

**ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES -
MODIFICACIONES PUNTUALES PLAN REGULADOR
COMUNAL DE VALDIVIA**

Índice de 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.....	15
6.2 ANTECEDENTES PELIGROS GEOLÓGICOS VALDIVIA.....	16
6.2.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA	16
6.2.2 INUNDACIONES	16
6.2.3 PELIGRO SISMICO Y LICUEFACCIÓN	19
6.3 ANTECEDENTES DE RIESGO NATURALES EN SITIOS DE ESTUDIO.	21
SECTOR 1: NIEBLA.....	21
SECTOR 2: KUNSTMANN	24
SECTOR 3: ISLA TEJA.....	26
SECTOR 4: COLLICO.....	28
SECTOR 5: KRAMHER	30
SECTOR 6: ARICA	32
SECTOR 7: CHUMPULLO.....	35
7. RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.....	37
7.1 RIESGO DE INUNDACIONES.....	37
7.1.1 NIEBLA	37
7.1.2 ISLA TEJA	38
7.1.5 COLLICO	40
7.1.4 KRAHMER.....	41
7.1.3 ARICA.....	42
7.1.6 CHUMPULLO	43

7.3 RECOMENDACIÓN DE CRITERIOS PARA LA ZONIFICACIÓN EN ÁREAS DE RIESGO	44
8. BIBLIOGRAFÍA.....	45

Índice de Tablas

Tabla 1 crecidas frente a eventos de precipitación en los periodos de retorno	12
Tabla 2 Génesis de las inundaciones en la comuna de Valdivia (1899-2006).	17
Tabla 3 Clasificación de las inundaciones históricas (1899 - 2006) en la comuna de Valdivia.....	17
Tabla 4 Características geotécnicas básicas y respuesta sísmica, Valdivia [1]	20

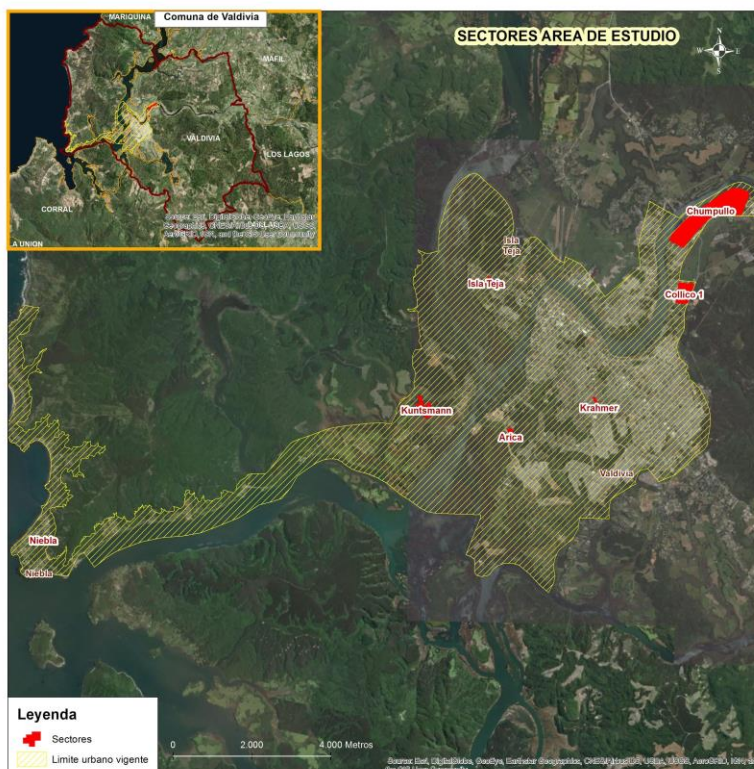
Índice de Imágenes

Imagen Nº 1 Localización sitios de estudios.....	4
Imagen Nº 2 Imágenes de modelo digital de superficies de los sectores en estudios	9
Imagen Nº 3 Serie anual de anomalías estandarizadas de las precipitaciones en Valdivia desde el año 1900 al 2015.	11
Imagen Nº 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 Nº 5 Mapa efectos de sitio - Valdivia. (S/E).....	20
Imagen Nº 6 Imagen externa Sitio Niebla	22
Imagen Nº 7 Curos de agua Paralelo al predio.....	22
Imagen Nº 11 Levantamiento Topográfico del sitio	25
Imagen Nº 12 Detalla lo establecido en el PRC para el Sitio Kustmann:.....	25
Imagen Nº 13 Situación actual terreno Isla Teja	26
Imagen Nº 14 Levantamiento Topografico del Sitio	27
Imagen Nº 15 Situación actual del sitio	28
Imagen Nº 16 Levantamiento Topográfico del Sitio	29
Imagen Nº 17 Series de tiempo Terreno Kramer 2005-2018	30
Imagen Nº 18 Situación actual	31
Imagen Nº 19 Levantamiento Topográfico	31
Imagen Nº 20 Sector Arica y entorno natural	32
Imagen Nº 21 Series de tiempo sector Arica 2005-2018	33
Imagen Nº 22 Perfiles de terreno sector Arica	34
Imagen Nº 23 Situación Actual del área de estudio, época invernal	34
Imagen Nº 24: Río Calle Calle y sitio Chumpullo.	36
Imagen Nº 25 Levantamiento Topográfico	36

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 Nº 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.



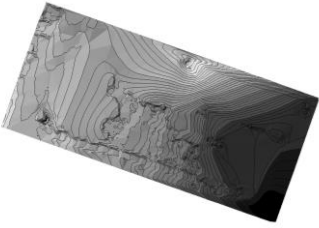
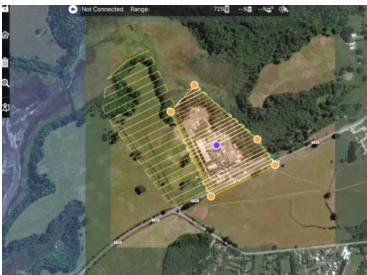

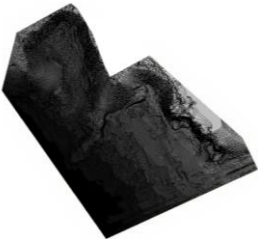



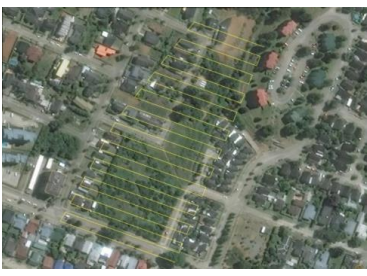





5.3 Levantamiento Topográfico

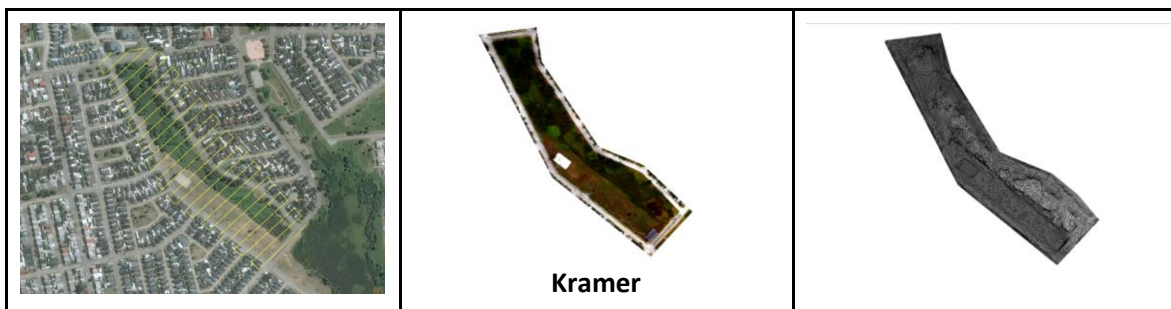
Para el desarrollo del estudio y considerando la superficie de los sitios, fue necesario el levantamiento fotogramétrico de los 7 sectores, la obtención de las ortofotos en RGB (Red, Green y Blue), generación del modelo digital de superficie (DSM) y modelo digital de terreno (DTM). Finalmente obtener 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 Nº 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

