



MODIFICACIONES PUNTUALES PLAN REGULADOR COMUNAL DE VALDIVIA

ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES

OCTUBRE-2019

Contenido

1. UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	4
2. OBJETIVO ESTUDIO.....	4
3. ALCANCES Y LIMITACIONES	4
4. MARCO JURÍDICO	5
5. METODOLOGÍA	5
5.1 PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS DE INUNDACIONES	6
5.2 PARA EL ANÁLISIS DE REMOCIÓN EN MASA:.....	7
5.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	8
6. LÍNEA BASE.....	10
6.1 ANTECEDENTES FÍSICO-NATURALES DE VALDIVIA.....	10
6.1.1 ANTECEDENTES CLIMÁTICOS.....	10
6.1.2 NIVEL DE ESPEJO DE AGUA.....	11
6.1.2 ANTECEDENTES GEOMORFOLÓGICOS.....	12
6.1.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS	13
6.1.4 HUMEDALES.....	16
6.2 ANTECEDENTES PELIGROS GEOLÓGICOS VALDIVIA.....	21
6.2.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA	21
6.2.2 INUNDACIONES.....	26
6.3 ANTECEDENTES DE RIESGO NATURALES EN SITIOS DE ESTUDIO.....	32
SECTOR 1: NIEBLA.....	32
SECTOR 2: KUNSTMANN.....	35
SECTOR 3: ISLA TEJA	37
SECTOR 4: COLLICO.....	42
SECTOR 5: KRAHMER	48
SECTOR 6: ARICA	52
SECTOR 7: CHUMPULLO	59
7. RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.....	65
7.1 RIESGO DE REMOCIÓN EN MASA.....	65
8. ÁREAS DE RIESGOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	72
8.1 NIEBLA.....	72
8.2 ISLA TEJA.....	73
8.3 COLLICO	74
8.4 KRAHMER.....	75
8.5 ARICA.....	76
8.6 CHUMPULLO	76
8.7 RECOMENDACIÓN DE CRITERIOS PARA LA ZONIFICACIÓN EN ÁREAS DE RIESGO	78
9. BIBLIOGRAFÍA.....	79

Índice de Tablas

Tabla 1 Crecidas frente a eventos de precipitación en los periodos de retorno	12
Tabla 2 Intensidades por duración y frecuencia (mm/h) – Estación Llancahue.....	28
Tabla 3 Periodos de retorno (años) de la precipitación, caudales y alturas para la estación Llancahue.....	29
Tabla 4 Rangos de altura asociada a la superficie ocupada.....	30
Tabla 5 Remoción en Masa en Sitios	66
Tabla 6 Remoción en Masa en Sitios	69

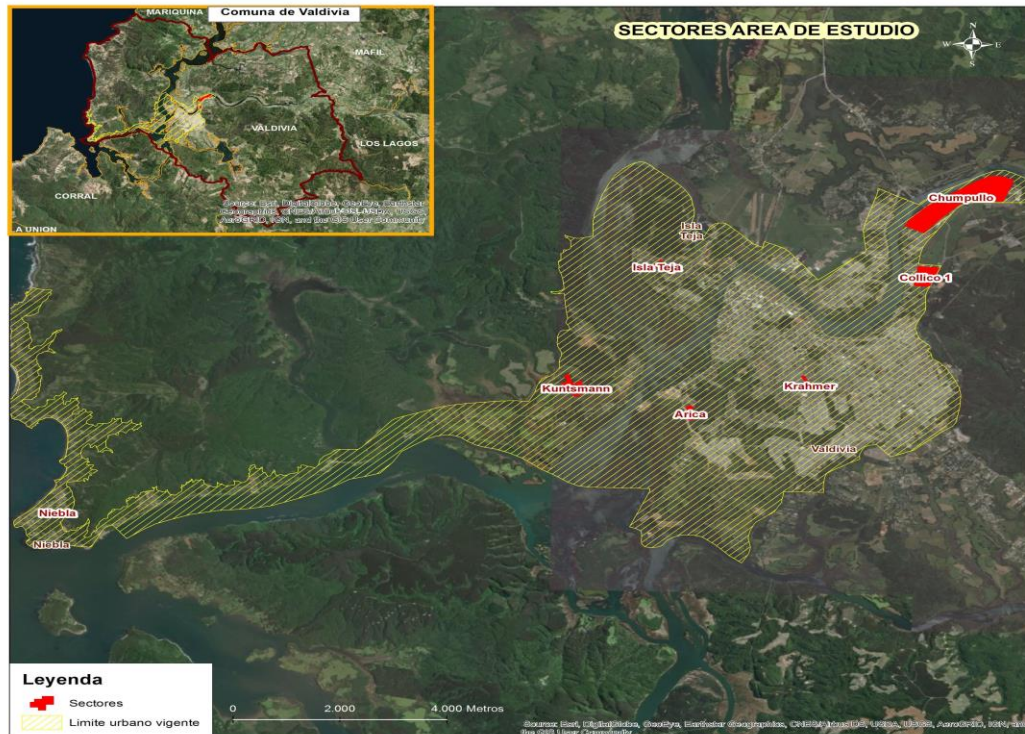
Índice de Imágenes

Imagen 1 Localización sitios de estudios.....	4
Imagen 2 Imágenes de modelo digital de superficies de los sectores en estudios.....	9
Imagen 3 Serie anual de anomalías estandarizadas de las precipitaciones en Valdivia desde el año 1900 al 2015.....	11
Imagen 4 Patrón de variabilidad estacional del nivel del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el año 2000 y 2015.....	12
Imagen 5 Geología Sector Valdivia.....	15
Imagen 6 Geología Sector Niebla.....	16
Imagen 7 Superficie de Humedales, Ciudad de Valdivia.....	17
Imagen 8 Humedales priorizados municipio.....	19
Imagen 9 Humedales y hualves definidos en plan maestro de aguas lluvias.....	21
Imagen 10 Respuesta sísmica (Intensidad de Mercalli).....	23
Imagen 11 Amenaza por procesos de remoción en masa – Sector Valdivia.....	24
Imagen 12 Amenaza por procesos de remoción en masa – Sector Niebla.....	25
Imagen 13 Categorización de inundaciones.....	26
Imagen 14 Tipos de Inundación de Valdivia.....	27
Imagen 15 Área de inundación - Tasa retorno 10 años – Caudales máximos.....	30
Imagen 16 Área de inundación - Tasa retorno 100 años – Caudales máximos.....	31
Imagen 17 Curso de Agua en Niebla.....	32
Imagen 18 Imagen externa Sitio Niebla.....	33
Imagen 19 Curos de agua Paralelo al predio.....	33
Imagen 20 Perfil Oeste - Este.....	33
Imagen 21 Ladera asociada al sitio en estudio.....	33
Imagen 22 Perfil Sur - Norte.....	33
Imagen 23 Peligro remoción en masa sitio Niebla.....	34
Imagen 24 Área de riesgo según Plan.....	34
Imagen 25 Levantamiento Topográfico del sitio.....	35
Imagen 26 Respuesta sísmica sitio Kustmann.....	36
Imagen 27 Detalla lo establecido en el PRC para el Sitio Kustmann.....	37
Imagen 28 Situación actual terreno Isla Teja.....	38
Imagen 29 Levantamiento Topográfico del Sitio.....	38
Imagen 30 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002.....	39
Imagen 31 Situación plan maestro aguas lluvias en el sitio.....	40
Imagen 32 Respuesta sísmica, sitio Isla Teja.....	40
Imagen 33 Humedales en sitio Isla Teja.....	41
Imagen 34 Zona de Restricción según Plan Regulador Vigente.....	41
Imagen 35 Situación actual del sitio.....	42
Imagen 36. Levantamiento Topográfico del Sitio.....	43
Imagen 37 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002.....	44
Imagen 38. Peligro de inundación sitio, modelación tasa retorno.....	44
Imagen 39 Situación plan maestro aguas lluvias en el sitio.....	45
Imagen 40 Respuesta sísmica sitio Collico.....	46
Imagen 41 Humedales en sitio Collico.....	47
Imagen 42 Zonificación según Plan Regulador Vigente.....	47
Imagen 43 Series de tiempo Terreno Krahmer 2005-2018.....	48
Imagen 44 Situación actual.....	49
Imagen 45 Levantamiento Topográfico.....	49
Imagen 46 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002.....	50
Imagen 47 Respuesta sísmica sitio Krahmer.....	51
Imagen 48 Humedales en sitio Krahmer.....	51
Imagen 49 Zonificación según Plan Regulador Vigente.....	52
Imagen 50 Sector Arica y entorno natural.....	53
Imagen 51 Series de tiempo sector Arica 2005-2018.....	53
Imagen 52 Perfiles de terreno sector Arica.....	54
Imagen 53 Situación Actual del área de estudio, época invernal.....	55
Imagen 54 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002.....	56
Imagen 55. Peligro de inundación sitio, modelación tasas de retorno.....	57
Imagen 56 Respuesta sísmica sitio Arica.....	58
Imagen 57 Humedales en sitio Arica.....	58
Imagen 58 Zonificación según Plan Regulador Vigente.....	59
Imagen 59. Río Calle Calle y sitio Chumpullo.....	59
Imagen 60 Levantamiento Topográfico.....	60
Imagen 61 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002.....	61
Imagen 62 Peligro de inundación, modelación tasas de retorno.....	62
Imagen 63 Respuesta sísmica sitio Chumpullo.....	63
Imagen 64 Humedales en sitio Chumpullo.....	64
Imagen 65 Zonificación según Plan Regulador Vigente.....	64

1. Ubicación Área de Estudio.

El área de estudio comprende a 7 sitios de la ciudad de Valdivia: Niebla, Kunstmann, Isla Teja, Arica, Krahmer, Collico y Chumpullo. A continuación, se presenta la figura 1 que muestra la distribución geográfica de los sitios de estudio.

Imagen 1 Localización sitios de estudios



2. Objetivo Estudio.

El objetivo principal de este trabajo es reconocer y delimitar las áreas no edificables y/o áreas de riesgos que han de ser incorporadas y/o adecuadas en la modificación puntual del Plan Regulador Comunal de Valdivia, con la finalidad de mitigar los riesgos naturales en la zona de estudio, de acuerdo a lo señalado por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

3. Alcances y Limitaciones

Para el desarrollo del estudio se determinó la peligrosidad (P), la que está directamente relacionado la susceptibilidad (S), que dice relación con la posibilidad que una zona se vea afectada por un determinado proceso (González de Vallejo et al., 2002), y que dependerá de los factores que controlan o condicionan su ocurrencia (intrínsecos a los propios materiales o externos). Para esta etapa del trabajo se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos y la evaluación de los distintos factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser

afectadas por un peligro natural, a una escala 1:1.000, en este contexto, considerando la superficie de los sitios en estudio no resulta procedente trabajar con información de una escala menor como la información geológica 1.000.000. Además, 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 planificación territorial.

4. Marco Jurídico

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

Por “zonas no edificables”, se entenderán aquellas que, por su especial naturaleza y ubicación, no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias.

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

A continuación, se desglosa donde se presenta la definición de estos peligros y los criterios de zonificación utilizados.

- Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC: Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.
- Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC: Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas. El Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa (caída de bloques y flujos de barro y detritos) y los procesos litorales de erosión acentuada. Estos se explican conceptualmente en el Anexo B.2.2 “Procesos de Remoción en Masa”.

5. Metodología

El estudio de riesgo se fundamentará en la recopilación y análisis de información (oficial) entregada por la contraparte técnica del estudio y la obtenida en la ejecución del estudio (trabajo en terreno, levantamiento topográfico). La metodología en general considera:

1. Revisión y recopilación de antecedentes e información mediante revisión bibliográfica y solicitudes de información a los organismos competentes.
2. Trabajo en terreno para la evaluación de puntos críticos, levantamiento de información y validación de áreas determinadas.
3. Trabajo en gabinete para el análisis de la información, principalmente con el uso de sistema de información geográfica (SIG), según los requerimientos establecidos en las bases técnicas del presente estudio.

La línea de base se desarrollará a primero a nivel de escala de ciudad de Valdivia, ya que es necesario generar un contexto general de los riesgos y elementos naturales desarrollados en planes y estudios vigentes que consideran la ciudad completa como área de estudio.

5.1 Para el análisis de riesgos de inundaciones

Las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río. Son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los cursos de agua. Esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes. Un proceso de anegamiento, por otra parte, corresponde a la acumulación de un volumen de agua - lluvia sobre la superficie del suelo.

Este proceso obedece a una serie de factores naturales y antrópicos entre los que destacan: las características pluviométricas (intensidad de lluvia diaria) y las características físicas del suelo y subsuelo (presencia de sedimentos impermeables que limitan la capacidad del suelo para infiltrar con la debida velocidad el agua de la lluvia y sectores morfológicamente deprimidos con pendientes débiles o nulas).

Los pasos metodológicos para la definición de riesgo por inundación/anegamiento se estructura principalmente en 4 etapas:

a) Identificar los principales cursos naturales y artificiales de aguas superficiales:

La identificación de los cauces se realizó a partir de la revisión de antecedentes y estudios en los cuales se consideran o afectan los sitios de estudio. Dentro de los cuales se consideraron los siguientes:

- I. Levantamiento Fotogramétrico de los 7 sitios de estudio:
- II. Plan Maestro de Aguas Lluvias para la ciudad de Valdivia del Año 2012
- III. Plan Regulador comunal vigente de la comuna de Valdivia:
- IV. Reconocimiento en terreno.
- V. Investigaciones científicas.

b) Caracterización de áreas inundables mediante cartografía de estudios existentes (PROT, CIREN, PRC, PLADECO, etc.):

Esta actividad incluyó tanto la recepción de la información provista por el mandante como la búsqueda de antecedentes en otras instituciones. Para la recopilación de información, se revisaron diversas fuentes, entre las que se incluyen publicaciones científicas e información generada por

entidades públicas (Municipio, DOH, MINVU, MMA, etc.). El objetivo de esta búsqueda fue compilar la siguiente información: Zonas inundables consideradas en Planes y Estudios, Zonas Húmedas.

c) Identificación de puntos críticos de inundación/anegamiento (Revisión bibliografía y estudios regionales o locales) y Observación de puntos críticos en terreno (Información de actores locales, Municipalidad, entre otros).

Esta actividad al igual que la anterior, se realizó mediante una revisión de bibliografía existente y más específicamente tomando en consideración lo establecido en la Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias de Valdivia del año 2012, el cual realizó un estudio detallado de los puntos críticos de inundación.

Se realizó una visita a terreno al área de estudio durante los días 31 de enero y 16 de mayo de 2018, la que consistió en un recorrido los sitios, con énfasis en los siguientes objetivos:

- Complementar y validar la información obtenida en la recopilación bibliográfica: Se complementó la delimitación y caracterización de los elementos naturales relevantes, con énfasis en los puntos críticos potenciales de inundación y remoción en masa.
- Recaudar información sobre eventos vinculados a la ocurrencia de remociones en masa y/o inundaciones en el sector.

d) Los elementos serán territorializados y se determinara las zonas de riesgo mediante el análisis espacial (con sistemas de información geográfica) de superposición de capas, obteniendo la magnitud de los riesgos por localidad.

La determinación de las zonas afectadas por Peligro de inundación se realizó a partir del análisis espacial en Sistemas de información Geográfico. Para la zonificación de peligro de inundación, se utilizó un método de superposición de información. Esto implicó la elaboración de un modelo de elevación de terreno en el que se identifican la geoforma de los sitios. La localización de los cauces fluviales activos, llanuras de inundación asociadas, niveles aterrizados, etc. Lo anterior fue complementado con los antecedentes históricos de inundaciones recopilados en el Catastro de Inundaciones y/o áreas inundables detectadas en planes o estudios existentes.

A partir de lo anterior, se definirán como áreas de riesgo de inundación a partir de la superposición de información los siguientes elementos:

- Sectores de cauces activos de ríos, esteros, canales, humedales, etc.
- Sectores de llanura de inundación de los esteros, las que se ubican en zonas adyacentes a sus cauces activos y presentan evidencias geomorfológicas - topográficas que sugieren la ocurrencia de desborde por crecidas durante eventos meteorológicos extremos. Además, se incluye en esta categoría a los cauces activos de las quebradas principales y secundarias.

5.2 Para el análisis de Remoción en Masa:

La metodología para la determinación de riesgos por remoción en masa, se sustenta en cuatro etapas fundamentales:

- a) Recopilación y revisión bibliográfica: Consiste en obtención y revisión de información y bibliografía asociada al área de estudio y a los riesgos de remoción en masa, definiendo las

características del territorio y las consideraciones respecto a ajustes metodológicos que requiera el área. Esta actividad incluyó tanto la recepción de la información provista por el mandante como la búsqueda de antecedentes en otras instituciones. Para la recopilación de información, se revisaron diversas fuentes, entre las que se incluyen publicaciones científicas e información generada por entidades públicas (Municipio, DOH, MINVU, MMA, etc.). El objetivo de esta búsqueda fue compilar la siguiente información: áreas que presenten riesgos de remoción e masa consideradas en Planes y Estudios, Zonas Húmedas.

b) Fotointerpretación Geomorfológica: Identificar las unidades geomorfológicas de los sitios cuando corresponda. Para la determinación de estas unidades y dado la superficie de los sitios de estudio fue necesario generar un levantamiento topográfico mediante la captura de ortofotos y generación de modelos de elevación (explicada en el punto 5.3).

c) Levantamiento de información en terreno. Se realizaron dos tipos de terrenos:

- Terreno de Observación: Distinguir los elementos del medio geográfico-físico más importantes del territorio orientado por el trabajo bibliográfico.
- Terreno de Chequeo: corroborar y rectificar el producto foto interpretado, para que la información de procesos geomorfológicos fuese lo más fidedigna posible.

d) Síntesis de Riesgo por Remoción en Masa: El método a utilizar, será la superposición de capas de información a través de la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, los cuales se utilizarán para ponderar la información por cada una de las variables.



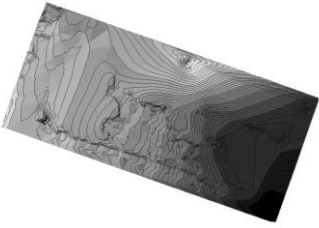
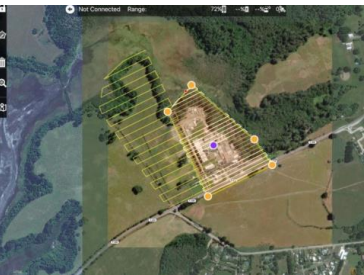

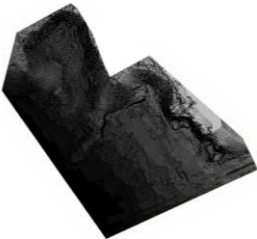









5.3 Levantamiento Topográfico

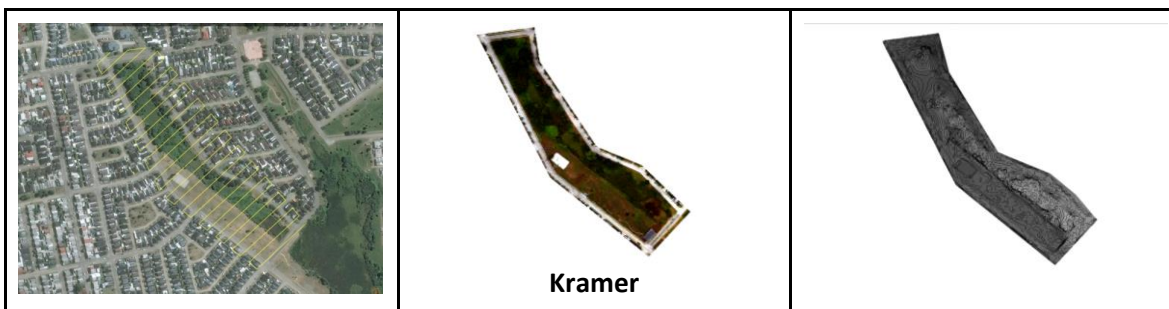
Para el desarrollo del estudio y considerando la superficie de los sitios, fue necesario el levantamiento fotogramétrico de los 7 sectores, la obtención de las ortofotos en RGB (Red, Green y Blue), generación del modelo digital de superficie (DSM) y modelo digital de terreno (DTM). Finalmente obtener curvas de nivel con equidistancia de 15 cm.

Se realizó el posicionamiento de puntos de control fotogramétrico con GPS doble frecuencia en modo relativo estático para precisión centimétrica ($P < 5$ cm horizontal, $P < 10$ cm vertical) según los estándares del Manual de Normas Técnicas para Mensuras (Ministerio de Bienes Nacionales, 2010) y Manual de Carreteras (MOP, 2015). Una vez posicionados los puntos de control se ejecutó un vuelo fotogramétrico con plataforma UAV con recubrimiento estereoscópico superior a 90%.

En postproceso, mediante fotogrametría digital, se obtuvo una nube de puntos coordinados, ortofoto verdadera con resolución de píxel de 2,6 a 5 cm dependiendo del sector, y un modelo digital de superficie (DSM) que representará todos los objetos sobre el suelo. Este DSM fue filtrado para generar un modelo digital de terreno (DTM), el que entrega las cotas del nivel de suelo mediante interpolaciones de la malla de puntos fotogramétrica en el nivel de base.

Imagen 2 Imágenes de modelo digital de superficies de los sectores en estudios

Planificación del vuelo en sectores	Imagen Resultado	Modelo Digital de Terreno
	 Sitio Niebla	
	 Kunstmann	
	 Collico	
	 Isla Teja	
	 Arica	



Para el sitio de Chumpullo se trabajó con información obtenida del levantamiento topográfico del estudio de Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias para la ciudad de Valdivia, además de imágenes satelitales de Google Earth.

6. Línea Base

La línea de base se elaboró a partir de la recopilación de antecedentes para los sitios de estudio. Como primer paso, se realizó un análisis de información relacionado a los riesgos naturales existente a nivel comunal y, con ello, rescatar de esta recopilación, insumos que permitan orientar el trabajo de los sitios de estudio.

A continuación, se presenta el resultado de la recopilación de estos antecedentes.

6.1 Antecedentes físico-naturales de Valdivia

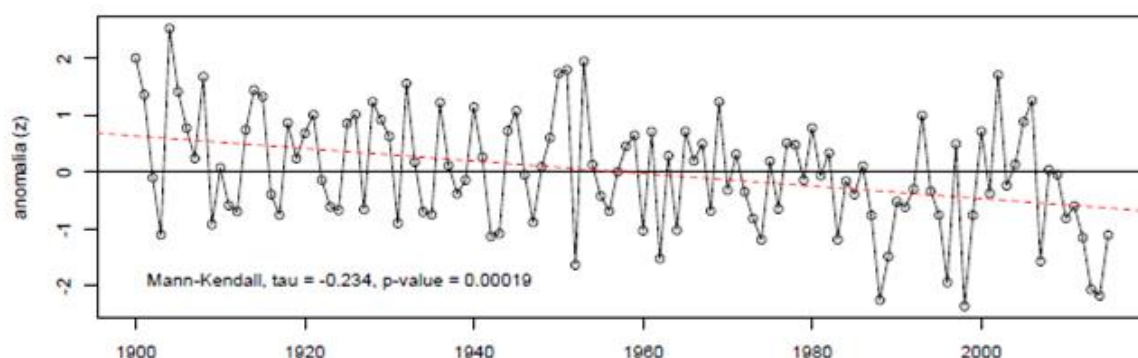
A continuación, se presentan antecedentes físicos y naturales de la ciudad de Valdivia que entregan un contexto para el análisis de los sitios de estudio.

