superar parte de los obstáculos del terreno, estas aguas comienzan a desplazarse sobre la superficie, pasando a constituir una forma de escurrimiento laminar. Como resultado de este proceso pueden presentarse nuevas situaciones.¹⁰:

- Pueden resultar afectados terrenos que no habían sufrido este problema;
- La suma de estas aguas provenientes de diferentes sectores, lo cual requiere de ciertas condiciones topográficas favorables, puede elevar sustantivamente la cota de anegamiento en algún sector agravando la situación;
- En su camino pueden encontrarse con un cauce y vaciarse en él, lo cual puede ser la solución para un sector, pero puede provocar problemas aguas abajo al generar un superávit hídrico en dicho cauce y su desborde.

IV METODOLOGÍA

En el marco del desarrollo del estudio del Plan Regulador Comunal, ha sido necesario elaborar un estudio que permita determinar los niveles de riesgos por fenómenos naturales y los generados por la intervención humana que es posible definir a escala comunal. La escala de análisis a nivel comunal corresponde a 1:5.000.

A continuación, se efectúa el análisis respecto de los componentes físicos del riesgo y su evaluación en función de los objetivos del estudio. Dentro de los procesos que han sido considerados como potenciales generadores de situaciones de riesgo sobre el espacio antrópico (vinculados con el objetivo de este estudio), se han desarrollado los siguientes:

- **Procesos de Crecidas y Desbordes de cauces (Inundaciones)**
- **Procesos de Remoción en Masa**
- **Procesos de Incendios**

¹⁰ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

A continuación, se presenta el desarrollo de cada uno de estos aspectos en detalle.

- **Metodología General del Estudio**

El método utilizado para la definición de riesgos corresponde a la superposición de cartas temáticas digitales utilizando como herramienta un sistema de información geográfico, obteniendo de esta forma una carta integradora de distintas variables que condicionan la ocurrencia de fenómenos naturales que se traducen en riesgo para la población.

Los pasos metodológicos aplicados se describen a continuación:

- **Definición de variables que determinan el riesgo**

Las variables que determinan los distintos tipos de riesgos (Remoción en Masa, Inundaciones, anegamiento y tsunami) corresponden a distintos factores que por una parte son componente importante del riesgo y que a su vez se encuentran disponibles a la escala de análisis necesaria para los objetivos del estudio.

- **Elaboración de Cartas temáticas para cada variable que determina el riesgo, determinando sub-unidades espaciales.**

Para cada una de las variables o factores que determinan los distintos tipos de riesgos se elabora una carta temática que busca identificar las condiciones específicas de cada variable que permiten desencadenar distintos niveles de riesgo. Estas condiciones específicas de cada variable son especializadas y representan sub unidades al interior de cada carta temática.

- **Determinación de valores relativo para cada sub-unidad espacial**

Cada una de las sub-unidades descritas anteriormente, reciben un valor relativo a la potencialidad de generar riesgo. El valor numérico asociado a cada valor relativo ha sido extraído de diversas fuentes, principalmente Ferrando (1998) y Brignardello (1997).

- **Superposición de las distintas cartas temáticas**

Finalmente, las cartas temáticas asociadas a cada tipo de riesgo serán superpuestas a través del SIG, el objetivo es realizar una suma de los valores que tendrá cada sub unidad de las distintas cartas temáticas, generando nuevas subunidades en una carta final resultante. Los valores que resulten de la suma de las distintas sub unidades serán agrupados en cuartiles que definirán (desde los rangos mayores a los menores) los distintos niveles de riesgo para la región.

A continuación, se presentan los resultados y metodología específica de cada tipo de riesgo asociado a este estudio.

IV.1 INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES Y ANEGAMIENTO

Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos y cursos de agua.

Las inundaciones fluviales son procesos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras fértiles donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura en vegas y riberas.

