



Actualización y desarrollo

PLAN REGULADOR COMUNAL LLAY LLAY



ACTUALIZACIÓN Y DESARROLLO PLAN REGULADOR COMUNAL DE LLAY LLAY

ESTUDIO DE RIESGOS

ALEJANDRO VÉLIZ CABELLO
Geógrafo UPLACED



PREPARADO POR:



VERSIÓN:

NOVIEMBRE 2023

Contenido

1.	Introducción	5
1.1.	Objetivos del estudio	5
1.2.	Alcances y limitaciones	5
1.3.	Marco jurídico	5
2.	Antecedentes del área de estudio	7
2.1.	Climatología.....	7
2.1.1.	Clima a escala Regional	7
2.1.2.	Clima a escala Local.....	8
2.2.	Tendencia de cambio climático.....	15
2.3.	Geomorfología	16
2.3.1.	Geomorfología Regional.....	16
2.3.2.	Geomorfología local	17
2.4.	Geología	19
2.4.1.	Geología Regional.....	19
2.4.2.	Geología local	21
2.5.	Hidrografía.....	22
2.5.1.	Hidrografía regional	22
2.5.2.	Hidrografía local	23
2.6.	Hidrogeología	26
2.7.	Suelos	27
2.7.1.	Clases de Capacidad de Uso de los Suelos	27
2.8.	Catastro de riesgo comunal	31
2.8.1.	Catastro de prensa sobre riesgos comuna de Llay Llay.....	31
2.8.2.	Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres SENAPRED	32
2.8.3.	Áreas de riesgos Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL), Satélite Alto Aconcagua.....	34
2.8.4.	Áreas de riesgos Estudio Plan Regulador Comuna de Llay Llay (2011)	35
2.9.	Incendios	36
2.1.	Áreas protegidas	38
2.1.1.	Áreas protegidas de valor natural	38
2.1.2.	Áreas protegidas de valor cultural	38
2.1.	Conclusiones.....	39
3.	Antecedentes teóricos	41
3.1.	Conceptos.....	41

3.2.	Remociones en masa.....	42
3.3.	Inundaciones por desborde de cauces.....	48
4.	Metodología General del Estudio	51
4.1.	Inundación Por Desborde De Cauces Y Anegamientos	52
4.2.	Remociones en masa.....	54
4.3.	Zonificación de la susceptibilidad	55
5.	Resultados	57
5.1.	Áreas De Riesgos Por Remociones En Masa	58
5.2.	Áreas de riesgos por inundación	59
6.	Zonas no edificables	60
7.	Áreas de protección del recurso de valor natural y patrimonial cultural	61
7.1.	Áreas de protección del recurso de valor natural.....	61
7.1.	Áreas de protección del recurso de valor patrimonial cultural	61
8.	Conclusiones para la planificación	62
9.	Bibliografía	64

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Precipitaciones mensuales Estación las Chilcas 1990 - 2020	10
Ilustración 2	Tendencia Precipitaciones anuales Estación Las Chilcas 1988 - 2020.....	11
Ilustración 3	tendencia histórica de precipitaciones máximas anuales en 24 hrs, Estación Las Chilcas	13
Ilustración 4	Geomorfología comuna de Llay Llay	18
Ilustración 5	Geología Regional simplificada	20
Ilustración 6	Geología comuna de Llay Llay	22
Ilustración 7	Hidrografía comuna de Llay Llay	24
Ilustración 8	Caudales mensuales Estero Los Loros en desembocadura	25
Ilustración 9	Perfil Río Aconcagua.....	27
Ilustración 10	Clases de Capacidad de Uso de Suelo, Comuna de Llay Llay	30
Ilustración 11	Nivel de riesgo de puntos críticos 2023 SENAPRED, Comuna de Llay Llay	33
Ilustración 12	Causas generadoras de puntos críticos 2023 SENAPRED, Comuna de Llay Llay	33
Ilustración 13	Estudio PRI Alto Aconcagua, Comuna de Llay Llay.....	35
Ilustración 14	Estudio Plan Regulador Comuna de Llay Llay.....	36
Ilustración 15	Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas	43
Ilustración 16	Remociones en Masa de tipo Deslizamientos.....	44
Ilustración 17	Remociones en Masa de tipo flujos	44
Ilustración 18	Terrazas de inundación con periodos de retorno hipotéticos	49
Ilustración 19	Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno	55
Ilustración 20	Áreas de riesgo por remoción en masa.....	58
Ilustración 21	Áreas de riesgo por inundación.....	59

1. Introducción

1.1. 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.
- Identificar y describir los tipos de riesgos presentes en el área de estudio.
- Delimitar las áreas de riesgos consideradas en el área de estudio.

1.2. 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.

1.3. 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, anegamiento Y Remociones en Masa.

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 (área urbana), 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)

2. Antecedentes del área de estudio

2.1. Climatología

2.1.1. Clima a escala Regional

Las principales características climáticas que presenta la Región de Valparaíso son de un clima templado mediterráneo, pero con algunas variaciones. Así como la semiaridez se presenta hacia el norte del río Aconcagua, es más húmedo o mediterráneo costero en el litoral y frío de altura hacia la cordillera. (<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/clima.htm>)

Tanto el Océano Pacífico, en general, como la corriente de Humboldt, en particular, condicionan en gran medida la conducta de los elementos climáticos de la región. Las direcciones predominantes de los vientos, todas de componente oceánico y portadoras de humedad, explican la constante presencia de este factor en el clima regional.

El carácter frío de la corriente de Humboldt determina la existencia permanente de una banda de bajas temperaturas vecinas a la costa, contribuyendo al descenso de las temperaturas continentales.

En general se distinguen cuatro tipos de climas:

- **Clima de estepa cálido:** Ubicado al norte del río Aconcagua, se caracteriza por la escasa humedad atmosférica, cielos despejados y luminosidad alta, fuerte oscilación térmica diaria y temperaturas media anuales de 15° C. Las precipitaciones alcanzan de 150 a 200 mm al año.
- **Clima templado de tipo mediterráneo costero:** Se presenta en toda la costa de la región y su influencia llega hasta el interior por medio de los valles. Las variaciones de temperaturas son menores por el influjo del océano, siendo más parejas durante el año con un promedio anual de 14°. La humedad relativa es alta con un 75% y las precipitaciones son más abundantes alcanzando unos 450 mm.
- **Clima templado de tipo mediterráneo cálido:** Este clima se desarrolla desde el valle del río Aconcagua hacia el sur. Se caracteriza principalmente por ser más seco y con una variación térmica mayor que en la costa. La temperatura media anual es de 15,5° C y las precipitaciones aumentan con la altitud variando desde unos 250 mm hasta 300 mm.
- **Clima frío de altura:** Se ubica en la Cordillera de los Andes por sobre los 3.000 metros de altura. Hay un predominio de bajas temperaturas y de precipitaciones sólidas, especialmente en invierno.

2.1.2. Clima a escala Local

Templado cálido supratermal con régimen de humedad semi árido (Csb2Sa)

Altitud media aproximada: 552 msnm

Superficie territorial aproximada: 873 km²

La temperatura varía entre un máximo de enero de 30,2 °C (máx de 31,3 °C y mín de 28,8 °C dentro del distrito) y un mínimo de julio de 4,8 °C (máx de 6,3 °C y mín de 4,7 °C dentro del distrito).

Tiene un promedio de 269 días consecutivos libres de heladas. En el año se registra un promedio de 8 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 12 meses. Registra anualmente 1.978 días grado y 464 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio.

La precipitación media anual es de 351 mm y un período seco de 8 meses, con un déficit hídrico de 1.163 mm/año. El período húmedo dura 2 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 50 mm.¹

LOCALIDADES RELEVANTES INCLUIDAS: Caleu, Catemu, El Molino, Las Bateas, Las palmas de Ocoa, Llay Llay, Ocoa, Panquehue, Purehue, Rinconada, Rungue

Periodos:	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Meses favorables (T.Med > 10°C)	20	19,3	17,5	15	12,5	10,7	10	10,7	12,5	15	17,5	19,3
Periodo cálido (T > 25°C)	27,2	25,9	20,3								20,3	25,9
Periodo seco (PP/ET)	0	0	0	0,2					0,3	0,1	0	0
Periodo húmedo (PP/ET)						1,5	1,3					
Receso vegetativo (T.Med < 10°C)												
Periodo con heladas (Nº días T < 0,5°)					0,3	1,5	2,3	1,5	0,3			
Alta humedad del aire (HR > 70%)				73	79	83	85	83	79	73		
Cultivos de invierno en seco												
Cultivos de verano en seco												

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
T.MAX. (°C)	30,2	29,3	26,7	23,2	19,8	17,2	16,3	16,8	19,1	22,6	26,3	29,1	23,1
T.MIN. (°C)	11,9	11,4	10,1	8,3	6,6	5,3	4,8	5,3	6,2	8	9,9	11,4	8,3
T.MED. (°C)	20,1	19,4	17,6	15,1	12,6	10,7	10,1	10,5	12,1	14,6	17,3	19,3	15
DIAS GRADO (10-30°C)	303	283	228	154	95	64	55	60	86	140	229	280	1978
DIAS ACUM. (10-30°C)	953	1236	1464	1618	1713	1777	1832	1892	1978	140	370	650	1978
HRS. Frío (T < 2°C)	0	0	1	16	69	168	227	176	90	22	2	0	770
HR. ACUM. (T < 2°C)	*	*	*	*	69	237	464	640	729	752	754	754	770
R. SOLAR (Cal/cm2da)	598	572	504	409	315	246	221	246	315	409	504	572	409
H. RELAT. (%)	62	63	67	73	79	83	85	83	78	72	67	63	73
PRECIPIT. (mm)	0	0	7	18	53	106	64	60	25	11	4	4	351
EVAP. POT. (mm)	188	179	155	122	89	65	56	65	89	122	155	179	1465
DEF. HEDR. (mm)	188	179	148	104	36	0	0	4	64	111	152	176	1163
EXC. HEDR. (mm)	0	0	0	0	0	42	8	0	0	0	0	0	50
HELADAS (T < 0°C)	0	0	0	0	0,5	1,8	2,8	1,9	0,7	0,1	0	0	7,8

2.1.2.1. **Temperaturas**

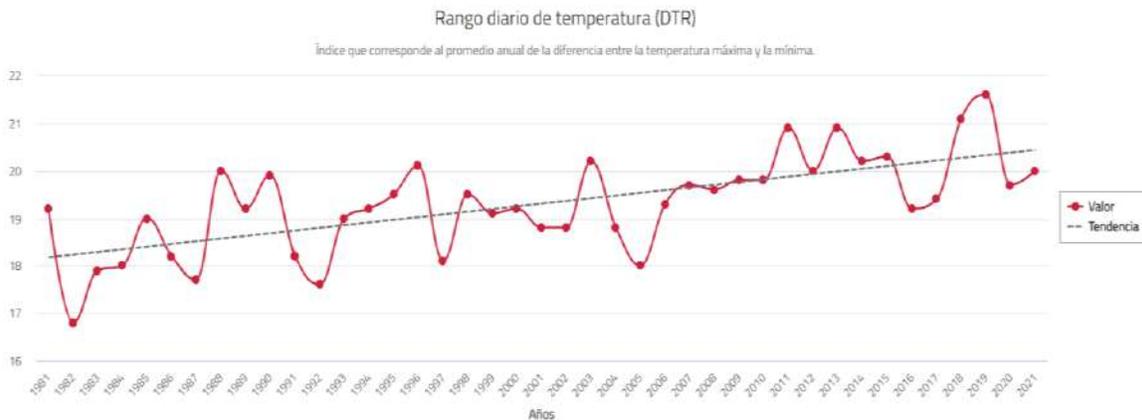
Rango diario de temperatura

¹ Atlas Agroclimático de Chile - Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y del Maule, 2017, Universidad de Chile

Índice que corresponde al promedio anual de la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima. Para la Estación San Felipe Escuela Agrícola (320019) cercana al área de estudio la información presenta un aumento de tendencia lineal por década de 0.6° C como se puede observar en la siguiente figura.

El promedio del periodo 1981 – 2021 de rango diario de temperatura es de 19,3 °C

Figura 1 Rango diario de temperatura



Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/indiceClimaticoTendencia/320019/147>

2.1.2.2. Precipitaciones

De acuerdo con 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, tenemos para la comuna de Llay Llay los siguientes resultados.

En cuanto a los resultados de la temperatura en la comuna se observa un aumento de la temperatura máxima y media anual aproximada a 2º 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 52 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

COMUNA	ID	LINEA BASE (1980 - 2010)									ESCENARIO 2050								
		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
Llailay		30,2	11,8	14,5	5	19,9	9,3	357	320	437	32,4	13,8	16,5	6,7	21,9	11	305	273	370
Cerros	198	30	11,3	13,6	5,1	19,6	8,9	386	330	497	32,3	13,4	15,6	6,8	21,7	10,7	329	282	419
Valle central	199	30,4	12,2	15,4	5	20,2	9,7	329	309	377	32,6	14,2	17,4	6,6	22,2	11,4	280	264	320

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.

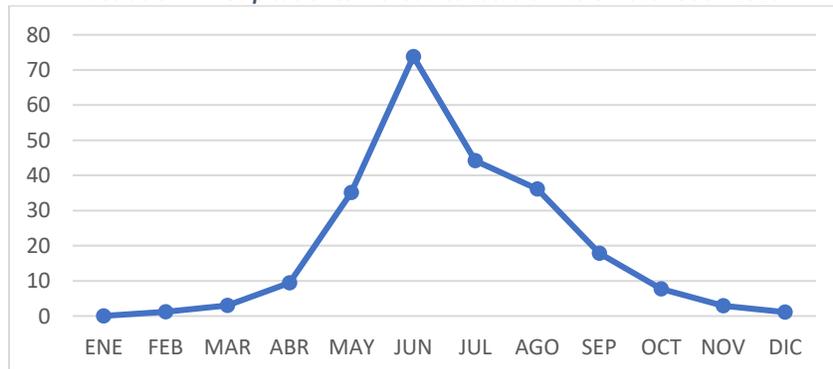
Fuente: <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>

2.1.2.2.1. Precipitaciones Estación meteorológica Las Chilcas

Las precipitaciones mensuales, fueron obtenidas de la Dirección General de Agua (DGA), a través de “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea”, se consultó un periodo de 30 años (1990 a 2020), para la estación Las Chilcas

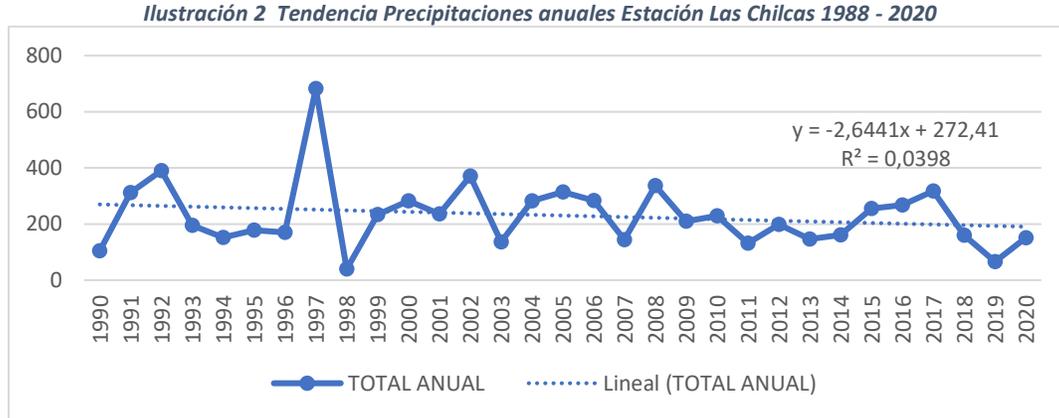
El análisis de las precipitaciones mensuales en un periodo de tiempo (mayor a 10 años) nos permite visualizar los meses de mayor concentración de precipitaciones y que para el caso de la comuna de Llay Llay corresponden a mayo, junio, julio y agosto principalmente (sobre 30 mm promedio) los meses más secos corresponde a los meses de diciembre y enero (menor a 1 mm promedio)

Ilustración 1 Precipitaciones mensuales Estación las Chilcas 1990 - 2020



Fuente: Elaboración propia con información de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>

Respecto de la suma de las precipitaciones mensuales durante el periodo consultado obtenemos en calculo lineal tiene una tendencia a la disminución de las precipitaciones, como se puede observar en la siguiente ilustración.