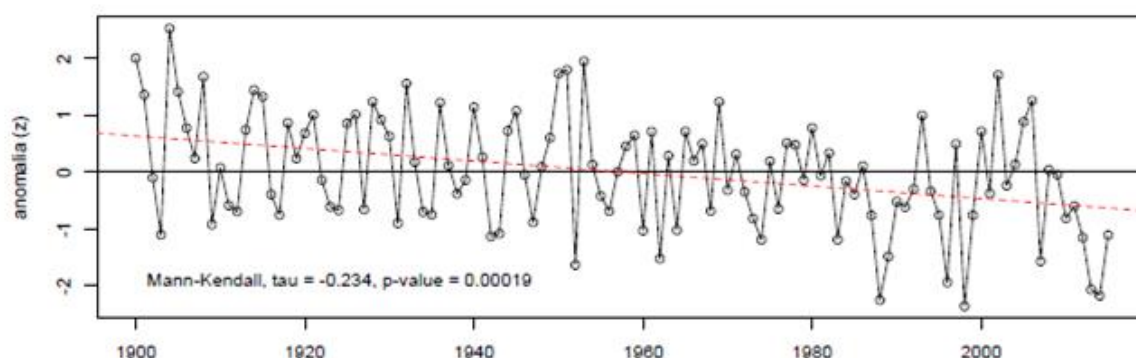
A continuación, se presentan antecedentes físicos y naturales de la ciudad de Valdivia que entregan un contexto para el análisis de los sitios de estudio.

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 Nº 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

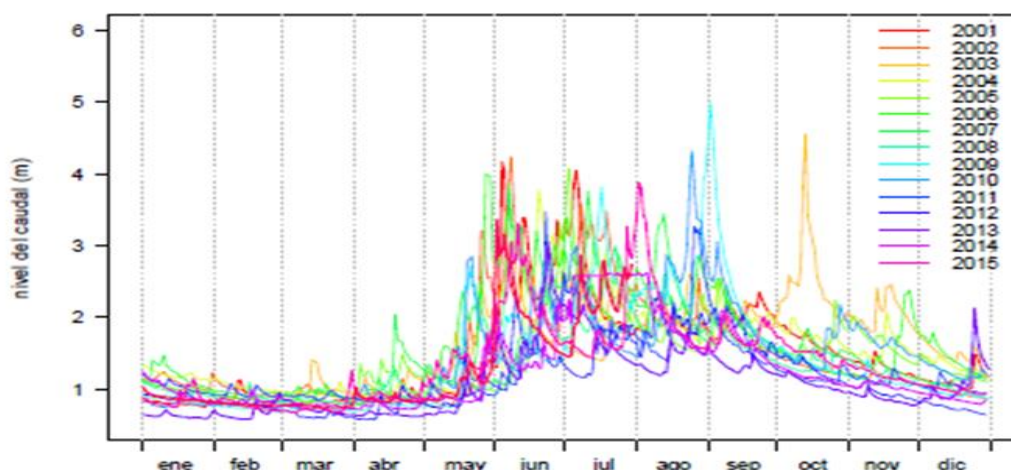
La temperatura promedio anual del aire borde los 12°C. La oscilación promedio entre el mes más cálido y el más frío es de aproximadamente 10° C. Enero y julio son los meses más cálidos y fríos respectivamente, con temperaturas promedio cercanas a los 17° y 7°C, respectivamente (Huber 1970). La temperatura 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 Nº 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. Gravas, 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-parálica. Las asociaciones de facies de esta unidad, se depositaron en un típico sistema estuarino de manera similar a lo que ocurre actualmente en Valdivia.

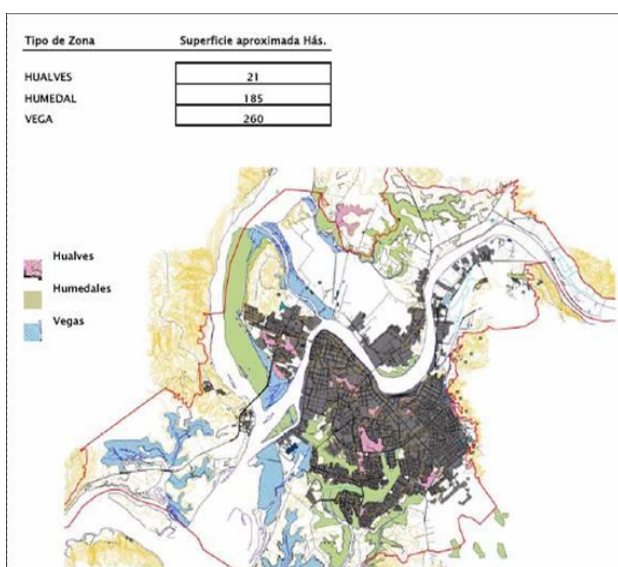
La Cordillera de la Costa está constituida principalmente por metamorfitas y algunos cuerpos intrusivos. Las rocas metamórficas se han integrado en el Complejo Metamórfico Bahía Mansa (Devónico-Triásico, Duhart *et al.*, 2001) correspondiente a esquistos pelíticos a semipelíticos con menor cantidad de 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).

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

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.



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.

Respecto de la reducción del humedal, el comportamiento del humedal valdiviano, se observa una reducción del humedal en la zona centro sur y zona sur. Lo anterior producto del impacto que el crecimiento urbano ejerce sobre el medio ambiente del humedal de Valdivia, tanto por la destrucción física de mismos, como por las alteraciones en su entorno al deteriorar su medio ambiente natural. Es decir, existe un impacto directo de ocupación territorial con un cambio en el uso de suelos y un impacto colateral producto de la alteración generada por la proximidad que estos núcleos urbanos provocan hacia el humedal (OSORIO 2009)⁴.

En este contexto un aspecto importante de destacar en relación a los abundantes humedales del área de estudio es acerca de su valor y de sus funciones en el control de las inundaciones y los anegamientos. Considerando la gran extensión que abarcan los humedales en la parte inferior de

⁴ 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.

la cuenca del río Calle-Calle/Valdivia, en particular en la comuna de Valdivia, debe recalcar que ellos constituyen ambientes que también desde este punto de vista son estratégicos y cuya conservación y adecuado manejo conviene asegurar.

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 tectónica⁵.