La información relevante para la modelación del riesgo por inundaciones que ha sido analizada, especializada e integrada a través de un SIG (ArcGIS – Spatial Analyst) para la determinación de áreas de riesgo de inundación, corresponde a las siguientes variables:

- Pendiente en grados
- Elevación del terreno cada 1m
- Curvatura (plano, cóncavo y convexo)
- Geomorfología de cauce (Terrazas)

Inundación por anegamiento

Las áreas fueron analizadas a través de parámetros morfológicos (pendientes inferiores a 3° y elevaciones) para determinar las áreas deprimidas sin drenaje superficial y a la fotointerpretación de imágenes áreas de manera de delimitar el área máxima utilizada por el cuerpo de agua.

La información relevante para la modelación del riesgo por inundaciones por anegamiento que ha sido analizada, especializada e integrada a través de un SIG (ArcGIS – Spatial Analyst) para la determinación de áreas de riesgo de inundación, corresponde a las siguientes variables:

- Pendiente en grados (menor a 3°)
- Elevación del terreno cada 0,5 m
- Curvatura (plano, cóncavo y convexo)

IV.2 REMOCIONES EN MASA

El riesgo de remoción en masa considera los deslizamientos y flujos de detritos, rocas y barro. Las áreas asociadas a este tipo de riesgo se definen en función de antecedentes históricos y recientes de ocurrencia, de valores de pendiente en relación con umbrales potenciales de desencadenamiento de procesos, del grado de erosión geológica geomorfológica detectado y en parte evidenciado por hechos tectónicos y acumulación de sedimentos, y de la variable vegetación como factor de protección del suelo. A continuación, se presenta una clasificación y caracterización de los tipos de remoción en masa:

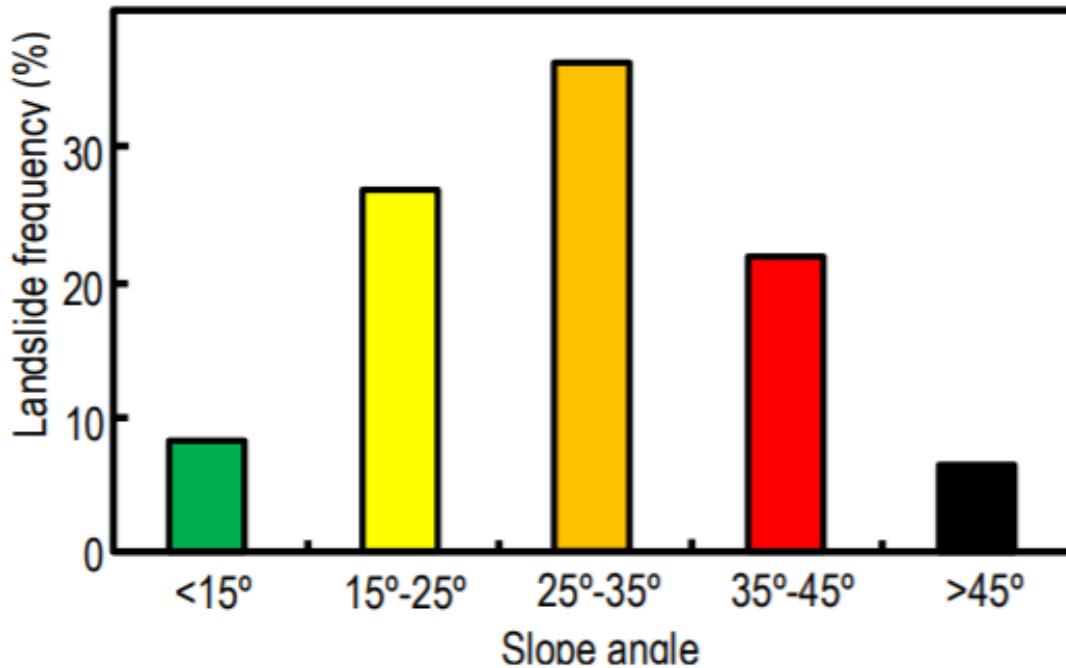
Diversos autores señalan que uno de los principales factores que determina la generación de remociones en masa es la pendiente de las laderas (Esaki, et al., 2005; Giraud & Shaw, 2007). Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles, se utilizó la información compilada a partir de diversas 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 en el mundo se observa sobre pendientes de 25° a 35° de inclinación, relacionado principalmente al ángulo de fricción interno del material, siendo también frecuentes entre los 15° y 25° y sobre los 35° de pendiente. Luego, las pendientes del terreno pueden ser utilizadas como criterio para una clasificación general del territorio frente a potenciales deslizamientos.