6.1.1 Antecedentes Climáticos

La zona de Valdivia posee un clima templado lluvioso con influencia mediterránea según Köppen en Koeppel & Long (1959) del tipo Cfb (C= clima templado; F=húmedo, b= mes, mes más cálido inferior a 20° C). Las precipitaciones fluctúan entre 1.800 y 2.500 mm al año, con importantes fluctuaciones por el paso de sistemas frontales sobre la zona (Dirección Meteorológica de Chile, www.meteochile.cl). Durante los meses de mayo a agosto se concentra el 75% de las precipitaciones anuales, siendo junio y julio los meses más lluviosos cuando las precipitaciones pueden superar incluso los 400mm de agua caída al mes. Los meses más secos son los de enero y febrero con precipitaciones inferiores a 60 mm. Para la zona de Valdivia, se han registrado eventos máximos diarios superiores a 150 mm. Debido a la alta pluviosidad de la zona, la humedad relativa promedio anual es cercana al 80% (Dirección Meteorológica de Chile), aun cuando durante los meses de invierno esta puede superar el 90%. Sin embargo, la serie histórica mensual como anual de precipitaciones (1960-2014) muestra que fuera de la estacionalidad de las precipitaciones se observa fluctuaciones a nivel de décadas en torno a un nivel promedio con una tendencia lenta de largo plazo a disminuir, en este contexto la serie de precipitaciones muestra un decaimiento entre 1960 y 2013, coincidente con el decrecimiento significativamente de las precipitaciones anuales

desde 1901 al 2005 (González-reyes & Muñoz 2013). Lo anterior, es coincidentes con el periodo de baja pluviosidad del año 2014, típica de la época estival, se extendió hasta fines de abril, lo que armoniza con lo indicado por González-reyes & Muñoz (2013), señalando la existencia de una extensión de las condicionantes estivales hacía parte del otoño y una concentración más acentuada de las precipitaciones en los meses de invierno, durante el 2015, el total de agua caída en abril no superó el promedio de sus precipitaciones históricas. A continua se representa serie anual de anomalías estandarizadas de las precipitaciones en Valdivia desde el año 1900 al 2015. La línea roja segmentada señala el ajuste de un modelo lineal a los datos. Los datos para el periodo 1900 a 1959 fueron obtenidos desde González-Reyes & Muñoz (2013) y desde 1960 a 2015 los recopilados por Universidad Austral de Chile 2015.

Imagen 3 Serie anual de anomalías estandarizadas de las precipitaciones en Valdivia desde el año 1900 al 2015.



Fuente: Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios, Universidad Austral de Chile 2015

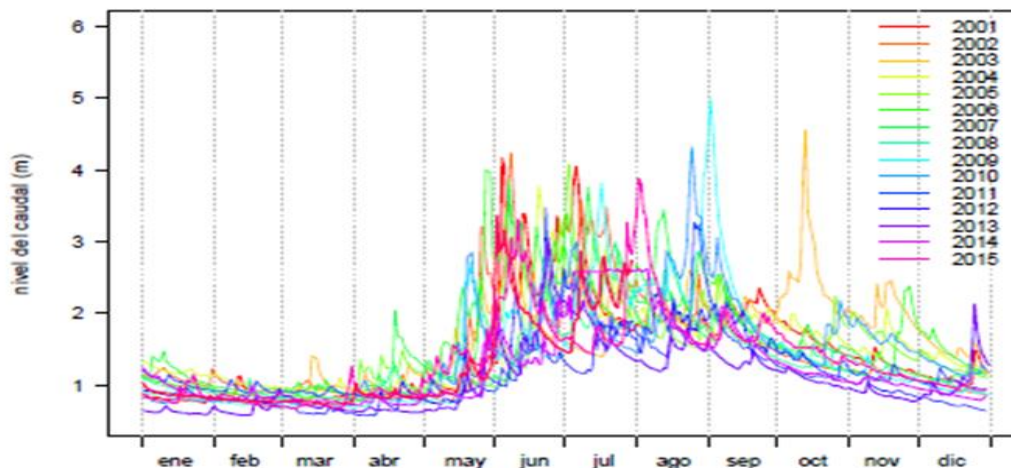
La temperatura promedio anual del aire borde los 12°C. La oscilación promedio entre el mes más cálido y el más frío es de aproximadamente 10°C. Enero y julio son los meses más cálidos y fríos respectivamente, con temperaturas promedio cercanas a los 17°C y 7°C, respectivamente (Huber 1970). La temperatura máxima absoluta del aire es cercana a 35°C y la mínima a -4°C. Las heladas que se registran en la zona, se producen principalmente durante noche despejadas de los meses de invierno. Es así que las temperaturas mínimas del aire registradas desde 1960 a 2015, muestran una marcada estacionalidad característica de la zona valdiviana, las variaciones promedio de las temperaturas mínimas mensuales a través de los años no muestra tendencia a aumentar o disminuir, sin embargo se observan fluctuaciones con periodicidad en torno a los 120 meses¹.

6.1.2 Nivel de espejo de agua

Se observa un claro patrón estacional a lo largo del año en la estación estival los niveles o alturas del espejo de agua son bajos, principalmente en febrero y parte de marzo. A mediados de abril el nivel de las aguas comienza un marcado y vertiginoso aumento para alcanzar durante julio y agosto sus mayores niveles. Con la llegada de la primavera la altura del agua comienza a disminuir para alcanzar en el verano los menores valores.

¹ Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios, Universidad Austral de Chile 2015.

Imagen 4 Patrón de variabilidad estacional del nivel del espejo de agua en el sector de Rucaco, río Cruces, entre el año 2000 y 2015.



Fuente: Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios, Universidad Austral de Chile 2015.

El plan maestro de aguas lluvias del año 2002 establece los siguientes antecedentes hidrológicos de niveles de crecidas frente a eventos de precipitación en los periodos de retorno.

Tabla 1 Crecidas frente a eventos de precipitación en los periodos de retorno

Período de Retorno (años)	Precipitación Diaria (mm)	Río Calla Calle en Valdivia		Efecto de la Marea y Viento		
		Caudal Max. (m3/s)	Altura Max. Crecida (msnm)	Nivel Min. (msnm)	Nivel Max. (msnm)	Nivel Max. Con Viento
2	66	1.654	0,8	0,1	1,4	1,6
5	85	2.187	1,1	0,3	1,7	1,8
10	97	2.514	1,2	0,5	1,8	2,0
25	112	2.896	1,3	0,6	1,9	2,1
50	123	3.162	1,4	0,7	2,0	2,2
100	133	3.414	1,5	0,8	2,1	2,3

Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvia de Valdivia

6.1.2 Antecedentes Geomorfológicos

En términos geomorfológicos, la ciudad se encuentra emplazada en gran parte sobre una terraza de origen fluvial a una altura aproximada de 9 m sobre el río, la cual al menos desde 1552 no habría sido inundada. Esta terraza se levanta abruptamente desde los ríos o llanuras de inundación, con alturas que varían entre los 6 y 20 metros sobre estos. La conformación de la terraza es una arenisca con abundantes componentes de origen volcánico denominada como cancagua. Los sectores localizados en cotas inferiores a los 2 m sobre el nivel del río corresponden a una llanura aluvial, presentan pendientes menores al 5%, un nivel freático somero y alta humedad del suelo. Las terrazas aparecen delimitadas por escarpes con estas unidades geomorfológicas más bajas. En la porción sur y suroccidental de la ciudad estas terrazas presentan aspectos de mesetas separadas

por sectores bajos sinuosos correspondientes a paleocauces tallados en terrazas ocupados por humedales interiores².

6.1.3 Aspectos Geológicos

El marco general de las unidades geológicas está basado principalmente en la geología 1:100.000 realizada por el SERNAGEOMIN, en las observaciones puntuales realizadas en terreno de los sectores con peligro y, en el análisis de estudios anteriores realizados por diferentes autores. Las unidades geológicas y los sectores o áreas definidos para este estudio en los sectores puntuales estudiados fueron trabajados escala 1:1.000 y revisados en terreno.

La geología de esta zona Valdivia incluye depósitos cuaternarios de origen glacial, estuarino, fluvial y litoral, sedimentitas marinas y continentales del Mioceno, rocas intrusivas del Cretácico y metamorfitas del Paleozoico-Triásico. La historia geológica de esta zona se caracteriza por una fuerte influencia tectónica con numerosos subsidencias y alzamientos del terreno a los que se asocian sucesivas regresiones y transgresiones marinas.

El Holoceno está representado por depósitos litorales, arenas y gravas no consolidadas de composición principalmente volcánica, y depósitos fluviales y fluvio-estuarinos no consolidados, compuestos por grava y arena gruesa con proporción variable de material fino y materia orgánica, los que componen las terrazas más bajas de los actuales cauces de los ríos de la zona. El espesor de estos depósitos es variable, alcanzando hasta aproximadamente 30-35 m (Karzulovic, 1960; Doyel *et al.*, 1960; Illies, 1970). El Pleistoceno está representado por sedimentos glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (Pleistoceno Superior; Mercer, 1976; EIOM 4-2) correspondientes a gravas y arenas que se distribuyen en el noreste del área de estudio, y que conforman terrazas de alturas entre 10 y 15 m. Estos sedimentos sobreyacen a depósitos fluvio-estuarinos de la última etapa interglacial. (EIOM 5, Antinao y Mc Donough, 1999) conformados por gravas finas, arenas, limos y arcillas, moderada a débilmente compactadas, incluyendo a los estratos conocidos localmente como canagua. En la costa, forman terrazas de más de 30 m s.n.m. y, a lo largo del sistema fluvio-estuarino presentan una altura aproximada de 13 m s.n.m. Su espesor puede variar entre 50 m y más de 80 m (Illies, 1970; Doyel *et al.*, 1960). Según el origen de los componentes principales, estos depósitos se dividieron en dos asociaciones de sedimentos que engranan lateralmente: a. Gravass, arenas limosas y limos arenosos, que intercalan con niveles limosos con fósiles marinos y turbas, reconocidos principalmente en la costa. Las arenas y otros materiales más finos provienen de la erosión del basamento rocoso del área. La fauna encontrada indica ambiente intermareal y un clima similar al actual (Moreno, 2002). Los fragmentos corresponden, principalmente, a rocas volcánicas (basaltos y andesitas), rocas intrusivas, cuarzo, magnetita y pómez redondeadas y meteorizadas a arcillas. Se ha sugerido (Barozzi y Lemke, 1966; Illies, 1970; Rojas, 1990) que durante el período de sedimentación de estos depósitos, confluían en los sectores de Pelchuquín y Valdivia diversos ríos, probablemente similares a los actuales Calle-Calle y Cruces, depositando material volcánico transportado desde la zona andina en forma de flujos densos y rápidos, o flujos hiperconcentrados (Smith, 1991; Smith y Lowe, 1991). Estos se habrían depositado en forma alternada con otros propios de ambientes de baja energía. Sedimentos glaciofluviales de la Glaciación Santa María

² Alfaro 2017 ASENTAMIENTOS HUMANOS EN TORNO A LOS HUMEDALES DE LA CIUDAD DE VALDIVIA EN TIEMPOS PREHISPÁNICOS E HISTÓRICOS COLONIALES, Chungara, Revista de Antropología Chilena

(Pleistoceno Medio; Porter, 1981; EIOM 8-6) correspondientes a gravas y arenas gruesas que conforman una topografía plana en los alrededores de San José de la Mariquina y al este de la ciudad de Valdivia, infrayacen a la unidad anterior. Se ha detectado también su presencia en el subsuelo de esta ciudad, a una profundidad de 65 a 70 m bajo la superficie (Barozzi y Lemke, 1966; Illies, 1970). La Glaciación Río Llico (Pleistoceno Medio; Porter, 1981; EIOM 12-10) está representada por remanentes discontinuos de sedimentos morrénicos, correspondientes a gravas y arenas gruesas polimícticas que se observan al norte de la ciudad de Valdivia, donde sobreyacen a unidades miocenas.

Las secuencias estratificadas están representadas por la Formación Santo Domingo (Mioceno Inferior a Medio; Martínez y Pino, 1979), unidad sedimentaria continental-marina con macro y microfósiles. En la localidad tipo de esta formación se reconocieron dos niveles marinos: areniscas y fangolitas cuarzo-micáceas, las que infrayacen a areniscas cuarzo-líticas. Las facies de este período se formaron en ambientes asociados con la inundación progresiva de valles fluvio-estuarinos por parte del mar, que culminó en el Mioceno Medio con la formación de un embahiamiento profundo en esta región. Infrayaciendo a la anterior formación, y con afloramientos discretos en esta área, se presentan los Estratos de Pupunahue (Oligoceno-Mioceno Inferior; Illies, 1970), correspondiente a una unidad sedimentaria continental-parállica. Las asociaciones de facies de esta unidad, se depositaron en un típico sistema estuarino de manera similar a lo que ocurre actualmente en Valdivia.

La Cordillera de la Costa está constituída principalmente por metamorfitas y algunos cuerpos intrusivos. Las rocas metamórficas se han integrado en el Complejo Metamórfico Bahía Mansa (Devónico-Triásico, Duhart *et al.*, 2001) correspondiente a esquistos pelíticos a semipelíticos con menor cantidad de metareniscas, intercalaciones de esquistos cloríticos y escasos cuerpos de rocas ultramáficas tectónicamente emplazadas. Las relaciones estratigráficas originales entre ellas están completamente destruidas y localmente se observan contactos miloníticos. Se han verificado al menos dos episodios de sedimentación y similar número de eventos de deformación y metamorfismo (Duhart *et al.*, 2001). Las rocas intrusivas corresponden a la Granodiorita Chaihuín (edad U-Pb circón de $85,8 \pm 1$ Ma; Duhart *et al.*, 1997), la Granodiorita Oncol (edad K-Ar de 91 ± 2 Ma; McDonough *et al.*, 1998), la Dacita Laurel y la Dacita Ramón. Dada la proximidad de estas últimas a los cuerpos cretácicos existentes en el área, se les atribuye la misma edad. En general estos cuerpos intrusivos presentan una fuerte alteración, principalmente argílica³.

Las depresiones morfológicas actuales localizadas en el área de Valdivia tienen su origen en el Terciario (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), donde se generaron cuencas sedimentarias como resultado de procesos tectónicos, principalmente de tipo extensional, asociados a variaciones en la velocidad de convergencia y ángulo de subducción de las placas Nazca (Farellón) y Sudamericana (Muñoz *et al.*, 2000).

La condición estructural de los suelos es clave para proyectar el crecimiento de la ciudad y el tipo de edificación. Los suelos menos compactos son susceptibles a sufrir procesos de licuefacción y acentuar el movimiento sísmico cuando éste ocurre. Es por ello, que se analizan a continuación las características geológicas y geomorfológicas de Valdivia y sus alrededores.

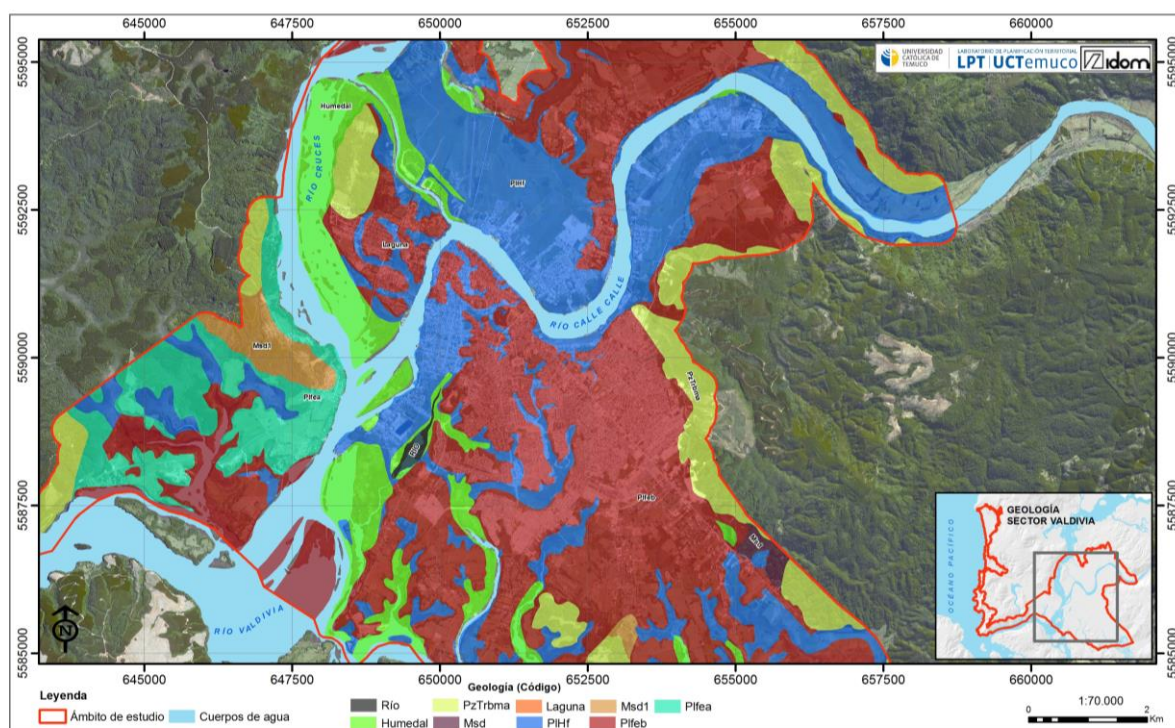
³ Arenas *et al* (2003), Geología ambiental del área de Valdivia, X Región, Chile

La geología de la zona de Valdivia incluye depósitos cuaternarios de origen glacio-fluvial, fluvioestuarino y litoral, sedimentos marinos y continentales del Mioceno, rocas intrusivas del Cretácico y rocas metamórficas del Paleozoico-Triásico (PLADECO, 2016). La historia geológica de esta zona, a partir del Cenozoico, se caracteriza por una fuerte influencia tectónica con numerosos hundimientos y alzamientos del terreno. A estos eventos se asocian sucesivas regresiones y transgresiones marinas, que han quedado registradas en los sedimentos presentes principalmente en la zona costera de la provincia de Valdivia.

En este caso se describe la geología de dos sectores, dados los eventos (amplificación sísmica y remoción en masa) que presentan, que propicia su constitución relativa al patrón geológico; estos sectores son: a) Valdivia, constituida principalmente de depósitos fluviales y marítimos, y b) camino Niebla, constituido por roca metamórfica.

En cuanto a las unidades geológicas, cabe señalar como se muestra en la imagen N°5, que gran parte de la superficie de la ciudad de Valdivia se encuentra emplazada en los depósitos PIHf, los cuales se constituyen principalmente por antiguos depósitos fluviales; es el caso de los sectores como “Barrios bajos” ubicado en la ribera del río Valdivia al sur de la ciudad, “Las Ánimas” ribera norte del río Calle-Calle y sector “Collico” al este de la ciudad.

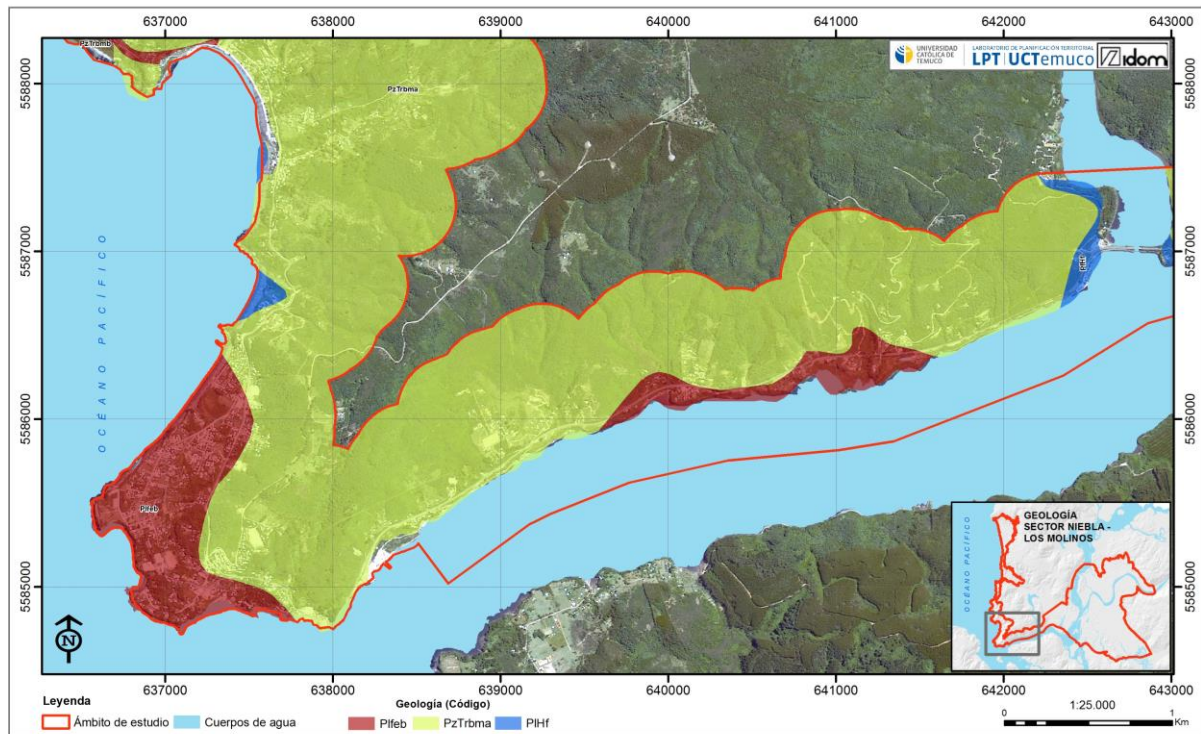
Imagen 5 Geología Sector Valdivia



Fuente: Arenas et al; 2002. Edición. Elaboración propia Laboratorio de Planificación Territorial – Universidad Católica de Temuco

Con respecto al sector de Niebla, el estado metamórfico, la pendiente alta y la baja cobertura vegetal aumentan la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en toda la unidad de la ribera norte de la desembocadura del río Valdivia.

Imagen 6 Geología Sector Niebla

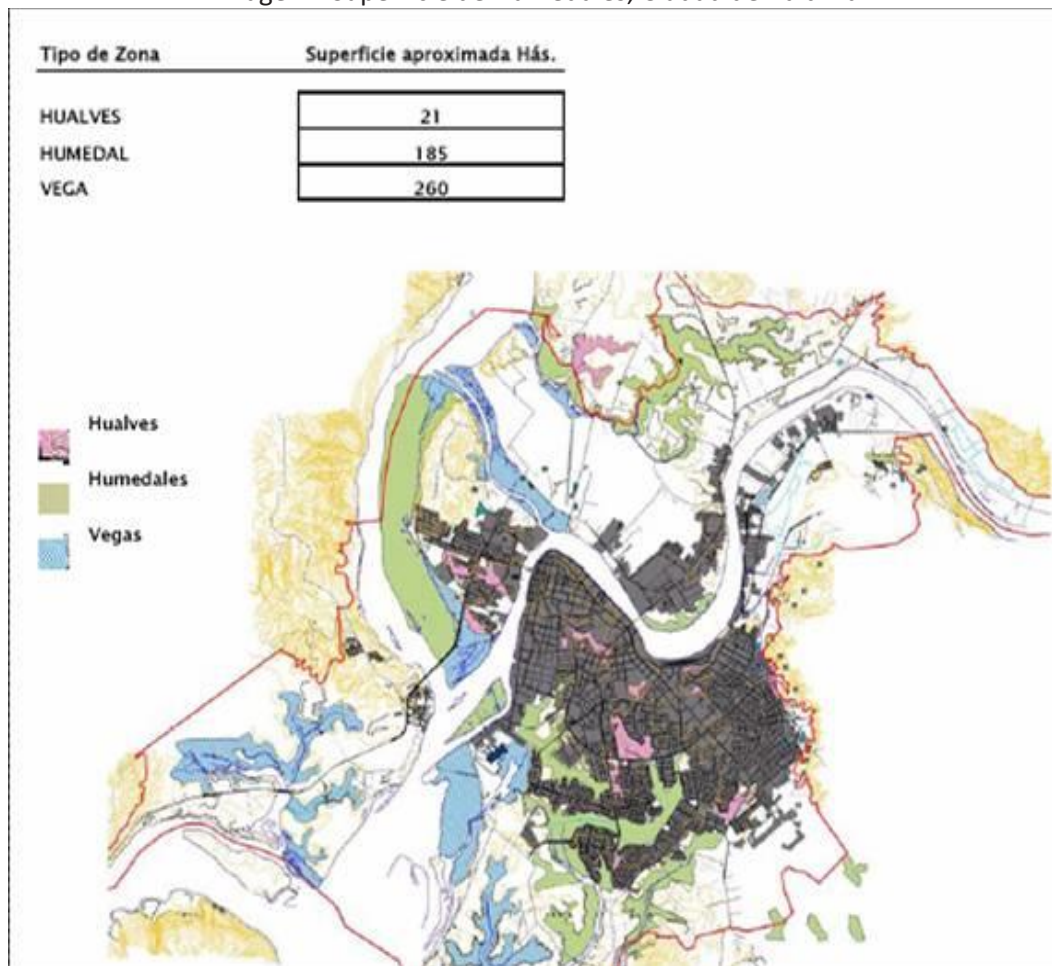


Fuente: Arenas et al; 2002. Edición. Elaboración propia Laboratorio de Planificación Territorial – Universidad Católica de Temuco

6.1.4 Humedales

Los humedales son hábitats que se ven continuamente amenazados por la intervención humana, lo cual es más evidente en el caso de los humedales ubicados dentro de las ciudades, debido a que son sometidos a la presión del crecimiento poblacional. Con respecto a humedales urbanos, encontramos que RAMSAR también las incluye como objetos de conservación siendo por definición los que se encuentran dentro de los límites de ciudades, poblaciones y otras conurbaciones (RAMSAR 2008). La importancia de los humedales urbanos está en su aporte a la diversidad biológica, estética al paisaje (Kusch et al. 2008) y , según Smith y Romero (2009), “los humedales ubicados al interior de la ciudad o cercanos a ella, adquieren aún mayor importancia debido a que las funciones y mecanismos naturales de estos ecosistemas deben ser entendidos como servicios ambientales que reportan beneficios directos e indirectos, entre los que se encuentran purificación de aire, regulación microclimáticas, reducción de ruido, drenaje de aguas lluvias, tratamiento de aguas residuales y oferta de espacios para la recreación.