6.2.1 Procesos de remoción en masa

Los tipos de remociones en masa presentes en el área de Valdivia corresponden, principalmente, a caída de roca y deslizamientos de suelo y roca. En algunos lugares se pudo identificar flujos de detritos asociados a ruptura de represas ocasionadas por obstrucción de alcantarillas de desagüe. El grado de peligrosidad se definió sobre la base del número de remociones identificadas y la pendiente de la ladera. Las principales causas de las remociones se pueden clasificar como (Cruden y Varnes, 1996): geológicas (planos de esquistosidad favorables a deslizamientos, alto grado de fracturamiento, alto grado de meteorización, contacto abrupto de suelo con roca, materiales relativamente blandos y muy deleznable), morfológicas (alta pendiente de las laderas, acción erosiva de los ríos en los pies de las laderas, principalmente a lo largo de las riberas de los ríos Valdivia y Tornagaleones; acción erosiva de las olas que afectan al sector oriental de isla Mancera y de manera más dramática al sector costero de Niebla), antropogénicas (excavaciones realizadas en las laderas para diferentes fines, deforestación) y físicas, las que actúan como detonantes de los procesos de remoción (lluvias intensas y/o prolongadas, movimientos sísmicos)⁶.

6.2.2 Inundaciones

En este contexto las zonas susceptibles a inundación se presentan en las partes más bajas de las depresiones de San José de la Mariquina y Valdivia. Las llanuras de inundación de los ríos Cruces, Calle-Calle, Valdivia, Pichoy y Chorocamayo son las que con mayor frecuencia se ven afectadas por estos eventos, los que se asocian a lluvias locales intensas, altas mareas y tsunamis, según lo establecido por Rojas (2006)⁷, de acuerdo con su origen, las inundaciones que afectan a la comuna de Valdivia se pueden agrupar en 3 categorías: aquellas vinculadas a condiciones climáticas, las derivadas del impacto de tsunamis en la zona de desembocadura, y las generadas por el desagüe violento de aguas represadas por movimientos de masas en el lago donde nace el río Calle-Calle/Valdivia.

⁵ Peligros geológicos en el área de Valdivia, X Región, Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, oficina técnica Puerto Varas, Chile.

⁶ Arenas *et al* (2003), Geología ambiental del área de Valdivia, X Región, Chile, 10° Congreso Geológico Chileno 2003.

⁷ 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 y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile. Proyecto s-2001-06).

Tabla 2 Génesis de las inundaciones en la comuna de Valdivia (1899-2006).

TIPOLOGIA DE INUNDACION	GÉNESIS	EJEMPLO
POR CONDICIONES CLIMÁTICAS	Inundaciones generadas por aumento de caudal a consecuencia de intensas y/o prolongadas precipitaciones (generalmente invernales u otoñales) en la cuenca del río Calle-Calle/Valdivia	3 - 5 de junio 2000. Intensas y prolongadas lluvias en la cuenca, con montos récord para Valdivia en los últimos 46 años (Imax = 155,2 [mm/24 h]), generaron aumentos de caudal que desbordaron el río.
POR IMPACTO DE TSUNAMIS	Inundaciones causadas por los efectos de tsunamis en la bahía de Corral, que remontan el estuario y repercuten en las riberas del río Valdivia y sus tributarios	22 de mayo 1960. Sismo Mw = 9,5 que generó un Tsunami en la Bahía de Corral. Complejo efecto de tapón y masa de agua remontante.
POR REPRESAMIENTOS DE DESAGÜES LACUSTRES	Inundaciones asociadas a represamientos, por movimientos de remoción de masas de origen sísmico o artificial, de los ríos que desaguan a una cuenca lacustre. Incluye la inundación de las riberas lacustres por alzamiento de la cota de las aguas, y las inundaciones generadas por la ulterior avenida al liberarse las aguas represadas.	25 -29 de julio 1960. Desagüe de aguas acumuladas en el lago Riñihue (3.000 millones m3) por obstrucción de su desagüe a consecuencia del sismo del 22.05.60. Inundaciones a lo largo de todo el curso medio e inferior del río Calle - Calle / Valdivia.

Fuente: 10° Congreso Geológico Chileno 2003, Geología Ambiental del Área De Valdivia, X Región, Chile, 10° Congreso Geológico Chileno 2003.

Además, Rojas 2006 establece que entre otros factores que podrían concurrir a potenciar los desbordes se encontraría la magnitud de la marea, las corrientes en el estuario y la influencia de caudales entrantes al sistema desde ríos tributarios. Aparte de las precipitaciones (monto, intensidad, días consecutivos de lluvia), viento (dirección, velocidad) y mareas (sicigia, cuadratura) como factores detonantes y potenciadores de las inundaciones, para algunos eventos previos a 1960 se postula adicionalmente una importante influencia del estado de embancamiento del estuario del río Valdivia y de la bahía de Corral en su respuesta frente a las crecidas, dificultando la evacuación de las aguas y favoreciendo su desborde; este habría sido el caso de los grandes eventos de 1922 y 1949.

Tabla 3 Clasificación de las inundaciones históricas (1899 - 2006) en la comuna de Valdivia

INUNDACIONES	NÚMERO DE EVENTOS	%	AÑOS
GRANDES	4	6	1899, 1922, 1949, 1960
MEDIANAS	10	14	1928, 1932, 1949, 1961, 1963, 1965 (2), 1978, 1982, 2000
PEQUEÑAS	56	80	1913, 1915 (2), 1917, 1918, 1919, 1926, 1928, 1929 (2), 1930, 1932, 1934, 1941, 1948 (3), 1949, 1951, 1953 (2), 1958, 1960, 1961, 1962 (3), 1963 (4), 1964 (2), 1965 (5), 1966 (3), 1969, 1970, 1971, 1977 (2), 1980, 1981, 1982, 1983, 1987, 1993 (2), 1997 (2), 2004
TOTAL	70	100	

Fuente: Proyecto S-2001- 06, Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile

En relación a la duración de los eventos de inundación para el conjunto de 70 casos presentados:

1. Entre un mínimo de 1 día y un máximo de 11 días (julio 1899; mayo 1949), siendo la media de 2,3 días. La distribución temporal de las inundaciones durante el siglo XX muestra una frecuencia entre 5 y 7 eventos por década para la mayor parte de los casos.
2. No obstante, el decenio entre 1961 y 1970 destaca por más que triplicar el número promedio de eventos por decenio, alcanzando a 24 eventos.

La causa del marcado incremento de eventos radicaría en dos consecuencias del terremoto de mayo de 1960: las extraordinarias modificaciones en la morfometría del cauce del estuario (subsistencia tectónica de 2,0 metros) y la destrucción de las defensas fluviales a lo largo de toda la ribera fluvial de la ciudad. Estas últimas se terminaron de reconstruir sólo a mediados de ese decenio. De ahí que el 50% de todos los eventos en el período posterior al sismo tuviera lugar en los primeros 5 años de la reconstrucción de la ciudad, reflejando la alta vulnerabilidad de los sectores ribereños frente a los desbordes, a causa del hundimiento del terreno y la falta de defensas fluviales y trabajos de relleno. Una vez establecidos éstos, los barrios estaban mejor preparados y las inundaciones disminuyeron. Las avenidas invernales inmediatamente posteriores al sismo disponían aparentemente de una “ventaja” de aproximadamente 2,0 m respecto a años anteriores, en razón de la subsidencia co-sísmica del terreno en esa magnitud, presentando así la ciudad menores requerimientos de subida de nivel del río para inundarse. El hundimiento del terreno implicó que, a partir de 1960, nuevas y extensas áreas a orillas del estuario quedaran disponibles para el almacenamiento de grandes volúmenes de agua durante las crecidas. A esto se añade un cambio en la batimetría como consecuencia de la subsidencia y las corrientes generadas por el tsunami, todo lo cual implicó que las crecidas posteriores a 1960 dispusieran de un cauce con mayor amplitud de la sección transversal y de un lecho de inundación diferente y con mayor capacidad de almacenamiento de los caudales de crecida. Aguas abajo de Valdivia también son extensas las áreas bajas anegadas o anegables, permitiendo además en este caso una menor efectividad en la acción de “tapón” ejercida por las aguas en el estuario durante las corrientes de flujo, especialmente durante mareas vivas. En este contexto la geomorfología del sitio de la ciudad de Valdivia, la llanura aluvial del río Calle-Calle/Valdivia es una unidad ampliamente representada. Originada especialmente por inundaciones Holocenas, esta geoforma es evidencia que los procesos de desborde constituyen aquí eventos frecuentes a lo largo del tiempo. En el área urbana de la comuna, estas planicies que se caracterizan por pendientes muy suaves y por suelos con niveles freáticos muy superficiales, acogen en numerosos sectores a humedales riparianos e interiores, existiendo numerosas áreas con problemas de drenaje, que en parte han sido objeto de relleno artificial.