Con base en lo anterior, **para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa se consideran las pendientes entre 15° y 25° como moderadamente susceptibles, las pendientes entre 25° y 35° altamente susceptibles y las pendientes sobre los 35° como zonas de muy alta susceptibilidad.**

Finalmente, a partir de todo lo anteriormente expuesto, se determinaron las siguientes categorías de susceptibilidad de deslizamientos y caídas de roca:

- **Muy Alta:** sectores con pendientes mayores a 35° o sectores que presentan condiciones geomorfológicas de inestabilidad.
- **Alta:** laderas con pendientes entre 25° y 35°.
- **Moderada:** laderas con pendientes entre 15° y 25°.

Figura 12 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Esaki et al.(2005)

IV.3 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Para definir los criterios que permitan incorporar los peligros naturales dentro de la zonificación urbana, es necesario tener claros los criterios utilizados en la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. En este sentido, en la siguiente tabla se resumen los factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y los elementos metodológicos con los que se asignó la distribución espacial de la susceptibilidad, los que son descritos precedentemente.

Es muy relevante comprender que la categorización de susceptibilidad se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno dado en un área determinada, pero corresponde a una categorización cualitativa, de carácter relativo, y no cuantitativa.

Pese a que el concepto de susceptibilidad no contempla la cuantificación de períodos de retorno, ni probabilidades de ocurrencia, sí estipula niveles que indican de manera relativa la frecuencia con que ocurre un cierto fenómeno. En este sentido, las zonas de 'muy alta' susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir un evento del peligro analizado, las zonas de 'alta' susceptibilidad serán aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y las de 'moderada' susceptibilidad se asocian a eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero si otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas. Por otra parte, mientras la

magnitud de un evento sea más intensa, se producirán daños mayores, pero los daños serán más importantes en la medida que mayor sea la susceptibilidad del territorio. En consecuencia, se recomienda que, mientras mayor sea la susceptibilidad de un área específica, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

Tabla 7 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad

Peligro	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
Inundaciones por desborde de cauce	<ul style="list-style-type: none"> - Características morfológicas de la red de drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Lluvias intensas 	<ul style="list-style-type: none"> - Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Observaciones de terreno - Estudios hidráulicos existentes
Inundaciones por anegamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Morfología - Malas condiciones de drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Lluvias 	<ul style="list-style-type: none"> - Imágenes satelitales - Catastro de humedales -
Remociones en masa (procesos de ladera)	<ul style="list-style-type: none"> - Pendientes - Material que compone la ladera (geología) - Exposición de laderas 	<ul style="list-style-type: none"> - Sismos - Lluvias intensas - Viento 	<ul style="list-style-type: none"> - Pendiente del terreno - Catastro de remociones en masa

Fuente: Elaboración propia.

V RESULTADOS

A partir de la superposición de información y análisis de los antecedentes, se identificaron áreas de riesgo (o zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de alguna amenaza), que permitirá actualizar el Plan Regulador Comunal, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones.

V.1 ÁREAS DE RIESGOS POR REMOCIONES EN MASA

A partir de los términos de referencia del estudio, objetivos planteados, escala de la información base disponible, se entregan áreas con alta susceptibilidad a la generación de remociones en masa local. Estas áreas son el resultado del análisis y superposición de la información base del área de estudio, complementada con visitas a terreno y la generación de una línea base del medio físico.