Fuente: Elaboración propia con información de DGA <https://snia.mop.gov.cl/BNAConsultas/reportes>

Tabla 2 Precipitaciones mensuales estación DGA Las Chilcas 1990 - 2020

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
1990	100	300	200	150	250	120	300	200	200	150	250	150	2000
1991	300	400	200	150	280	120	300	200	200	150	250	150	2500
1992	200	150	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	2000
1993	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000
1994	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
1995	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1500
1996	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1500
1997	650	100	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
1998	50	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
1999	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2000	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2001	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2002	350	150	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2003	100	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2004	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2005	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2006	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2007	150	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2008	300	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2009	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2010	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2011	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2012	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2013	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2014	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2015	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2016	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2017	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500
2018	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1500
2019	50	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
2020	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000
PROMEDIO MENSUAL	200	2000											

Fuente: Elaboración propia con información de DGA <https://snia.mop.gov.cl/BNAConsultas/reportes>

Las precipitaciones máximas anuales en 24 hrs, fueron obtenidas de la Dirección General de Agua (DGA), a través de “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea”, se consultó un periodo de 30 años (1990 a 2020), para la estación Las Chilcas de la comuna de Llay Llay (estación más cercana con estadística de 30 o más años)

La estación Las Chilcas, de los 30 años de registro presenta 10 evento sobre los 50 mm en 24 hrs , considerados como umbral de riesgo para la Región Valparaíso, de acuerdo a “Plan específico de emergencia por variable de riesgo – remoción en masa v0.0” de OMEMI 2018.

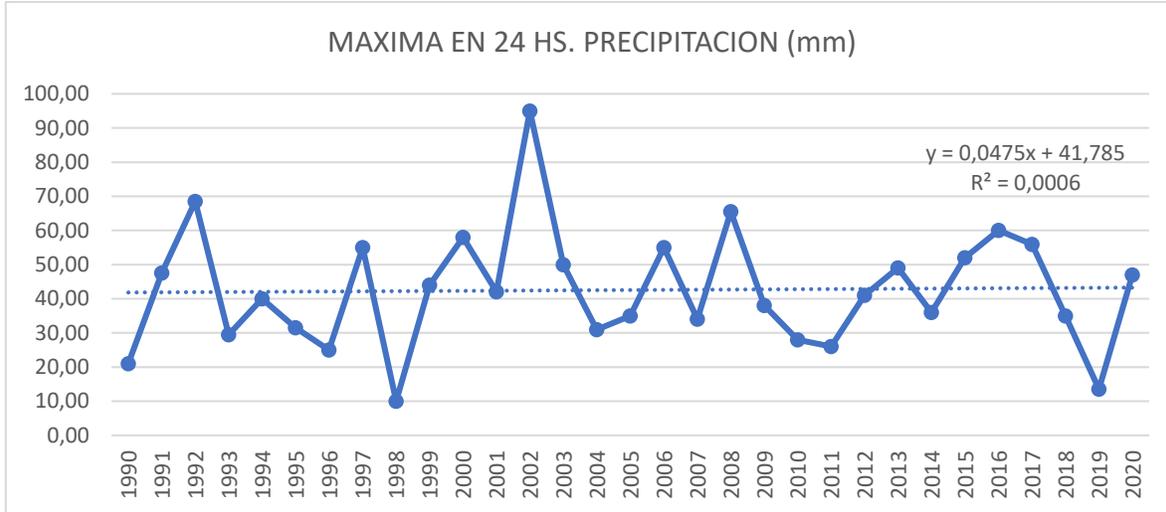
Tabla 3 Precipitaciones máximas en 24 hrs estación DGA Las Chilcas 1990 - 2020

AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS.(mm)
1990	11/01/90	45
1990	11/02/90	45
1990	11/03/90	45
1990	11/04/90	45
1990	11/05/90	45
1990	11/06/90	45
1990	11/07/90	45
1990	11/08/90	45
1990	11/09/90	45
1990	11/10/90	45
1990	11/11/90	45
1990	11/12/90	45
1990	11/13/90	45
1990	11/14/90	45
1990	11/15/90	45
1990	11/16/90	45
1990	11/17/90	45
1990	11/18/90	45
1990	11/19/90	45
1990	11/20/90	45
1990	11/21/90	45
1990	11/22/90	45
1990	11/23/90	45
1990	11/24/90	45
1990	11/25/90	45
1990	11/26/90	45
1990	11/27/90	45
1990	11/28/90	45
1990	11/29/90	45
1990	11/30/90	45
1990	11/31/90	45
1990	11/32/90	45
1990	11/33/90	45
1990	11/34/90	45
1990	11/35/90	45
1990	11/36/90	45
1990	11/37/90	45
1990	11/38/90	45
1990	11/39/90	45
1990	11/40/90	45
1990	11/41/90	45
1990	11/42/90	45
1990	11/43/90	45
1990	11/44/90	45
1990	11/45/90	45
1990	11/46/90	45
1990	11/47/90	45
1990	11/48/90	45
1990	11/49/90	45
1990	11/50/90	45
1990	11/51/90	45
1990	11/52/90	45
1990	11/53/90	45
1990	11/54/90	45
1990	11/55/90	45
1990	11/56/90	45
1990	11/57/90	45
1990	11/58/90	45
1990	11/59/90	45
1990	11/60/90	45
1990	11/61/90	45
1990	11/62/90	45
1990	11/63/90	45
1990	11/64/90	45
1990	11/65/90	45
1990	11/66/90	45
1990	11/67/90	45
1990	11/68/90	45
1990	11/69/90	45
1990	11/70/90	45
1990	11/71/90	45
1990	11/72/90	45
1990	11/73/90	45
1990	11/74/90	45
1990	11/75/90	45
1990	11/76/90	45
1990	11/77/90	45
1990	11/78/90	45
1990	11/79/90	45
1990	11/80/90	45
1990	11/81/90	45
1990	11/82/90	45
1990	11/83/90	45
1990	11/84/90	45
1990	11/85/90	45
1990	11/86/90	45
1990	11/87/90	45
1990	11/88/90	45
1990	11/89/90	45
1990	11/90/90	45
1990	11/91/90	45
1990	11/92/90	45
1990	11/93/90	45
1990	11/94/90	45
1990	11/95/90	45
1990	11/96/90	45
1990	11/97/90	45
1990	11/98/90	45
1990	11/99/90	45
1990	11/100/90	45

Fuente: Elaboración propia con información de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>

La tendencia histórica de las precipitaciones máximas anuales en 24 hrs muestra una leve disminución de la intensidad de las precipitaciones como se puede apreciar en la siguiente ilustración. En los últimos 10 años de registro se superó en 3 ocasiones el umbral de los 50 mm en 24 hrs

Ilustración 3 tendencia histórica de precipitaciones máximas anuales en 24 hrs, Estación Las Chilcas



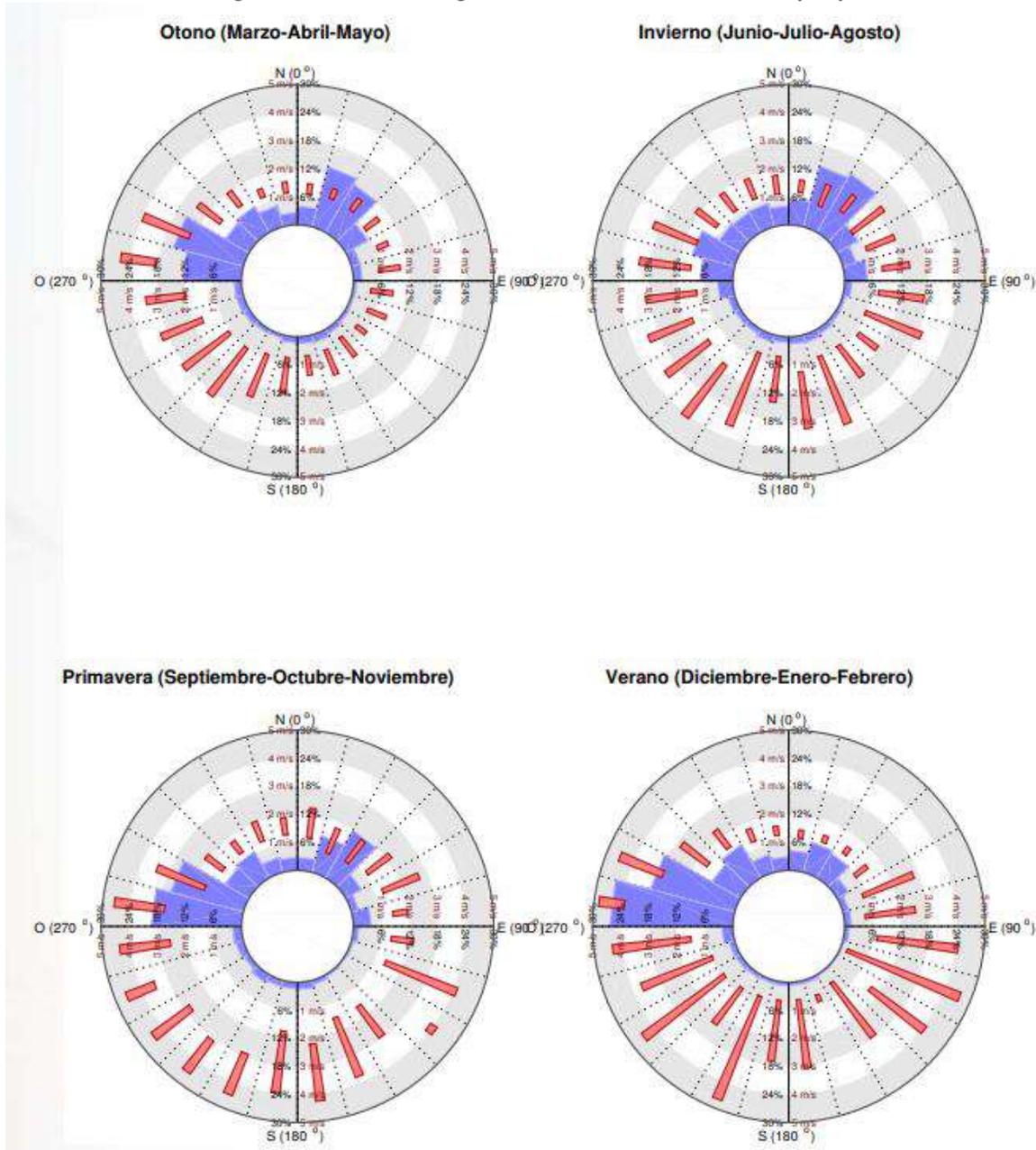
Fuente: Elaboración propia con información de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>

2.1.2.3. Vientos

Para la comuna de Llay Llay, el explorador de energía eólica del Ministerio de Energía presenta los siguientes resultados:

- La rosa de los vientos de año completo confirma la procedencia oeste, de los vientos dominantes y de mayor intensidad (4 a 5 m/s).
- Estacionalmente los viendo de mayor intensidad se concentran en los meses de verano con dirección oeste.
- En los meses de invierno los vientos predominantes provienen del oriente, con menor intensidad que en verano (1 a 2 m/s).

Figura 2 Rosa del viento según la estación de año localidad de Llay Llay



Fuente: http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/Reportes//minenergia_eolico_6272af2e6ac05/informe_eolico.pdf

Las barras azules indican el porcentaje de los valores horarios según la dirección del viento. Las barras rojas indican el rango inter-cuartil de velocidad de viento para cada intervalo de dirección. La dirección de viento es un ángulo que indica el sector desde donde proviene el viento. En particular: para 0 el viento viene del Norte; para 90 se tiene viento del Este; en el caso de 180 el viento es del Sur; y para 270 se tiene viento del Oeste.

Existen vientos locales que descienden de la cordillera al valle, producto de las diferencias de presiones, la velocidad fluctúa de 2 a 3 m/s³ 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.

2.2. Tendencia de cambio climático

De acuerdo con la información obtenida de Repositorio Climático (ARCLIM) del Ministerio de Medio ambiente. El riesgo climático es un indicador de la magnitud del daño que podría experimentar frente a un cambio en las condiciones climáticas. La estimación del riesgo para un sector requiere conocer su exposición, sensibilidad y el cambio en el elemento climático al cual puede reaccionar, al que denominaremos amenaza. La exposición y amenaza son evaluadas en la condición actual. La amenaza considera el cambio del clima entre el pasado reciente (1980-2010) y el futuro mediano (2035-2065) bajo un escenario pesimista de emisiones de gases con efecto invernadero (RCP8.5).

Respecto del indicador de cambio climático de “Lluvia máxima diaria” en año completo habría una disminución de 0,697 mm respecto del promedio de la lluvia diaria máxima, situación que concuerda con la tendencia mencionada anteriormente.

Tabla 4 Lluvia máxima diaria Comuna de Llay Llay

Presente	Año completo	Lluvia máxima diaria	48,184mm
Futuro	Año completo	Lluvia máxima diaria	48,256mm
Cambio	Año completo	Lluvia máxima diaria	-0,697 mm

Fuente: https://arclim.mma.gob.cl/features/datos_climaticos/comunas/

De acuerdo con el “Índice simple de intensidad de precipitación” estas disminuirían 0.226 mm por día como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 5 Índice simple de intensidad de precipitación Comuna de Llay Llay

Presente	Año completo	Índice simple de intensidad de precipitación	0.982 mm/día
Futuro	Año completo	Índice simple de intensidad de precipitación	0.811 mm/día
Cambio	Año completo	Índice simple de intensidad de precipitación	-0,167 mm/día

Fuente: https://arclim.mma.gob.cl/features/datos_climaticos/comunas/

El mismo estudio respecto de la lluvia acumulada en año completo evidencia una disminución de 16.31 mm respecto de la situación presente.

Tabla 6 Lluvia acumulada Comuna de Llay Llay

Presente	Año completo	Lluvia acumulada	358,381 mm
Futuro	Año completo	Lluvia acumulada	298,475 mm
Cambio	Año completo	Lluvia acumulada	-15,585

Fuente: https://arclim.mma.gob.cl/features/datos_climaticos/comunas/

2.3. Geomorfología

2.3.1. Geomorfología Regional

La región de Valparaíso está caracterizada por ser una zona de transición, desde el punto de vista morfológico y climático, ya que se presentan las últimas manifestaciones de los valles transversales del Norte Chico como son los ríos Petorca y La Ligua, además de no presentarse con claridad las unidades físicas orográficas que caracterizan al país especialmente el Valle Longitudinal o Depresión Intermedia que aparece reemplazada por una serie de cuencas tectónicas al pie occidental del cordón andino.