Imagen 7 Superficie de Humedales, Ciudad de Valdivia



Según Rubilar (2002), en uno de los pocos estudios sobre este tema, por las características hidro-geológicas de los humedales del área urbana de Valdivia, pueden dividirse en 3 grandes grupos: a) Los ubicados en las riberas de los ríos que forman al estuario, definido anteriormente como medio y superior, de carácter fluvio-pluvial con influencia marina. b) Los interiores o de sitios anegadizos en depresión de la terraza de canchagua, de carácter pluvial c) En el borde occidental de la formación de piedra laja, en el límite noreste de la ciudad también de carácter freático-fluvial. Esta se forma por acumulación de agua en valles, provenientes de 9 esteros que bajan del cordón serrano.

A continuación, se presentan 2 visiones y delimitaciones de humedales para la ciudad de Valdivia. Por un lado, el Estudio de la Municipalidad de Valdivia del año 2019, donde se realiza un catastro de humedales y una priorización participativa de estos.

Por otro lado, el estudio de Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias, define humedales (y hualves) con una mirada funcional, para el tema de evacuación de aguas lluvias.

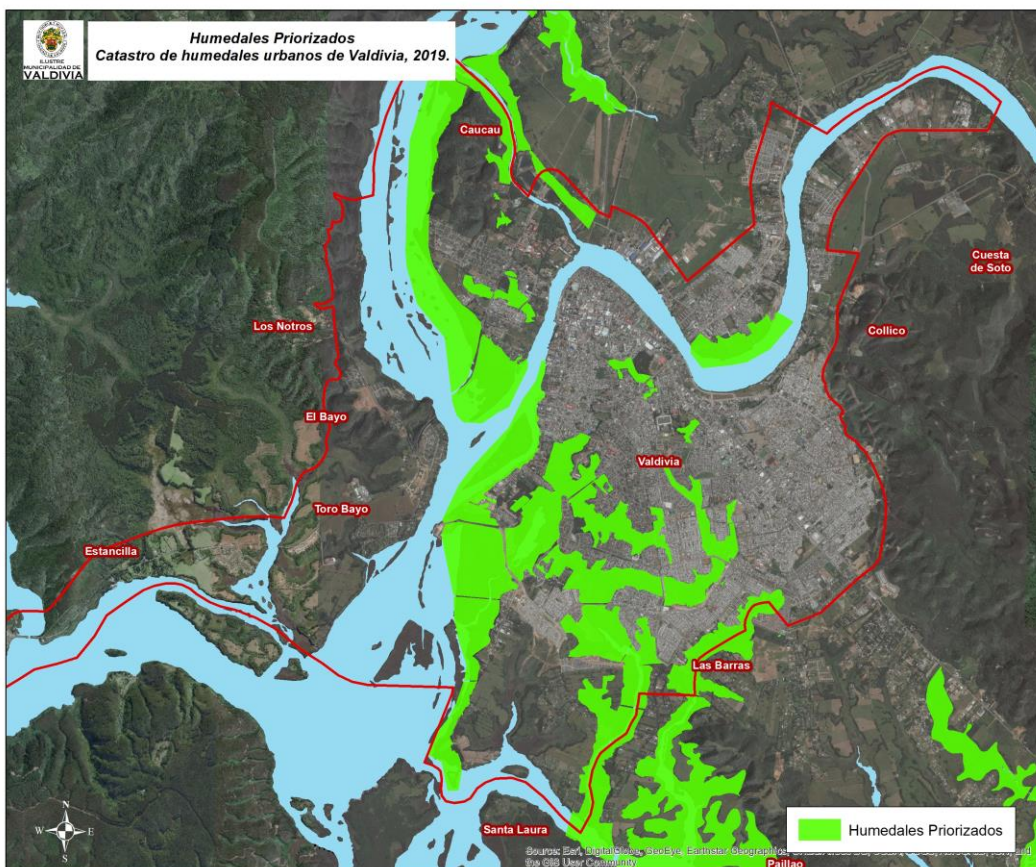
Catastro de humedales urbanos de Valdivia, 2019.

La protección de los humedales, de los servicios ecosistémicos que prestan y de las distintas especies que allí habitan, es una continua preocupación ciudadana y de las instituciones con atribuciones directas o tangenciales sobre estos ecosistemas. Atendiendo a la urgente necesidad de protección

y gestión de estos ecosistemas, la Ilustre Municipalidad de Valdivia, en el marco de la aprobación de la Ordenanza Municipal de Protección de Humedales 2016 y del funcionamiento de su mesa técnica, solicita un estudio “Catastro de Humedales para la Comuna de Valdivia”, con el propósito de conocer integralmente y en detalle la situación de estos ecosistemas urbanos y periurbanos, este contexto, este estudio permite contar con una línea base de los humedales urbanos de la comuna (lo cual posibilita su monitoreo), y establece la priorización de estos en base a criterios técnicos, lo que permitirá dibujar una hoja de ruta para su gestión y protección. Las zonas donde se emplazan actualmente los humedales de Valdivia corresponden a las áreas inundadas tras el terremoto del año 1960. Hasta hace un par de décadas atrás - del año 1960 en adelante - existió una clara conectividad entre los humedales de Valdivia. La mayor parte de los humedales urbanos de Valdivia, constituyen hoy enclaves mediterráneos sin conexión con cuerpos hídricos con abundante flujo de agua. Esto está primariamente relacionado al desarrollo de la ciudad con las consiguientes actividades de relleno, encauzamiento y fragmentación de los humedales. Tal es así que la disminución en la altura del espejo de agua está también relacionada a esas actividades y no solo a variabilidad pluviométrica estacional. Ejemplo de esto son los humedales de los sectores ESTUDIO LINEA BASE CATASTRO HUMEDALES DE LA COMUNA DE VALDIVIA – I. MUNICIPALIDAD DE VALDIVIA 166 Parque Krahmer y El Bosque, Catrico y Los Fundadores y Los Conquistadores y Prado Verde, entre otros. Sin embargo, hay humedales (primariamente peri urbanos y no mediterráneos) que muestran abundantes flujos de agua.

Por lo anterior la priorización de humedales con el fin de su resguardo se hizo tomando en consideración los criterios de conexión con cuerpos hídricos con abundante flujo de agua y de oferta de espacio lateral para acumulación de sedimentos. A partir de estos criterios se seleccionaron los humedales de los sectores Las Mulatas, Mahuiza y Angachilla y Llancahue, Santo Domingo y Las Gaviotas como prioritarios para estudios de Línea Base Ambiental. Respecto a los dominios de los predios colindantes a los humedales priorizados, es posible concluir que: a) son predios que tienen un gran dinamismo desde el punto de vista de la transacción; b) se evidencia una fragmentación de la propiedad y c) existen categorías de privado a los cuales se les debe prestar atención con miras a articular a la institución pública o generar acuerdos públicos y privados para la conservación. (eg. Terrenos fiscales, SERVIU, Forestales, Inmobiliarias).

Imagen 8 Humedales priorizados municipio



Plan Maestro de Aguas Lluvias 2013: Humedales y Hualves

La ACTUALIZACIÓN Y AMPLIACIÓN COBERTURA PLAN MAESTRO DE AGUAS LLUVIA VALDIVIA, XIV REGIÓN DE LOS RÍOS realizó un diagnóstico del sistema de evacuación y drenaje del área de estudio, para las condiciones de uso actual y futuro del suelo. Como primera actividad del estudio se recopiló y analizó la información disponible en diferentes instituciones tanto estatales como privadas, entre las cuales se encuentran el SERVIU, ESSAL, Aguas Décima S.A., la Ilustre Municipalidad de Valdivia, la Dirección General de Aguas y otras.

En el presente capítulo se analizan los usos de suelo de Valdivia al interior del área de estudio, para una condición actual y una futura. Como base para este análisis se utilizaron los antecedentes usados y plasmados en el Plan Maestro de 2002 y en los del Plan Regulador de la ciudad de Valdivia, en vías de aprobación.

Se analizó el uso actual del suelo en toda el área urbana de la comuna de Valdivia definido en el Plan Maestro de 2002, y se decidió utilizar los mismos criterios y categorizaciones realizadas en el citado estudio. En el siguiente cuadro se presentan los 19 tipos de suelos definidos para la situación actual.

Para actualizar la condición actual del uso de suelo, respecto a la considerada en el Plan Maestro de 2002, se sobrepuso el uso de suelo de ese estudio con la fotografía digital actual, tomada como parte del levantamiento aerofotogramétrico, y se identificaron los nuevos sectores desarrollados, los que corresponden principalmente a desarrollos inmobiliarios ubicados al sur de la ciudad hacia la zona de los Esteros Angachilla y Guacamayo. También existen nuevos desarrollos inmobiliarios en el sector norte de Las Ánimas y en el norte de Collico. Cada uno de estos nuevos sectores se asoció a alguna de las categorías presentadas anteriormente.

Cuadro Usos de suelo definidos en Plan Maestro 2002, detalle áreas verdes.

Nº Sector	Sector Homogéneo
	Áreas Verdes
1	Plantaciones, bosques y matorrales
2	Praderas y agricultura
3	Zonas de Humedales
4	Parques y Jardines
	Industrial
	Urbano
	Otros

Para las Áreas Verdes:

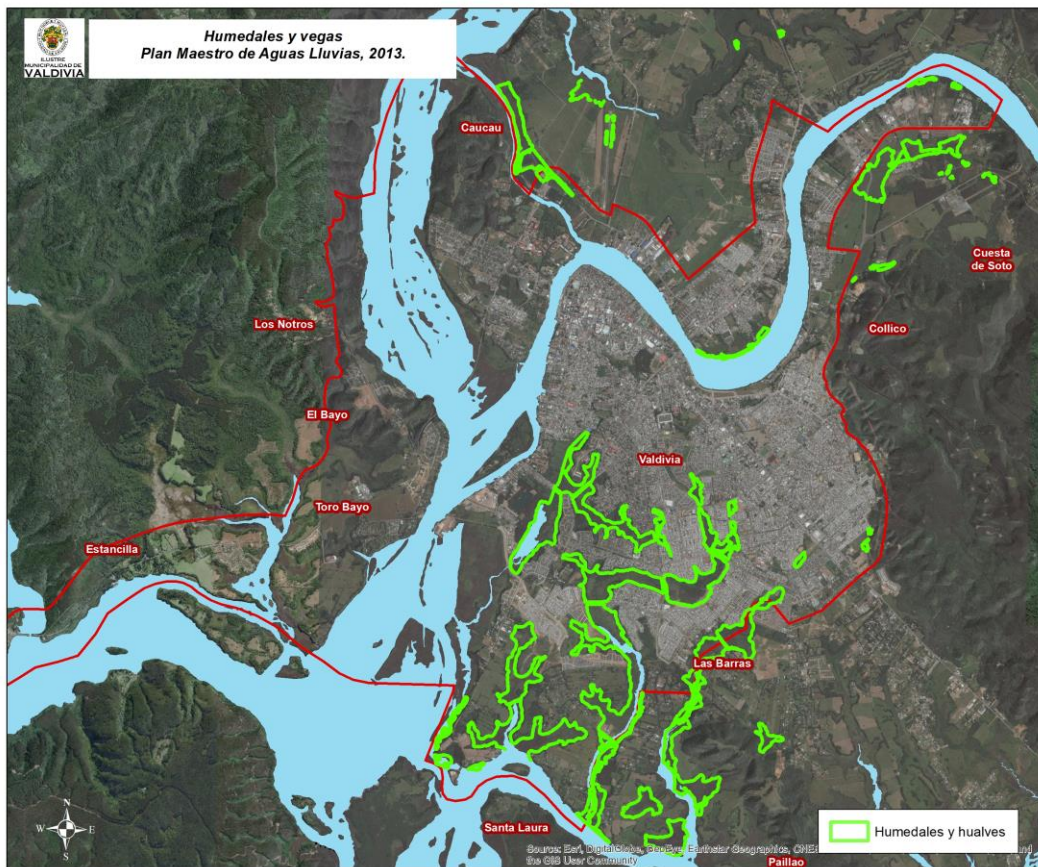
En la primera categoría se distinguen zonas ocupadas por bosques, plantaciones y matorrales, zonas con usos que se consideran coberturas densas sobre el suelo y que tienden a disminuir la escorrentía superficial, ya que en su función de intercepción de las precipitaciones permiten una infiltración lenta sobre los suelos.

En segundo lugar, se presentan las áreas de uso agrícola, praderas y hortalizas, que constituyen áreas de infiltración ya que sus coberturas, generalmente asociadas a praderas naturales y algunos cultivos de cereales, permiten altas tasas de infiltración. Lo anterior es especialmente válido considerando que ellas se localizan en sectores de morfología plana a suavemente ondulada, con pendientes entre 2,9º y 5,0º.

En tercer lugar, se definieron las áreas hidromorfas o de humedales, zonas que permanecen durante todo el año con un nivel freático superficial. Estas son zonas topográficamente bajas y su comportamiento frente a procesos pluviales es de retención y acumulación de aguas.

Finalmente, en cuarto lugar, de esta misma categoría, se definieron las zonas de parques y jardines, que al interior del casco urbano representan áreas de alta infiltración de precipitaciones.

Imagen 9 Humedales y hualves definidos en plan maestro de aguas lluvias



6.2 Antecedentes Peligros Geológicos Valdivia

Los principales peligros reconocidos en el área de Valdivia son los procesos de remoción en masa y las inundaciones, asociadas, principalmente, a desborde de ríos, saturación de suelos, tsunamis y subsidencia tectónica⁴.

6.2.1 Procesos de remoción en masa

6.2.1.1 Análisis de eventos geofísicos - Terremotos y Remoción en masa

La ciudad de Valdivia se emplaza principalmente sobre planicies formadas por sedimentos fluvio-estuarinos del último período interglacial (PIfe), con cotas en promedio de 13 msnm y sobre las llanuras de inundación de los ríos Calle Calle, Cruces y Valdivia, conformadas por depósitos fluviales y estuarinos (PIHf), con cotas inferiores a 5msnm.

En este sentido Arenas et al; 2002, realiza una zonificación de la respuesta sísmica basada en la estimación de los llamados “incrementos de intensidad”. Estos valores representan el comportamiento diferencial de las unidades del suelo frente a un sismo. Esta metodología ha sido

⁴ Peligros geológicos en el área de Valdivia, X Región, Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, oficina técnica Puerto Varas, Chile.

utilizada en el país para zonificar la ciudad de Concepción y otros sectores de Valdivia (Monge, 1996; Norambuena y Veiga, 1969; Retamal, 1969).

Las unidades que define son las siguientes:

Relleno Artificial, Ra

De composición muy variable, está constituido por escombros, madera, rocas, arenas, arcillas, limos, gravas y desechos. El espesor del relleno va desde algunos centímetros hasta 9 m en los casos más extremos. Es altamente compresible debido a su escasa compactación. Su permeabilidad es baja y gran parte del año se encuentran saturados de agua. En las partes bajas el agua subterránea se halla cerca de la superficie, especialmente en la época invernal. Barozzi y Lemke (1966) señalan que en el sector comprendido entre las calles Picarte, García Reyes, Arauco y Caupolicán, el contenido natural de agua era aproximadamente el doble de su límite líquido. Las construcciones ubicadas en esta unidad fueron las más dañadas durante el sismo de 1960.

Humedales, Hh

Corresponden a sedimentos típicos de zonas pantanosas con arcillas, limos y arenas finas con alto contenido de material orgánico. Los depósitos, de hasta 3 m de espesor, están totalmente saturados y presentan alta compresibilidad y baja consistencia. Estos terrenos permanecen inundados desde el terremoto de 1960.

Vegas, PIHfv

Son depósitos de pantano y fluviales recientes. Algunos sectores están urbanizados a pesar de su recurrente inundación durante el período invernal. Se componen hasta los 20 m de profundidad de arcillas y limos con alto contenido de materia orgánica y lentes de arena fina. Bajo este nivel predominan las arenas limosas con intercalaciones de arenas cementadas. Estos sedimentos poseen un alto contenido de agua y son de baja permeabilidad. Los limos son de alta plasticidad, consistencia baja y alta compresibilidad. Los niveles de arenas son de compacidad media y compresibilidad baja a nula (IDIEM, 1978; Montecinos, 1980). Estos sedimentos son potencialmente agresores del hormigón y del hierro debido a la mediana acidez y los altos contenidos de materia orgánica y sales solubles, especialmente sulfatos (Montecinos, 1980). La sobrecarga por edificios pesados puede causar subsidencias, estrujamiento lateral de sedimentos y licuefacción, debido a exceso de presión de agua.

Depósitos Fluviales, PIHf

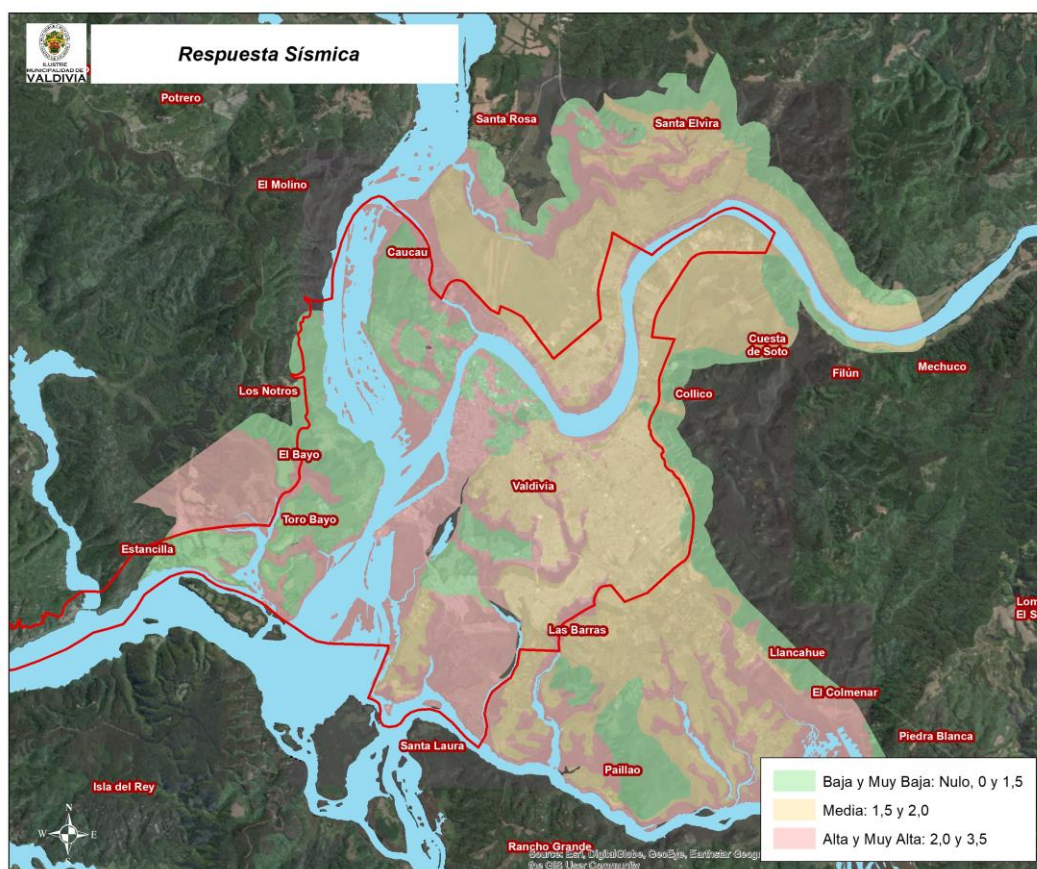
Son sedimentos de cursos fluviales y estuarinos recientes. Se componen de arenas medias a finas, limos, arcillas y en menor proporción gravas y lentes con gran cantidad de material orgánico. Poseen un alto contenido de humedad. El agua subterránea varía entre 0,5 y 2 m (Barozzi y Lemke, 1962), siendo prácticamente superficial en los meses de invierno. La permeabilidad varía de baja a moderada. Las arenas son de compacidad media y compresibilidad baja a moderada. Los limos y arcillas son de alta a baja plasticidad, consistencia baja y compresibilidad alta (IDIEM, 1978; Montecinos, 1980). La sobrecarga puede causar subsidencias y licuefacción de los sedimentos debido a exceso de presión de agua.

Depósitos Fluvio-estuarinos, Plfe

Esta unidad conforma las partes más altas de la ciudad. Corresponde a una secuencia irregular de arcillas, limos, arenas y, en menor proporción, gravas. Localmente se encuentran intercalaciones de turba y lentes de arcilla con alto contenido orgánico. Se han dividido en dos unidades sobre la base

de la existencia y continuidad de una capa de arenisca limosa moderadamente cementada, conocida localmente como Cancagua. Plfe1 presenta una capa más o menos continua, de 0,5 a 2 m de espesor, pudiendo hallarse en algunos sectores más de un nivel de este sedimento. En Plfe2 sólo se ha reconocido localmente este estrato. En general, la secuencia presenta un moderado a alto contenido de agua. Los limos de la parte superior de esta unidad son de plasticidad variable, altamente compresibles y de baja consistencia. Los estratos de arenas finas son de compresibilidad moderada y compacidad media a alta. La arena limosa moderadamente cementada es de consistencia media a alta y compresibilidad despreciable para las tensiones habituales en construcciones de baja a mediana altura (Montecinos, 1980). La sobrecarga por edificios pesados puede causar subsidencias, estrujamiento lateral de estos sedimentos y licuefacción, debido a exceso de presión de agua. La respuesta sísmica en general coincide con los límites de las unidades geológicas, en este sentido los sedimentos del último interglacial son los que presentan mejor respuesta sísmica, seguidos por los depósitos fluviales recientes y las zonas de vegas. Con respecto al relleno artificial, es el que peor se comporta debido principalmente al uso de material y técnicas de relleno inadecuadas. De la misma forma se comportan las zonas pantanosas, principalmente por su alto contenido de materia orgánica y agua. Las diferencias al interior de las unidades geológicas se explican principalmente por las variaciones en la litología y la profundidad del nivel freático. Ahora bien, si analizamos la falta de confinamiento y el alto contenido de agua, los sectores ribereños al río son lo que tienen una peor respuesta, viéndose afectados a eventos de remoción en masa.

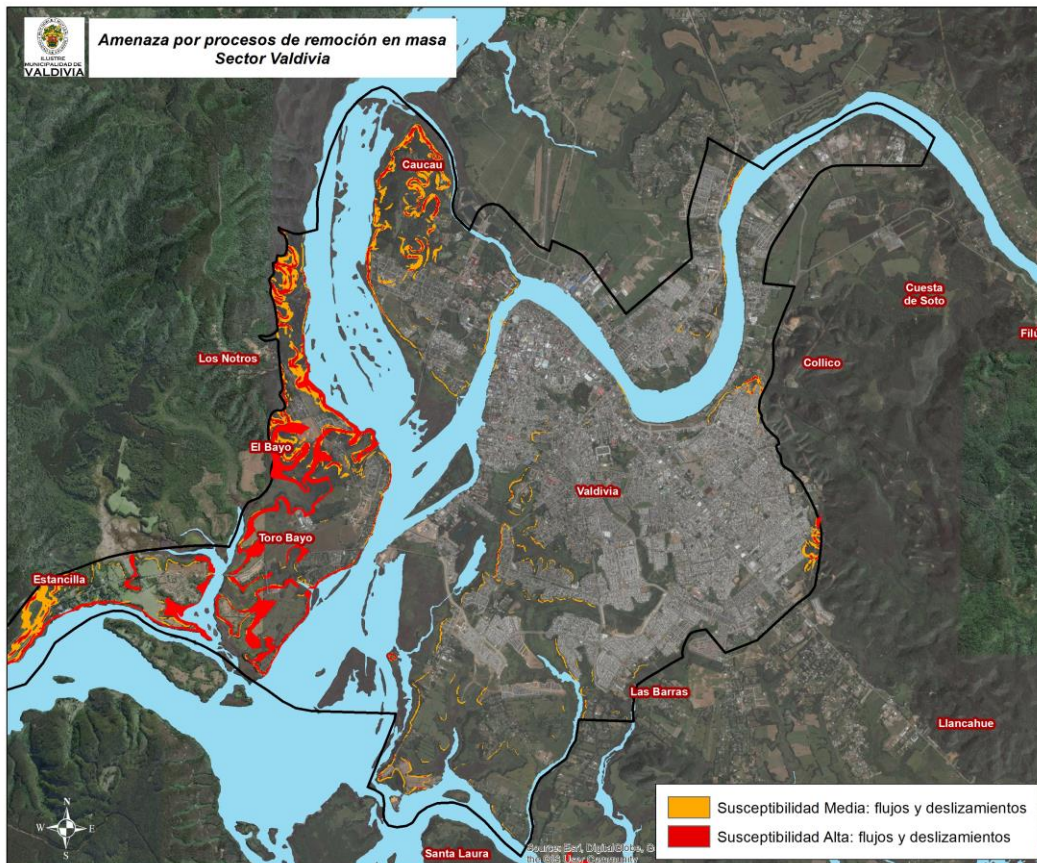
Imagen 10 Respuesta sísmica (Intensidad de Mercalli)



Fuente: Arenas et al., 2002. Elaboración propia.