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. También existe la actualización del mismo Plan Maestro en el año 2012.

Sin embargo, a la luz de los antecedentes históricos de estos eventos naturales extremos y la importante expansión de la ciudad en las últimas décadas con poblaciones de densidad media - alta hacia el sector E, S y SE y que al mismo tiempo continúa la ocupación y desarrollo de los

Barrios Bajos, el incipiente retorno de la práctica de ocupar paleocauces y sectores deprimidos de la llanura fluvial para proyectos inmobiliarios extensos o puntuales se advierte como particularmente peligroso.

6.2.3 Peligro Sísmico y Licuefacción

La ciudad de Valdivia se localiza a 73°14' longitud oeste y 39°49' latitud sur. En estas latitudes, al igual que en la mayor parte del territorio chileno, la generación de terremotos se produce principalmente debido al mecanismo subductivo generado por el choque de la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Dado que la ciudad de Valdivia se encuentra en la zona sur del territorio chileno, la sismicidad que la afecta es menor en relación a las zonas norte y centro del país. Sin embargo, esta menor sismicidad da lugar a la generación de sismos de gran magnitud en intervalos de tiempos mayores. Este fenómeno se atribuye principalmente a la juventud de la Placa de Nazca, producto de la cercanía a la dorsal, y a la rápida convergencia con respecto a la Placa Sudamericana. Esta combinación, condiciona un fuerte grado de acoplamiento mecánico entre las placas mencionadas permitiendo una gran capacidad de acumulación de energía de deformación que se libera en sismos de gran magnitud, destacando el ocurrido el 22 de mayo de 1960 (Mw=9.5) (D Alvarado et al 2015).

En este contexto, según lo establecido por ACEVEDO et al 2015, se realizó una revisión de los principales sismos de la historia reciente de Chile, encontrándose evidencia que permite identificar características propias del fenómeno de licuación en los terremotos de 1646, 1906, 1960 y 1985, entre otros. De estos sitios se constató la ocurrencia de licuación reiterada en varios sectores, corroborando que terrenos que han licuado en el pasado pueden volver a licuar.⁸

En el área urbana de Valdivia, según lo establecido en el estudio EFECTOS GEOLÓGICOS DEL SISMO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010 (SERNAGEOMIN 2010) los daños en las viviendas y en la infraestructura vial, observados en dos sectores poblacionales, en el muelle Schuster y en la ruta Valdivia-Niebla, tienen como factor común suelos de fundación constituidos por rellenos artificiales, mal compactados, posiblemente con niveles de saturación de agua poco profundos, tales que la licuefacción del terreno comprometió la estabilidad de las estructuras construidas sobre este.⁹

Lo anterior es concordante con lo establecido con D. Alvarado, G. Valdebenito. Destacando en particular el hecho de que se obtuvieron altos factores de amplificación en sectores ribereños del río Calle Calle y en lugares donde existan rellenos artificiales y vegas, los cuales según estudios anteriores presentaron amplificaciones sísmicas de importancia para el terremoto de 1960 y evidencian una muy mala aptitud para construcción. A la luz de estos resultados, es posible concluir que la estimación de las amplificaciones locales a partir de las máximas amplitudes de registro suele ser un buen indicador de los efectos de sitio.

La geología superficial de la ciudad presenta una distribución espacial bastante compleja. Entre los principales depósitos que conforman la ciudad se incluye: los depósitos fluvio-estuarinos antiguos, los depósitos fluviales y estuarinos recientes, los rellenos artificiales, y las zonas de

⁸ Tesis para optar al grado de magíster en ciencias de la ingeniería mención ingeniería geotécnica (2015).

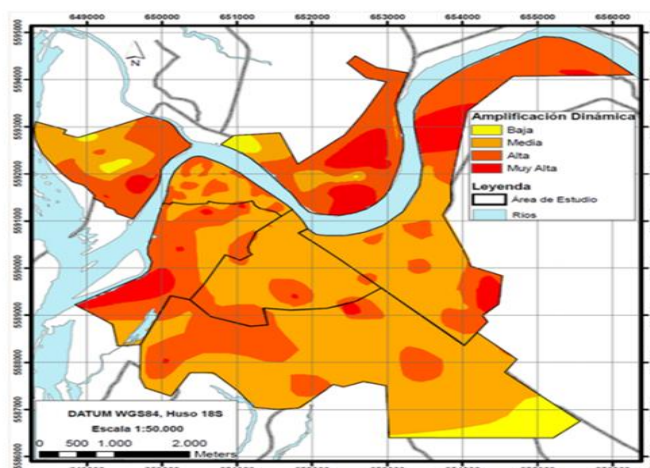
⁹ Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: observaciones en la localidad de Corral, en la ciudad de Valdivia y en sectores costeros del lago Calafquén, provincia de Valdivia, región de Los Ríos (inf-los ríos-02).

vegas. Según los mapas geológicos elaborados para la ciudad por el Servicio Nacional de Geología y Minería [1], a cada uno de estos depósitos se le asocia un nivel de amplificación sísmica considerando las intensidades durante el sismo de 1960 ($M_w=9.5$). Adicionalmente, se califica la aptitud para la construcción de los depósitos en cinco intervalos: muy buena, buena, regular, mala y muy mala, los cuales han sido definidos en base a los problemas geotécnicos esperados y observados durante el terremoto de 1960. A fin de resumir lo anterior, y exclusivamente en base a los estudios de SERNAGEOMIN [1], la Tabla 4 resume las propiedades de los principales depósitos de suelos presentes en la ciudad de Valdivia¹⁰.