Dentro de la región se pueden distinguir cuatro unidades de relieve:

Cordillera de Los Andes: Esta se presenta como un gran macizo que sobrepasa los 5.000 msnm. Dentro de sus principales alturas se encuentran el monte Los Leones de 5.960 m, cerros Tordillo de 4.670 m y La Gloria de 4.760 m. Además, existen numerosos portezuelos o pasos cordilleranos los que permiten tener comunicación con la República Argentina. El más importante de éstos es el paso Los Libertadores ya que su relieve permite la existencia de una vía férrea y carretera internacional. La retención de nieve en la alta cordillera permite el aporte de agua a los ríos en temporadas estivales y el desarrollo de centros turísticos invernales como Portillo. En el sector sur de la región la cordillera se desplaza hacia el este permitiendo la formación de la cuenca de San Felipe-Los Andes. De esta cordillera nacen numerosos ríos, siendo el más importante el Aconcagua.

Valles transversales: Se pueden distinguir tres grandes valles que corresponden a los de los ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua. Los dos primeros se encuentran al norte de la región y tienen su origen en la cordillera andina. Son angostos, con laderas de pendientes fuertes y se encuentran separados por un pequeño cordón de cerros en sentido transversal; ambos ríos desembocan juntos al norte de Punta La Ligua. El último valle hacia el sur es el río Aconcagua, que se une con otros afluentes y forma una cuenca de hundimiento con numerosas terrazas fluviales formadas por el depósito de rocas sedimentarias. Desde el borde occidental de la Cordillera de los Andes aparecen cordones transversales que se prolongan hasta la Cordillera de la Costa enmarcando de esa manera a estas cuencas interiores. Otro cordón importante es el de Chacabuco que se encuentra al sur de la región y que separa a ésta de la Región Metropolitana.

Cordillera de la Costa: Este sistema de relieve aparece en el sector occidental del valle del Aconcagua con altitudes que alcanzan los 2.000 metros destacándose los cerros Chache con 2.333, El Roble con 2.222 y La Campana con 1.812 metros de altura, todo enmarcado en una cordillera alta y bien conformada a unos 35 a 40 kilómetros del litoral. El contacto de esta cordillera con la zona deprimida interior se hace a través de pequeñas cuencas delimitadas por serranías. Las principales cuencas son las de La Ligua, al norte del cordón montañoso del El Melón y separada por éste de la cuenca Catemu Nogales. Esta última está limitada al sur por el río Aconcagua y los cerros de la Calera. Las planicies litorales se realizan a través de colinajes suaves y onduladas que enmarcan cuencas tectónicas y valles modelados como lo son las cuencas Limache-Olmué (al surponiente del

cerro La Campana), la cuenca Quilpué-Villa Alemana (al occidente) y las cuencas de Curacaví y Casablanca más al sur. Como la Cordillera de la Costa es notablemente más alta al sur de la región, de ella se desprenden numerosas hoyas hidrográficas que desembocan en el mar independiente de los sistemas hidrográficos andinos. Es así como se pueden encontrar el estero Marga Marga, Casablanca, San Jerónimo, Puangue y Limache.

Planicies litorales: se desarrollan ampliamente en esta región y llegan a presentar hasta cuatro niveles de escalonamiento al pie de la Cordillera de la Costa confundiendo con las terrazas fluviales en los valles y desembocaduras. Esta unidad se presenta generalmente plana a ligeramente ondulada y su ancho máximo es de 20 a 30 Km hacia el interior con altura de hasta 140 msnm. El nivel más bajo se encuentra cubierto por dunas, especialmente al sur de Quintero. Al norte de esta ciudad y especialmente en la costa de Horcones y Papudo las planicies se presentan aspecto de acantilado alcanzando niveles de 20 a 100 m. Diversas dunas y playas como Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Cartagena, San Antonio y Rocas de Santo Domingo se alternan con sectores de costa acantilada.

2.3.2. Geomorfología local

La comuna de Llay-lLAY se encuentra emplazada en una zona de transición costera – andina, debido a que sus límites comunales están formados por cordones montañosos derivados de la Cordillera de la Costa por el oriente y sur, y estribaciones de la Cordillera Andina por el norte y por el poniente, hacia el poniente el límite corresponde al río Aconcagua que, en este sector está el curso medio de su trayecto. La ciudad y principales áreas pobladas de la comuna se emplazan en el valle del Estero Los Loros y Valle del río Aconcagua.

A continuación, se describirán las principales unidades geomorfológicas:

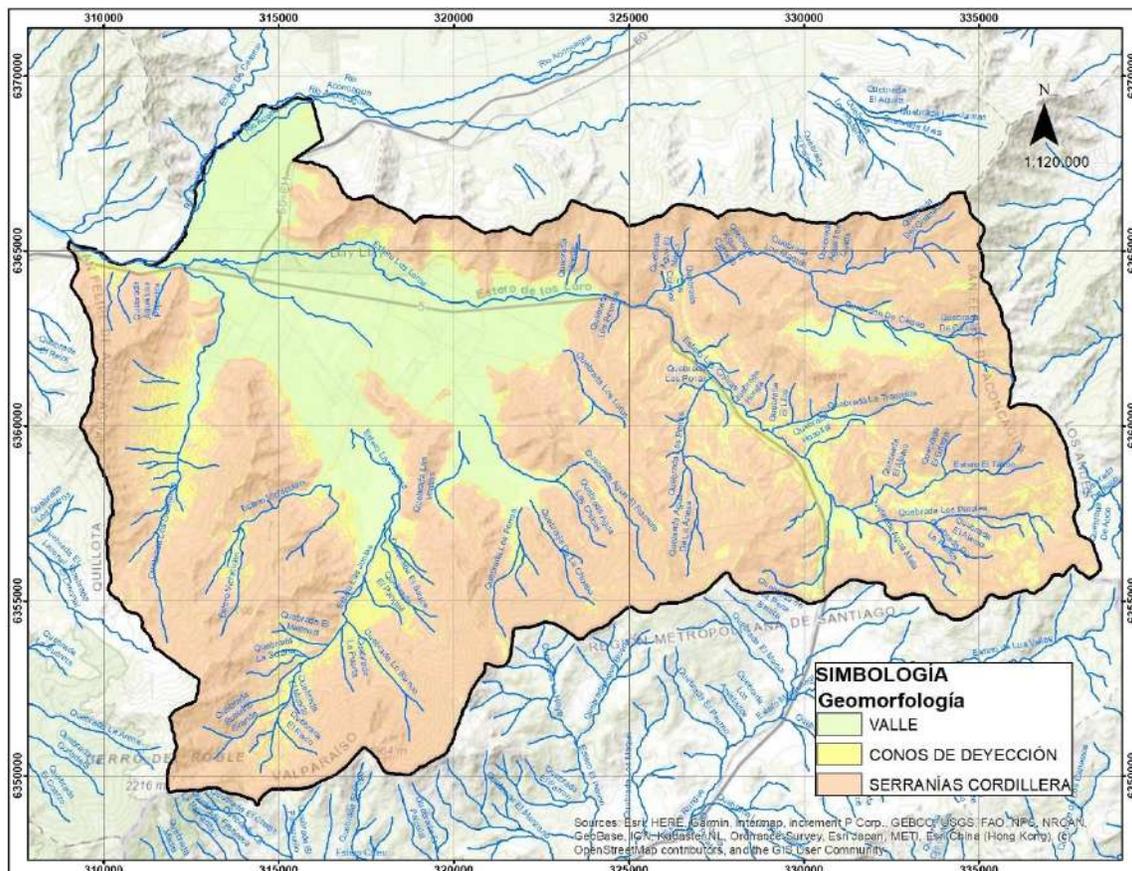
a.) Serranías de la Cordillera de la Costa En la comuna de Llay-lLAY podemos encontrar la cordillera de la Costa hacia su extremo sur, destacando en ella la presencia del Cerro El Roble, el cuarto cerro más alto de la Cordillera de la Costa (2.222 m.s.n.m). Se caracteriza por ser un cordón montañoso robusto y con cumbres muy altas (por ejemplo, el Cerro La Campana de 1.880 m.s.n.m). Hacia el poniente de la comuna encontramos una estribación de la Cordillera de la costa que comienza en el cerro El Reloj, el cual se encuentra sobre el túnel La Calavera de la Ruta 5 norte. La exposición de estos cerros prevalece hacia el norte, por lo cual hay una dominancia de vegetación xerófila, baja altura y densidad los que, al incluir una fuerte pendiente, potencian el riesgo a desprendimiento de material desde sus laderas.

b.) Serranías estribaciones cordillera de Los Andes. Corresponde al cordón montañoso que limite hacia el norte la comuna. Son los cerros Altos de Llay-lLAY y Cerro El Manzano (ambos de 916 m.s.n.m) y cerro Las Bandurrias (1.186 m.s.n.m), entre otros. Al igual que en el caso de los cerros que forman la cordillera de la Costa, éstos por lo general poseen altas pendientes, pero con mayor abundancia, densidad y altura de vegetación que en el caso anterior, debido a que estas laderas exponen hacia el sur, manteniendo la humedad mayor cantidad de tiempo que de aquellas que exponen sus laderas al norte.

c.) Valle central En la comuna de Llay-Llay el valle central corresponde a una zona plana con pendientes de inclinación inferior a 5°, con un ancho promedio de 3 kms, su ancho se debe a la presencia de movimientos vasculares asociados a fallas geológicas que van en dirección este – oeste. Corresponden a depósitos provenientes de los conos coluvio – aluvial, que nacen en la Cordillera de costa (lomas Los Matapijos, Cerro El Diablo, San Antonio) y estribaciones de la Cordillera de Los Andes. Estos depósitos coluvio – aluvial se combinan con depósitos fluviales acarreados por los cursos fluviales Estero Los Loros y Rio Aconcagua.

d.) Conos de deyección. Corresponde a planos con una inclinación superior a 5° que se emplazan en los piedemontes de las estribaciones de la cordillera de Los Andes y Cordillera de la Costa. Estos sectores son depósitos provisorios de material acarreado por las lluvias y por la gravedad de las laderas de los cerros. El material que provisionalmente se deposita en estas unidades, finalmente se depositan en el valle central

Ilustración 4 Geomorfología comuna de Llay Llay



Fuente: Elaboración propia

2.4. Geología

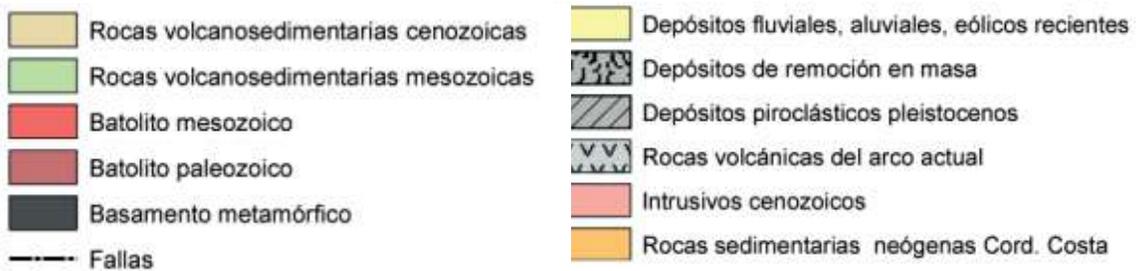
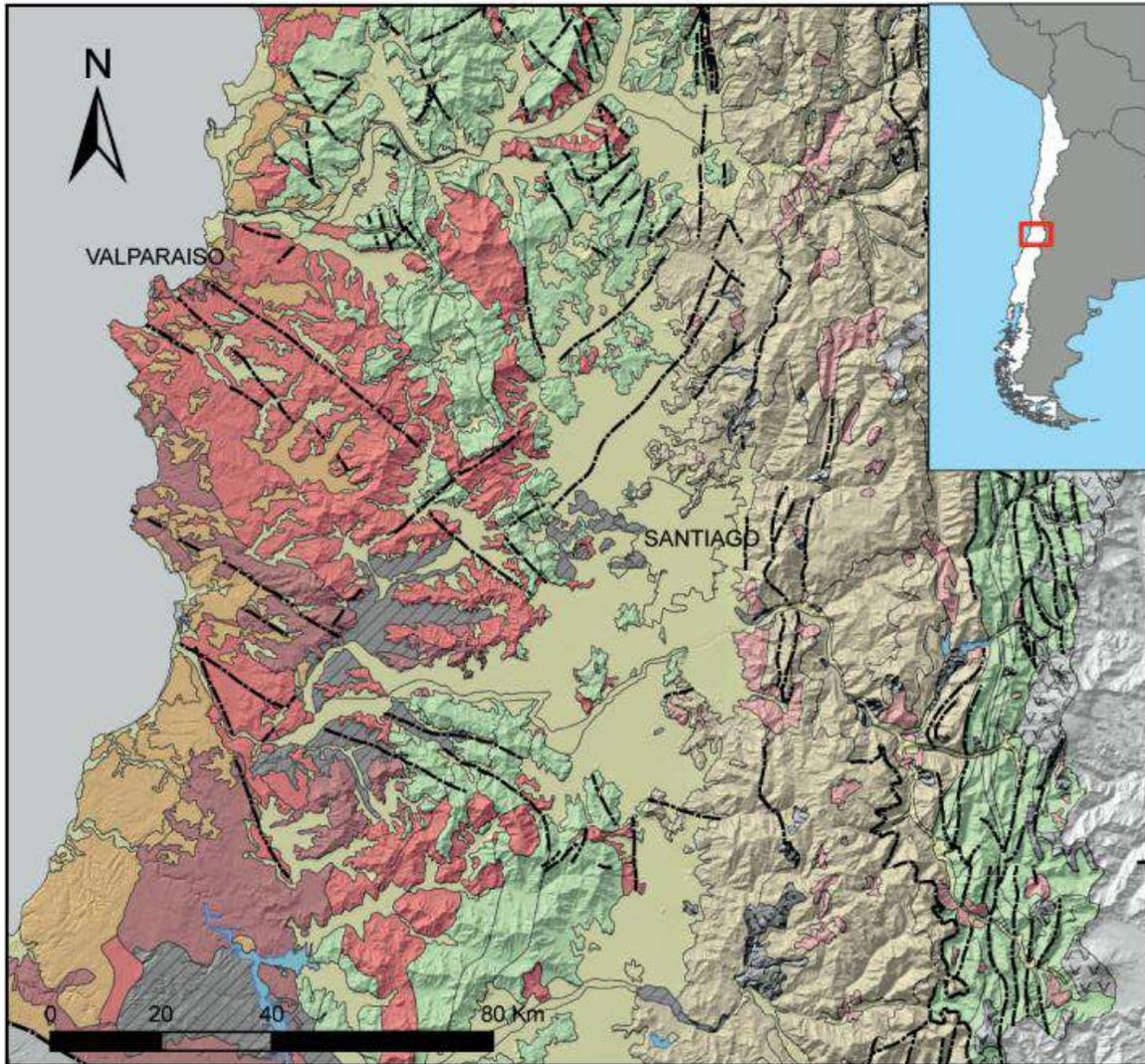
2.4.1. Geología Regional

Como resultado de la configuración tectónica de Chile central y de la orogénesis de los Andes, el área de estudio presenta tres zonas morfoestructurales bien diferenciadas, que son, de oeste a este, la Cordillera de la Costa, la Depresión Central y la Cordillera Principal.