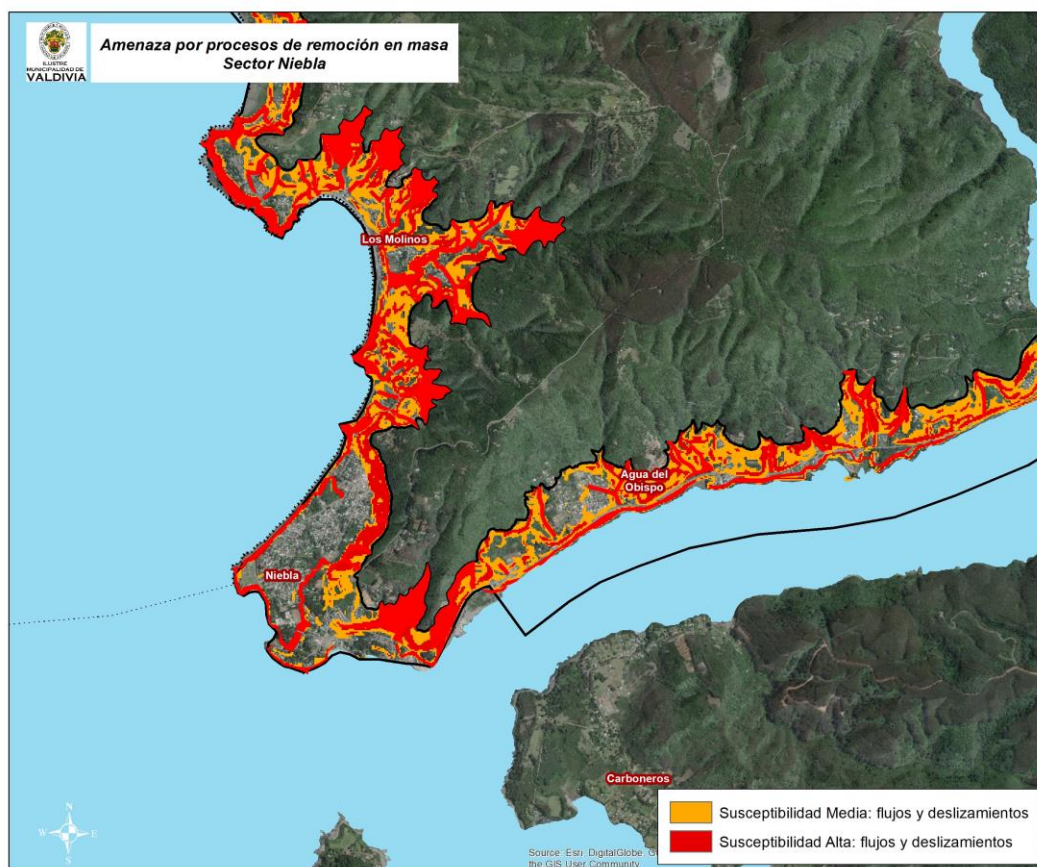
Con respecto a los procesos de remoción en masa que puedan ocurrir, estos se concentran en el camino de Valdivia – Niebla, según modelo basado en el análisis de pendientes (0° - 14.9° , 15° - 35° , $>35^\circ$) y la unidad geológica en relación al material parental metamórfico. Tal como se puede ver en la imagen N°7 y N°8, sector Valdivia y Niebla respectivamente:

Imagen 11 Amenaza por procesos de remoción en masa – Sector Valdivia



Fuente: Arenas el al., 2002. Elaboración propia.

Imagen 12 Amenaza por procesos de remoción en masa – Sector Niebla



Fuente: Arenas et al., 2002. Elaboración propia.

Esta amenaza se presenta en pendientes altas ($>40^\circ$), donde existe una acción erosiva de los ríos en los pies de las laderas, principalmente en el río Valdivia y río Tornagaleones; y una acción erosiva de las olas que afectan el sector costero de Niebla y la Isla Mancera.

En relación a lo anterior, Arenas et al., (2002), indica que las zonas de alta peligrosidad coinciden con las rocas del basamento metamórfico (PzTrbm). De la misma manera, el alto grado de fracturamiento en varios sectores, favorece la caída de rocas y los deslizamientos traslacionales. Este fenómeno se puede observar a lo largo de los caminos costeros que unen Niebla con Curiñanco. Otra característica de este tipo de roca es el alto grado de meteorización, reflejado en suelos arcillosos residuales de hasta 4 m y generalmente en contacto abrupto con la roca relativamente fresca, por lo que son suelos fácilmente erodables.

6.2.2 Inundaciones

Históricamente Valdivia se ha visto afectada por eventos de inundaciones en zonas bajas, dado los efectos del aumento del caudal del río en períodos invernales. Esta situación se ha visto favorecida por la conformación geológica y geomorfológica que presenta la ciudad, el relleno artificial de los humedales y las llanuras de inundación que no sobrepasan los 2 mts, lo que posibilita las inundaciones.

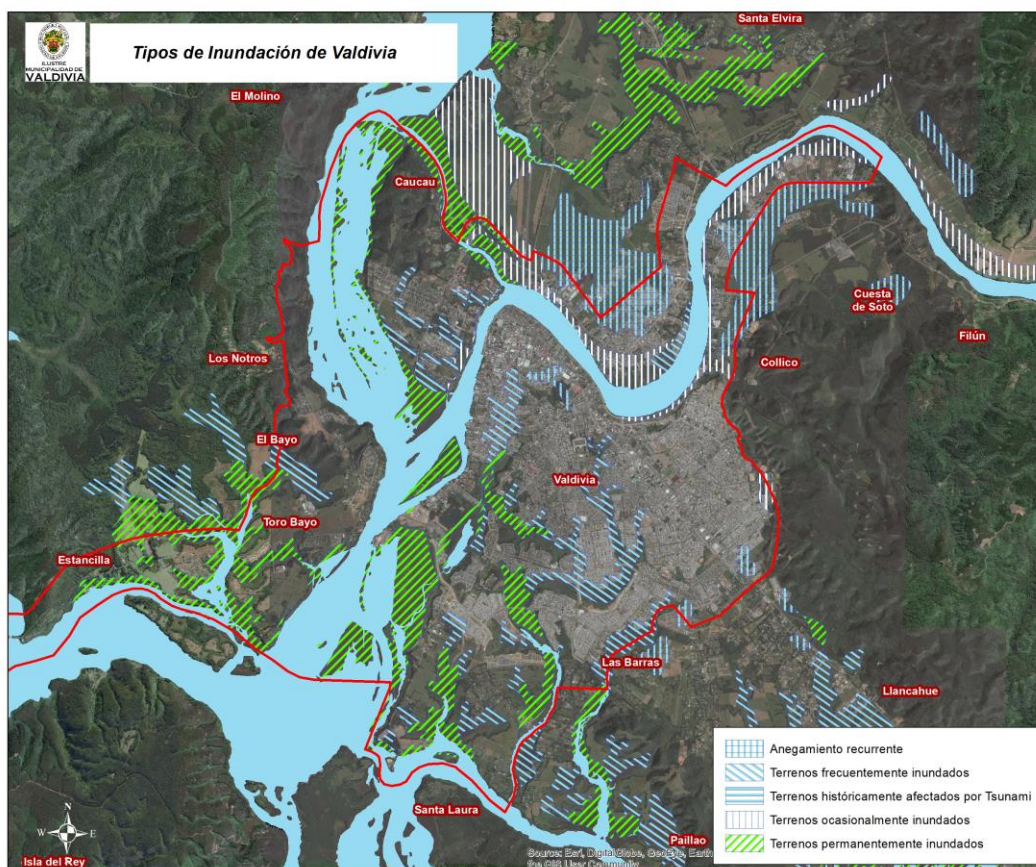
Ahora bien, dada la condición de estuario que posee Valdivia, se evidencia una clara relación entre las mareas sicigia y las inundaciones por desborde del río Valdivia. Se tiene que de los 70 eventos registrados en Valdivia desde el año 1989 – 2006 (Rojas 2010), 42 de ellos se registraron bajo esta condición, es decir las mareas altas superan lo normal, potenciando el desborde del río principalmente entre los meses de mayo a septiembre, activándose la emergencia cuando se superan los 80 mm/24 horas.

Los humedales en Valdivia por eventos extremos como terremotos y tsunamis han aumentado en superficie desde su fundación, sin embargo, por el crecimiento desmedido de la mancha urbana y la falta de una planificación territorial, éstos se han visto rellenados de forma artificial, generándose un aumento de anegamientos en las plantas bajas de los edificios, se destacan en el centro el Casino de juegos, el Mall Plaza los Ríos, entre otros.

Imagen 13 Categorización de inundaciones



Imagen 14 Tipos de Inundación de Valdivia



Fuente: Arenas et al., 2002. Elaboración propia

En general y de acuerdo a las características geomorfológicas, pluviométricas e hidrográficas, y según los registros consultados, las zonas que presentan una mayor amenaza frente a eventos hidrometeorológicos son:

- Sector Costanera de Valdivia
- Sector Miraflores-las Mulatas
- Borde Occidental isla Teja, ocupado en algunos sectores por ruinas del terremoto-tsunami de 1960
- Barrio Estación y Collico
- Sector Las Ánimas (ribera, inundación; interior, anegamiento)
- Sector céntrico
- Barrios Bajos

6.2.3 Escenarios de Inundación Fluvial

Se consideró la estación de Llancahue para generar la curva Intensidad-Duración - Frecuencia, dada su cercanía a la ciudad y la extensión de casi 30 años de precipitaciones diarias observadas. Esta estación pluviográfica posee registros continuos de lluvias cada dos horas desde 1977, lo cual es importante para el cálculo de los coeficientes de duración representativos del régimen de tormentas

de la zona. Además, los coeficientes de frecuencia fueron obtenidos del análisis de frecuencia de la serie ampliada de precipitaciones máxima diarias de la misma estación.

Una vez obtenidos los coeficientes de duración y frecuencia, se generó la curva I-D-F para duraciones entre 10 minutos y 10 días; y períodos de retorno de 2,5,10,25, 50 y 100 años, de acuerdo a la fórmula propuesta por Varas y Sánchez en el Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica de la DGA:

$P_t T = K * C D t * P_{24} T$ Ecuación N°1, donde

P_t : precipitación para la duración t , con período de retorno " T " P_{24} : precipitación para una duración de 24 horas, con período de retorno " T " años $C D$: coeficiente duración, para una duración " t " K : coeficiente de corrección de lluvia máxima medida entre 8 am y 8 pm, respecto de las 24 hrs más lluviosas de la tormenta, valor adoptado 1.1

Tabla 2 Intensidades por duración y frecuencia (mm/h) – Estación Llancachue

DURACIÓN [HR]	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	25	50	100
0,2	37,32	48,37	55,39	64,01	70,27	76,43
0,3	26,06	33,78	38,69	44,70	49,08	53,38
0,5	20,66	26,78	30,67	35,44	38,91	42,32
0,6	17,40	22,56	25,83	29,85	32,77	35,64
0,8	15,20	19,69	22,55	26,06	28,61	31,12
1	13,53	17,53	20,08	23,20	25,47	27,70
1,2	13,52	17,52	20,06	23,18	25,45	27,68
1,3	12,69	16,45	18,84	21,77	23,90	26,00
1,5	12,00	15,56	17,82	20,59	22,60	24,59
1,6	11,42	14,80	16,95	19,59	21,50	23,39
1,8	10,92	14,15	16,21	18,73	20,56	22,36
2	9,49	12,30	14,09	16,28	17,87	19,44
4	7,42	9,61	11,01	12,72	13,96	15,19
6	6,38	8,27	9,47	10,94	12,01	13,06
8	5,77	7,48	8,57	9,90	10,87	11,82
10	5,23	6,78	7,77	8,98	9,86	10,72

12	4,70	6,09	6,98	8,06	8,85	9,63
14	4,40	5,70	6,53	7,54	8,28	9,01
16	4,12	5,34	6,11	7,06	7,75	8,43
18	3,89	5,04	5,77	6,67	7,32	7,97
20	3,63	4,71	5,39	6,23	6,84	7,44
22	3,43	4,44	5,09	5,88	6,45	7,02
24	3,20	4,15	4,75	5,49	6,03	6,56
48	2,33	3,03	3,46	4,00	4,40	4,78
72	1,82	2,36	2,71	3,13	3,43	3,73
96	1,58	2,05	2,35	2,72	2,98	3,24
120	1,43	1,85	2,12	2,45	2,69	2,93
144	1,33	1,72	1,97	2,28	2,50	2,72
168	1,27	1,64	1,88	2,17	2,38	2,59
192	1,22	1,58	1,81	2,09	2,29	2,49
216	1,17	1,52	1,74	2,01	2,21	2,40
240	1,11	1,43	1,64	1,90	2,08	2,26

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos disponibles, la pluviometría promedio anual en este sector es ligeramente superior a los 2.000 mm, con un marcado incremento de lluvias durante los meses de invierno y un máximo promedio de 338 mm en el mes de junio. Ahora bien, para estimar las áreas de inundación es necesario considerar la variable altitud. para ello, por tramo se debe obtener el radio hidráulico, el coeficiente de rugosidad de Manning, la pendiente y el ancho del tramo; con ello se obtiene la altura, valor con el cual se evalúa el área inundable.

Sección= $Q1nR^{2/3}\sqrt{S}$ Ecuación N°2, donde

Q: Caudal **n:**coeficiente de rugosidad de Manning **R:**radio hidraulico de la sección **S:**pendiente

En este sentido y de acuerdo a los antecedentes topográficos del área, la cota sobre la cual se producen desbordes en algunos sectores de la ribera del río Calle Calle es aproximadamente 2 msnm, condición que se presentaría para periodos de retorno de unos 25 años en caso de no sobreponerse el efecto del viento; y algo más de 10 años para el caso en que se presente el efecto. Es importante destacar que, en caso de coincidir el nivel máximo de la crecida con la situación de marea baja, no se producen desbordes ni en un período de retorno de 100 años.

Tabla 3 Periodos de retorno (años) de la precipitación, caudales y alturas para la estación Llancahue.

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PRECIPITACIÓN DIARIA	ESTACIÓN LLANCAHUE				
		CAUDAL MÁX. (M³/S)	ALTURA MAX. CRECIDA (MSNM)	NIVEL MIN. (MSNM)	NIVEL MAX. (MSNM)	NIVEL MAX CON VIENTO.
2	66	1.654	0.8	0.1	1.4	1.6
5	85	2.187	1.1	0.3	1.7	1.8
10	97	2.514	1.2	0.5	1.8	2.0
25	112	2.896	1.3	0.6	1.9	2.1
50	123	3.162	1.4	0.7	2.0	2.2
100	133	3.414	1.5	0.8	2.1	2.3

Fuente: Plan maestro de aguas lluvias de Valdivia

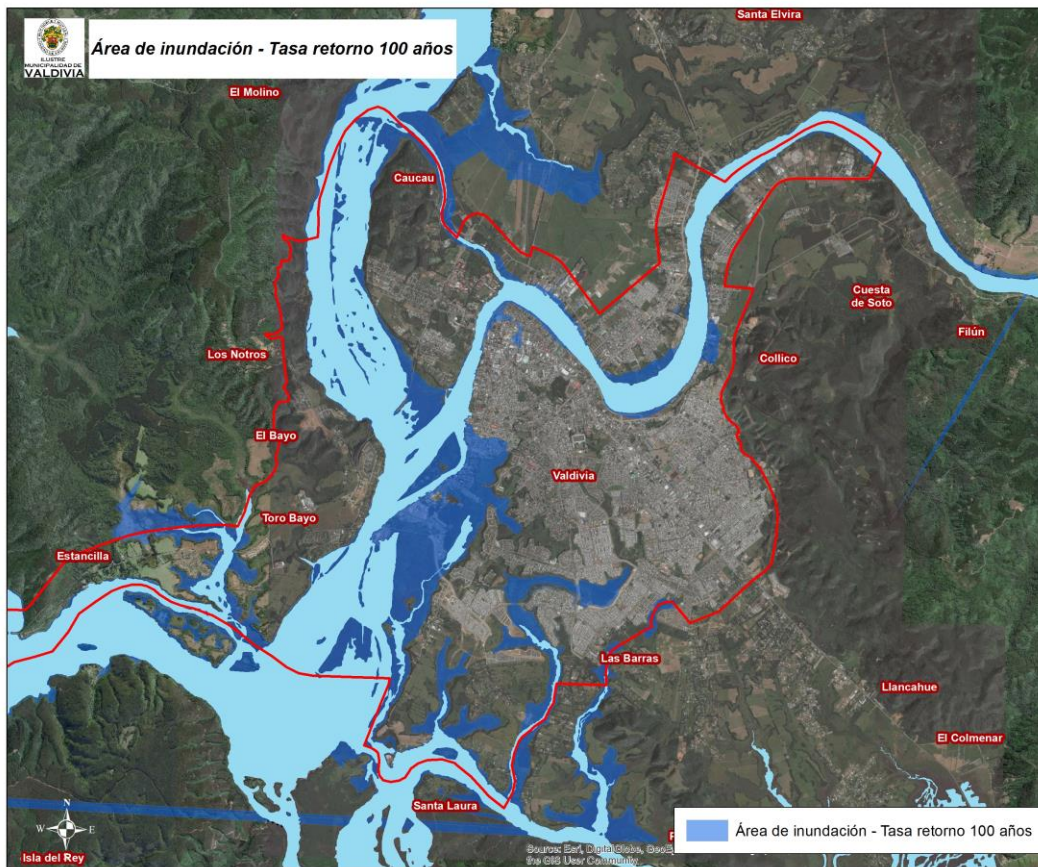
Tabla 4 Rangos de altura asociada a la superficie ocupada

Altitud (m.s.n.m.)	Superficie (ha)	Período de Retorno
0 a 1	149,9	--
1 a 2	3866,6	2 a 10 años
2 a 3	698,1	10 a 100 años

A continuación, se presentan las superficies inundadas ante el evento a tasas de retorno de 10 y 100 años.

30

Imagen 16 Área de inundación - Tasa retorno 100 años – Caudales máximos



Fuente: Elaboración propia

De la última imagen podemos concluir que, al analizar las áreas de inundación asociadas a una tasa de retorno a 100 años, se ven afectadas varias zonas consolidadas de carácter residencial y en algunos casos industriales como es el sector de la Mulatas. Se destacan por su alto nivel de vulnerabilidad Las Animas, Collico, Barrios Bajos y el centro de la ciudad.

6.2.1 Plan Maestro de Aguas Lluvias

Es importante destacar que actualmente la ciudad de Valdivia cuenta con el un Plan Maestro de Aguas Lluvias (2012) donde se identificaron las áreas a sanear según los problemas más graves de inundaciones, y que requieran de alguna forma de saneamiento desde el punto de vista de las aguas lluvias, ya sea mediante medidas estructurales o no estructurales. La sectorización realizada permitió focalizar y priorizar los problemas de inundación, de acuerdo a la extensión de las zonas afectadas y los daños producidos.

El objetivo general de la consultoría fue actualizar y ampliar la cobertura del Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Valdivia.

El “área de estudio” comprende el área urbana definida en el Plan Regulador en proceso de aprobación con excepción de los terrenos ubicados al oriente del río Cruces y Río Valdivia a partir de la confluencia con el Río Cruces.

El “área de la cuenca aportante”, para efectos de este estudio incluye todas las cuencas aportantes de escorrentía que afectan, directa o indirectamente, el área de estudio (zonas urbanas y su proyección) o sus soluciones, para las cuales se evaluaron los parámetros hidrometeorológicos, hidráulicos, hidrológicos, geomorfológicos, de suelos y otros señalados en las secciones correspondientes.

6.3 Antecedentes de riesgo naturales en sitios de estudio.

Considerando las características físicas del territorio, como la topografía, presencia de cursos de agua, existencia de humedales, cobertura vegetal entre otra, además de la revisión de documentos y estudios relacionados con riesgos, se determinó el descarte de la existencia de áreas de riesgo asociadas a remoción masa para los sitios en estudio (de igual forma se menciona en los antecedentes). No se considera el riesgo de inundación por tsunami debido a que 6 de los 7 sitios en estudio se encuentran fuera de zona costera directa de la región. El único sitio ubicado en la zona costera es Niebla el cual se encuentra en la zona alta del sector (sobre los 20 m.s.n.m.).

A continuación, se presentan los antecedentes de los sitios en estudio (cuando corresponda) ordenada por: cursos de agua; topografía; Peligro de Remoción en Masa; peligros de inundación; plan maestro de aguas lluvias; respuesta sísmica; humedales y plan regulador vigente. En este contexto se debe especificar que dada la heterogeneidad de cada uno de los sitios en estudio y sus modificaciones, se cuenta con diferentes niveles de detalle de información, productos de la generación de antecedentes asociados a las distintas fuentes de datos y/o estudios.

Sector 1: Niebla.

El sector se encuentra localizado en la localidad Niebla hacia la costa de la comuna de Valdivia, a una distancia aproximada de 15 kilómetros desde el centro urbano, por la ruta T-352.

- a) **Cursos de Agua:** Respectos a los cursos de agua se observan un estero paralelo al límite norte del sitio en estudio, el que se intersecta hacia la ruta T-352 con dirección sur. Este curso de agua no se encuentra documentado en el PRC vigente y en cartográfica IGM. A continuación, se presenta una imagen y descripción del curso de agua presentes en el sitio:



Imagen 17 Curso de Agua en Niebla

El curso de agua observado corresponde a un estero no identificado en PRC Vigente, fluye en dirección Este - Oeste hasta la ruta T-352 y luego hacia el Sur por la franja de la ruta antes mencionada.

Se observó en terreno que este estero presenta un caudal importante y de carácter permanente, con un ancho promedio de 2 metros y profundidad aprox. de 1.10 m, la longitud del curso de agua en el terreno es de 50 ml aprox.

Imagen 18 Imagen externa Sitio Niebla



Imagen 19 Curos de agua Paralelo al predio



- b) **Topografía:** La topografía de sitio muestra claramente un aumento de altura de oeste a este, evidenciando una pendiente general menor a 15° . Esta diferencia de altura se observa desde el frente del sitio (Ruta T 352) hacia el fondo, coincidente con el límite del predio. Misma situación se muestra en el perfil de sur a norte, pero la pendiente no supera el 5° . Es necesario mencionar que en el costado norte del predio se encuentra el estero Sin Nombre.

Imagen 20 Perfil Oeste - Este



Imagen 22 Perfil Sur - Norte



Imagen 21 Ladera asociada al sitio en estudio



Se observa en la imagen que la que destaca por la presencia de alta vegetación de estratos arbóreo y arbustivo, la cual es determinante para la estabilidad de la misma.