Tabla 4 Características geotécnicas básicas y respuesta sísmica, Valdivia [1]

Unidad geológica	Descripción	Amplificación sísmica en el terremoto de Valdivia 1960 ($M_w=9.5$)	Aptitud para la construcción
Relleno Artificial (R)	Composición y espesores muy variables. Contienen arcillas, limos, arenas, gravas, escombros, maderas, desechos y bloques de roca.	Muy alta (Incremento de intensidad sísmica > 3.0 MM)	Muy mala
Vegas (V)	Depósitos de pantano y fluviales recientes. Arcillas y limos con alto contenido de material orgánico y lentes de arena.	Alta (Incremento de intensidad sísmica entre 2.5 y 3.0 MM)	Muy mala
Depósitos fluviales y estuarinos (FE)	Sedimentos recientes constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas con algunos lentes de alto contenido orgánico.	Media-Alta (Incremento de intensidad sísmica entre 2.0 y 3.0 MM)	Regular - Mala (Según sector)
Depósitos fluvio-estuarinos (F)	Secuencia de sedimentos antiguos compuestos de arcillas, limos arenas y gravas.	Media-Baja (Incremento de intensidad sísmica entre 1.5 y 2.5 MM)	Regular - Buena (Según sector)

Imagen Nº 5 Mapa efectos de sitio - Valdivia. (S/E)



Fuente Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia, Chile, D. Alvarado & G. Valdebenito.

En este contexto, lo establecido en la Actualización PRC Valdivia 2011, establece que la presencia de arenas de playa y de sedimentos fluviales y estuarinos recientes, con áreas de vegas y pantanos, que han sido utilizados en obras civiles y urbanización, son áreas de peligro potencial. El relleno del valle en que está construida Valdivia presenta sectores de humedales o cercanos a los cauces principales que se componen hasta los 20 m de profundidad de arcillas y limos con alto contenido de materia orgánica y agua y lentes de arena fina y en menor proporción gravas. La profundidad del agua subterránea varía entre 0,5 y 2 m. La permeabilidad varía de baja a moderada. Las arenas

¹⁰ Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia, Chile D. Alvarado(1), G. Valdebenito(1).

tienen compactación media y compresibilidad baja a moderada. Los limos y arcillas son de alta a baja plasticidad, consistencia baja y compresibilidad alta. Lamentablemente no existe un registro de la estratigrafía del subsuelo que permita en forma detallada precisar la calidad y composición de él. La sobrecarga puede causar subsidencias, estrujamiento lateral de sedimentos y licuefacción debido a exceso de presión de agua. Zonas de alto riesgo para grandes construcciones se consideran las arenas de playa, arenales con napas freáticas superficiales y zonas cercanas a los humedales o riberas del río. La licuefacción no significa que los edificios se hundan en su totalidad, pero pueden desestabilizarse sus estructuras y quedar inhabitables¹¹.

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 estudios, por tanto, se evalúa y aplica la metodología propuesta para la determinación de áreas de riesgo de inundación.

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 ordenada por 1) cursos de agua; 2) topografía; 3) 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.

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:

¹¹ Modificaciones Plan Regulador Comunal de Valdivia (2011), Memoria Explicativa - Estudios Especiales.



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 Nº 6 Imagen externa Sitio Niebla



Imagen Nº 7 Curoos de agua Paralelo al predio



Topografía: La topografía de sitio muestra claramente un aumento de altura de oeste a este, evidenciando una pendiente general en torno al 30%. 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 7%. Es necesario mencionar que en el costado norte del predio se encuentra el estero Sin Nombre.

Imagen Nº 8 Perfil Oeste - Este

Imagen Nº 9 Perfil Sur - Norte

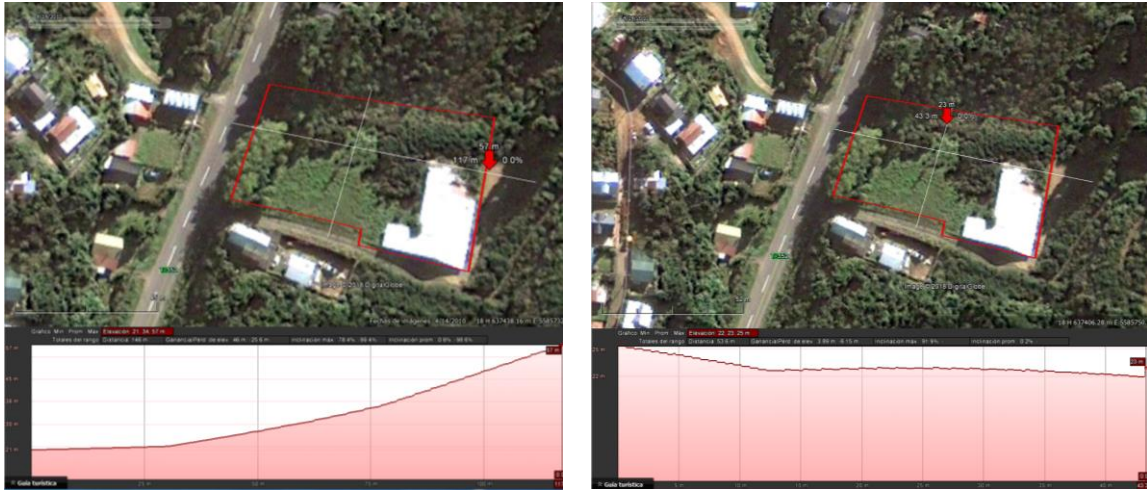


Imagen N° 10 Ladera asociada al sitio en estudio.



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.

El Plan Regulador Vigente: establece la existencia de un área de riesgo en el sitio de Niebla, según se establece a continuación.



El Plan Regulador Comunal Vigente establece la mayoría de la superficie del sitio como una Zona ZC-1, permitiéndose los siguientes usos: Vivienda; talleres y almacenamiento inofensivos; equipamiento de escala 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.

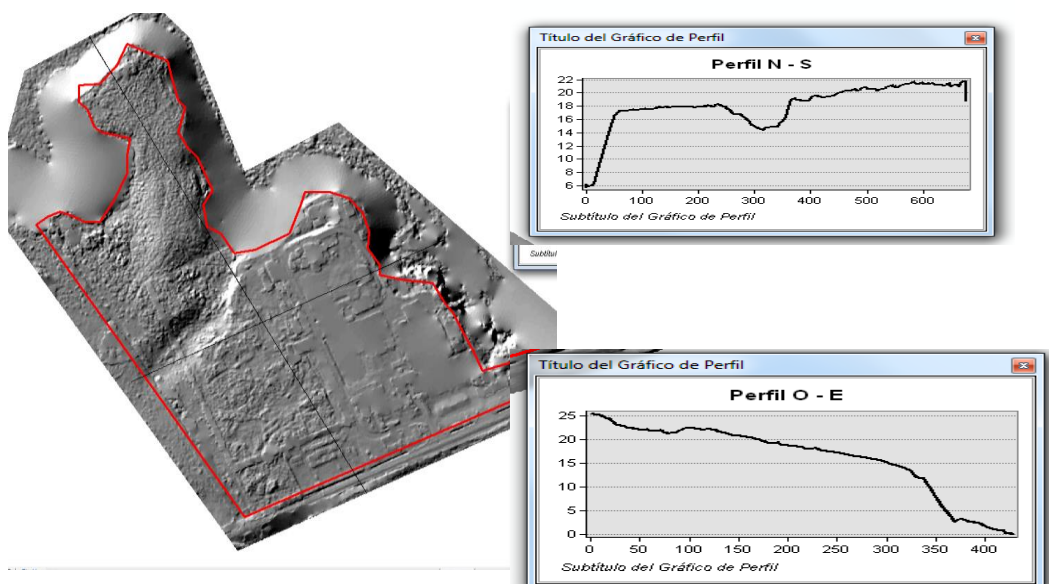
Sector 2: Kunstmann

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 sur 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.