La geología regional de la zona central de Chile puede describirse, a grandes rasgos, siguiendo las unidades morfoestructurales mencionadas. La Cordillera de la Costa está conformada principalmente por el batolito costero (de edad paleozoica), el batolito central (de edad mesozoica), además de afloramientos de basamento metamórfico paleozoico y formaciones sedimentarias y en menor medida volcánicas neógenas, mientras hacia el borde de la cuenca de Santiago dominan rocas volcanosedimentarias jurásicas y cretácicas (Thomas, 1958; Corvalán y Munizaga, 1972; Gana et al., 1996; Wall et al., 1996; Wall et al., 1999; Sellés y Gana, 2001; Charrier et al., 2007) El límite entre la Depresión Central y la Cordillera Principal en la zona de estudio es de origen tectónico, asociado a la presencia del sistema de fallas inversas de vergencia oeste (Charrier et al., 2005; Fock 2005; Rauld et al., 2006; Farías, 2007). Las cordilleras de la Costa y Principal están disectadas por valles de orientación dominante este-oeste con rellenos de sedimentos fluviales y aluviales de granulometría en general gruesa, tipo grava. Estos valles, en la zona de estudio, conforman, en su gran mayoría, las hoyas hidrográficas de los ríos Maipo y Aconcagua; nótese que la mayoría de los pueblos y ciudades de la zona se emplazan ya sea en la Depresión Central o en los valles que disectan ambas cordilleras²

² Leyton, Felipe & Ruiz, Sergio & Sepúlveda, Sergio. (2013). Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile central. *Andean geology*.

Ilustración 5 Geología Regional simplificada



Fuente: Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile central. Andean geology.

2.4.2. Geología local

a.) Unidades geológicas La comuna de Llay-Llay posee una diversidad de formaciones rocosas asociadas a las distintas unidades geomorfológicas.

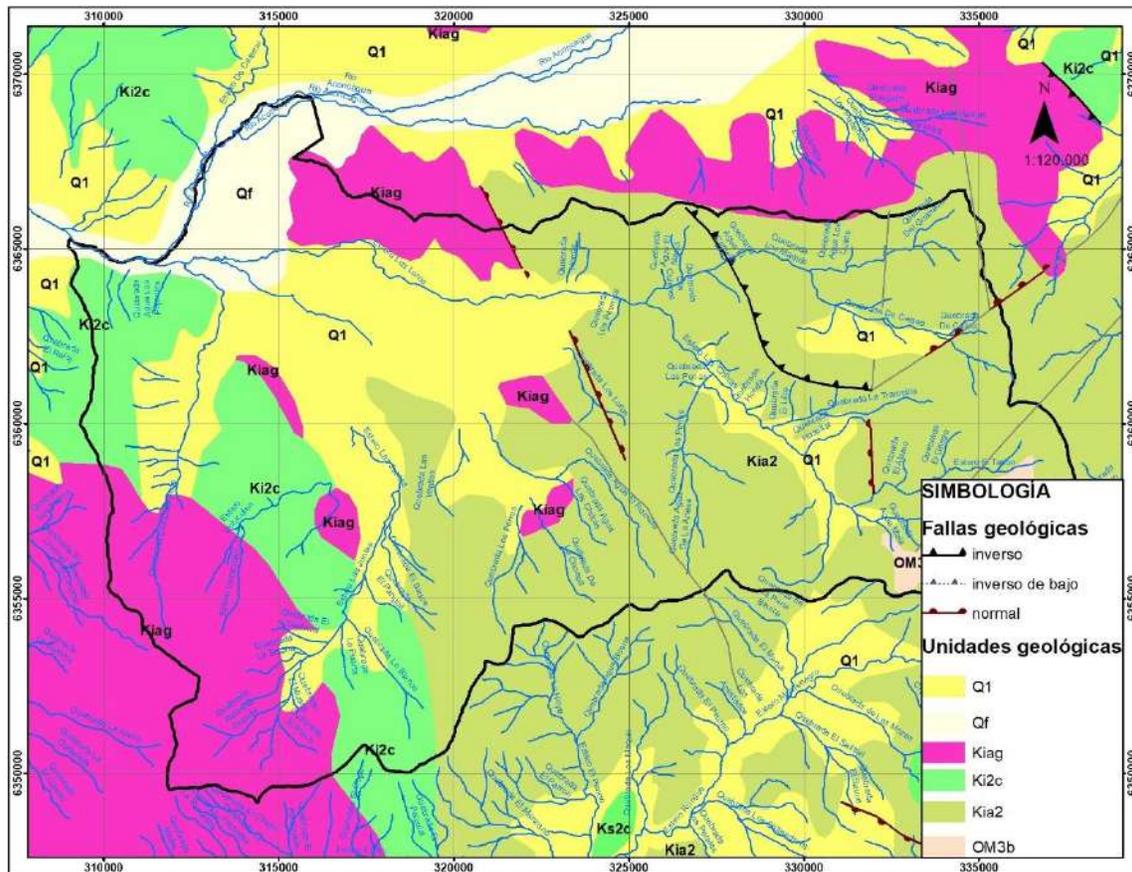
Los cordones montañosos de la cordillera de la costa, en la cual se encuentra los Cerros La Campana y El Roble, se insertan en el platón de Caleu que se derivan de la formación Lo Prado. Las rocas que componen esta formación corresponden a rocas graníticas compuestas por dioritas, monzodioritas de piroxeno y hornblenda, y biotitas (secuencia geológica Klag). El otro grupo de rocas que compone esta formación corresponde a rocas volcanosedimentarios, integradas por lavas y brechas basálticas, y rocas piroclásticas (secuencia geológica Kl3). Las mencionadas rocas graníticas son resistentes a la acción hídrica del agua y nieve, mientras que las rocas volcanosedimentarios lo son a la acción erosiva fluvial, es así como el túnel La Calavera atraviesa un complejo volcanosedimentario resistente a la acción hidráulica del río Aconcagua.

Hacia el este de la comuna, específicamente hacia la cuesta Las Chilcas (secuencia geológica Kl2), se encuentra la formación que lleva el mismo nombre. Esta formación, según Thomas (1958)⁴ contiene brechas volcánicas, tobas, conglomerados y aglomerados rojos a grises, correspondiente a rocas sedimentarias, gran parte de los sedimentos que arrastra el estero Los Loros corresponden este tipo de rocas geológicas.

En sectores depresionales, encontramos depósitos sedimentarios de tipo coluvial, aluvial y de remociones en masa (secuencia geológica Q1) que han bajado desde los cerros que bordean la comuna de Llay Llay. Estos depósitos se han acumulado durante todo el pleistoceno. Sin embargo en otras publicaciones⁵ mencionan que en el valle de Llay Llay se han detectado una secuencia sedimentaria que probablemente representa antiguas condiciones lacustres. Finalmente, se destaca la secuencia geológica Qf correspondiente a depósitos fluviales actuales de ríos mayores o terrazas fluviales y llanuras de inundación.

b.) Fallas Geológicas La comuna de Llay Llay posee un gran valle formado por movimientos tectónicos manifestado en dos bloques de alzamiento (cerros) y un bloque descendiente (valle), la falla geológica se presenta hacia la cuesta Las Chilcas, en dirección noroeste – sureste, los cuales se muestran su distribución

Ilustración 6 Geología comuna de Llay Llay



Fuente: Elaboración propia

2.5. Hidrografía

2.5.1. Hidrografía regional

La Región de Valparaíso presenta numerosos cursos de agua, debido principalmente a su relieve y precipitaciones. Los cursos principales que se identifican por su importancia en el sistema hidrográfico regional son los ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua y la desembocadura del río Maipo, en el extremo meridional de la Región de Valparaíso. Existen además hoyas hidrográficas menores que nacen en la Cordillera de la Costa y que son de alimentación pluvial.

Río Petorca: Se localiza cercano al límite septentrional de la Región de Valparaíso con la Región de Coquimbo. Nace en la Cordillera de Los Andes y se genera de la confluencia en el sector precordillerano de Chincolco, de los ríos Pedernal y el Sobrante. Su cuenca tiene una extensión aproximada de 2.669 km². Su pendiente es de 3,22% con una dirección general hacia el sudoeste y desemboca en el mar en la bahía de La Ligua.

Río La Ligua: Se localiza al sur del río Petorca desembocando juntos en la bahía de La Ligua. Tiene una superficie de 1.900 km². Nace en la Cordillera de Los Andes de la unión de los ríos Alicahue y el estero Cajón de los Angeles. Tiene un curso de 162 kilómetros, con una dirección sudoeste en su curso superior y en curso medio e inferior, hacia el oeste. El río La Ligua presenta un régimen mixto, y permite el riego en un sector del valle de La Ligua.

Río Aconcagua: Este río es el último de los valles transversales del norte chico y se encuentra ubicado en el extremo sur de la región. El río Aconcagua se genera de la confluencia de los ríos Juncal y Blanco en la Cordillera de los Andes y recibe el nombre de Aconcagua a partir de la junta con el Blanco.

En la cuenca de San Felipe se le une el río Putaendo y antes de su desembocadura en Concón se le une el estero Limache. Su recorrido, incluyendo el río Juncal, es de 177 kilómetros y su cuenca tiene una superficie de 7.163 km² con un rumbo general que va de oriente a poniente. Su régimen es mixto por lo que presenta crecidas en primavera producto de los deshielos cordilleranos y en invierno por las precipitaciones. Sus aguas son ocupadas en actividades mineras, especialmente cuprífera; riego del valle a lo largo de todo su recorrido; instalaciones industriales; abastecimiento de agua potable al área intercomunal de Valparaíso.

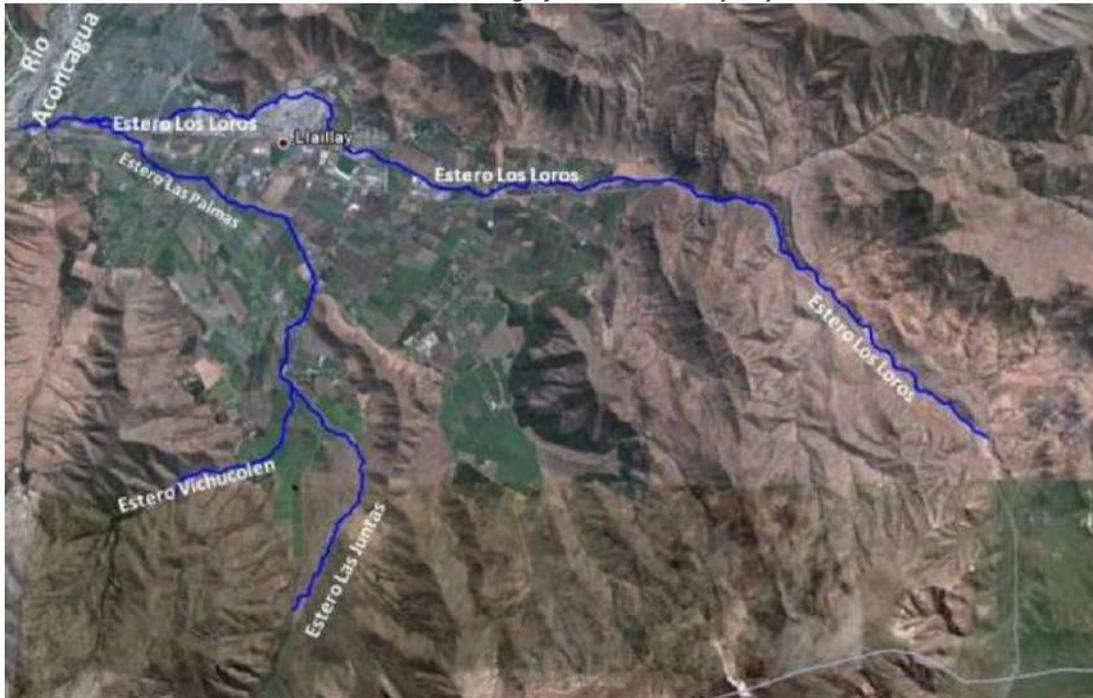
Río Maipo: Aunque el río Maipo integra el sistema hidrográfico regional, ello sólo ocurre en la parte meridional de la provincia de San Antonio y prácticamente en su desembocadura. (<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/hidrografia.htm>)

2.5.2. Hidrografía local

De acuerdo a parámetros hídricos, el área de estudio corresponde a una región de regímenes hídricos de caudales mixtos con montos regulares que se alimentan de las precipitaciones invernales y del derretimiento de las nieves³. El principal curso de agua del área es el río Aconcagua. En la siguiente figura se muestra la distribución de los principales cursos fluviales que se emplazan en la comuna de Llay-Llay.

³ Niemeyer H & Cereceda P (1984). Geografía de Chile. Tomo III. Hidrografía. Serie I:G:M.

Ilustración 7 Hidrografía comuna de Llay Llay

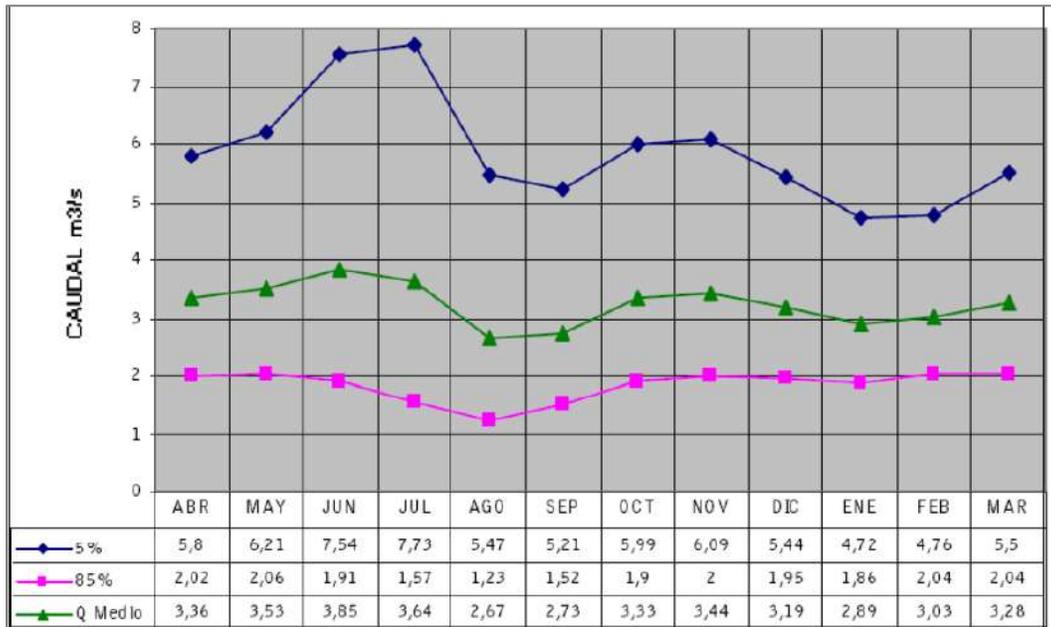


Fuente: Elaboración propia.

Es un curso fluvial de régimen nivo – pluvial que abarca una superficie de 4.954 kms², siendo las cuencas tributarias de la alta cordillera (Colorado, Juncal y Blanco) las que se alimentan del deshielo de las altas cumbres; los restantes tributarios, lo hacen con régimen mixto o completamente pluvial (lluvias). En este contexto, el tributario de mayor relevancia en la comuna de Llay-Llay es el estero Los Loros, curso fluvial de origen tectónico, que nace en las serranías cordilleranas y laderas de la cordillera de la costa de la comuna de Llay-Llay, específicamente en el sector de la cuesta Las Chilcas. Su trayectoria promedio este – oeste y se encuentra intensamente intervenido por las actividades agrícolas que se desarrollan en las terrazas fluviales subactuales.