Regulador Vigente



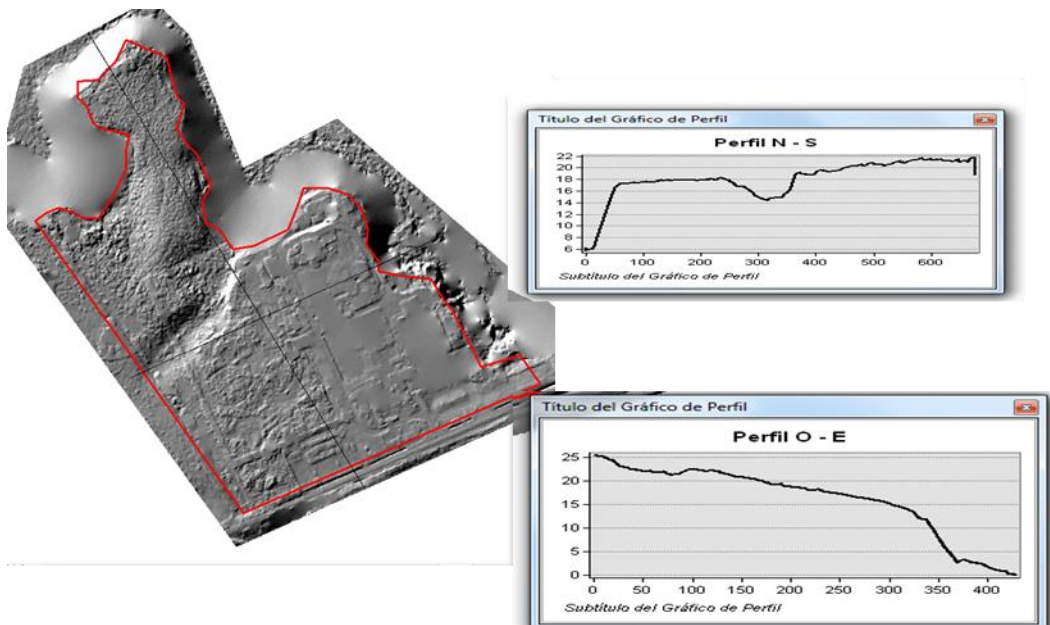
comunal y vecinal; esparcimiento y turismo; actividades complementarias a la vialidad y transporte. También en la parte norte del sitio se establece la Zona ZCR-3c, donde se establece: Zonas de restricción no edificable por riesgos de inundación. Corresponde a terrenos en depresión que acumulan aguas lluvias y/o conforman cuerpos de agua permanente.

Sector 2: Kunstmann

El sector se encuentra localizado en la localidad de Torobayo en el surponiente de la ciudad de Valdivia, limitado por la ruta T-350 hacia el sur y por el hualve del Estero Estancilla por el nor oriente. El hualve que se encuentra limitado por una pendiente con vegetación frondosa que corresponde a una Zona de Protección de Cauce según el PRC vigente. Es necesario destacar que esta zona se encuentra fuera del sitio de estudio.

- a) **Cursos de Agua:** no se identifica en el sitio de estudio cursos de agua.
- b) **Topografía:** muestra el sitio en su mayor parte es plano donde la pendiente varía entre los 0 y 5°. Se observa una pequeña depresión en el centro (perfil N - S). Las pendientes más altas (10°) se encuentran justo fuera del sitio de estudio y representan una marcada diferencia de altura entre el sitio y el hualve del Estero Estancilla, como se observa en los perfiles de elevación.

Imagen 25 Levantamiento Topográfico del sitio



- c) **Remoción en Masa:** No presenta criterios para la evaluación del peligro de Remoción en Masa.

- d) **Inundación:** no se evidencian antecedentes en sitio.
- e) **Plan Maestro Aguas Lluvias:** el sitio no está considerado en el área de estudio del plan.
- f) **Respuesta Sísmica:** Respecto a lo indicado por Arenas et al; 2002, establece una zonificación de la respuesta sísmica del suelo ante eventos de gran magnitud, llamados “incrementos de la intensidad”. En virtud de ello, el sitio presenta una respuesta sísmica baja y muy baja.

Imagen 26 Respuesta sísmica sitio Kustmann



- g) **Humedales:** No se evidencian humedales según las referencias del estudio de humedales del municipio de Valdivia ni el Plan Maestro de Aguas Lluvias. Es necesario consignar que este sitio se encuentra fuera del área delimitada por los estudios señalados. Es evidente la presencia del hualve del estero Estancilla, pero este se encuentra fuera del sitio de estudio.
- h) **El Plan Regulador Vigente:** no establece restricciones asociadas a riesgos geológicos en el área de estudio. A continuación, se detalla lo establecido en el PRC para el Sitio Kustmann:

Imagen 27 Detalla lo establecido en el PRC para el Sitio Kustmann:



En el Plan regulador vigente establece las zonas ZE-2, ZE-1e y ZE-3a.

La Zona ZE-2 permite los siguientes usos: Vivienda. Equipamientos de todo tipo con excepción de Seguridad, Servicios Públicos, Cementerios y Clubes Sociales.

La Zona ZE-1e permite los siguientes usos: Equipamiento de Área Verdes. Industria y Almacenamiento inofensivo, orientados hacia el turismo. Actividades complementarias a la vialidad y el transporte.

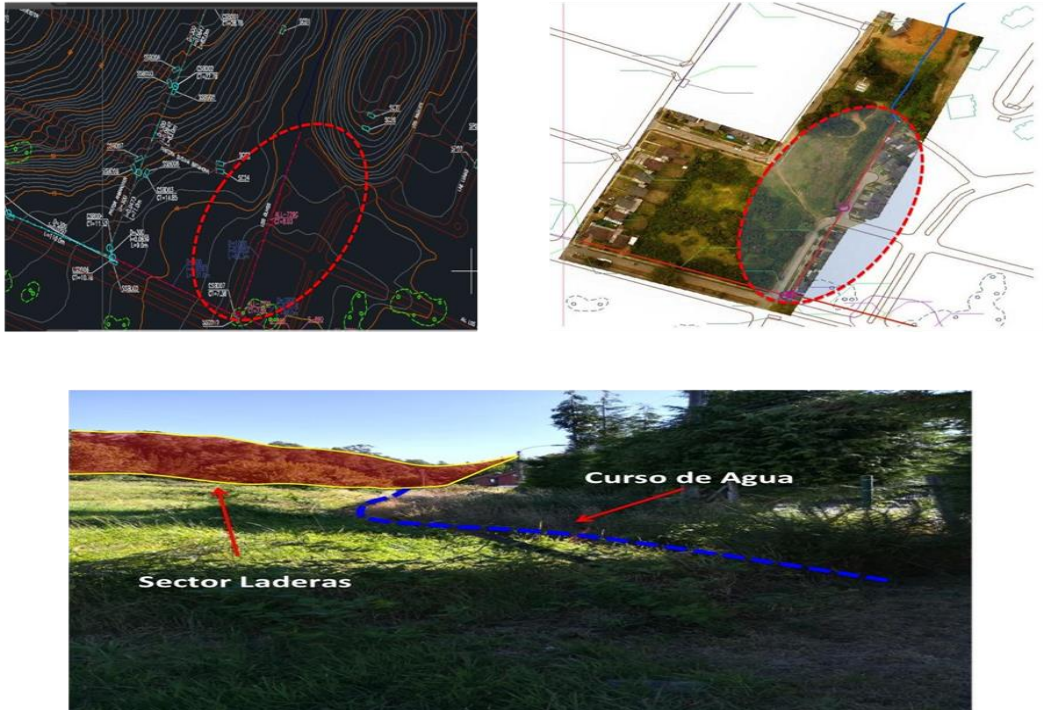
La Zona ZE-3a permite los siguientes usos: Vivienda, Equipamiento de los siguientes tipos y escalas: Áreas Verdes de escala comunal, Deportes de todas las escalas, Esparcimiento y Turismo de escalas regional e interurbana y comunal.

Sector 3: Isla Teja

El sitio de estudio se encuentra ubicado en el sector Isla Teja, específicamente en el cruce de las calles Los Robles y la calle Los Pelues.

- a) **Cursos de Agua:** en el sitio se observa un curso de agua que fluye desde Parque Arboretum de Isla Teja por 160 metros lineales desde el norte del sitio hasta el colector de la intersección de las calles Los Pelues con los Helechos, el que continúa soterrado hacia el sur por la calle Los Pelues. El curso de agua es de carácter permanente identificado en la Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias.

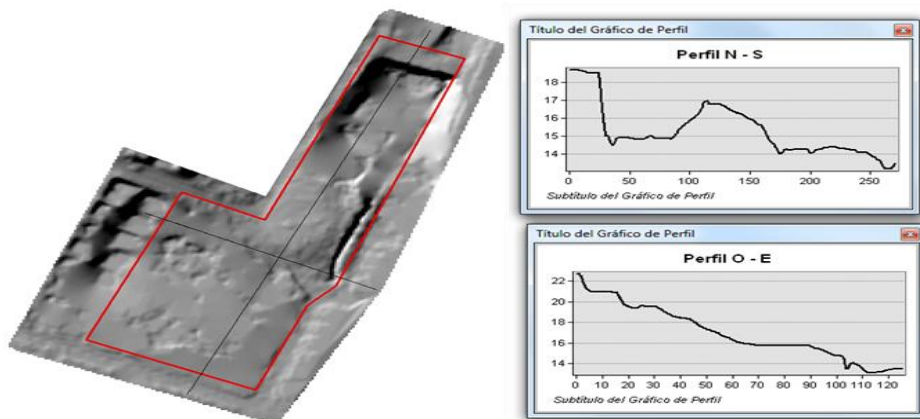
Imagen 28 Situación actual terreno Isla Teja



La figura superior muestra el curso de agua presente en el sitio de estudio que fluye en dirección sur y sector de laderas desde el sector norte del terreno en estudio, el uso del sitio se asocia a un sitio eriazo en un 50% y el 50% restante corresponde a un área verde.

- b) **Topografía:** muestra que el sitio presenta diferentes niveles de alturas y que en general presenta un carácter ondulado con disminuyendo la altura de norte a sur y oeste a este. En el sector norte se identifica una depresión con donde se identifican las mayores pendientes (algunos puntos sobre el 10°). En la parte central del sitio se observa una ondulación con un aumento de altura que vuelve a descender hacia el sur. El elemento que resalta en la topografía corresponde al cauce del estero presente en el sitio.

Imagen 29 Levantamiento Topográfico del Sitio



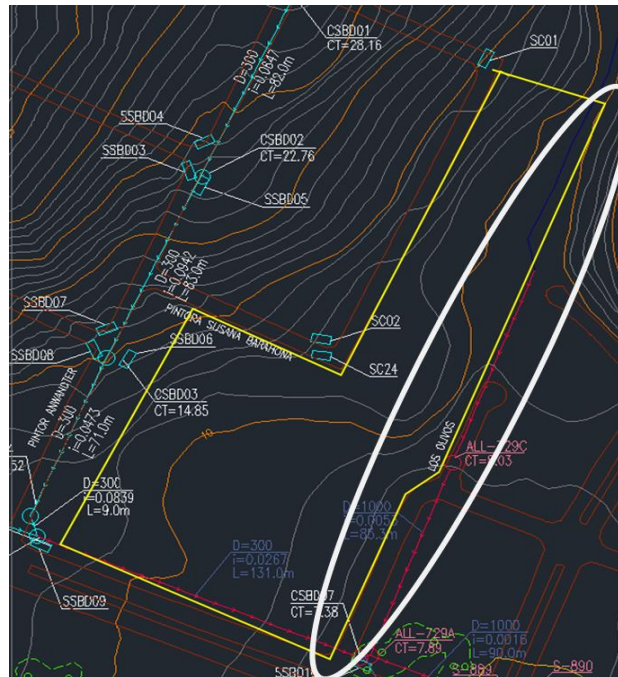
- c) **Remoción en Masa:** no se evidencian antecedentes en sitio.
- d) **Inundación:** respecto a las inundaciones, el estudio de Arenas et al; 2002 y el análisis histórico de los tipos de inundación que se han generado en la ciudad de Valdivia, podemos indicar que el sitio de estudio en Isla Teja fue catalogado como terreno frecuentemente inundado. Esto se debe principalmente a las lluvias intensas.

Imagen 30 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002.



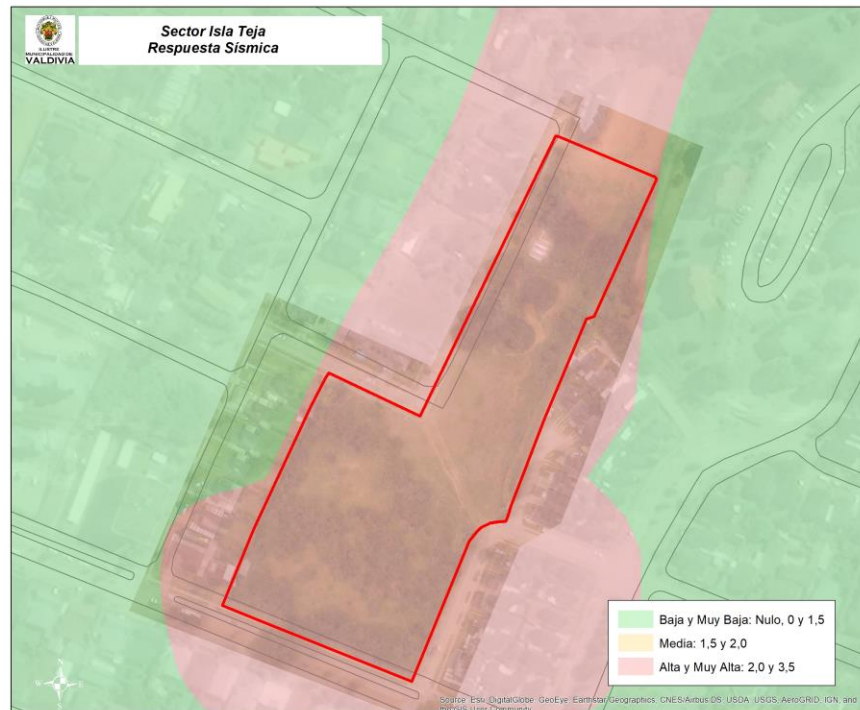
- e) **Plan Maestro Aguas Lluvias:** Por otro lado, la Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias (2013) identificó solo una zona apozamiento en la intersección de Los Pueles con la Avenida Los Robles según el Serviu de la región. Se determinó que esta situación se desarrollaba en las calzadas de la intersección sin afectar parte del sitio de estudio. El curso de agua existente en sitio, es evacuado mediante una cámara ubicada en las intersecciones de las calles Los Pelues y Los Helechos. Posteriormente, el agua es drenada mediante un colector subterráneo que finalmente descarga en un humedal al sur de la Isla Teja. Este proyecto, permitió dar solución a la situación de inundación del sitio descrita en el apartado anterior.

Imagen 31 Situación plan maestro aguas lluvias en el sitio



- f) **Respuesta Sísmica:** Respecto a lo indicado por Arenas et al; 2002, establece una zonificación de la respuesta sísmica del suelo ante eventos de gran magnitud, llamados “incrementos de la intensidad”. En virtud de ello, el sitio presenta una respuesta sísmica alta y muy alta, por lo cual esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.

Imagen 32 Respuesta sísmica, sitio Isla Teja



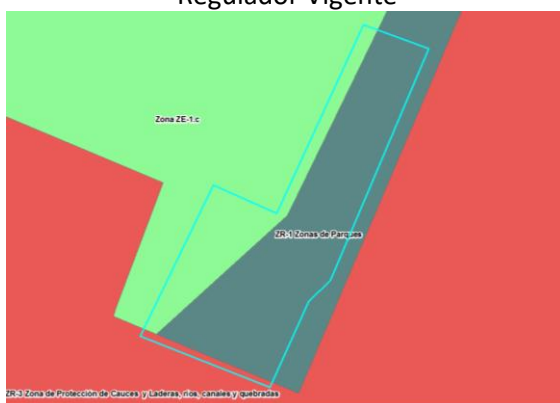
- g) **Humedales:** No se evidencian humedales según las referencias del estudio de humedales del municipio de Valdivia ni el Plan Maestro de Aguas Lluvias.

Imagen 33 Humedales en sitio Isla Teja



- h) **El Plan Regulador Vigente:** muestra la existencia de una zona de restricción presente en el sitio. A continuación, se detalla lo establecido en el PRC para el Sitio de Isla Teja:

Imagen 34 Zona de Restricción según Plan Regulador Vigente



El Plan Regulador Comunal Vigente establece la mayoría de la superficie del sitio como una Zona ZR-1, permitiéndose los siguientes usos: Equipamiento de los tipos: Cultura, Áreas Verdes, esparcimiento y Turismo, y Deportes, de escala regional e interurbana.

Existe en el lado poniente una Zona ZE-1.c, permitiéndose los siguientes usos: Vivienda. Equipamiento de los siguientes tipos: Educación; Culto; Organización Comunitaria; Áreas verdes y Comercio minorista con excepción de ferias libres.

Sector 4: Collico

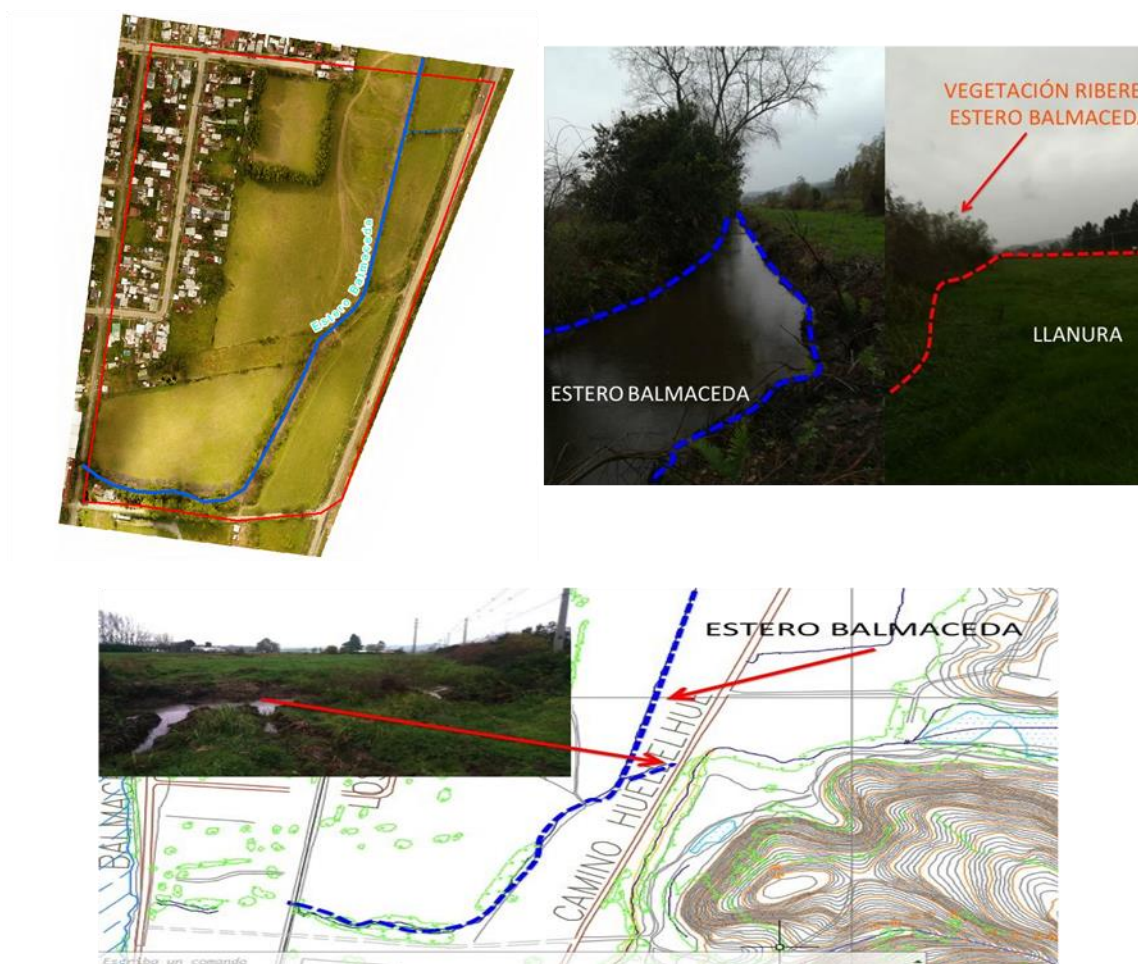
El sector Collico se encuentra ubicado en la parte norte de la ciudad de Valdivia, específicamente al Norte de la Calle Demmer, al sur de la calle Matta, Al Oriente de la Línea Férrea y al Poniente de la Avenida Circunvalación Oriente.

- a) **Cursos de Agua:** respecto a los cursos de agua del sitio se observa un cauce correspondiente al Estero Balmaceda presentando las siguientes características según el Plan Maestro de Aguas Lluvias:

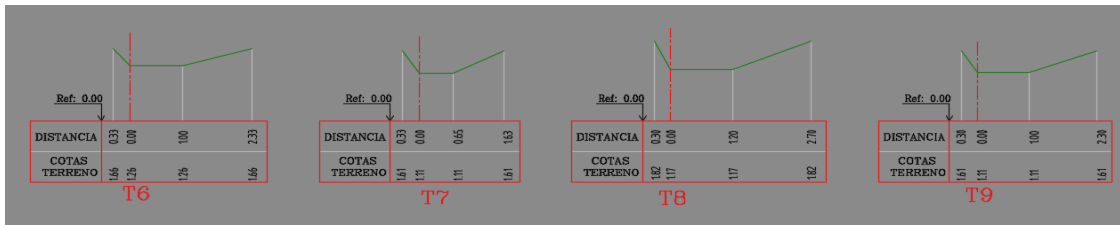
Nº	Nº PM 2002	DENOMINACIÓN	DESCARGA	ANTIGÜEDAD	ESTADO CONSERVACIÓN	FUNCIONAMIENTO	LONGITUD (m)	OBSERVACIÓN
S01	Esterio Balmaceda	Esterio Balmaceda	Rio Calle-Calle	+ 50 AÑOS	REGULAR	NO SE DESBORDA	1727.89	CAUCE NATURAL

Se observó además que en la zona norte del sitio existe parte de un antiguo humedal de mayor extensión el cual actualmente en época invernal se asocia a sectores con saturación de suelos, lo cual fue determinado a partir de la visita a terreno y ratificado como una zona de baja altura según lo establecido en el levantamiento topográfico donde se establecen cotas de 5,5 m.

Imagen 35 Situación actual del sitio

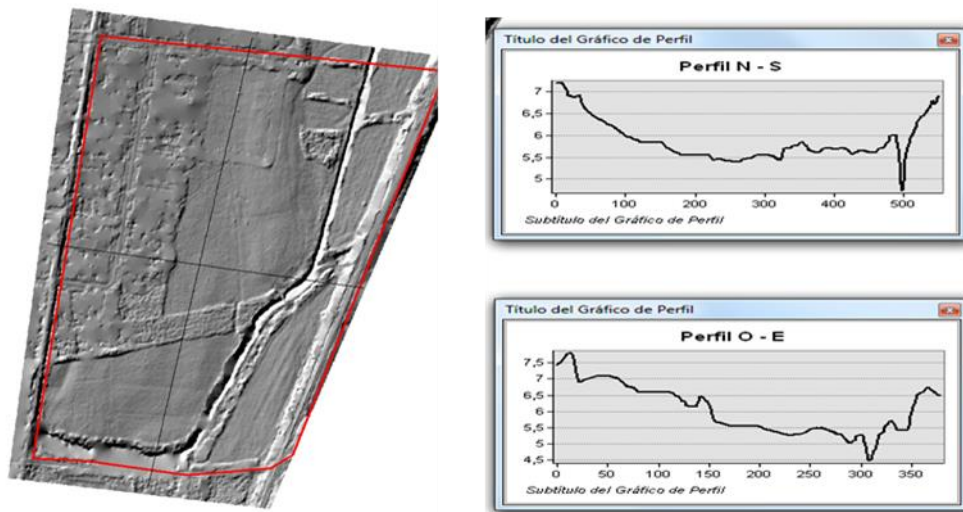


El estero Balmaceda se extiende tiene una longitud de 720 metros en el sitio de estudio. El curso de agua es de carácter permanente. El Plan maestro de aguas lluvia señala que el estero Balmaceda, drena las aguas de los Humedales de la zona norte y no presenta problemas de capacidad gracias a que su sección está bien definida y a la regulación natural de los caudales máximos, que produce el Humedal.



- b) **Topografía:** en general muestra el sitio plano sin variantes significativas en altura y con pendientes constantes que no superan el 5°. Se observan partes de menor altura en la zona norte (asociado a zonas saturadas y estero). El elemento que resalta en este sitio corresponde al cauce del estero Balmaceda que cruza el sitio de norte a sur poniente.