Dentro de la información analizada, se incluyeron factores geomorfológicos (topografía, pendientes, alturas, forma de las laderas, etc.) así como informes geológicos y caracterización de las unidades presentes en términos de comportamiento. En paralelo, se realizó un levantamiento de los movimientos en masa presentes en el área urbana de la comuna y visitas a terreno orientadas a validar la información geológica y geomorfológica del área, así como identificar los procesos ocurridos con anterioridad.

A partir del análisis, se pudo determinar que los factores condicionantes claves en la generación de remociones (considerando caídas de rocas, deslizamientos superficiales de suelo y flujos), son las pendientes de las laderas. Para el análisis, se consideran rangos basados en estudios anteriores y validaciones realizadas en terreno (expuestos anteriormente).

Artículo 8.2.1.2. De Derrumbes y Asentamiento del Suelo.

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. Para los efectos del presente Plan, se reconocen las siguientes áreas, con sus respectivas normas técnico – urbanísticas:

Nombre del Pozo	Comuna	Usos de Suelo Permitidos	Superficie Predial Mínima Há	% Máximo Ocupación Suelo	Coefficiente Máximo Constructibilidad
Intercomunal Oriente/ Quebrada De Ramón.	Las Condes	(1) (4) Equipamiento de:	3.00	10%	0.1
Quebrada De Macul/ Canal las Perdices	Peñalolén	- Áreas Verdes			
San Francisco	La Florida/Puente Alto	- Culto			
La Cañamera	Puente Alto	- Cultura			
Cerro Cabras de San Miguel	Puente Alto	- Recreacional/ Deportivo			
Las Acacias	Lepanto	- Esparcimiento/ Turismo			
Lo Sierra	Chena	(2)			
Lastre	Hasbún	Disposición Final de			
Ochagavía	Catemito	- Residuos de la Construcción y/o Demoliciones			
Santa Adela	Maipú	(3) (4)			
La Feria	Pedro Aguirre Cerda	Estaciones de			
La Castrina	San Joaquín	- Transferencia Exclusiva			
Lo Errázuriz	Est. Central/Cerrillos				
Aries	Est. Central				
Las Américas	Est. Central				
Carrascal	Cerro Navia				
Río Viejo / La Hondonada ²⁵³	Cerro Navia/Pudahuel				

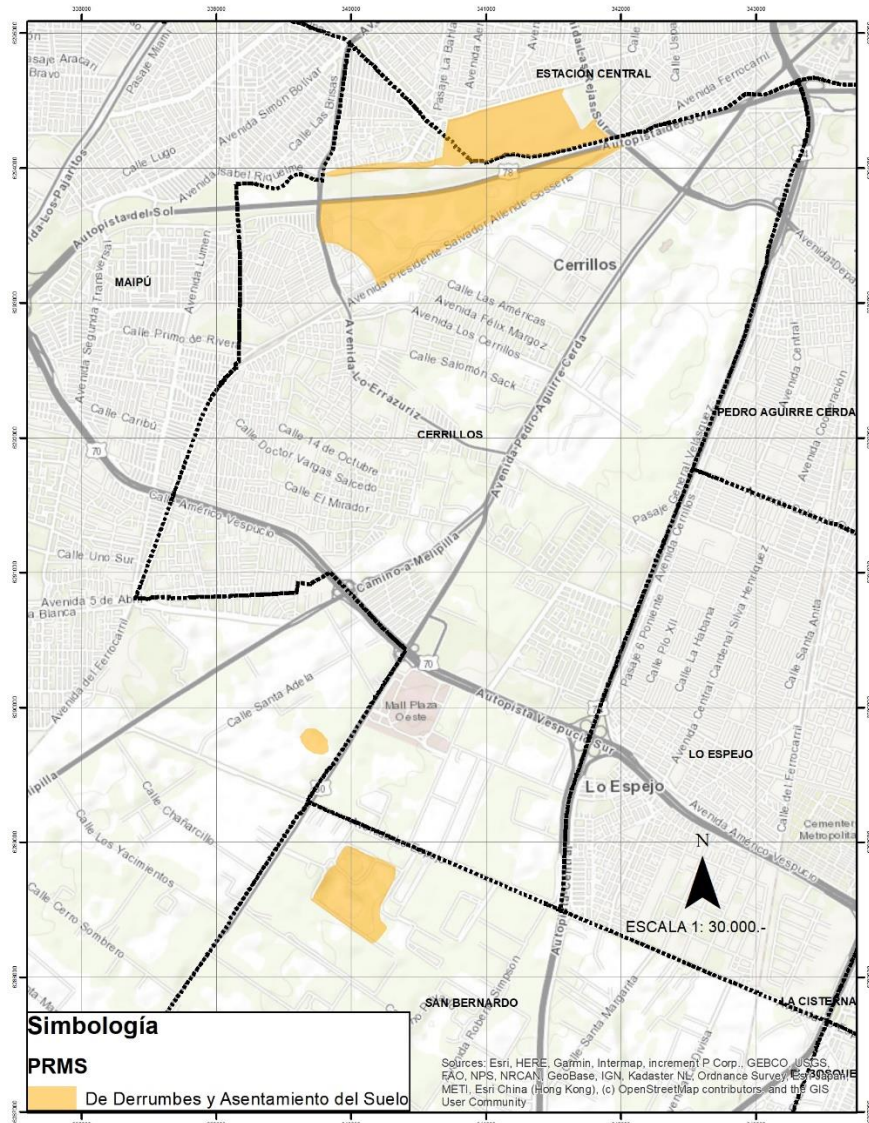
* Los usos de suelo y las condiciones de edificación contenidos en el cuadro, corresponden a todas las comunas indicadas en el mismo.