Si bien el curso fluvial más importante del área corresponde al río Aconcagua, el curso que posee mayor injerencia en la planificación urbana de la comuna corresponde al Estero Los Loros. Este curso de agua posee un régimen pluvial con contribución nival en algunos periodos del año, con un caudal ecológico de 0.32 m³/s y un promedio anual de 3.2 m³/s, debido a que el estero nace en los cordones montañosos de las estribaciones de la cordillera de Los Andes (alturas que alcanzan los 1600 m.s.n.m.) y cumbres de la cordillera, tal como la ya destacada Cerro El Roble, el cual supera los 2000 m.s.n.m. En la siguiente Figura se grafica el comportamiento mensual.

Ilustración 8 Caudales mensuales Estero Los Loros en desembocadura



Fuente: DGA, 2004⁴

Este curso fluvial posee una alta influencia tectónica, debido que sigue el curso de una falla geológica (ver geología), teniendo una dirección oriente- poniente y desembocando en el sector de las Vegas.

En su primer tramo, desde su nacimiento en las estribaciones cordilleras hasta el valle, el estero posee un fuerte control litológico y alta pendiente, su lecho fluvial es rocoso en algunos tramos, lo cual es debido por la alta pendiente y laderas rocosas que se encuentran a ambos lados de la cuesta Las Chilcas. En este tramo el lecho presenta un cauce único sinuoso.

El segundo tramo corresponde al inicio del valle por el oriente hasta la avenida Prieto Letelier, en donde comienza el área urbana. En este tramo el estero Los Loros está fuertemente influenciado por el brusco cambio de pendiente, ya que el estero pasa de un valle intermontano a un valle abierto.

Este cambio de pendiente y ambiente hidrogeomorfológico en el cual se inserta el estero provoca que éste aumente su anchura (de 10 metros en el primer sector) a 50 metros como promedio en este tramo. Se destaca una mayor capacidad de sedimentación o depositación de material sedimentario tipo limoso y arenoso y, si a eso se complementa que el tramo es prácticamente rectilíneo debido a que no posee grandes obstrucciones, podemos concluir que este tramo es de transporte de material a velocidades moderadas.

El tercer tramo corresponde al trazado urbano, entre avenida Prieto Letelier por el oriente hasta avenida Baquedano. En este sector el estero Los Loros sigue siendo rectilíneo pero sinuoso debido

⁴ Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Aconcagua, Dirección General de Aguas, Ministerio Obras Públicas, 2004.

a la presencia de diversos materiales sedimentarios que forman el valle y al control litológico - tectónico que en ella prevalece. Es así como el estero se direcciona en este tramo primero hacia el norponiente y luego al surponiente.

Si consideramos que en el tramo anterior prevalece el transporte de material y alta velocidad de aguas corriente por el lecho fluvial, en este tramo la velocidad desciende asociado a la sinuosidad del lecho, esto provoca riesgo que sus aguas se desborden del lecho fluvial en periodos de intenso caudal. Si a lo anterior sumamos que esta área es urbana y baja permeabilidad de los suelos, produce que las aguas lluvias alimentan inmediatamente el caudal del estero Los Loros, colocando así otro factor de riesgo al desborde.

Finalmente, el cuarto tramo corresponde al curso fluvial inferior del estero Los Loros entre el área urbana y su fin en el río Aconcagua. Este tramo se destaca un curso fluvial rectilíneo con cauce único, que no posee cambios de pendiente y baja, lo cual se traduce en caudales de baja velocidad. En este tramo se incorpora un tributario (Estero Las Palmas) que nace en la cordillera de la costa, no posee gran desarrollo hidráulico que atraviesa el valle desde el suroriente.

2.6. Hidrogeología

De acuerdo a estudios realizados en zona⁵ se mencionan que posiblemente en esta área se han acumulado material lacustre en otros periodos paleoclimáticos.

Corresponde a una matriz arenosa, en algunos sectores se puede destacar la presencia de limos arcillosos, el cual se concentra hacia al poniente. Hacia el oriente se destaca la presencia de clastos constituidas por fragmentos de rocas volcánicas, graníticas y sedimentarias.

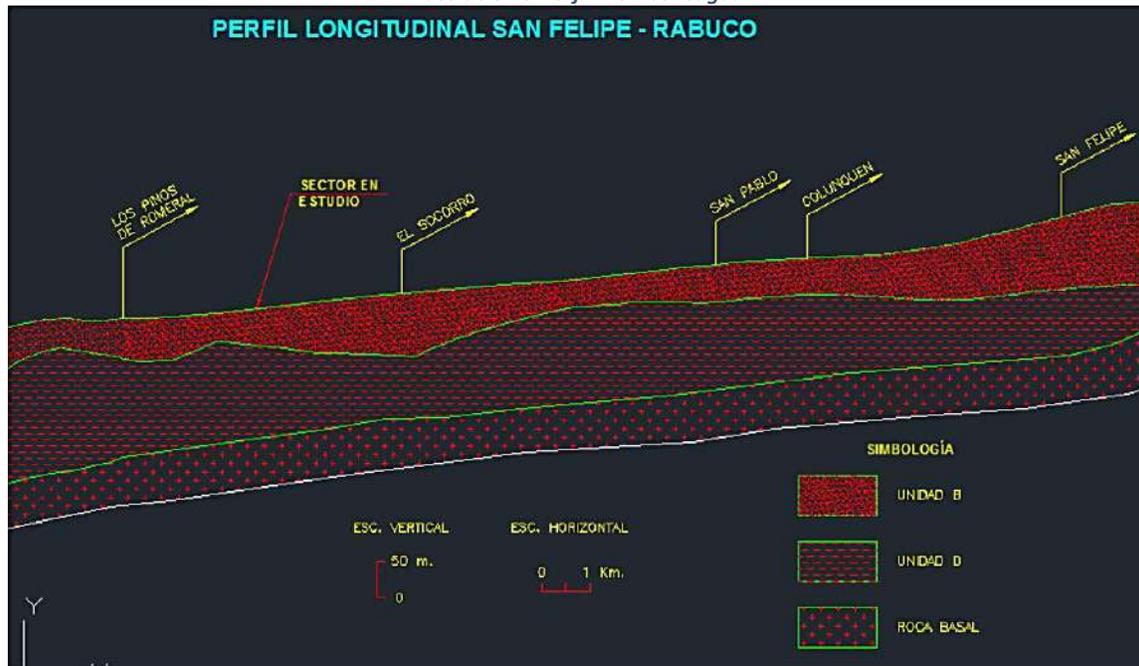
De acuerdo con antecedentes de Dirección General de Aguas (DGA) en fuentes secundarias⁶ el valle de Llay-Llay posee una permeabilidad porosa, con importancia hidrogeológica alta debida al alto contenido de material sedimentario, con una capacidad productiva para los pozos de 1 a 4 m³/h/m. Estos valores deducen que las condiciones hidrogeológicas presentes en la comuna están dadas por una alta porosidad y condiciones hídricas que permitan la recarga y descarga del acuífero. En la siguiente figura se grafica un perfil vertical a lo largo del río Aconcagua desarrollado por estudios especializados⁷ realizados en la comuna de Llay-lay. Si bien el principal acuífero de la comuna es el proveniente de la cuenca del estero Los Loros, este perfil es representativo del sector Las Vegas y ciudad de Llay-lay (sectores bajos que poseen influencia del valle del río Aconcagua).

⁵ Informe de zonificación hidrogeológica para las regiones metropolitana y V. Dirección General de Aguas, año 2002.

⁶ Estudio Hidrogeológico e hidrológico para proyecto de instalación de central termoeléctrica en el sector Las Vegas, Comuna de Llay-lay. Año 2005. IHS Ingenieros Civiles Ltda.

⁷ Estudio Hidrogeológico e hidrológico para proyecto de instalación de central termoeléctrica en el sector Las Vegas, Comuna de Llay-lay. Año 2005. IHS Ingenieros Civiles Ltda.

Ilustración 9 Perfil Río Aconcagua



Fuente: IHS Ingenieros civiles Ltda, año 2005

A continuación, se describe las unidades sedimentarias que conforman el valle del Aconcagua:

- **Unidad B:** Sedimentos de granulometría gruesa a media, de ripios gravillentos. Suele presentar una matriz arenosa, los cuales se concentran en los sectores aledaños del actual lecho fluvial, mientras que hacia las cabeceras de los afluentes se destaca la presencia de clastos, mientras que los cursos torrenciales e inundaciones laterales de los cursos fluviales contribuyen sedimentos finos tipo arcillas que bajan la calidad hidrogeológica del valle. En el valle de Llay-lLAY se destacan superficie de poca calidad hidrogeológica.
- **Unidad D:** Son sedimentos finos con granulometría tipo arenosa – limosa con abundante matriz arcillosa que representa el 50% del volumen deposicional. Corresponden a los sedimentos más antiguos del valle.

2.7. Suelos

2.7.1. Clases de Capacidad de Uso de los Suelos

La clasificación de los suelos, en clases de capacidad de uso, implica un ordenamiento de los suelos en función de su aptitud natural, y las dificultades y riesgos que presenta su utilización para la agricultura. Las clases convencionales que definen al sistema son ocho y se designan con números romanos del I al VIII.

Tabla 7 Descripción resumida de las Clases de Suelo

Símbolo Denominación	
I	Arable. Sin limitaciones
II	Arable. Ligeras limitaciones
III	Arable. Moderadas limitaciones
IV	Arable. Severas limitaciones
V	Apta para cultivos especiales
VI	No arable. Aptitud preferentemente ganadera
VII	No arable. Aptitud preferentemente forestal
VIII	No arable. Vida silvestre

Fuente: Ciren Corfo, Materiales y Símbolos

Tabla 8 Clases de Capacidad de Uso de Suelo, Comuna de Llay Lay

Capacidad de Uso	Área (Ha)	% a Nivel comunal
I	29,1	0,1%
II	1860,7	5,3%
III	3858,1	11,1%
IV	883,6	2,5%
NC	764,6	2,2%
VI	3732,0	10,7%
VII	12905,5	37,1%
VIII	10799,0	31,0%
TOTAL	34832,7	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base CIREN – CORFO, Estudio Agrológico 2014

Clase I: estos suelos se emplazan principalmente en la sección geomorfológica correspondiente al valle, aledaños al sector de la Estancia, representando un 0.1% de la superficie comunal (29,1 hás)

Los suelos clase I tienen pocas limitaciones que restrinjan su uso. Son suelos casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena capacidad de retención de humedad y la fertilidad natural es buena o responden en muy buena forma a las aplicaciones de fertilizantes. Los rendimientos que se obtienen, utilizando prácticas convenientes de cultivo y manejo, son altos en relación con los de la zona. Los suelos se adaptan para cultivos intensivos. En su uso se necesitan prácticas de manejo simples para mantener su productividad y conservar su fertilidad natural.

Clase II: estos suelos se emplazan principalmente en la sección geomorfológica correspondiente al valle, sector de la Estancilla y en el sector oriente del valle comprendiendo los sectores de Los Loros, Santa Teresa, El carrizo y parte Norte de El Porvenir, representando un 5.3% de la superficie comunal (1860,7 has.) Los suelos manifiestan ligeras limitaciones que reducen la elección de los cultivos, necesitando prácticas moderadas de conservación. Se caracterizan por ser suelos planos con ligeras pendientes, moderadamente profundas, de buena permeabilidad y drenaje, con texturas favorables que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos

Clase III: se encuentran emplazados en el sector central del valle, al sur del área urbana de Llay-Llay y en el sector oriente de las serranías, comprendiendo el 11% de la superficie de suelos de la comuna (3858,1 hás.).

Los suelos de esta categoría ostentan moderadas limitaciones en su uso, con restricciones para la elección de los cultivos. La topografía varía de plana a moderadamente inclinada (pendientes hasta 5%), aspecto que dificulta severamente el regadío; además, la permeabilidad oscila de lenta a muy rápida (dependiendo de la pendiente). Las limitaciones más comunes de esta clase se refieren a una topografía ligeramente ondulada y profundidades moderadas, con estructuras y texturas desfavorables; por lo tanto, requieren de prácticas moderadas de conservación y manejo. La productividad de estos suelos es mediana.

Clase IV: estos suelos distribuyen principalmente en el borde del valle, y el inicio del pie de monte y en sector de rivera del Río Aconcagua, conforman el 2,5 % de los suelos de Llay-Llay (883,6 hás.).

Los suelos de esta categoría lucen severas limitaciones de uso que restringen los cultivos. Estos terrenos al ser cultivados requieren cuidadosamente de prácticas de manejo y conservación. Son suelos poco profundos, muy delgados y con una topografía moderadamente ondulada y disectada (mayor a 5% de pendiente), presentando texturas, estructuras y drenaje muy pobre, con escasa retención de agua. Cabe destacar que estos suelos tienen una gran pedregosidad, riesgos de erosión por prácticas de riego inapropiadas.

Clase VI: estos suelos se distribuyen principalmente sobre la rivera de los cursos fluviales principales. Los suelos clase VI abarcan el 10,7 % de los suelos de la comuna (3732 hás.).

Esta categoría agrupa todos los terrenos en los cuales las características de pendiente (superior al 15%), de riesgo de erosión visible y otras causas impiden en forma permanente el cultivo del terreno. Son tierras buenas para el pastoreo o la actividad forestal dependiendo de la disponibilidad de agua, pero no son arables por lo abrupto de sus pendientes, susceptibilidad a la erosión, delgadez de suelo y otras condiciones desfavorables. Las restricciones más usuales que no pueden ser corregidas son las pendientes muy pronunciadas, susceptibles a severa erosión, con pedregosidad excesiva asociada a conos de deyección y materiales no consolidados con muy mala selección granulométrica. Su uso inapropiado conlleva riesgos de erosión y a la pérdida de su capacidad productiva.

Clase VII: se encuentran emplazados en el sector alto de la terraza de los ejes fluviales, principalmente en el sector de el Tabón, las Blancas y sector de la naciente del estero Vichiculen, representan el 37,1% de la superficie comunal. Son suelos con severas limitaciones, inadecuados para cultivos agrícolas intensivos. Tradicionalmente, su uso se reserva para el pastoreo y los cultivos forestales.

Clase VIII: esta clase de suelo se preferentemente en el sector sur poniente de la comuna, en las laderas al norte del sector de los Loros, la ladera oriente del Estero las Mazas y en el sector alto de Santa Rosa, representa el 31% de los suelos de la Comuna de Llay-Llay, corresponden a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está reservado fundamentalmente para la vida silvestre, recreación y protección de cuencas u hoyas hidrográficas.

Por último, las áreas N. C. comprenden los 2.2 % del espacio territorial de Llay-Llay, confinadas a sectores urbanos y asentamientos rurales

2.8. Catastro de riesgo comunal

El catastro tiene como objetivo reconocer los riesgos naturales y antrópicos existentes en el área de estudios, determinar sus causas y analizar posteriormente las posibilidades de zonificar como áreas de riesgos.