Cursos de Agua: no se identifica en el sitio de estudio cursos de agua.

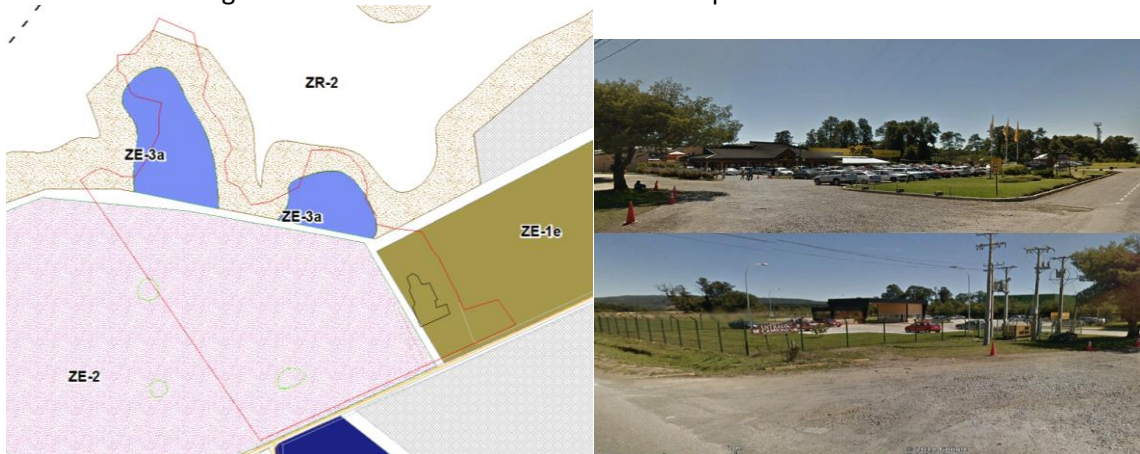
El Levantamiento Topográfico: muestra el sitio en su mayor parte es plano donde la pendiente varía entre los 0 y 9 %. Se observa una pequeña depresión en el centro (perfil N - S). Las pendientes más altas (35%) se encuentran justo fuera del sitio de estudio y representan una marcada diferencia de altura entre el sitio y el hualve del Estero Estancilla, como se observa en los perfiles de elevación.

Imagen N° 8 Levantamiento Topográfico del sitio



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 N° 9 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.

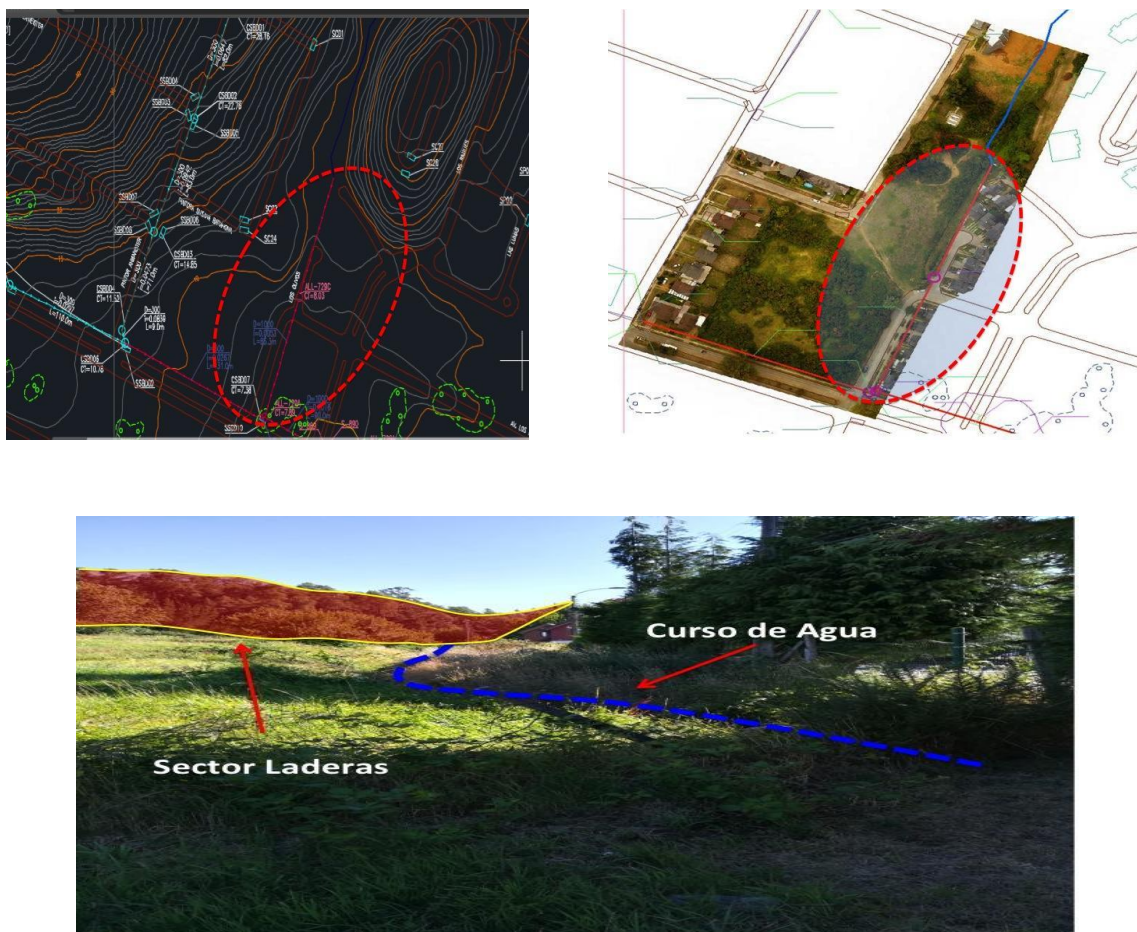
La Zona ZE-3a permite los siguientes usos: Vivienda, Equipamiento de los siguientes tipos y escalas: Áreas Verdes de escala comunal, Deportes de todas las escalas, Esparcimiento y Turismo de escalas regional e interurbana y comunal.

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.

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 Nº 10 Situación actual terreno Isla Teja

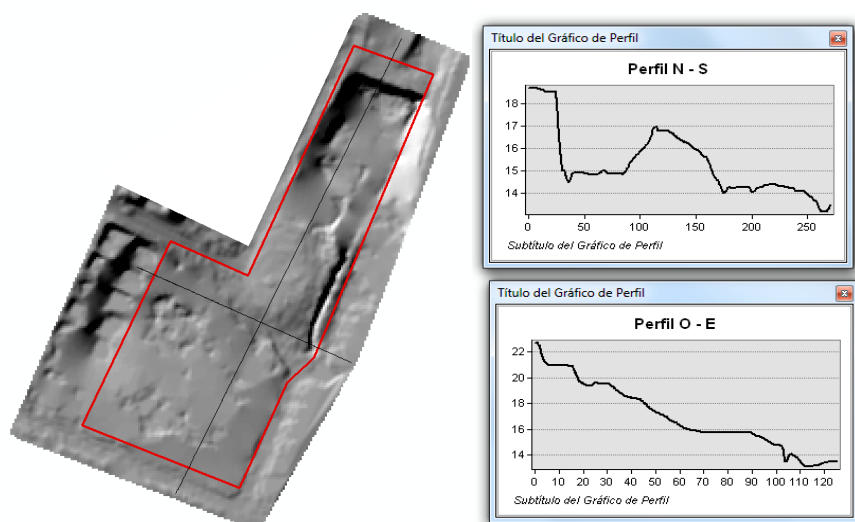


La figura superior muestra el curso de agua presente en el sitio de estudio que fluye en dirección sur y sector de laderas desde el sector norte del terreno en estudio, el uso del sitio se asocia a un sitio eriazos en un 50% y el 50% restante corresponde a un área verde.