La autorización municipal, para intervenir estas áreas con algunos de los usos de suelos permitidos, estará condicionada, además, al cumplimiento de las siguientes condiciones y/o estudios informados favorablemente por los Organismos Competentes:

- Mecánica de Suelos: Para la ejecución de los proyectos, los interesados deberán realizar los correspondientes estudios de mecánica de suelos, los cuales deberán ser informados favorablemente por el Servicio Nacional de Geología y Minería, u otro organismo competente.
- Gases: Para los casos de rellenos artificiales deberá verificarse y garantizarse a través de los estudios correspondientes, la inexistencia de emanaciones de gases dañinos para la salud de la población.
- Taludes: Deberá resguardarse los bordes de la excavación de los pozos mediante obras necesarias de protección de taludes.
- Cierros: Deberá consultarse cierros de protección en el perímetro del predio.

Para la comuna de cerrillos corresponde al área graficada en la siguiente figura obtenida del Plan Regulador Metropolitano de Santiago

Figura 13 Áreas de riesgos comuna de Cerrillos



Fuente: Elaborado en base a:

<http://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BE4795CB1-E39A-4C90-8E25-EAA652219791%7D>

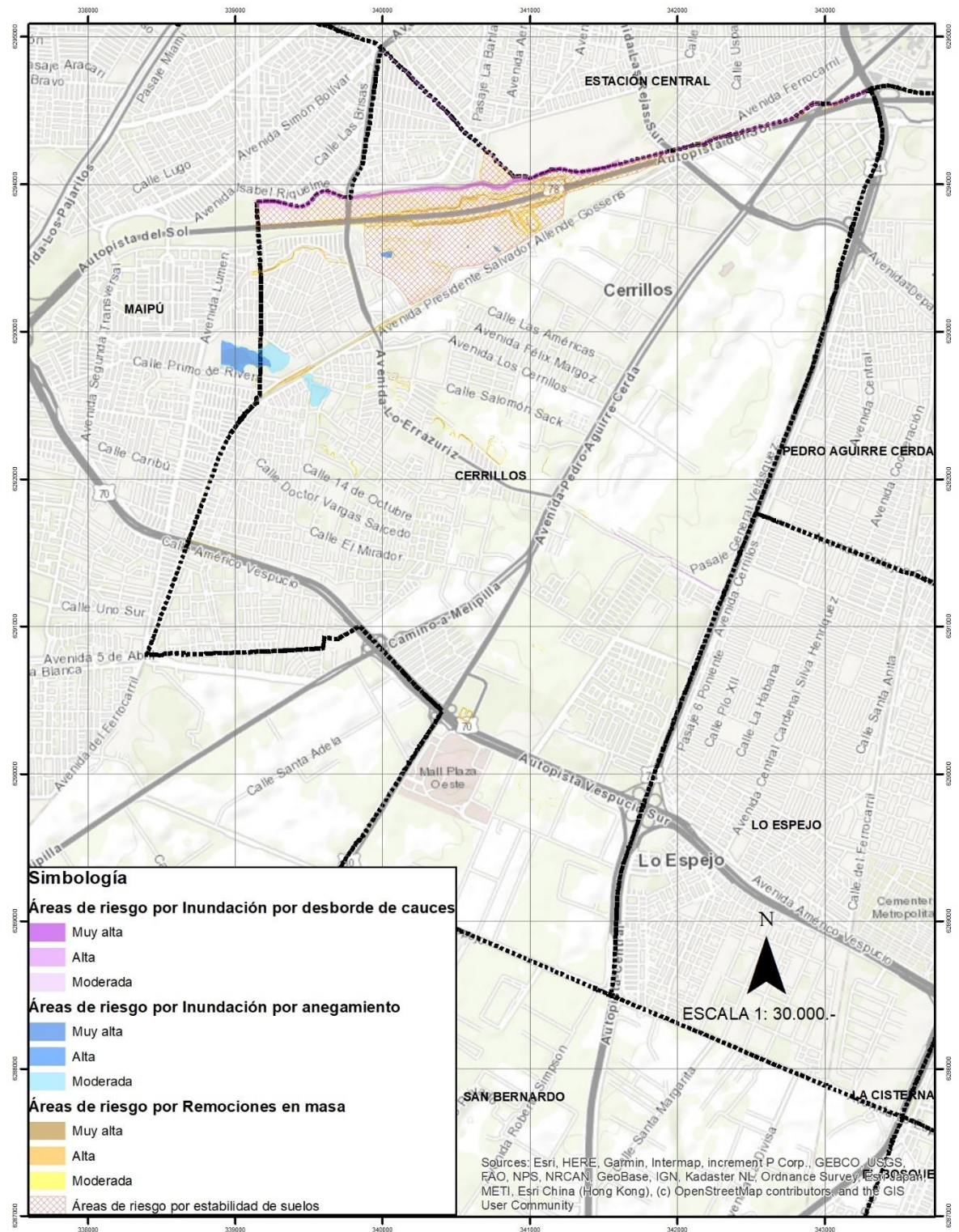
V.2 ÁREAS DE RIESGOS POR INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES

Las áreas de riesgos de inundación para este estudio corresponden a áreas de riesgos de inundación por desborde de cauces. Su delimitación considero la geomorfología de cauce (cauce principal y terrazas inundables), Plan Maestro de Aguas Lluvias y las obras de encauzamiento.

V.3 ÁREAS DE RIESGOS POR INUNDACIÓN POR ANEGAMIENTO

Áreas de riesgo de inundación anegamiento corresponden a los sectores deprimidos sin escurrimiento superficial y producto de la baja permeabilidad de los suelos. Estos sectores deprimidos presentan un desnivel mayor a 1 metro respecto de su entorno inmediato y un pendiente menor a 3°. Como es el caso del “ex pajonal”.

Figura 14 Áreas de riesgos comuna de Cerrillos



Fuente: Elaboración propia.