2.8.1. Catastro de prensa sobre riesgos comuna de Llay Llay

Tabla 9 Registro de riesgos naturales y antrópicos por Desinventar Sendai⁸ para comuna de Llay Llay

EVENTO	FUENTE	FECHA	SECTOR	DESCRIPCIÓN
Tormenta	El Mercurio	14-07-1987	Llay Llay	caminos cortados
Tormenta	El Mercurio	12-07-1978	Llay Llay	Interrumpido tránsito. //5mts de pavimento destruido
Tormenta	El Mercurio	12-05-1981	Llay Llay	
Inundación	El Mercurio	05-06-2002	Estero Los Loros.	Intensas precipitaciones.
Inundación	El Mercurio	11-12-1982	Sector Palomar Chagres y Llay Llay	deshielos desborde río Aconcagua; flías. Evac
Terremoto	El Mercurio	02-01-1975	Llay Llay	Epicentro 120 km noroeste de Santiago.
Terremoto	El Mercurio	08-07-1971	Llay Llay	90% viv. dest.; daños en: Municipalidad bomberos retén de carabineros Tesorería Registro Civil Banco del Estado. //Act.: (13.07) (15.07).
Contaminación	El Mercurio	01-04-1983	comuna y predios; Fundación Chagres	daños en salud de niños y en agricultura: frutales y viñas. Emanación anhídrido sulfuroso
Deslizamiento	El Mercurio	12-06-1997	Camino Llay Llay	Bus de pasajeros hizo maniobra para no chocar con el derrumbe y chocó de frente con un camión cargado con ácido sulfúrico
Deslizamiento	El Mercurio	27-06-1982	sector Las Chilcas Panamericana 5 Norte	corte de Panamericana 5 Norte en km 77.

Fuente: <https://www.desinventar.net/Desinventar/results.jsp>

⁸ DesInventar Sendai es una nueva versión del software ampliamente utilizado y ampliamente probado que implementa todos los Indicadores y datos necesarios para el Monitoreo de las Metas A a D del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, que corresponden a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) paralelos. indicadores de los Objetivos 1, 11 y 13.

2.8.2. Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres SENAPRED

De acuerdo a lo consultado en “Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres” (SENAPRED) se determinaron los puntos críticos de invierno 2022 y su nivel de riesgo para la comuna de Llay Llay.

El nivel de riesgo es determinado de acuerdo a la percepción del riesgo comunal, considerando la afectación e impactos que se producen por eventos meteorológicos en los siguientes ámbitos:

- Viviendas (con daño mayor o destruidas).
- Servicios básicos (agua potable, servicios sanitarios, energía, telefonía, gas y combustibles).
- Infraestructura crítica (salud, educación, líneas vitales tales como; caminos, puentes, aeropuertos y ABC; servicios médicos de urgencia, Bomberos y Carabineros).
- Aislamiento (pérdida total de conectividad y accesibilidad).
- Pérdida de cultivos

A continuación se presentan los puntos críticos por sectores y causa generadora, que para el caso de la comuna de Llay Llay corresponde a nivel de riesgo medio en todos los puntos

Tabla 10 Puntos críticos programa de invierno SENAPRED

Sector	Causa generadora	Mitigación
El Salitre Estero Los Loros, entre puente viejo y baden	Inundación por desborde de cauce	Limpieza - mejoramiento de sistemas de evacuación de aguas lluvias
Santa Teresa, Estero Los Loros entre Puente Ferroviario y Edward	Inundación por desborde de cauce	Limpieza de acequias, canales de regadío, esteros
Villa Nuevo Amanecer, Estero Los Loros	Inundación por desborde de cauce	Limpieza de acequias, canales de regadío, esteros
Villa Nuevo Amanecer, Acequia Avda Las Palmas a Villa Nuevo Amanecer	Colapsos colectores de aguas lluvia alcantarillado	Limpieza - mejoramiento de sistemas de evacuación de aguas lluvias
Población 21 de Mayo	Colapsos colectores de aguas lluvia alcantarillado	Limpieza - mejoramiento de sistemas de evacuación de aguas lluvias
Eliecer Estay	Deslizamiento/Derrumbe /Rodado/Caída	Reforzamiento de taludes
Población 28 de Marzo, Acequia Manuel Rodríguez	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	Limpieza de acequias, canales de regadío, esteros

Fuente: SENAPRED 2023

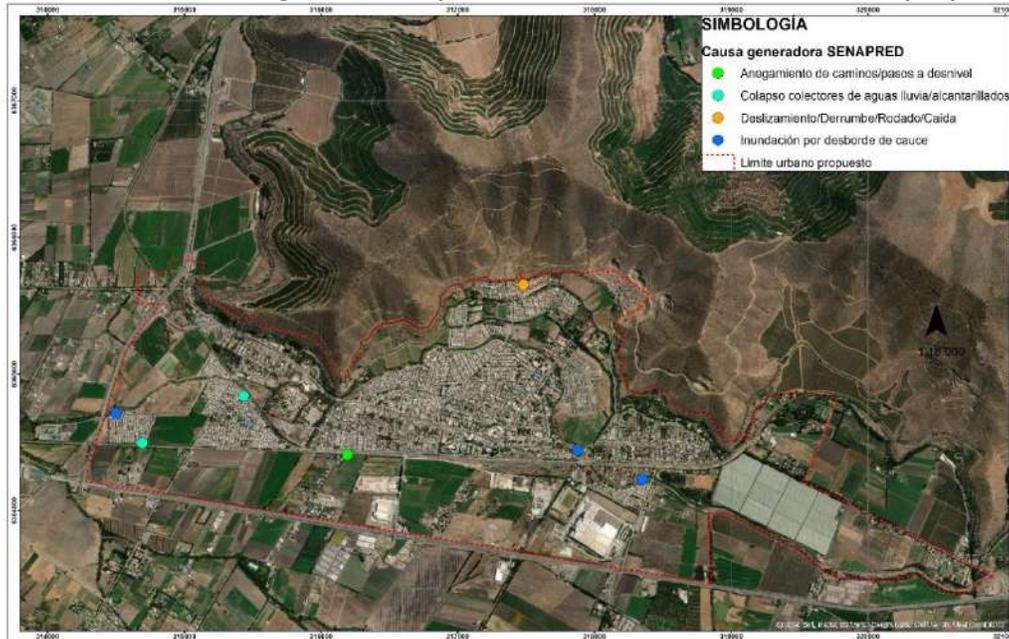
Los desbordos de cauces se localizan en el Estero Los Loros, sectores de Villa Nuevo amanecer (poniente), Santa Teresa y el Salitre (sector oriente).

Ilustración 11 Nivel de riesgo de puntos críticos 2023 SENAPRED, Comuna de Llay Llay



Fuente: SENAPRED 2023

Ilustración 12 Causas generadoras de puntos críticos 2023 SENAPRED, Comuna de Llay Llay



Fuente: SENAPRED 2023

El sector de Elicer Estay (sector poblado más al norte de la localidad, localizado en el pie de monte) puede ser afecto a caída de rocas o deslizamientos de tierra por efecto de precipitaciones intensas o sismicidad de importancia que pueden provocar caída de rocas de la parta alta del cerro. Los puntos restantes corresponden principalmente a problemas de los sistemas de evacuación de aguas lluvias y alcantarillado

2.8.3. Áreas de riesgos Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL), Satélite Alto Aconcagua

El Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL), Satélite Alto Aconcagua⁹, reconoce para la comuna de Llay Llay las siguientes áreas de riesgos

Área de Riesgo por inundaciones por Cauces Naturales o embalses (AR-I)

Franjas que afectan a los siguientes cauces: - Río Aconcagua - Río Putaendo - Río Blanco - Estero Catemu - Estero Las Chilcas - Estero Seco - Estero Pocuro - Áreas que afectan los territorios destinados a los embalses Chacrillas y Puntilla del Viento.

Las normas urbanísticas que aplicarán una vez que se cumpla con lo establecido en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismos y Construcciones, serán las siguientes:

- a) En el área rural regirán las disposiciones del art. 55 de la LGUC. Para los efectos de la aplicación de las disposiciones del artículo 55° de la LGUC las normas urbanísticas que se aplicarán cuando se cumpla con los requisitos que establece la OGUC serán las establecidas en la presente ordenanza en el Capítulo 6 para el área rural.
- b) En el área urbana regirán las disposiciones de la zona bajo la cual se emplaza el área de riesgo.
- c) En el área de extensión urbana regirán igualmente las normas urbanísticas de la zona bajo la cual se emplaza el área de riesgo, las que se establecen en el Capítulo 8 “disposiciones transitorias” de la presente ordenanza. Estas últimas aplicaran supletoriamente toda vez que corresponden a materias propias del ámbito de la planificación urbana comunal y quedarán sin efecto al momento de entrar en vigencia las normas del Plan Regulador Comunal que incorpore estos territorios.

Área de Riesgo por Remoción en Masa en Laderas (AR-RM)

Las normas urbanísticas que aplicarán una vez que se cumpla con lo establecido en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismos y Construcciones, serán las siguientes:

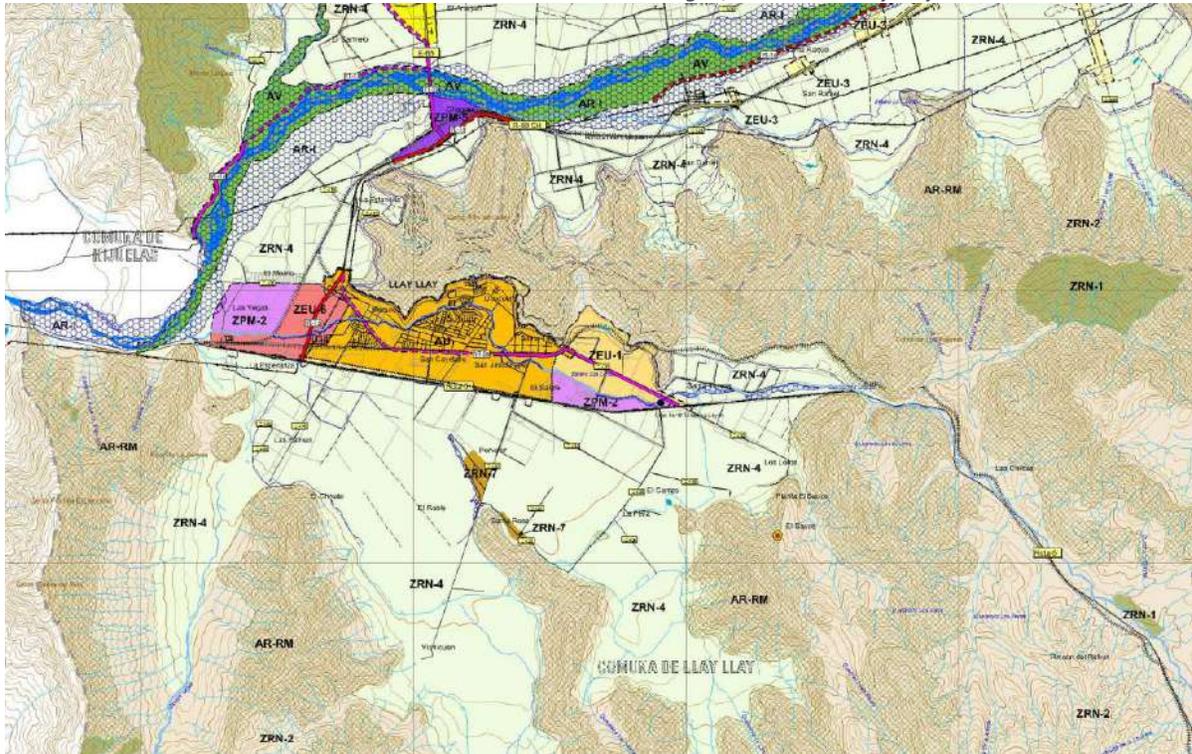
- a) En el área rural regirán las disposiciones del art. 55 de la LGUC. Para los efectos de la aplicación de las disposiciones del artículo 55° de la LGUC las normas urbanísticas que se aplicarán cuando se cumpla con los requisitos que establece la OGUC serán las establecidas en la presente ordenanza en el Capítulo 6 para el área rural.
- b) En el área urbana regirán las disposiciones de la zona bajo la cual se emplaza el área de riesgo.
- c) En el área de extensión urbana regirán igualmente las normas urbanísticas de la zona bajo la cual se emplaza el área de riesgo, las que se establecen en el Capítulo 8 “disposiciones transitorias” de la presente ordenanza. Estas últimas aplicaran supletoriamente toda vez que corresponden a materias propias del ámbito de la planificación urbana comunal y

⁹ Estudio en etapa de aprobación.

quedarán sin efecto al momento de entrar en vigencia las normas del Plan Regulador Comunal que incorpore estos territorios.

En la comuna de Llay Llay, comprende sector inundable del Río Aconcagua (limite comunal oeste) y el estero los Loros. Respecto de las remociones en masa corresponde a las serranías del limite norte, oeste y sur de la comuna como se puede apreciar en la siguiente figura.

Ilustración 13 Estudio PREMVAL Alto Aconcagua, Comuna de Llay Llay



Fuente: <https://altoaconcagua.wixsite.com/intercomuna/informe-ambiental>.

2.8.4. Áreas de riesgos Estudio Plan Regulador Comuna de Llay Llay (2011)

La ordenanza del citado estudio contempla las siguientes áreas de riesgos:

Por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos, se establecen las siguientes Áreas de Riesgo:

- AR1 Área de Riesgo de inundación por proximidad a cauces naturales
- AR2 Área de Riesgo de avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas
- AR3 Área de Restricción de Trazado de Vía Férrea.
- AR4 Área de Restricción de Tendidos Eléctricos
- AR5 Área de Restricción de Cauces Artificiales

Las normas urbanísticas aplicables a los proyectos una vez que cumplan con los requisitos establecidos en la OGUC para su ocupación, corresponderán a las de la zona del Plan en que se encuentre emplazado el proyecto.