Es importante señalar que en el trabajo de Actualización del Plan Maestro de Aguas Lluvias se identificó una zona apozamiento en la intersección de Los Pueles con la Avenida Los Robles según el Serviú de la región. Se determinó que esta situación se desarrollaba en las calzadas de la intersección sin afectar parte del sitio de estudio.

El Levantamiento Topográfico: 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 35%). 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 Nº 11 Levantamiento Topográfico del Sitio



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:



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

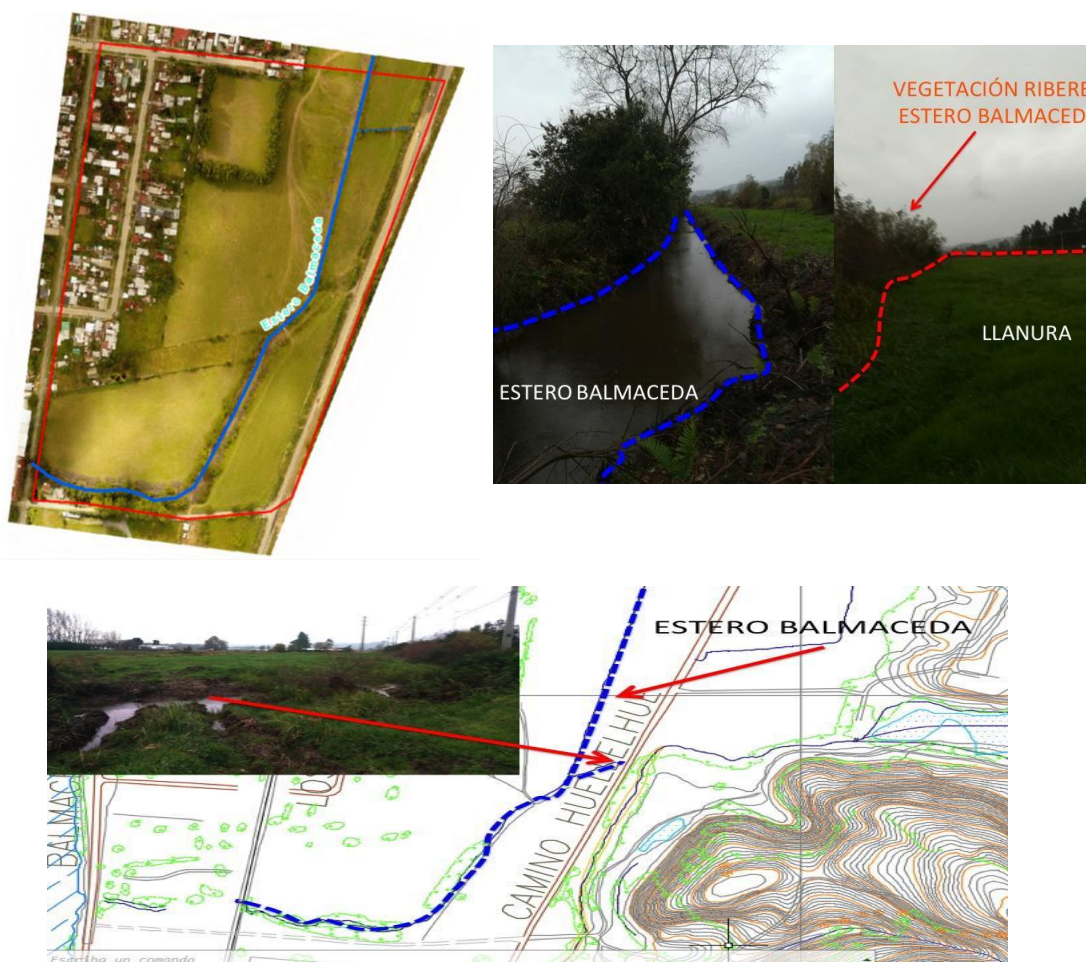
El sector Collico se encuentra ubicado en la parte norte de la ciudad de Valdivia, específicamente al Norte de la Calle Demmer, al sur de la calle Matta, Al Oriente de la Línea Férrea y al Poniente de la Avenida Circunvalación Oriente.

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

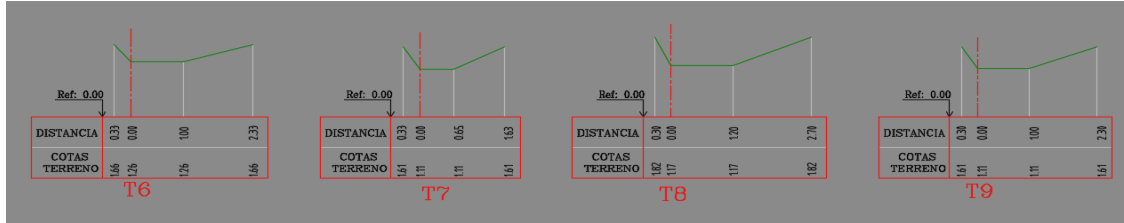
Se observó además que en la zona norte del sitio existe parte de un antiguo humedal de mayor extensión el cual actualmente en época invernal se asocia a sectores con saturación de suelos, lo cual fue determinado a partir de la visita a terreno y ratificado como una zona de baja altura según lo establecido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

Imagen Nº 12 Situación actual del sitio



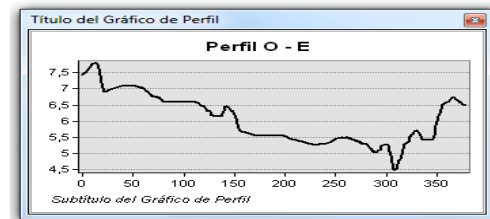
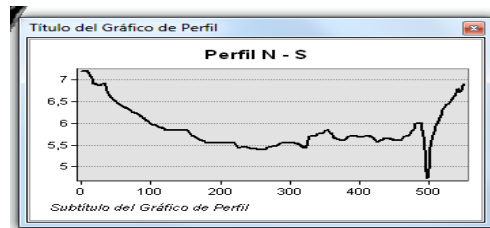
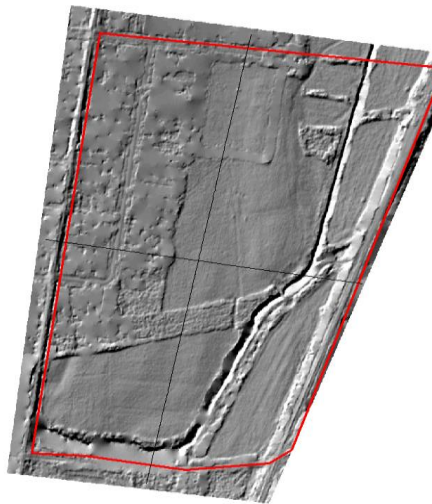
El estero Balmaceda se extiende tiene una longitud de 720 metros en el sitio de estudio. El curso

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.