Imagen 36. Levantamiento Topográfico del Sitio



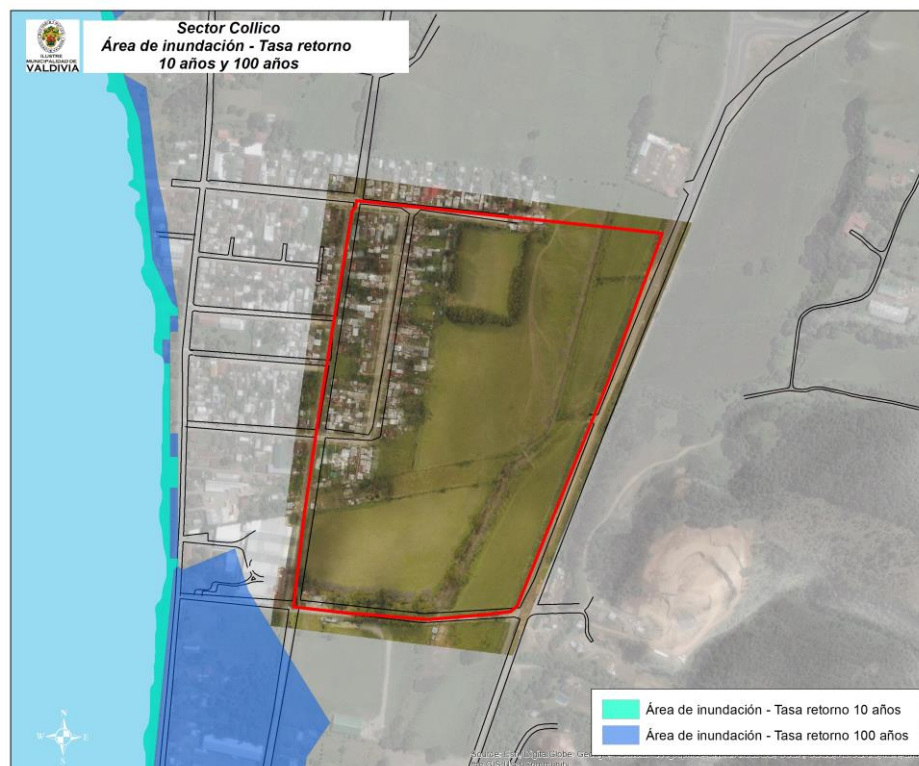
- c) **Remoción en Masa:** no se evidencian antecedentes en sitio.
- d) **Inundación:** respecto a las inundaciones, el estudio de Arenas et al; 2002 y el análisis histórico de los tipos de inundación que se han generado en la ciudad de Valdivia, podemos indicar que el sitio de estudio Collico fue catalogado como terreno con anegamiento recurrente. Esto se debe principalmente a las lluvias locales intensas, baja permabilidad de suelos, niveles freáticos someros y/o relieves muy planos o con depresiones.

Imagen 37 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002



Por otro lado, la modelación de las tasas de retorno para 10 y 100, no señalan que el sitio se vea afectado por inundación según los resultados obtenidos.

Imagen 38 . Peligro de inundación sitio, modelación tasa retorno.



- e) **Plan Maestro Aguas Lluvias:** Respecto a la situación de anegamiento del sitio, cabe señalar que La Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias (2013) considera al Estero Balmaceda parte de la red primaria de evacuación de aguas lluvias del sector y no presenta problemas de capacidad gracias a que su sección está bien definida, como se señaló anteriormente.

Es necesario mencionar que se incorpora el Proyecto A37 Carrera-Matta se propuso en el PM2002 y no ha sido materializado, se mejoró la calle Carrera, pero las veredas quedaron a una cota menor que la calle y acumulan aguas lluvias por ello se propone un sistema de colector que capte estas aguas y las conduzca al estero Balmaceda.

Imagen 39 Situación plan maestro aguas lluvias en el sitio



- f) **Respuesta Sísmica:** Respecto a lo indicado por Arenas et al; 2002, establece una zonificación de la respuesta sísmica del suelo ante eventos de gran magnitud, llamados “incrementos de la

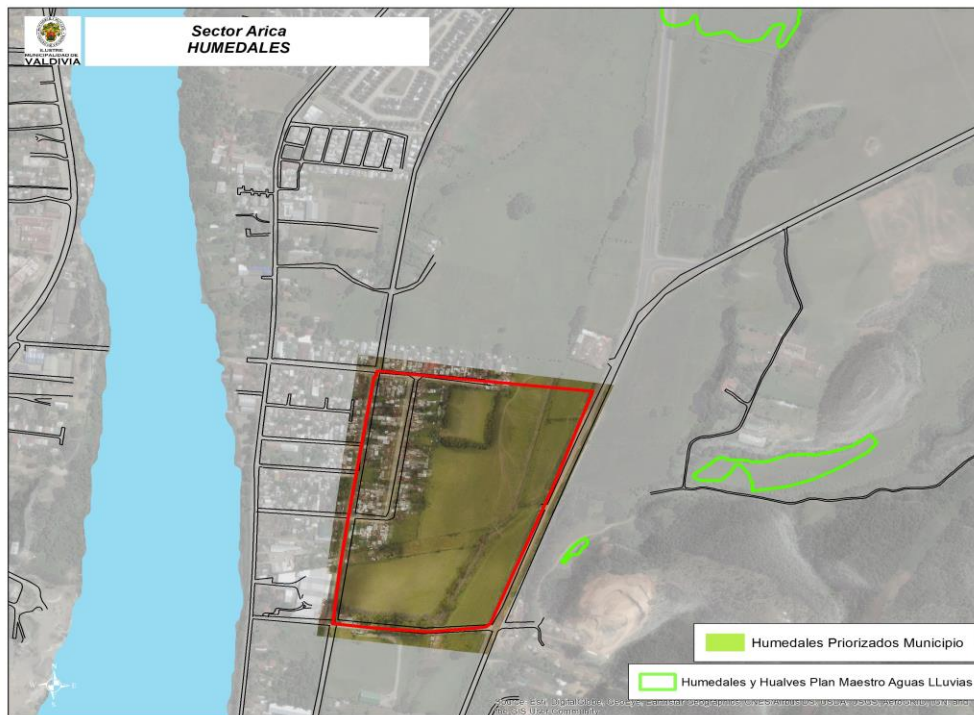
intensidad". En virtud de ello, el sitio presenta una respuesta sísmica media, por lo cual esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.

Imagen 40 Respuesta sísmica sitio Collico



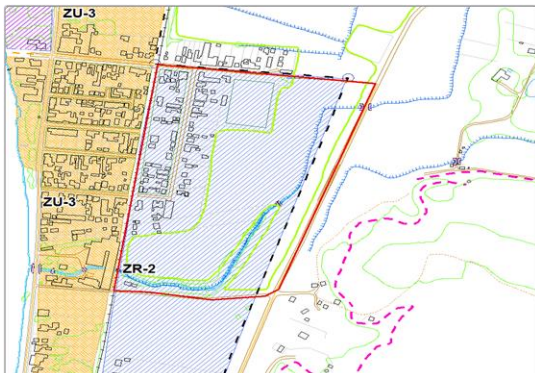
- g) **Humedales:** No se evidencian humedales según las referencias del estudio de humedales del municipio de Valdivia ni el Plan Maestro de Aguas Lluvias.

Imagen 41 Humedales en sitio Collico



- h) **El Plan Regulador Vigente:** muestra la existencia de un área de riesgo presente en el sitio. A continuación, se detalla lo establecido en el PRC para el Sitio Collico:

Imagen 42 Zonificación según Plan Regulador Vigente



El Plan Regulador Comunal Vigente establece la totalidad del sitio como ZR-2 Zonas de Riesgos de Inundación, permitiéndose los siguientes usos: Equipamiento del tipo Áreas Verdes, de escalas Ínterurbana y comunal.

Sector 5: Krahmer

Este sector se encuentra localizado en el casco urbano de la ciudad de Valdivia, específicamente al poniente de la calle Krahmer, al Norte de la Calle San Martín, al oriente de la calle M. Montt y al sur de la calle J. Muñoz.

- a) **Cursos de Agua:** La principal característica de este sitio corresponde al humedal, asociado al estero Krahmer, que se extiende en la mayoría del predio (60%) de norte a sur y se conecta con el humedal del Parque Krahmer hacia el sector sur a través de una canalización subterránea bajo la calle San Martín. La parte restante del sitio fue rellenado para la habilitación de ese espacio para la construcción de una área verde y equipamiento deportivo y una sede social, en las imágenes adjuntas se observa la modificación del humedal a partir del año 2005 aprox.

Otro antecedente relevante en este sitio se determinó a partir de la revisión de series de tiempo con imágenes de google earth, en la cuales se observa el proceso de relleno que sufrió el sector y el sitio en particular, en su costado Sur Poniente.

Imagen 43 Series de tiempo Terreno Krahmer 2005-2018

Año 2005 se observan trabajos de relleno



Año 2010 se observa un sector de relleno y construcción de equipamiento



Año 2015 se mantiene situación anterior



Año 2018 se mantiene situación anterior con claro aumento de cobertura vegetal

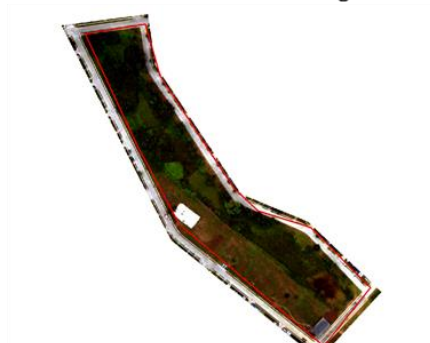
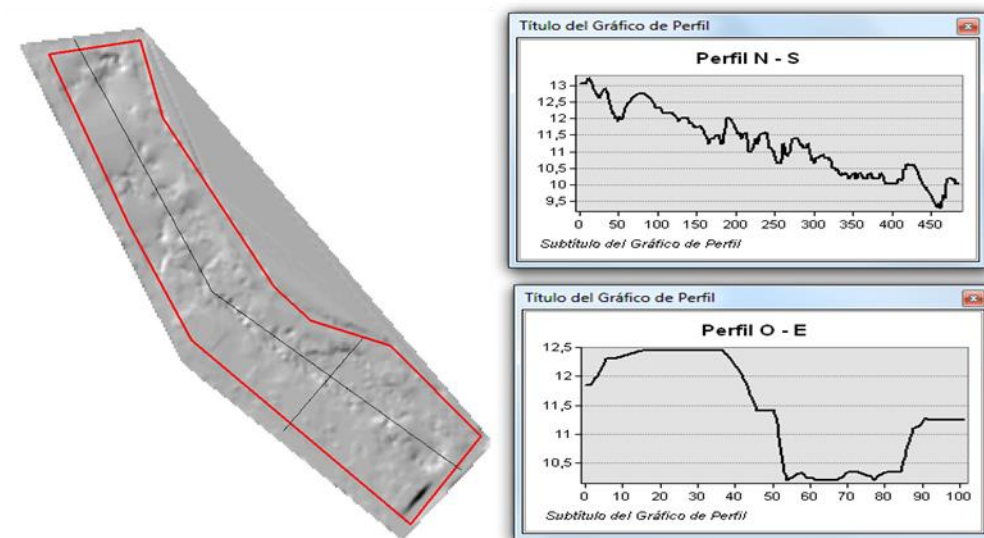


Imagen 44 Situación actual



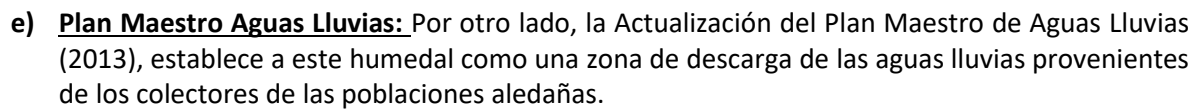
- b) **Topografía:** muestra el aterrazamiento en 2 niveles. La terraza superior corresponde a una zona rellenada en la parte sur poniente del sitio, estabilizada con un pretil. La terraza inferior corresponde a la llanura del humedal alimentada por el estero presentando una clara definición debido al encajonamiento del curso de agua en todos sus lados.

Imagen 45 Levantamiento Topográfico



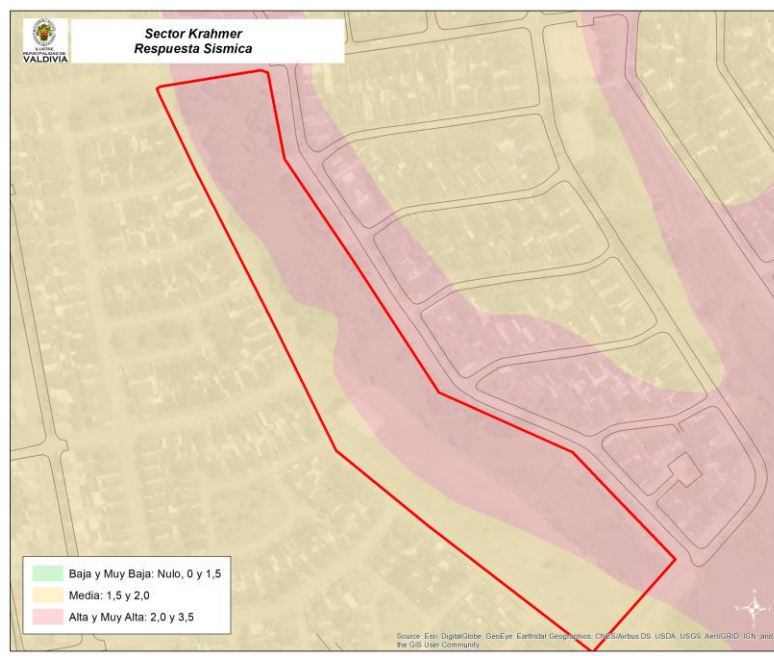
- c) **Remoción en Masa:** no se evidencian antecedentes en sitio.
- d) **Inundación:** respecto a las inundaciones, el estudio de Arenas et al; 2002 y el análisis histórico de los tipos de inundación que se han generado en la ciudad de Valdivia, podemos indicar que el sitio de estudio Kramher fue catalogado como terreno frecuentemente inundado. Esto se

Imagen 46 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002



- f) **Respuesta Sísmica:** Respecto a lo indicado por Arenas et al; 2002, establece una zonificación de la respuesta sísmica del suelo ante eventos de gran magnitud, llamados “incrementos de la intensidad”. En virtud de ello, el sitio presenta una respuesta sísmica alta y muy alta (asociada al humedal) y media (parte rellenada del terreno), por lo cual esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.

Imagen 47 Respuesta sísmica sitio Krahmer



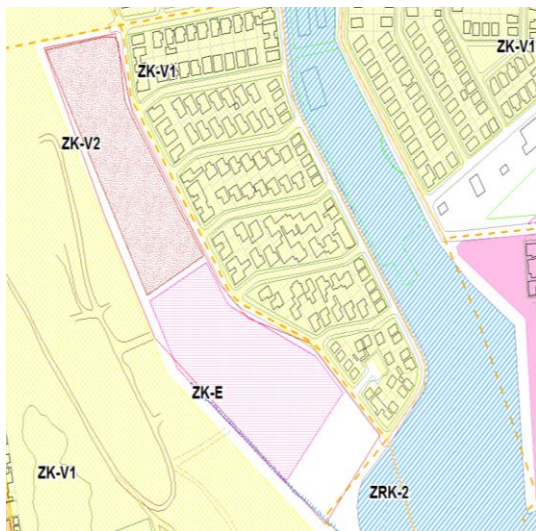
- g) **Humedales:** Se evidencia en el sitio de estudio el humedal Krahmer según el estudio de humedales del municipio de Valdivia. No se delimita humedal el sitio según el en el Plan Maestro de Aguas Lluvias.

Imagen 48 Humedales en sitio Krahmer



h) **El Plan Regulador Vigente:** muestra la existencia de un área de riesgo presente en el sitio.

Imagen 49 Zonificación según Plan Regulador Vigente



El Plan Regulador Comunal Vigente establece la totalidad del sitio como Zona ZK-V2, permitiéndose los siguientes usos: Vivienda Y Equipamiento de Áreas Verdes a Escala Vecinal: plazas, jardines, juegos infantiles.

También se encuentran la Zona ZK-E donde se permiten los siguientes usos: Vivienda: sólo a partir del segundo nivel. Equipamiento de Escala Comunal y Vecinal de: Salud, Educación, Seguridad, Culto, Cultura, Organización comunitaria, Áreas verdes, Esparcimiento y turismo, Comercio minorista a excepción de ferias libres, Playas y edificios de estacionamiento, Servicios públicos y servicios profesionales.

Sector 6: Arica

En el sector Arica al sur de la ciudad de Valdivia se encuentra localizado el Loteo Petersen, específicamente al costado Oriente de la Avenida Angachilla.

El sitio encuentra ocupado en su totalidad por viviendas de construcciones irregulares, autoconstrucción de materialidad liviana.

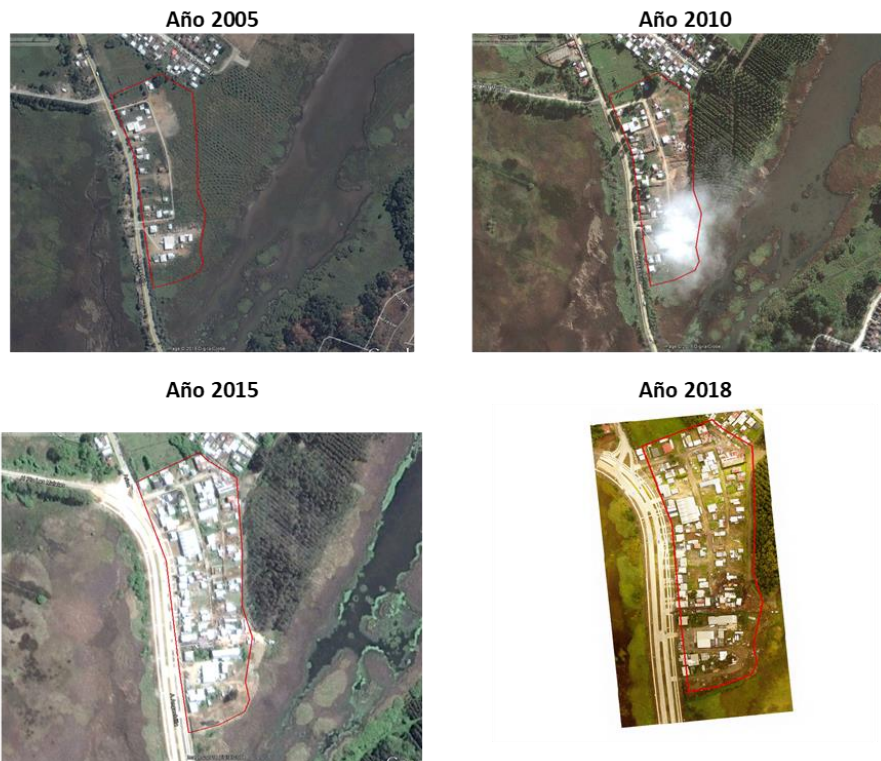
a) **Cursos de Agua:** Al sur del sitio se encuentra un humedal asociado a un cauce afluente del Río Valdivia, aunque descarga en el Río Guacamayo. Esta zona presenta un espejo de agua importante y según la Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias tiene un estado regular y se apoza. Este afluente está conectado al humedal del Río Guacamayo a través de una única conexión bajo la Avenida Angachilla.

Imagen 50 Sector Arica y entorno natural



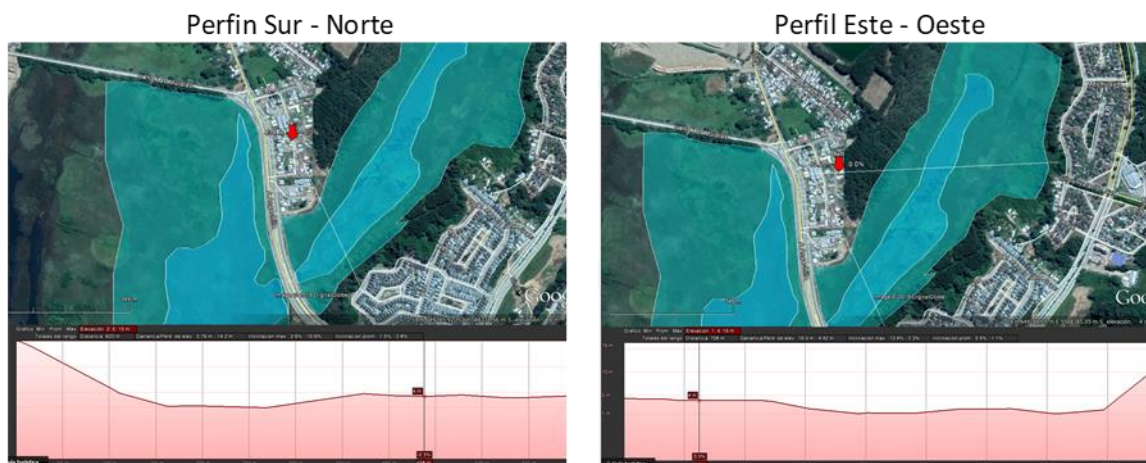
EL sitio se asocia a una llanura de inundación del afluente del río Valdivia y la llanura del humedal río Guacamayo, aunque en la actualidad se encuentran divididos por las Avenidas Angachilla y Guacamayo. Según se registra en imágenes (Google earth) desde el año 2005, el humedal ha sido fuertemente intervenido, mediante rellenos, plantación exótica y posteriormente el asentamiento de viviendas que en los últimos 13 años se ha densificado haciendo uso cada vez más intensivo de la llanura de inundación del Humedal.

Imagen 51 Series de tiempo sector Arica 2005-2018



- b) **Topografía:** En este contexto, en terreno se observó que si bien existe una diferencia de alturas entre el límite del sitio de estudio y el humedal en el sector sur (debido al relleno artificial), esta diferencia no se evidencia, debido a que en condiciones invernales los terrenos muestran claro proceso de suelos saturados los que se potencian hacia el lado oriente donde existe una plantación asociada a la llanura de inundación, siendo este sector el que permite el ingreso y escurrimiento de agua desde el humedal hacia las viviendas.

Imagen 52 Perfiles de terreno sector Arica



A continuación, se presentan imágenes tomadas en terreno que muestran la situación descrita anteriormente.

Imagen 53 Situación Actual del área de estudio, época invernal



Representación de suelos saturados en sitio de estudio.



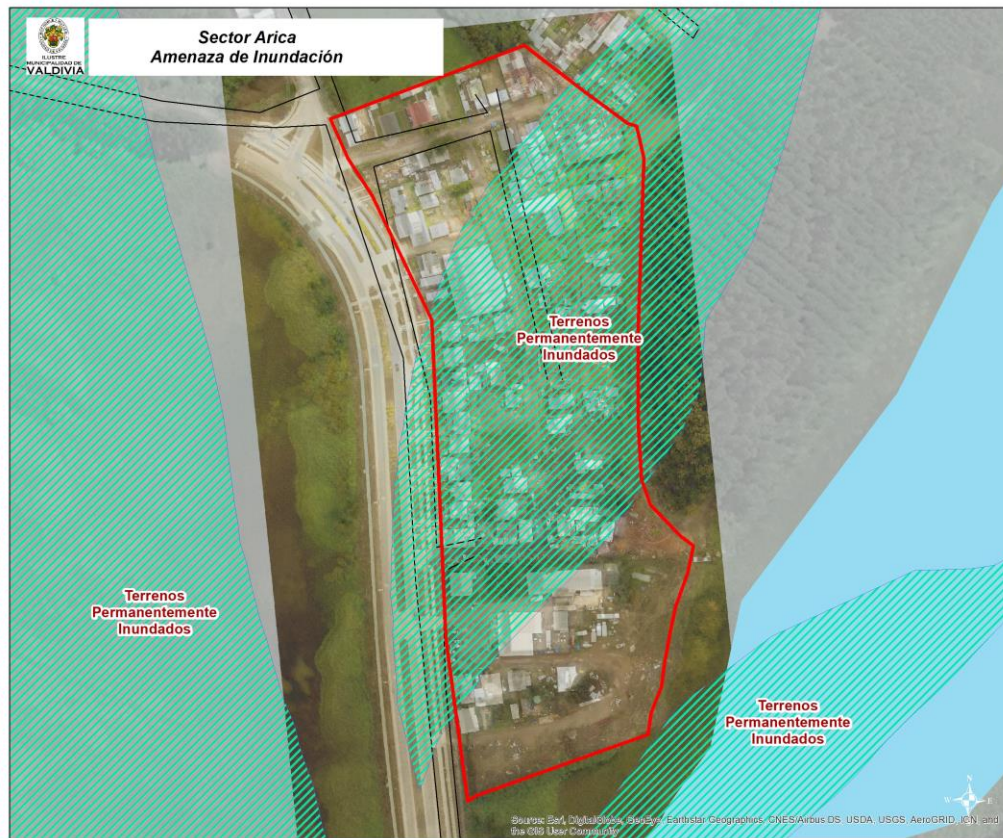
Sector norponiente límite del sitio con la llanura de inundación de afluente.