VI ZONAS NO EDIFICABLES

Las zonas no edificables se encuentran normadas por el ordenamiento jurídico vigente, y en ellas sólo se podrán autorizar actividades transitorias siempre que éstas se ajusten a la normativa que las rige. En el territorio del Plan se identifican las siguientes zonas no edificables:

TEMA	ORDENAMIENTO JURIDICO
Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos	Artículo 56 del D.F.L. No 1 de Minería, de 1982, y en los artículos 108° al 111° del Reglamento SEC: NSEG 5En.71, "Instalaciones de Corrientes Fuertes".
Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos	Código de Aguas, D.F.L. No.1.302, de 1990.
Territorios afectados por las superficies limitadoras de obstáculos que determine la Dirección de Aeronáutica Civil en los terrenos aledaños a Aeropuertos o Aeródromos.	Código Aeronáutico, aprobado por Ley No 18.916, de 1990, del Ministerio de Justicia, D.O. del 18/02/1990.
Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles	Ley General de Ferrocarriles, D.S. No 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.
Fajas de resguardo de los Caminos Públicos Nacionales	Artículo 56 de la LGUC, y según lo señalado en los Artículos 36 y 40 del DFL 850 (MOP) del 12 de septiembre de 1997, D.O. del 25 de febrero de 1998
Faja de 25 metros en torno a las áreas de inhumación, no edificable con viviendas	Reglamento General de Cementerios, D.S. N° 357 de 1970, del Ministerio de Salud (D.O. del 18/06/70), y demás normas pertinentes
Fajas no edificables en torno a Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas	Su ancho y condiciones de ocupación serán determinados en los respectivos servicios competentes.

Fuente: Elaboración propia.

VII ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL

VII.1 ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL

De acuerdo con la información consultada en Ministerio de medio ambiente la comuna de Cerrillos no cuenta con áreas de protección de recursos de valor natural.

VII.2 ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR CULTURAL

La comuna de Cerrillos, de acuerdo con la información consultada al Concejo de Monumentos Nacionales, cuenta con las siguientes áreas de protección de valor cultural.

Categoría	Nombre	Documento Jurídico
Monumento histórico	a) La unidad de Antena del radar Gaviota que perteneció al primer radar de vigilancia del aeropuerto con que contó la Fuerza Aérea de Chile que, a su vez, fue el primer radar de base terrestre del país; operando desde principios de la década del 70 hasta mediados de los años 80 en la ciudad de Antofagasta. b) Cuatro aeronaves: Avión Cessna 195 fabricado en 1951, Avión Douglas DC- 3 C- S1C3G fabricado en 1943, Helicóptero MBB BO 105L-SA1 fabricado en 1984, Avión Vultee BT-13 ^a fabricado en 1942.	Decreto N° 1307 (2006)
Monumento histórico	Aeronave Beechcraft T-34 "Mentor", de 1948, Aeronave Beechcraft D-18S, de 1945; Aeronave De Havilland DH-60 G "Gipsy Moth", de 1927; Aeronave Bell 47 D1, de 1945; Aeronave Cessna T-37 B "Tweety Bird", de 1954; Aeronave Culver Cadet LFA-445, N° 9563, de 19	Decreto N° 818 (2002) Decreto N° 1307 (2006)
Monumento histórico	Once aeronaves del Museo Nacional Aeronáutico y del Espacio	Decreto N° 342 (2002) Decreto N° 1307 (2006)

Fuente: www.monumentos.gob.cl

VIII CONCLUSIONES

Las áreas de riesgos identificadas en el presenta estudio tiene relación principalmente las áreas de riesgos por inundación por desborde de cauces y de áreas de riesgos por remociones en masa.

Las áreas de riesgos por inundación por desborde de cauces se concentran principalmente en el Zanjón de la Aguada y el canal Ortuzano. El Zanjón de la Aguada en el tramo que atraviesa la comuna de Cerrillos se encuentra canalizado, con revestimiento de concreto en fondo y ambos costados, estas obras fueron diseñadas para una tasa de 100 años, por lo que la probabilidad de desborde es baja. El Canal Ortuzano, alimentado por el Zanjón de la Aguada, corre con dirección norte en un lecho defino, su caudal puede ser regulado en su nacimiento, por lo que la probabilidad de desborde es baja. En ambos casos las áreas inundables se concentran dentro del cauce principal.