Ilustración 14 Estudio Plan Regulador Comuna de Llay Llay



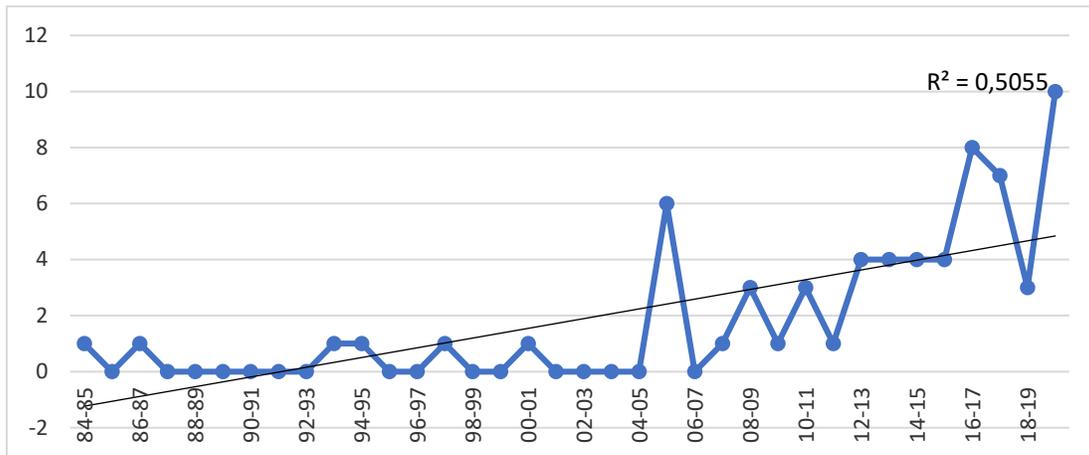
Fuente: https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/02_3er_IA_PRC_Llay_Llay.pdf.pdf

2.9. Incendios

La estadística de CONAF respecto de la ocurrencia de incendio en la comuna de Llay-Llay entre las temporadas 1985-86 a 2019-20, registra un total de 65 siniestros y una superficie total de 3414 hectáreas, de las cuales 1652 hectáreas corresponden a la temporada 2016-2017 correspondiendo principalmente a pastizales (1250 hectáreas)

Respecto de la tendencia del número de siniestros por año es al alza, la temporada de mayor número de incendios corresponde 2019-00 (10) y 2016-17 con 8 y la más baja con 0 registro se repite en 16 temporada. Como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 3 Número de incendios por temporada comuna de Llay Llay (1985-86 a 2019-20)



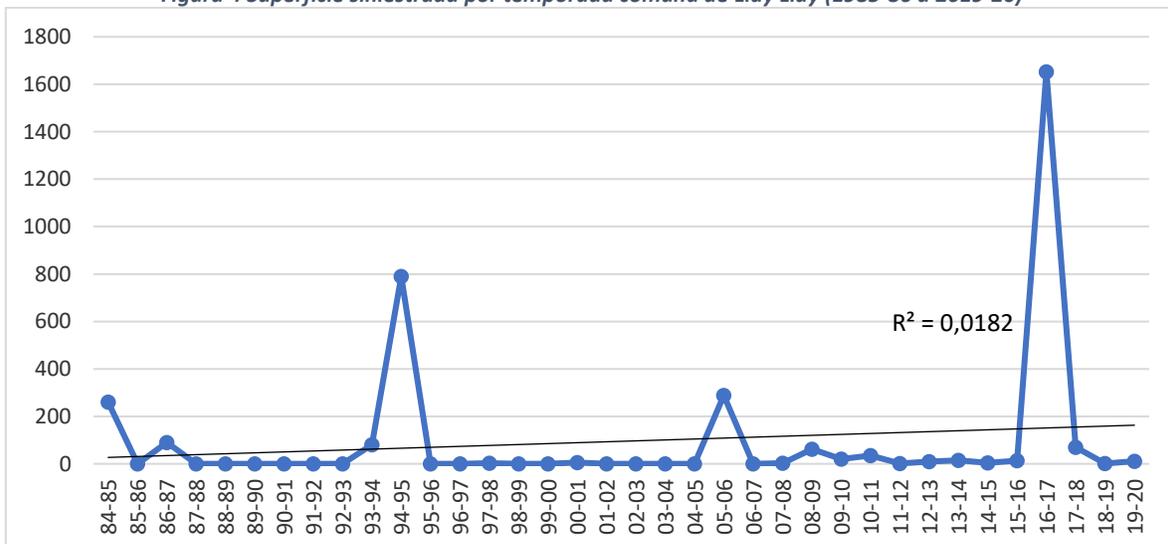
Fuente: Elaboración propia en base a datos de "ocurrencia histórica de incendios" CONAF

Respecto de la superficie quemada su tendencia es la baja de la superficie quemada. La temporada 2016-17 representa un 48% de la superficie quemada a la fecha y la temporada 1994-95 representa un 23% de la superficie quemada a la fecha

Como se puede apreciar en la siguiente figura existe 2 eventos mayores que concentran un 72% de la superficie quemada a la fecha y en los restantes eventos las superficies quemadas son menores a las 150 hectáreas.

Si bien existe un aumento en el número de casos este aumento aún no se ve reflejado en un aumento considerable de la superficie quemada.

Figura 4 Superficie siniestrada por temporada comuna de Llay Llay (1985-86 a 2019-20)



Fuente: Elaboración propia en base a datos de "ocurrencia histórica de incendios" CONAF

2.1. Áreas protegidas

Respecto de las áreas protección de recursos de valor natural y cultural, para la comuna de Llay Llay se catastro lo siguiente.

2.1.1. Áreas protegidas de valor natural

La comuna no cuenta con áreas protegidas de valor natural

2.1.2. Áreas protegidas de valor cultural

En la actualidad, el patrimonio oficial de la comuna consta de 1 Monumentos Históricos (MH), de acuerdo con el Catálogo de Monumentos Nacionales oficialmente decretados por el CMN.

A continuación, se presentan los MH que actualmente se encuentran en la comuna de Llay Llay.

Tabla 11 Monumentos Históricos Comuna de Llay Llay

Nombre	Documento jurídico	Categoría
CASA SANTA TERESA DE LLAILLAY (ANTIGUA CASA DE JENARO PRIETO)	<u>Decreto N° 156 (2009)</u>	Monumento Histórico (MH)



Fuente: Consejo de Monumentos

2.1. Conclusiones

Las características climáticas de la comuna presentan una tendencia a un aumento de la temperatura máxima y media anual aproximada a 2º 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 52 mm respecto de la proyección del escenario del año 2050. La precipitaciones máximas anuales en 24 hrs para la estación más cercana a la localidad de Llay Llay, La estación Las Chilcas, de los 30 años de registro presenta 12 evento sobre los 50 mm en 24 hrs, considerados como umbral de riesgo para la Región Valparaíso, de acuerdo a “Plan específico de emergencia por variable de riesgo – remoción en masa v0.0” de OMEMI 2018.

La ventilación de la comuna de acuerdo a la rosa de los vientos de año completo confirma la procedencia oeste, de los vientos dominantes y de mayor intensidad (4 a 5 m/s), que se concentran en ellos meses de verano, en los meses de invierno los vientos predominantes provienen del oriente, con menor intensidad que en verano (1 a 2 m/s), desmejorando la ventilación en esta estación del año.

Las características geomorfológicas y geológicas La comuna de Llay-Llay se encuentra emplazada en una zona de transición costera – andina, debido a que sus límites comunales están formados por cordones montañosos derivados de la Cordillera de la Costa por el oriente y sur, y estribaciones de la Cordillera Andina por el norte y por el poniente, hacia el poniente el límite corresponde al río Aconcagua que, en este sector está el curso medio de su trayecto. La ciudad y principales áreas pobladas de la comuna se emplazan en el valle del Estero Los Loros y Valle del río Aconcagua.

La hidrografía del área de estudio corresponde a una región de regímenes hídricos de caudales mixtos con montos regulares que se alimentan de las precipitaciones invernales y del derretimiento de las nieves. El principal curso de agua del área es el río Aconcagua. El Estero Los Loros posee un régimen pluvial con contribución nival en algunos periodos del año, con un caudal ecológico de 0.32 m³/s y un promedio anual de 3.2 m³/s, debido a que el estero nace en los cordones montañosos de las estribaciones de la cordillera de Los Andes (alturas que alcanzan los 1600 m.s.n.m.) y cumbres de la cordillera, tal como la ya destacada Cerro El Roble, el cual supera los 2000 m.s.n.m.

La hidrogeología del valle de Llay-Llay posee una permeabilidad porosa, con importancia hidrogeológica alta debida al alto contenido de material sedimentario, con una capacidad productiva para los pozos de 1 a 4 m³/h/m. Estos valores deducen que las condiciones hidrogeológicas presentes en la comuna están dadas por una alta porosidad y condiciones hídricas que permitan la recarga y descarga del acuífero.

El suelo de la comuna caracterizados por sus capacidades de uso se obtiene que los suelos agrícolas clase I, II y III suman 5748 hectáreas y representan un 16,5% del total comunal

De los riesgos catastrados para la comuna destaca la ocurrencia de inundaciones asociadas a crecidas del Rio Aconcagua y Estero Los Loros serían las de mayor competencia por su proximidad al área urbana de la comuna. Los incendios forestales muestran una tendencia a aumentar el

número de siniestros por año, pero dicho aumento no se ve reflejado significativamente en el aumento de la tendencia de la superficie quemada.

Respecto de las áreas de recursos de valor natural la comuna no cuenta. En cuanto a las áreas de valor cultural (patrimonial) se registran 1 monumentos históricos: Casa Santa Teresa De Llay-Llay (Antigua Casa De Jenaro Prieto)

3. Antecedentes teóricos

3.1. 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 indirectas de un proceso geológico en una determinada zona (Gonzalez de Vallejo, et al., 2002).

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

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)).

3.2. 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).

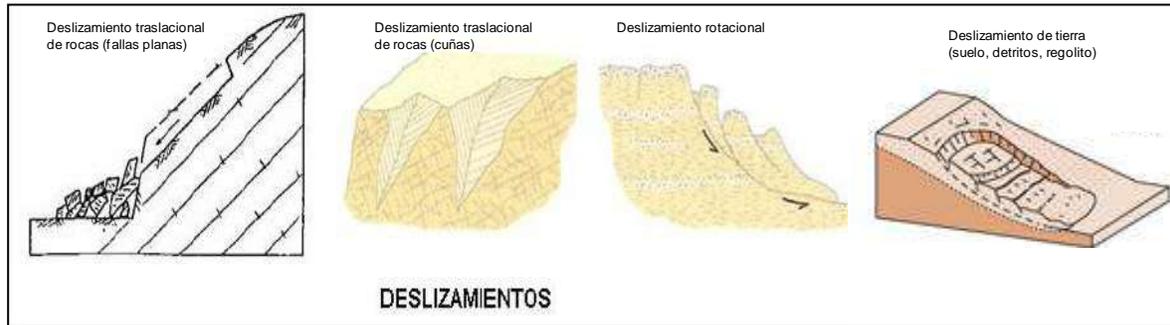
Ilustración 15 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



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, ripios 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 (Hungry, 2014). Ver Figura a continuación.

Ilustración 16 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.

Ilustración 17 Remociones en Masa de tipo flujos



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, está 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.

3.3. 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).

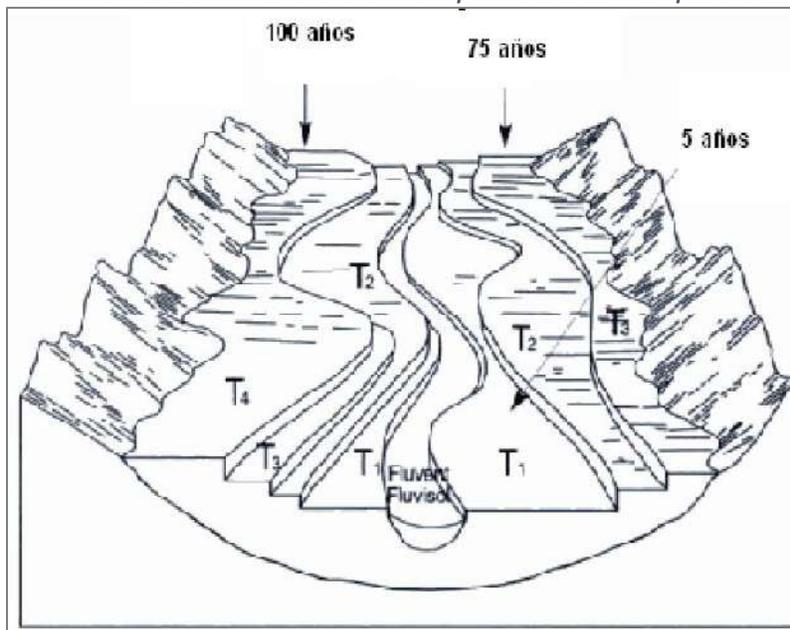
En síntesis, todas las definiciones apuntan a la superación de la capacidad de evacuación del cauce, pasando el agua a ocupar la llanura de inundación o lecho mayor, la definición de esta zona depende de la perspectiva del estudio, “como categoría topográfica es muy plana y se encuentra al lado un

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). Tarbuck & 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.

Ilustración 18 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).

4. Metodología General del Estudio

En el marco del desarrollo del estudio de la Actualización 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 esta escala. La escala de análisis 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**

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:

I. **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.

II. **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.

III. **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).

IV. **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.

4.1. Inundación Por Desborde De Cauces Y Anegamientos

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)

Adicionalmente para este estudio se consideró el estudio “MEJORAMIENTO PAVIMENTO Y ATRAVIESOS AVDA. FERROCARRIL, LLAY-LLAY”(Michell-Hilarion Consultores SPA, 2020). Que consiste en el Diseño de Ingeniería de Pavimentación con flujo vehicular en ambos sentidos, con un ancho de calzada de 7,0 metros, Ancho veredas 1,5m, **un Atraveso sobre Estero Los Loros y un Atraveso sobre Canal Comunero**, se debe proyectar Ciclovía, saneamiento de aguas lluvias y mejoramiento de la acequia existente paralela a la Avenida Ferrocarril.

Dicho estudio elaboró los estudios hidráulicos y las modelaciones Hec ras con y sin proyecto, de este último se extrajeron las cotas máximas de inundación con la tasa de retorno de 100 años para el estero Los Loros y Canal Comunero.

Estero los Loros

Para la modelación en estero Los Loros con proyecto se agrega el atraveso proyectado sobre la avenida ferrocarril, donde se consideran 3 cajones de 5,3m de ancho por 4,5m de alto, para evitar socavación se considera un zampeado a la entrada y salida del atraveso proyectado.

Resultados Simulación Hidráulica Estero Los Loros con Proyecto T=100 años

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Área (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
216.1	163.2	387.25	391.88		391.99	0.0012	1.63	125.83	52.65	0.28
196.1	163.2	387.26	391.85		391.97	0.0012	1.69	131.35	55.29	0.28
176.1	163.2	387.28	391.84		391.94	0.0010	1.55	143.56	60	0.25
156.1	163.2	387.22	391.84		391.91	0.0008	1.40	155.65	60	0.23
136.1	163.2	387.24	391.81		391.89	0.0008	1.44	141.91	47.59	0.23
117.53*	163.2	387.33	391.69		391.86	0.0014	1.90	92.20	23.2	0.29
116.1	163.2	387.32	391.73	388.93	391.84	0.0008	1.45	114.89	26.5	0.22
115.03	Culvert									
98.82	163.2	387.18	391.36		391.48	0.0011	1.53	108.01	26.5	0.24
93.81	163.2	387.01	391.38	389.08	391.45	0.0008	1.29	154.34	60	0.21
92.23	Bridge									
85.87	163.2	387.31	391.31		391.38	0.0008	1.31	151.25	60	0.22
79.22	163.2	387.15	391.26	388.92	391.37	0.0011	1.53	130.77	60	0.24
78.1	Bridge									
67.79	163.2	387.15	390.33		390.74	0.0060	2.89	63.99	57.04	0.55
64.45*	163.2	386.98	390.29	389.40	390.73	0.0017	2.95	63.12	61.51	0.57
56.1	163.2	386.54	390.44		390.65	0.0006	2.09	93.96	60	0.35
36.1	163.2	386.35	390.34		390.62	0.0033	2.50	85.54	57.42	0.43
16.1	163.2	386.22	390.32		390.54	0.0028	2.27	94.06	59.98	0.41
0	163.2	386.12	389.63	389.18	390.41	0.0120	3.93	43.02	18.81	0.76

Fuente: Modelo HEC-RAS

Canal Comunero

Para la modelación con proyecto del Canal comunero se considera el atraveso proyectado sobre la Avenida Ferrocarril, se consideran 2 cajones de 2,0m de ancho por 1,0 m de alto, para evitar socavación se considera un zampeado a la entrada y salida del atraveso proyectado.