Evidencia de construcción tipo palafito en el área de estudio.

- c) **Remoción en Masa:** no se evidencian antecedentes en sitio.
- d) **Inundación:** respecto a las inundaciones, el estudio de Arenas et al; 2002 y el análisis histórico de los tipos de inundación que se han generado en la ciudad de Valdivia, podemos indicar que el sitio de estudio Arica fue catalogado como terreno frecuentemente inundado. Esto se debe principalmente a las lluvias intensas, aumento del nivel del agua asociado a mareas altas y maremotos, zonas bajas, contiguas a terrenos inundados después del terremoto de 1960.

Imagen 54 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002



Por otro lado, la modelación de las tasas de retorno para 10 y 100, señalan que el sitio es afectado por fenómenos de inundación según los resultados obtenidos.

Imagen 55 . Peligro de inundación sitio, modelación tasas de retorno



- e) **Plan Maestro Aguas Lluvias:** Por otro lado, la Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias (2013) no hace referencia al sitio en estudio.
- f) **Respuesta Sísmica:** Respecto a lo indicado por Arenas et al; 2002, establece una zonificación de la respuesta sísmica del suelo ante eventos de gran magnitud, llamados “incrementos de la intensidad”. En virtud de ello, el sitio presenta una respuesta sísmica alta y muy alta, por lo cual esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.

Imagen 56 Respuesta sísmica sitio Arica



- g) **Humedales:** Se evidencia en el sitio el Humedal asociado a la Laguna de Alivio-Miraflores, según el estudio de humedales del municipio de Valdivia. No se delimita humedal el sitio según el en el Plan Maestro de Aguas Lluvias.

Imagen 57 Humedales en sitio Arica



- h) **El Plan Regulador Vigente**: muestra la existencia de un área de riesgo presente en el sitio. A continuación, se detalla lo establecido en el PRC para el Sitio Arica:

Imagen 58 Zonificación según Plan Regulador Vigente



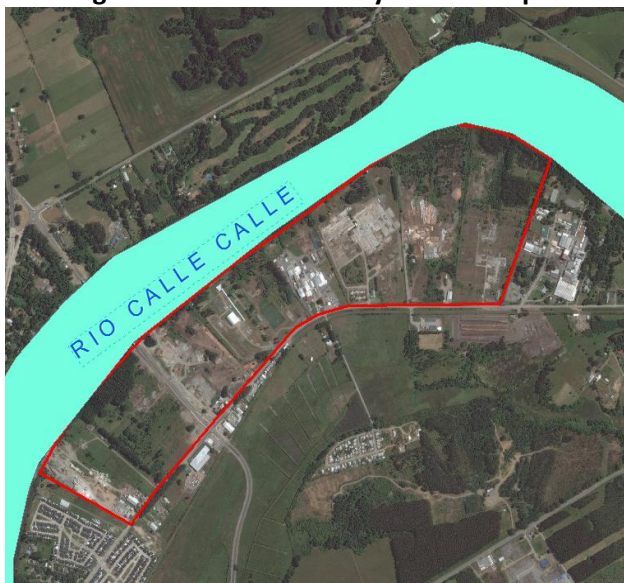
El Plan Regulador Comunal Vigente establece, en la mayoría del sitio, como ZR-2 Zonas de Riesgos de Inundación, permitiéndose los siguientes usos: Equipamiento del tipo Áreas Verdes, de escalas Interurbana y comunal. Existe una superficie menor en la parte norte del sitio una Zona ZU-6, que permite los siguientes usos: Vivienda, industria, almacenamiento y talleres, inofensivos y molestos. Equipamiento de los tipos seguridad, áreas verdes, deportes y comercio minorista. Actividades complementarias a la vialidad del transporte.

Sector 7: Chumpullo

El sector se encuentra localizado en la parte norte de la ciudad de Valdivia, donde se puede acceder a través de la Av. Balmaceda y por el Puente Santa Elvira que a la vez conecta el área con la entrada norte de Valdivia.

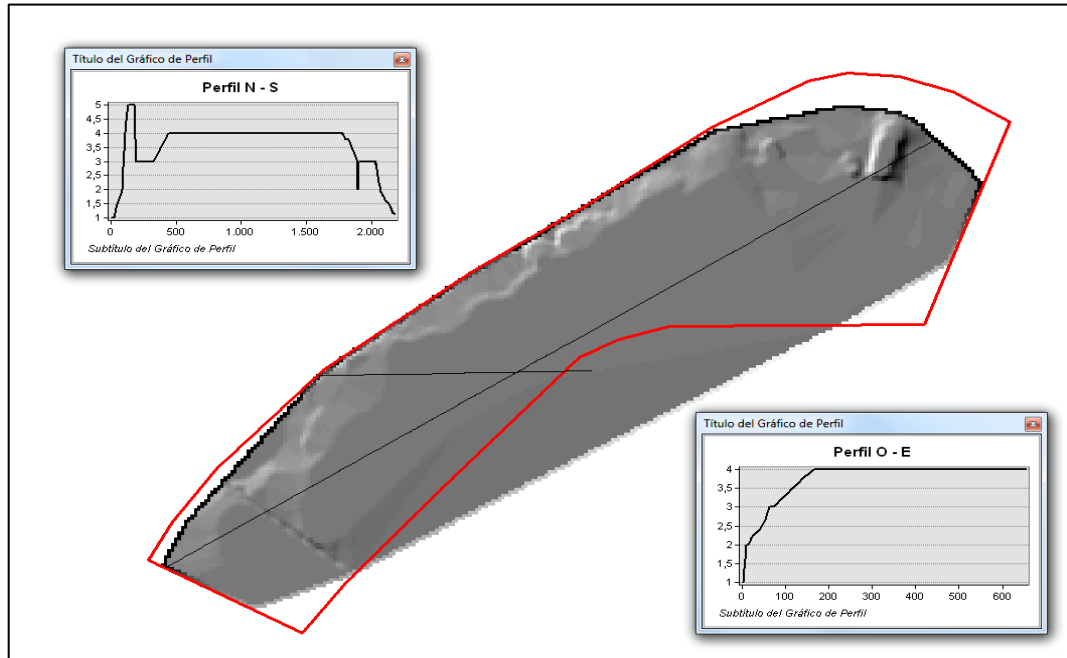
- a) **Cursos de Agua**: Respecto a los cuerpos de agua, se observa que el río Calle Calle se ubica en el costado norte del sitio.

Imagen 59 . Río Calle Calle y sitio Chumpullo.



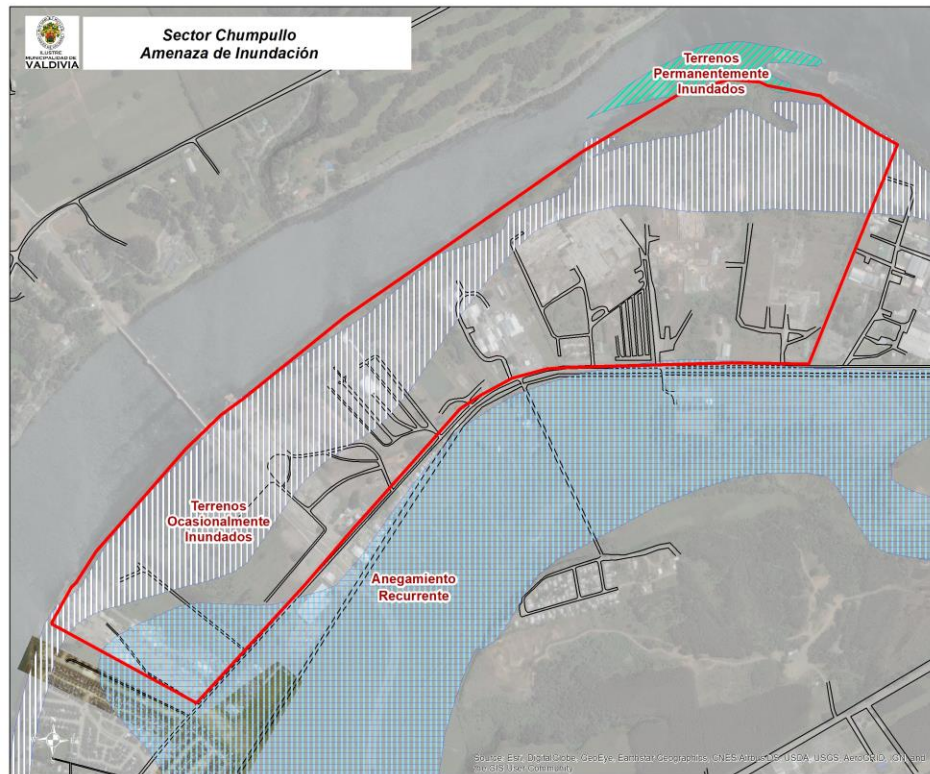
- b) **La topografía:** del sector muestra el sitio plano sin variaciones importantes en las pendientes. La variación de alturas más relevante es la que se encuentra en sector norte que corresponde al límite con el río Calle Calle.

Imagen 60 Levantamiento Topográfico



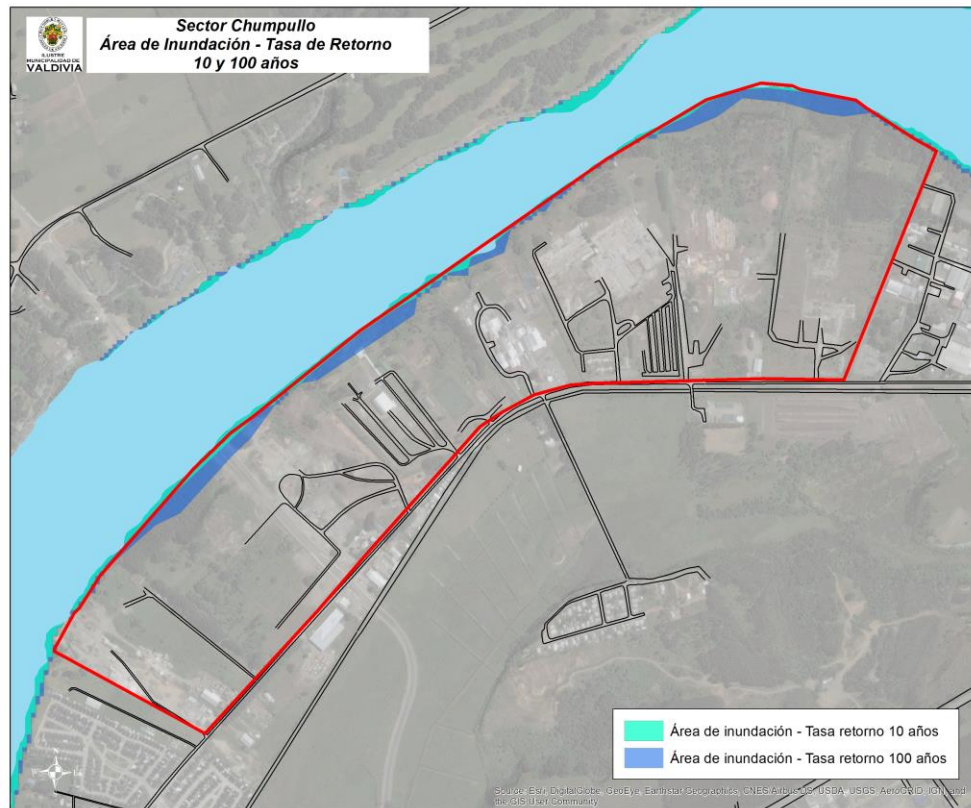
- c) **Remoción en Masa:** no se evidencian antecedentes en sitio.
- d) **Inundación:** respecto a las inundaciones, el estudio de Arenas et al; 2002 y el análisis histórico de los tipos de inundación que se han generado en la ciudad de Valdivia, podemos indicar que el sitio de estudio en Isla Teja fue catalogado como terreno ocasionalmente inundado. Esto se debe principalmente a las lluvias locales intensas, baja permabilidad de suelos, niveles freáticos someros y/o relieves muy planos o con depresiones.

Imagen 61 Peligro de inundación sitio, estudio de Arenas et al; 2002.



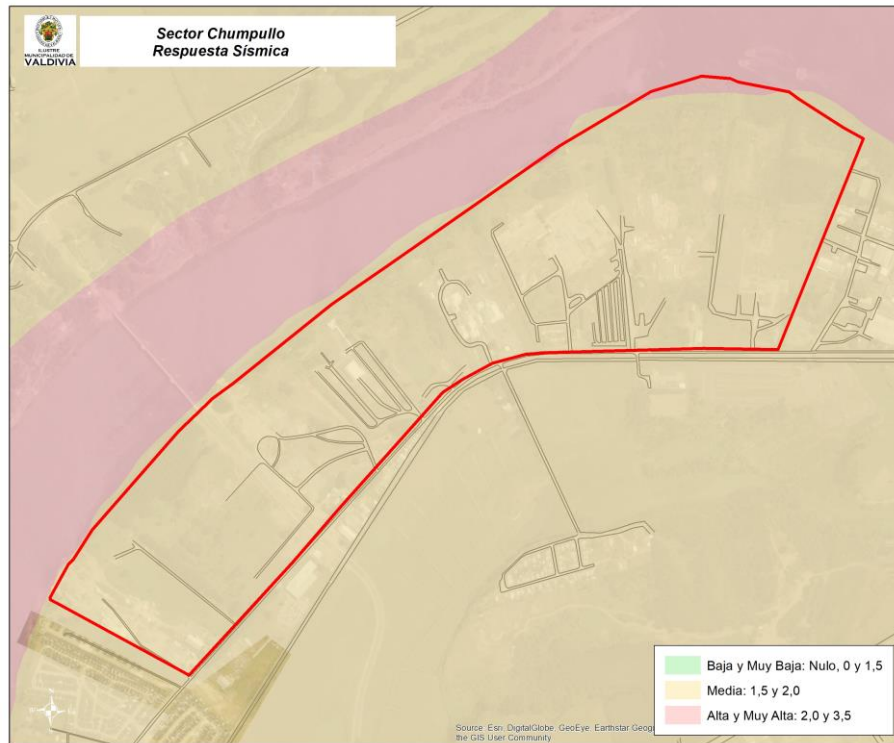
Por otro lado, la modelación de las tasas de retorno para 10 y 100, señalan que el sitio se ve afectado por fenómeno de inundación, en la parte norte asociada al límite con el Río Calle Calle.

Imagen 62 Peligro de inundación, modelación tasas de retorno



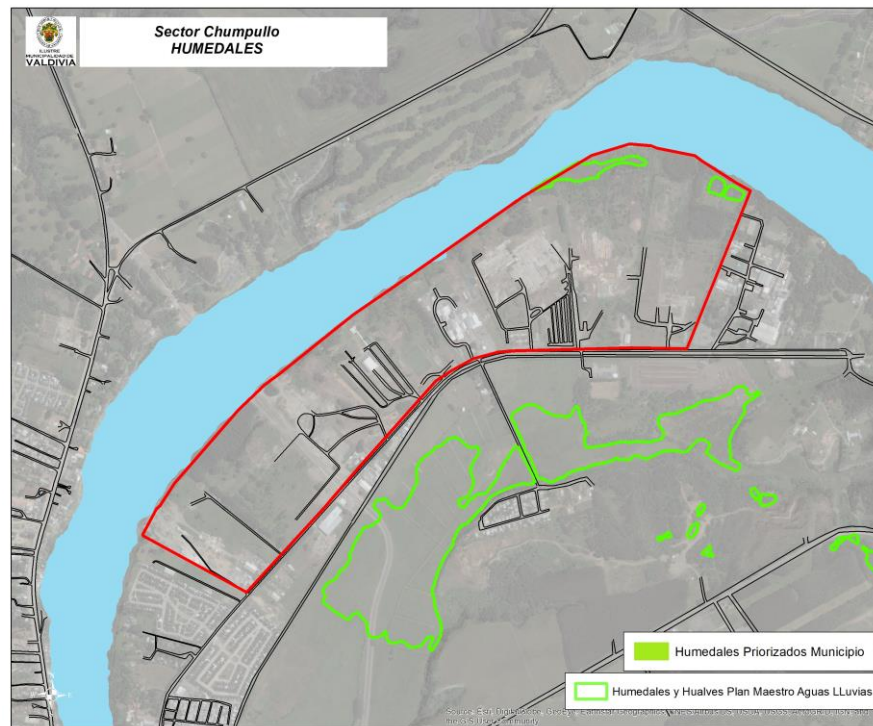
- e) **Plan Maestro Aguas Lluvias:** Por otro lado, en la Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias (2013), no se evidencian proyectos.
- f) **Respuesta Sísmica:** Respecto a lo indicado por Arenas et al; 2002, establece una zonificación de la respuesta sísmica del suelo ante eventos de gran magnitud, llamados “incrementos de la intensidad”. En virtud de ello, el sitio presenta una respuesta sísmica alta y muy alta, por lo cual esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.

Imagen 63 Respuesta sísmica sitio Chumpullo



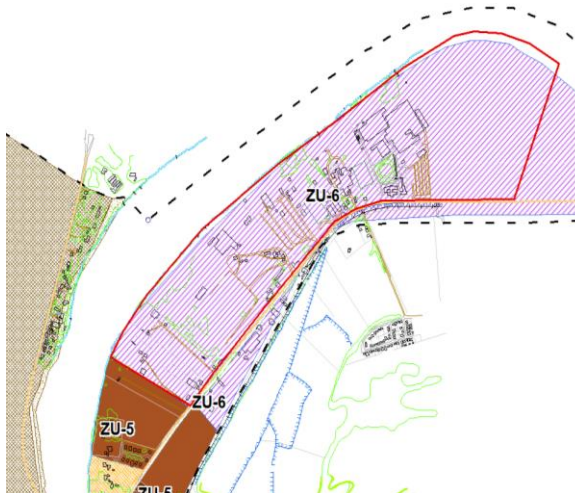
- g) **Humedales:** Se evidencia en una pequeña zona del norte del sitio áreas de humedal según el Plan Maestro de Aguas Lluvias. El estudio de humedales del municipio de Valdivia no identifica la priorización de alguno de estos.

Imagen 64 Humedales en sitio Chumpullo



El Plan Regulador Vigente: no muestra la existencia de un área de riesgo presente en el sitio.

Imagen 65 Zonificación según Plan Regulador Vigente



El Plan Regulador Comunal Vigente establece el sitio como una Zona ZU-6, permitiéndose los siguientes usos:

Vivienda, industria, almacenamiento y talleres, inofensivos y molestos. Equipamiento de los tipos seguridad, áreas verdes, deportes y comercio minorista. Actividades complementarias a la vialidad del transporte.

7. Resultados y recomendaciones

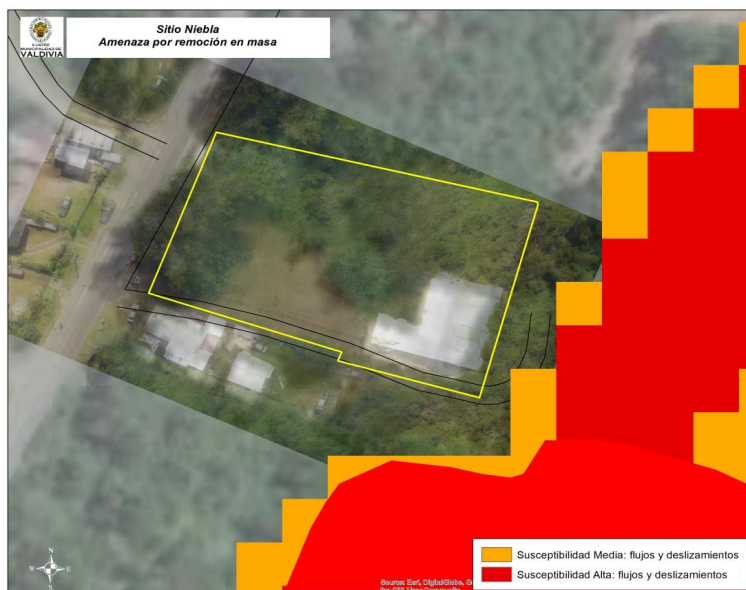
7.1 Riesgo de Remoción en Masa

Para esta amenaza se utilizó el estudio Geología Ambiental del área de Valdivia, X Región de Chile de Arenas et al; 2002. Donde se indica que esta se manifiesta medianamente en pendientes de 15° a 35° y de mayor intensidad en pendientes altas (mayores a 35°), asociadas principalmente a bordes de cauces, esteros y quebradas.

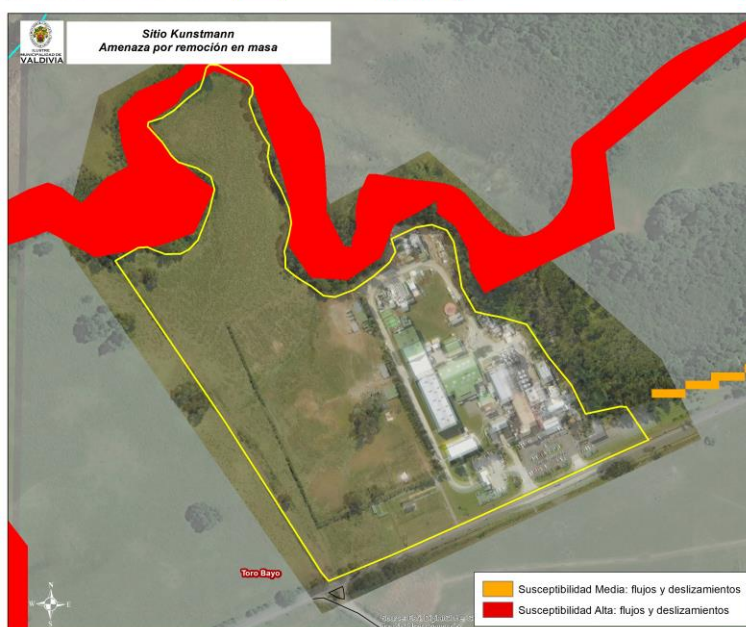
Según la metodología aplicada, incluso siendo más rigurosos disminuyendo el nivel de pendientes altas a áreas con pendiente mayor a 25°, no se identificaron áreas de riesgos asociados a procesos de remoción en masa en ninguno de los sitios de estudio. A continuación, se presenta la tabla con los sitios evidenciando la no existencia del peligro de remoción en masa.