Las áreas de riesgo de anegamiento corresponden principalmente al sector del pajonal, sector más bajo de la comuna con diferencia de elevación mayor a un metro respecto de su entorno cercano y sin escurrimiento superficial (canal), que sumado a la baja permeabilidad de los suelos genera acumulación de aguas lluvias por un tiempo más prolongado de lo habitual.

Respecto de las áreas de riesgos por remociones en masa, se identificaron 2 tipos principalmente: sectores con pendientes sobre 15°, correspondientes a sectores de cortes de terrenos por la construcción de autopistas y cambios de pendiente entre terrazas, propias de la geomorfología local compuesta de colinajes o terrazas en distintos niveles. En visitas a terreno se pudo corroborar que existen sectores en los cortes de terreno de ruta 78, en los que se han producido cuñas y derrames de material de la ladera.

En segundo lugar se identificaron sectores que conjugan áreas con pendientes sobre 15° y suelos de relleno antrópico, no consolidados de suelos aluviales, escombros y basuras. Para la construcción en estos suelos se sugiere la elaboración de estudios de mecánicas de suelo, de manera de fundar adecuadamente a los requerimientos de estos suelos, así como de la infraestructura de redes.

IX BIBLIOGRAFIA

ARAYA-VERGARA, J.F. 1985. Análisis de la carta geomorfológica de la cuenca del Mapocho. Inform. Geog. Chile, 32:31-44.

Brignardello Luigi, PUC 1997. Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfico” 20 pág.

Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75.

Falcón, M.; Ramírez, P. 2012. Licuefacción en Chile: lecciones del sismo del Maule del 27 de febrero de 2010. Servicio nacional de Geología y Minería.

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

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

Keller, E.; Blodget, R. 2004. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.

Hauser A, 1985. Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. Revista Geológica N°24 1985, p.75-92.

Hauser, A. 2000. Remociones en masa en Chile. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN, Boletín N° 59.

Hungr, O.; Evans, S.; Bovis, M.; Hutchinson, J. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides (2014) 11:167–194.

Lara, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 212 p.

Leyton, F.; Ruiz, S.; Sepúlveda, S. 2010. Reevaluación del peligro sísmico probabilística en Chile Central. Andean Geology. Versión on-line. ISSN 0718-7106. V. 37, n° 2. 21 pp.

Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255 Sismicidad de Chile.

Ruiz, S. y G.R. Saragoni. 2005. "Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo". IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, p. 16-19.

Rojas, Octavio, Mardones, María, Arumí, José Luis, & Aguayo, Mauricio. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. Revista de geografía Norte Grande, (57), 177-192

SERNAGEOMIN. Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile.

SERNAGEOMIN. 2010. Efectos Geológicos del sismo del 27 de febrero 2010. Evaluación preliminar y propuesta de actividades futuras. INF-NAC-01. 16 pp.

SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000.

DGA, 1986 Estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional, escalas 1:1.000.000 y 1:2.500.000
IPLA Ingenieros Consultores

Municipalidad de Cerrillos. (s.f.). Pladeco 2019-2023. Recuperado el diciembre de 2019

ONEMI, www.repositoriodigitaoonemi.cl. (s.f.). Política Nacional para la gestión de riesgo de desastres.

SEREMI MINVU RM. (s.f.). Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), D.O. 04.11.1994 y sus modificaciones: (1) Resolución N°6, D.O. 20.11.2000, (2)MPRMS-80, D.O. 12.02.2006 y (3)MPRMS-105, D.O. 11.11.2016.

SURPLAN, 2007, Documentos Proyecto Plan Regulador Comunal Cerrillos

Otras Fuentes:

- www.csn.uchile.cl/ Centro Sismológico nacional. Sismos y sismicidad en Chile.
- www.bcn.cl/siit/nuetropais/
- <http://www.sernageomin.cl/>
- <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>
- <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/areas-protegidas/>
- https://online.desinventar.org/desinventar/#CHL-1257983285-chile_inventario_historico_de_desastres