Resultados Simulación Hidráulica canal Comunero con Proyecto

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
213.97	5	391.87	394.06	392.48	394.08	0.00016	0.5	9.91	5.55	0.12
193.97	5	391.8	394.07		394.07	0.000089	0.41	12.53	8.63	0.09
173.97	5	391.72	394.06		394.07	0.000086	0.42	15.22	15.66	0.1
153.97	5	391.86	394.06		394.07	0.000048	0.34	17.69	13.35	0.08
130.49	5	391.49	394.06	392.3	394.07	0.000106	0.44	11.55	8.41	0.11
128.38	Culvert									
121.52	5	391.38	392.29	392.29	392.65	0.013247	2.64	1.89	2.7	1.01
115.94	5	391.41	392.32	391.86	392.37	0.001511	1.06	4.7	5.2	0.36
113.99	Culvert									
96.6	5	391.4	391.91	391.87	392.11	0.009561	1.97	2.54	5	0.88
73.97	5	391.09	391.63	391.63	391.87	0.011435	2.19	2.29	4.73	1
53.97	5	390.8	391.26	391.32	391.58	0.018018	2.5	2	4.78	1.24
33.97	5	390.58	391.24	391.07	391.35	0.00425	1.51	3.3	5.51	0.62
13.97	5	390.44	391.01	390.97	391.22	0.009635	2.06	2.43	4.67	0.91
0	5	390.33	390.89	390.84	391.09	0.009009	1.99	2.51	4.91	0.89

Fuente: Modelo HEC-RAS

Inundación por anegamiento

Fuera del área urbana se utilizó información del inventario de humedales del Ministerio del Medio Ambiente, dichas áreas fueron analizadas a través de parámetros morfológicos (pendientes inferiores a 3°) y a la fotointerpretación de imágenes áreas de manera de delimitar el área máxima utilizada por el cuerpo de agua.

4.2. 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 geológico 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:

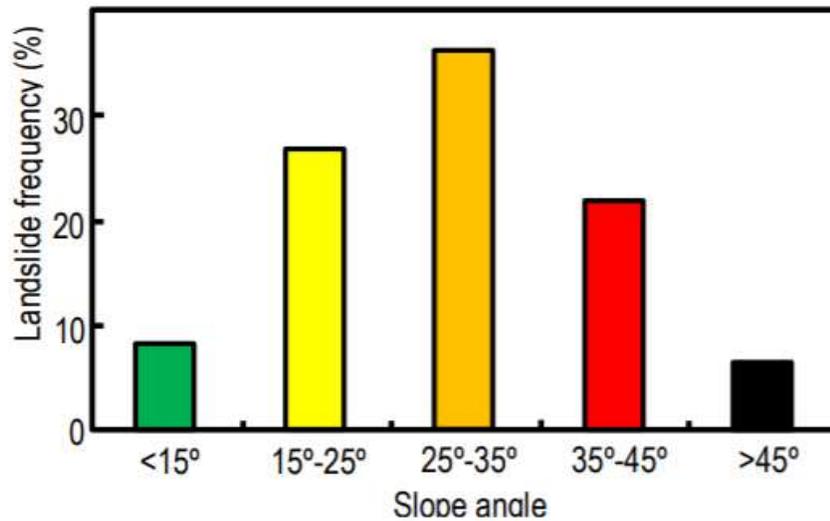
Diversos autores señalan que uno de los principales factores que determina la generación de remociones en masa es la pendiente de las laderas (Esaki, et al., 2005; Giraud & Shaw, 2007). Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles, se utilizó la información compilada a partir de diversas 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°

Ilustración 19 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Esaki et al.(2005)

4.3. 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.

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

Tabla 12 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad

PELIGRO	FACTORES CONDICIONANTES	FACTORES DESENCADENANTES	ELEMENTOS DE ZONIFICACIÓN
Inundaciones por desborde de cauce	- Características morfológicas de la red de drenaje	- Lluvias intensas	- Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Observaciones de terreno - Estudios hidráulicos existentes
Inundaciones por anegamiento	- Morfología - Malas condiciones de drenaje	- Lluvias	- Imágenes satelitales - Catastro de humedales - Estudios hidráulicos existentes
Remociones en masa (procesos de ladera)	- Pendientes - Material que compone la ladera (geología) - Exposición de laderas - Formaciones vegetales	- Sismos - Lluvias intensas - Viento	- Pendiente del terreno - Catastro de remociones en masa
Incendios	- Pendientes - Formaciones vegetales	- Altas temperaturas - Vientos	- No susceptible
Sismicidad	- Características de los depósitos	- Sismos	- No susceptible
Volcanismo (caída de ceniza)	- Distancia a los centros eruptivos - Morfología del terreno - Dirección del viento	- Erupciones	- No susceptible

Fuente: Elaboración propia

5. 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 modificar el Plan Regulador Comunal, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica

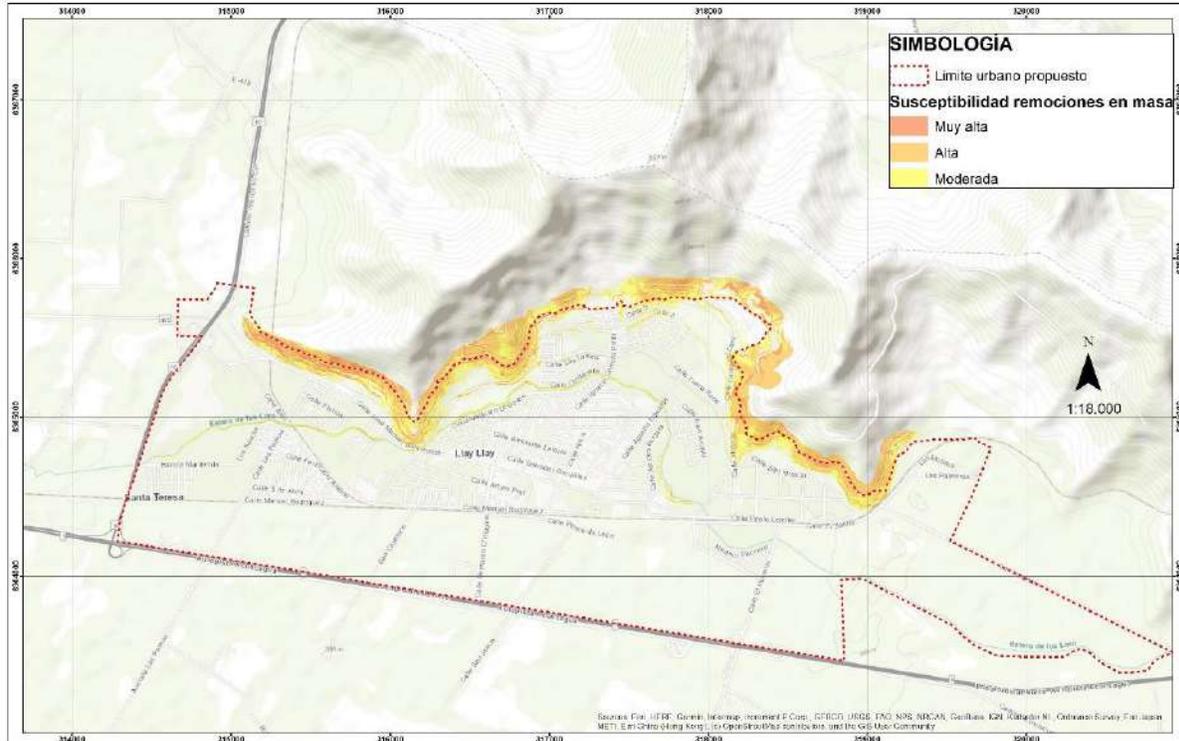
5.1. Áreas De Riesgos Por Remociones En Masa

A partir de los términos de referencia del estudio, objetivos planteados, escala de la información base disponible, se entregan áreas con 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 de estudio 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).

Ilustración 20 Áreas de riesgo por remoción en masa



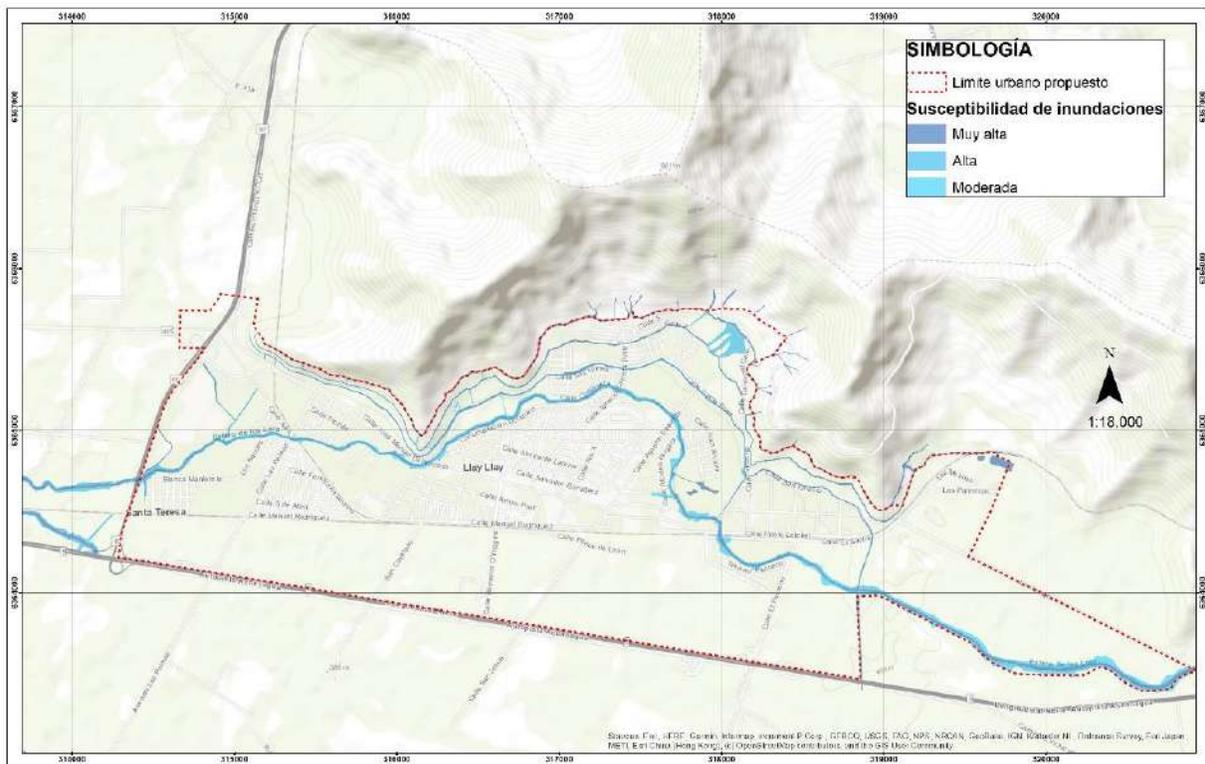
Fuente: Elaboración propia

5.2. Áreas de riesgos por inundación

Áreas de riesgo de inundación para este estudio corresponde a áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento

Las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauce y anegamiento, consideraron geomorfología de los cauces, cauce principal y terrazas inundables (en épocas de crecidas). Y la determinación de las depresiones del terreno factibles de anegamiento y/o sectores de humedales a través de modelamiento 3D de la topografía. Adicionalmente se consideró estudios de modelamiento hidráulico del Estero Los Loros y Canal Comunero, en ambos casos la modelación con proyecto y con la tasa de retorno de 100 años.

Ilustración 21 Áreas de riesgo por inundación



Fuente: Elaboración propia

6. 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.
Restricción por Oleoductos	DS N° 90 de 1995 del Ministerio de Economía Reconstrucción y Fomento: "reglamento de seguridad para el almacenamiento, refinación, transporte y expendio al público de combustibles líquidos derivados del petróleo".
Restricción por Gasoductos	Decreto N° 254 del Ministerio de Economía Reconstrucción y Fomento: "Reglamento de seguridad para el transporte y distribución de gas natural", de 1995, publicado en el Diario Oficial de 30 de octubre de 1995, en lo que dice relación con las distancias mínimas exigibles desde la tubería de transporte hasta las edificaciones
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
Fajas o terrenos de protección de cursos naturales de agua, manantiales y quebradas, terrenos, de acuerdo a la Ley de Bosques	Ley de Bosques, Decreto Supremo N° 4.363 del Ministerio de Tierras y Colonización, de 1931 (D.O. del 31/7/31), y fajas de terrenos colindantes a los cauces de ríos cuya delimitación se encuentra sujeta a lo previsto en el D.S. N° 609, de 1978 (D.O. del 24/1/79)
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.

7. Áreas de protección del recurso de valor natural y patrimonial cultural

7.1. Áreas de protección del recurso de valor natural

En el territorio del Plan no se identifican recurso de valor natural

CATEGORIA	NOMBRE	DECRETO

7.1. Áreas de protección del recurso de valor patrimonial cultural

En el territorio del Plan no se identifica recursos de valor cultural

CATEGORIA	NOMBRE	LOCALIZACIÓN	DECRETO
Monumento Histórico (MH)	Casa Santa Teresa De Llaillay (Antigua Casa De Jenaro Prieto)	Santa Teresa	<u>Decreto N° 156 (2009)</u>

8. Conclusiones para la planificación

Las áreas de riesgos por remociones en masa se localizan el sector norte de la localidad

Las áreas de riesgos en las localidades en estudio se centran en: áreas de riesgos por remociones en masa y áreas de riesgos de inundación por desborde de cauces y anegamiento.

Las áreas de riesgos por remociones en masa se presentan principalmente en laderas de serranías del sector norte de la localidad. En dicho sector las remociones en masa están asociadas a laderas con altas pendientes (mayores 15°) con escasa o baja cobertura arbustiva y con un intensivo uso de pastoreo, en visita a terreno fue posible observar numerosas regueras y erosión en laderas aguas arriba del límite urbano propuesto, que si bien están fuera del área de estudio pueden generar el arrastre de sedimento a las quebradas y esteros que cruzan la localidad generando problemas de sedimentación de cauces.

Las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento se presentan principalmente en el estero Los Loros y canales de riesgo como el Comunero. El estero Los Loros se encuentra confinado a un único cause con cruces de puentes de caminos y ferroviarios, en episodios de crecidas con tasas de retorno 100 años (caudales de 163 m³/s) los cruces ferroviarios quedan muy ajustados en su capacidad de conducir el caudal pudiendo generar aumento de la altura del caudal aguas arriba

RECOMENDACIONES

En las áreas inundables de los cauces principales de esteros y quebradas se sugiere usos de suelos que permitan el libre desplazamiento de sus aguas en caso de crecidas y a su vez resguardar los ecosistemas asociados a dichos cauces, usos de suelos como áreas verdes, parques o corredores verdes podrían favorecer la mantención de los cauces. Excluir en lo posible equipamientos de salud, educación y seguridad.

La limpieza y mantención de los cauces de los esteros y canales de riego en esta localidad es de suma importancia dado que se encuentran en cotas superiores al sector poblado y pueden recibir aporte de sedimentos por las quebradas de las laderas de serranías de escasa vegetación, pudiendo disminuir la capacidad de sus respectivos cauces. Por lo tanto es importante resguardar de edificaciones sus fajas de mantención y acceso.

Respecto de las áreas asociadas a remociones en masa los usos deberían propender a la baja densidad y/o a uso de suelo de áreas verdes.

A continuación, se presentan sugerencias o recomendación a la planificación a asociadas a los riesgos por localidad.

ÁREA DE RIESGO	RECOMENDACIÓN
Remociones en masa	<ul style="list-style-type: none"> - Obras de mitigación para nuevas construcciones - Baja ocupación de suelo - Baja densidad - Favorecer forestación con vegetación nativa local
Inundaciones por desborde de cauces	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de suelo de área verde o parque - Excluir equipamiento - Para cruces de cauces solicitar modelación hidráulica con tasa de retorno mayor a 100 años - Limpieza de cauce antes de época de lluvias - Generar obras de contención (ej muros o gaviones en sectores recurrentes)

9. Bibliografía

- Atlas Agroclimático de Chile - Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y del Maule, 2017
- 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.

Niemeyer H & Cereceda P (1984). Geografía de Chile. Tomo III. Hidrografía. Serie I:G:M.

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, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.

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

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

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/>