Tabla 5 Remoción en Masa en Sitios
SITIOS

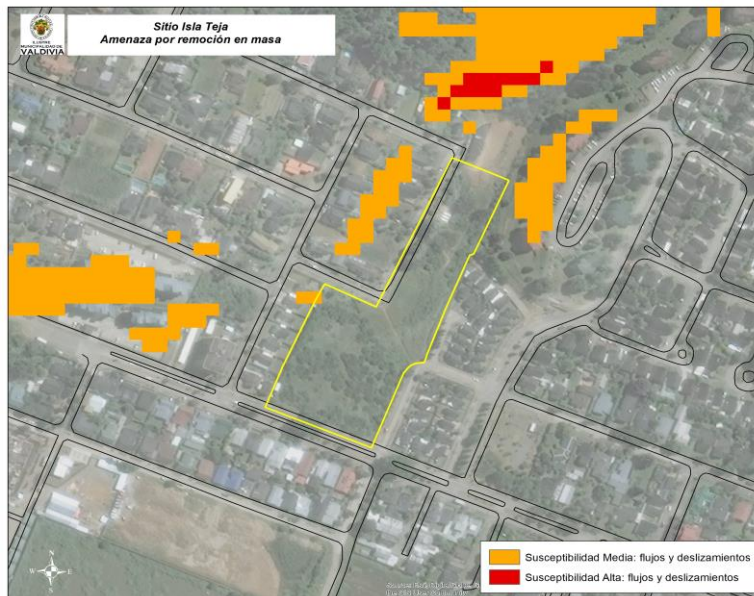
OBSERVACIONES



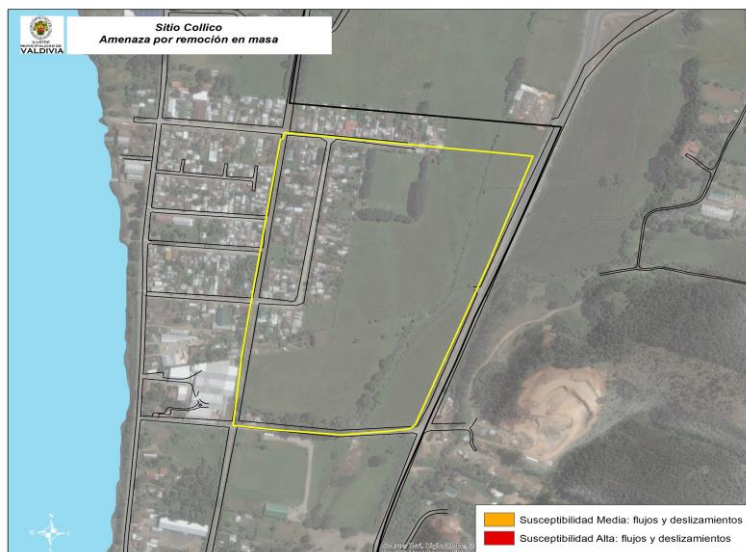
Niebla: No se identifican
áreas de riesgo de
remoción en masa



Kunstmann: No se
identifican áreas de riesgo
de remoción en masa



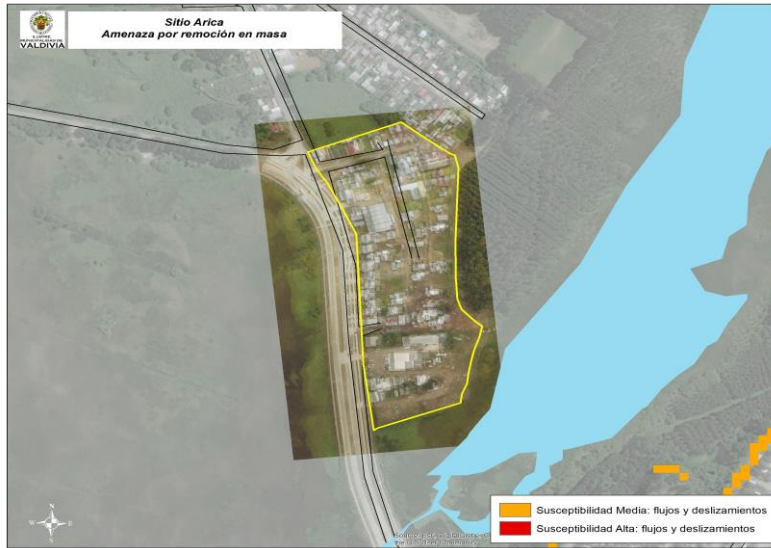
Isla Teja: No se identifican áreas de riesgo de remoción en masa



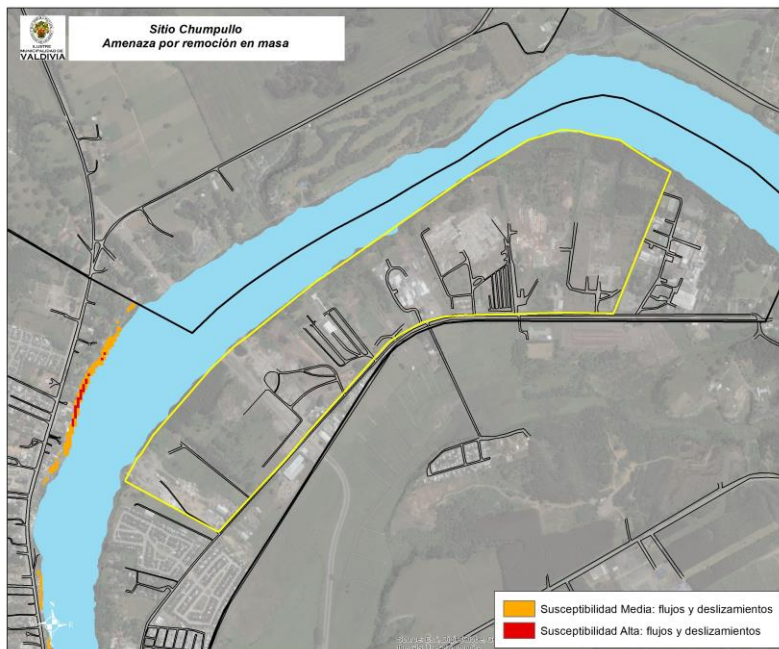
Collico: No se identifican áreas de riesgo de remoción en masa



Krahmer: No se identifican áreas de riesgo de remoción en masa



Arica: No se identifican áreas de riesgo de remoción en masa



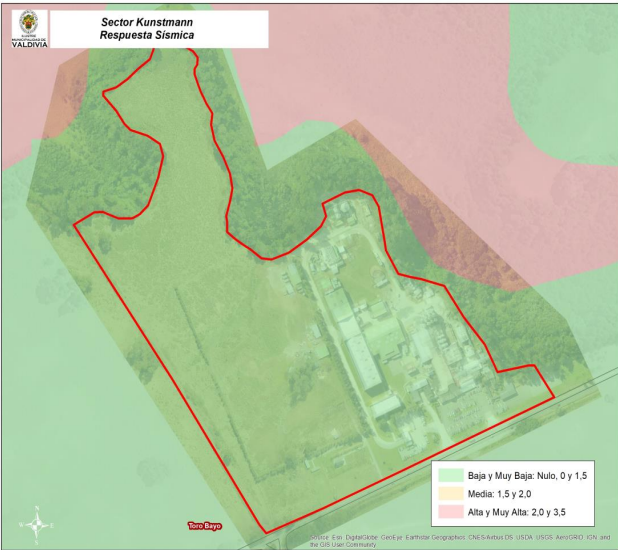
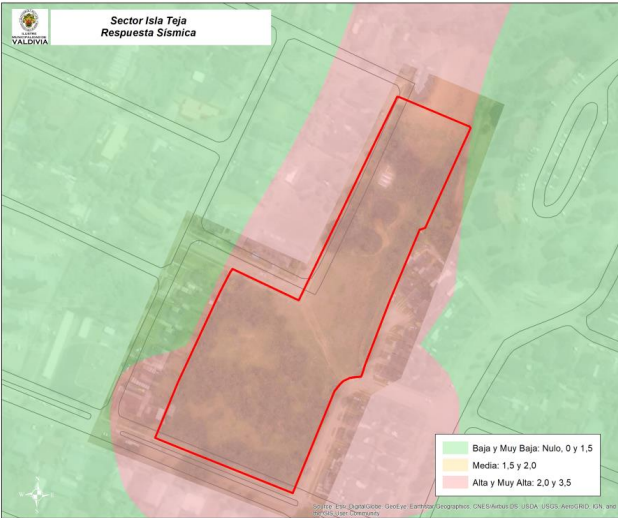
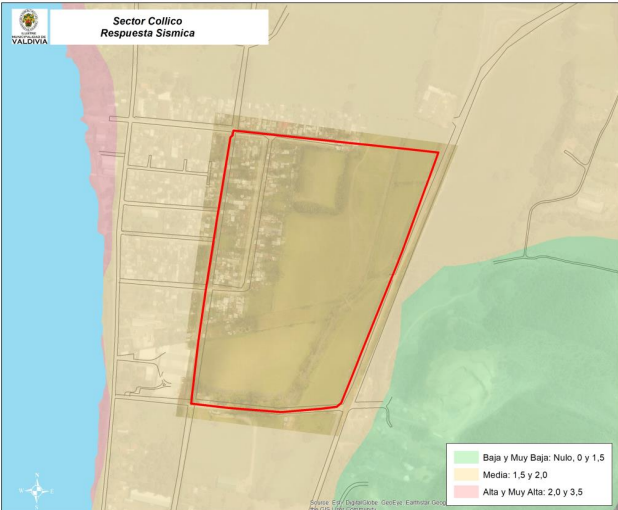
Chumpullo: No se identifican áreas de riesgo de remoción en masa

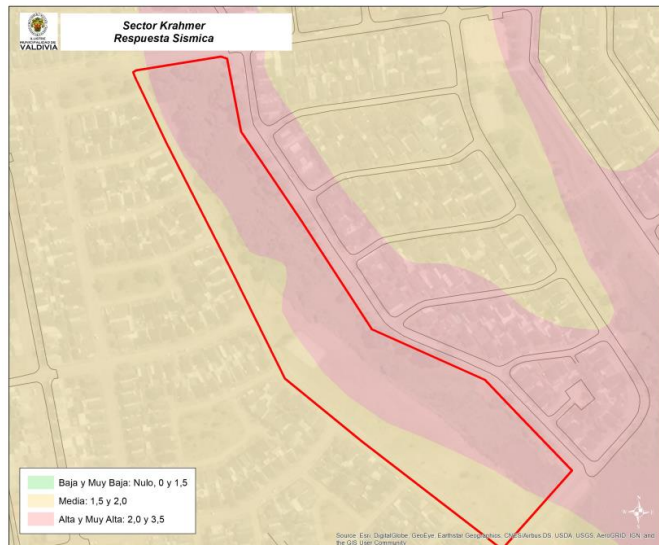
7.2 Riesgo Sísmico

Para esta amenaza se utilizó el estudio Geología Ambiental del área de Valdivia, X Región de Chile de Arenas et al; 2002, donde se realiza una zonificación de la respuesta sísmica basada en la estimación de los llamados “incrementos de intensidad”. Estos valores representan el comportamiento diferencial de las unidades del suelo frente a un sismo. El sitio de Niebla no se encuentra en el área de extensión de este estudio.

A continuación, se presentan los valores para cada sitio:

Tabla 6 Remoción en Masa en Sitios

SITIOS	OBSERVACIONES
 <p>Sector Kunstmann Respuesta Sísmica</p> <p>Baja y Muy Baja: Nulo, 0 y 1,5 Media: 1,5 y 2,0 Alta y Muy Alta: 2,0 y 3,5</p>	<p>Kunstmann: La totalidad del sitio presenta una respuesta sísmica baja y muy baja.</p> <p>Por tanto no existen limitaciones.</p>
 <p>Sector Isla Teja Respuesta Sísmica</p> <p>Baja y Muy Baja: Nulo, 0 y 1,5 Media: 1,5 y 2,0 Alta y Muy Alta: 2,0 y 3,5</p>	<p>Isla Teja: La totalidad del sitio presenta una respuesta sísmica alta y muy alta.</p> <p>Por lo cual, esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.</p>
 <p>Sector Collico Respuesta Sísmica</p> <p>Baja y Muy Baja: Nulo, 0 y 1,5 Media: 1,5 y 2,0 Alta y Muy Alta: 2,0 y 3,5</p>	<p>Collico</p> <p>La totalidad del sitio presenta una respuesta sísmica media.</p> <p>Por lo cual, esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.</p>



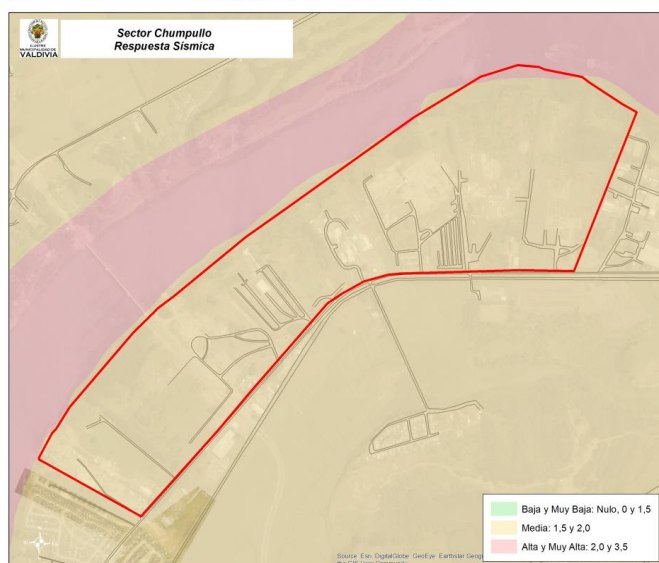
Krahmer: El sitio presenta una respuesta sísmica alta y muy alta (asociada al humedal) y media (parte rellenada del terreno).

Por lo cual, esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.



Arica: La mayor parte del sitio presenta una respuesta sísmica alta y muy alta.

Por lo cual, esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.



Chumpullo: La totalidad del sitio presenta una respuesta sísmica media.

Por lo cual, esta situación debe ser considerada en la normativa de construcción propuesta.

7.3 Riesgo de Inundaciones

A partir del desarrollo de la metodología propuesta para la determinación de las áreas de riesgo de inundación en los 7 sitios de estudio de la comuna de Valdivia.

En este contexto, se definirán como áreas de riesgo de inundación a partir de la superposición de información los siguientes elementos:

- Sectores de cauces activos de ríos, esteros, canales, humedales.
- Sectores de llanura de inundación de los esteros, las que se ubican en zonas adyacentes a sus cauces activos y presentan evidencias geomorfológicas - topográficas y bibliográficas que sugieren la ocurrencia de desborde por crecidas durante eventos meteorológicos extremos. Además, se incluye en esta categoría a los cauces activos de las quebradas principales y secundarias.
- Se consideró además los estudios mencionados en las descripciones de los sitios, así como también las medidas propuestas o ejecutadas en el Plan Maestro de Aguas Lluvias.

8. Áreas de Riesgos en el área de estudio.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de los elementos de los sitios de estudio. Cabe destacar que las áreas de riesgo determinadas corresponden solo al riesgo de inundación. Destacar además que no se identificaron riesgos para el sitio Kunstman.

8.1 Niebla

En el sitio de Niebla se identificó un área con riesgo de inundación en el sector Norponiente que alcanza una superficie de 477,2 metros cuadrados (15% del área total del sitio), que corresponde al estero identificado y su llanura de inundación.

Señalar que este riesgo estaba incorporado en el PRC vigente, pero su localización varió al trabajar con información de mayor escala.



En el sitio de Isla Teja se identificó un área con riesgo de inundación en el costado poniente que alcanza una superficie de 2.316,6 m² (14% del área total del sitio), correspondiente al estero identificado y su cauce evidente.



8.3 Collico

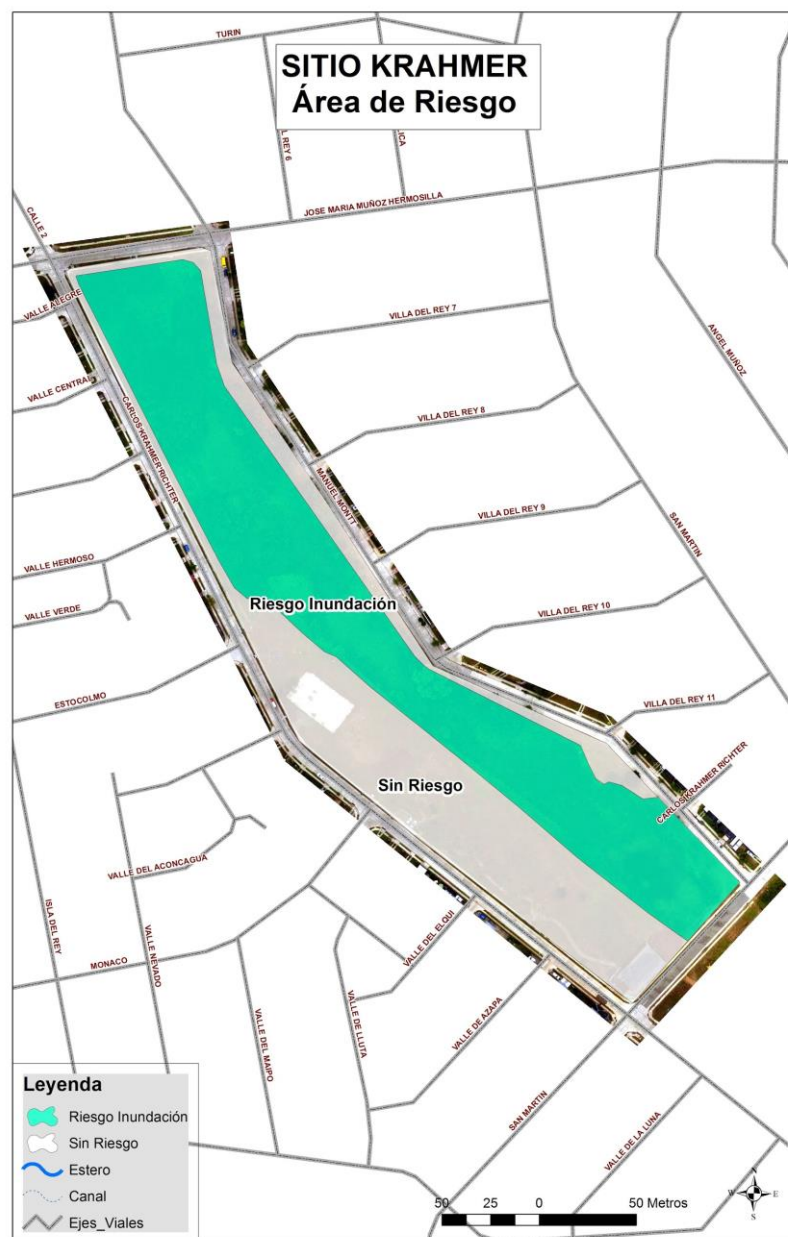
En el sitio Collico se identificó un área con riesgo de inundación en el sector Nororiente asocia al cauce del Estero Balmaceda, que alcanza una superficie total de 19.554 m² (11% del área total del sitio).

Señalar que este riesgo estaba incorporado en el PRC vigente, pero su localización varió al trabajar con información de mayor escala y las obras y medidas contempladas en el Plan Maestro de Aguas Lluvias.



8.4 Krahmer

En el sitio Krahmer se identificó un área con riesgo de inundación que alcanza una superficie de 19.848,8 m² (56% del área total del sitio), correspondiente estero y el humedal existente en la llanura de inundación.



8.5 Arica

En el sitio Arica se identificó un área con riesgo de inundación por saturación de suelos su totalidad alcanzando una superficie de 47.409,7 m².

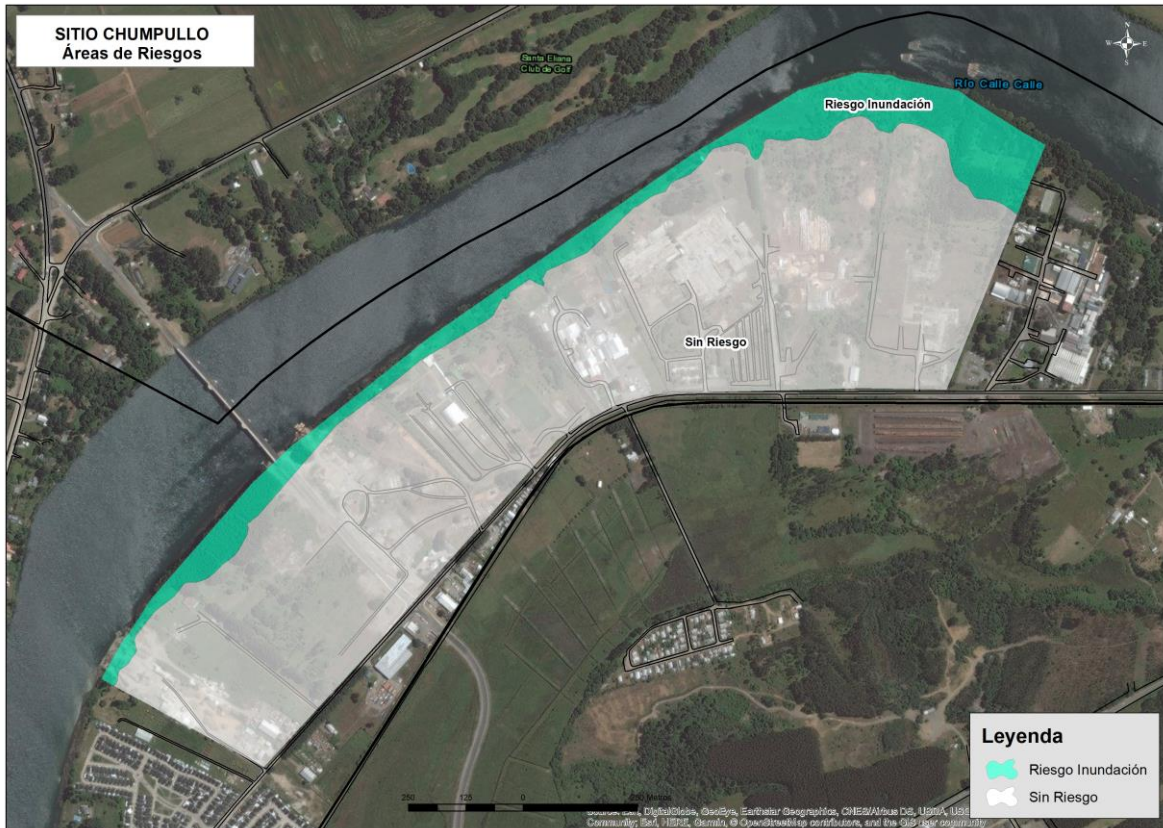
Por tanto, se mantiene el área de riesgo de inundación establecido en el PRC vigente.



8.6 Chumpullo

En el sitio Chumpullo se identificó un área con riesgo de inundación en el sector Norte (16,5 % de la superficie total del sitio), correspondiente al límite del sitio con el Río Calle Calle. Se incorporaron las áreas de inundación según el estudio de tasa de retorno de inundaciones, además de otros antecedentes.

Señalar que esta área de riesgo no estaba incluida en el PRC vigente, pero su incorporación se sustenta al trabajar con información de mejor escala.



8.7 Recomendación de criterios para la zonificación en áreas de riesgo

A continuación, se presenta una propuesta de criterios de zonificación para ser considerado en la zonificación:

SITIO	PELIGRO SEGÚN O.G.U.C	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U.C. ÁREA NO CONSOLIDADA	CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U.C. ÁREA CONSOLIDADA
Niebla	Inundación	Estero y cauce activo asociado.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	-
Isla Teja	Inundación	Estero y cauce activo asociado.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	-
Collico	Inundación	Estero y cauce activo asociado. Zona saturada sector norte.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Mitigar: Se recomienda la ejecución de obras de canalización y mantención del estero Balmaceda, considerando un aumento de caudal que conllevaría la instalación de nuevos proyectos en el sector.
Krahmer	Inundación	Estero y cauce activo asociado (Humedal)	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	-
Arica	Inundación	Llanura de inundación Afluente.	-	Mitigar
Chumpullo	Inundación	Llanura de inundación.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Mitigar

9. Bibliografía

- *Alfaro 2017* Asentamientos humanos en torno a los humedales de la ciudad de Valdivia en tiempos prehispánicos e históricos coloniales, Chungara, Revista De Antropología Chilena.
- Arenas *et all* (2002), Geología ambiental del área de Valdivia, X Región, Chile.
- Arenas *et all* (2003), Geología ambiental del área de Valdivia, X Región, Chile, 10° congreso geológico chileno 2003.
- Banco interamericano de Desarrollo (BID). 2015. Plan de Acción Capital Sostenible Valdivia.
- Congreso geológico chileno 2003, Geología ambiental del área de Valdivia, X Región, Chile, 10° congreso geológico chileno 2003
- D. Alvarado, G. Valdebenito. 2004. Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia, Chile.
- Dirección Meteorológica de Chile (2018). Consultado en www.meteochile.cl
- Dirección de Obras Hidráulicas 2002. Plan Maestro de Aguas Lluvias para la ciudad de Valdivia.
- Dirección de Obras Hidráulicas 2012. Actualización y Ampliación de Cobertura Plan Maestro de Aguas Lluvias para la ciudad de Valdivia.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones y actualizaciones.
- Municipalidad de Valdivia. 1988 y posterior. Plan Regulador Comunal de Valdivia, Planos y ordenanzas. Se incluyen sus modificaciones.
- Municipalidad de Valdivia. 2011. Modificaciones Plan Regulador Comunal de Valdivia, Memoria Explicativa_Estudios Especiales.
- Osorio 2009, Impacto del crecimiento urbano en el medio ambiente del humedal de Valdivia 1992 – 2007, Tesis presentada al Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al grado académico de Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente
- Servicio Nacional de Geología y Minería, Oficina Técnica Puerto Varas. Peligros geológicos en el área de Valdivia, X región, Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, Oficina Técnica Puerto Varas, Chile.
- Servicio Nacional de Geología y Minería. Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: observaciones en la localidad de Corral, en la ciudad de Valdivia y en sectores costeros del lago Calafquén, provincia de Valdivia, región de los ríos (inf-los ríos-02).
- Soto J. 2015. Evaluación del peligro sísmico uniforme en la región de los ríos usando enfoques probabilista y determinista, tesis para optar al grado de magíster en ciencias de la ingeniería mención ingeniería geotécnica. universidad austral de Chile.
- Universidad Austral de Chile 2015. Programa de Monitoreo Ambiental Actualizado del Humedal del Río Cruces y sus Ríos Tributarios.
- Universidad Austral de Chile. Génesis y manifestación de las inundaciones en el sur de Chile. El caso de la comuna de Valdivia durante el siglo XX (Investigación financiada por la Dirección de Investigación Proyecto S-2001- 06).