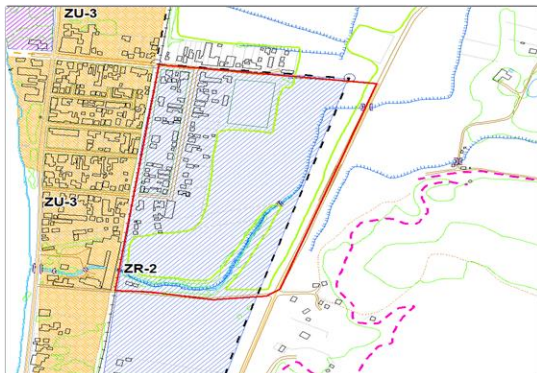


El levantamiento Topográfico: en general muestra el sitio plano sin variantes significativas en altura y con pendientes constantes que no superan el 9%. Se observan partes de menor altura en la zona norte (asociado a zonas saturadas y estero). El elemento que resalta en este sitio corresponde al cauce del estero Balmaceda que cruza el sitio de norte a sur poniente.

Imagen Nº 13 Levantamiento Topográfico del Sitio



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:



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 Interurbana y comunal.

Sector 5: Kramher

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.

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 Nº 14 Series de tiempo Terreno Kramer 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

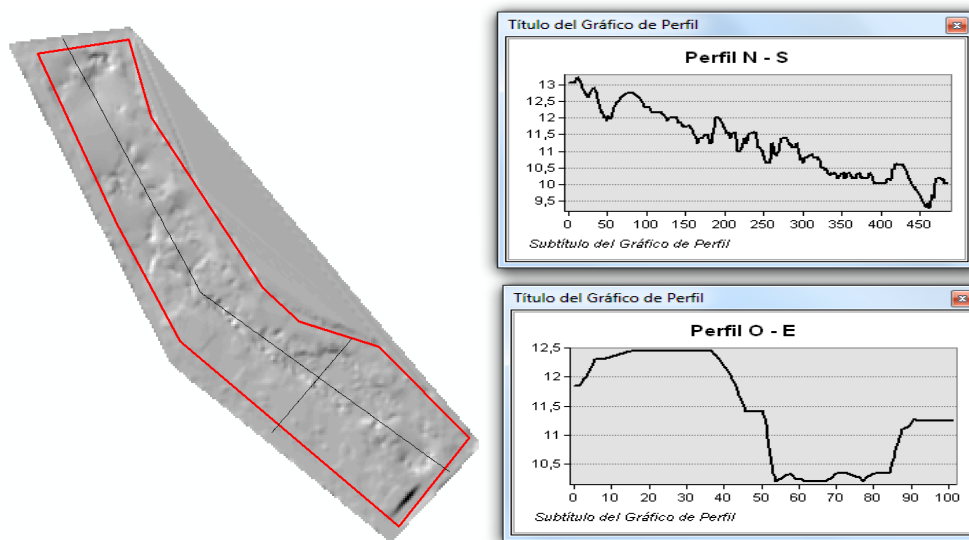


Imagen Nº 15 Situación actual

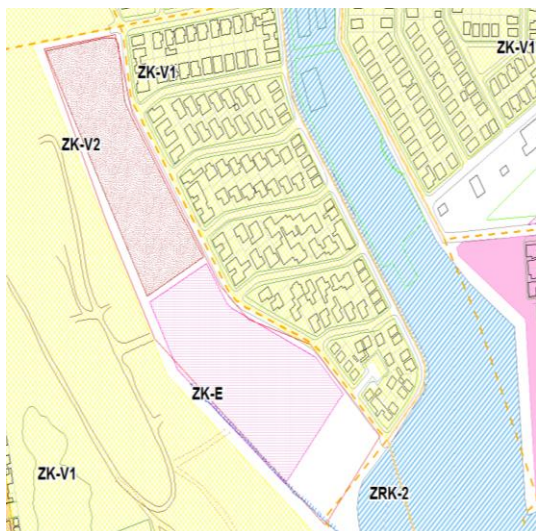


Levantamiento Topográfico: muestra el aterrazamiento en 2 niveles. La terraza superior corresponde a una zona rellena en la parte sur poniente del sitio, estabilizada con un pretil. La terraza inferior corresponde a la llanura del humedal alimentada por el estero presentando una clara definición debido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

Imagen Nº 16 Levantamiento Topográfico



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



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.

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 N° 17 Sector Arica y entorno natural



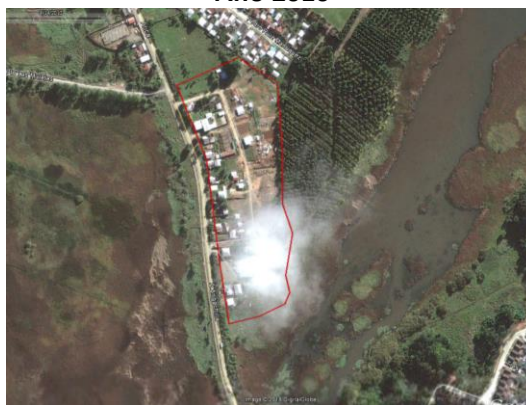
EL sitio se asocia a una llanura de inundación del afluente del río Valdivia y la llanura del humedal río Guacamayo, aunque en la actualidad se encuentren divididos por las Avenidas Angachilla y Guacamayo. Según se registra en imágenes (Google earth) desde el año 2005, el humedal ha sido fuertemente 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 N° 18 Series de tiempo sector Arica 2005-2018

Año 2005



Año 2010



Año 2015

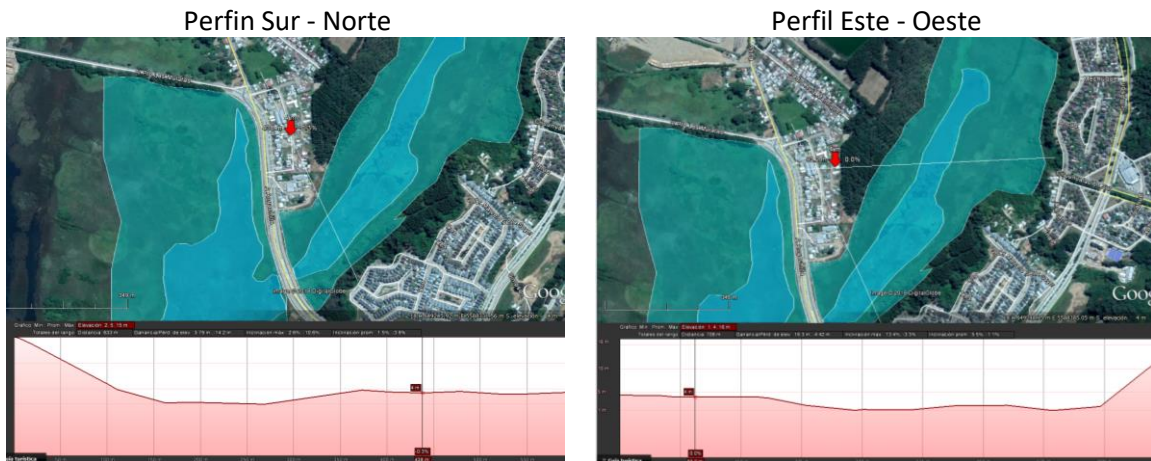


Año 2018



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 N° 19 Perfiles de terreno sector Arica



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

Imagen N° 20 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.

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:



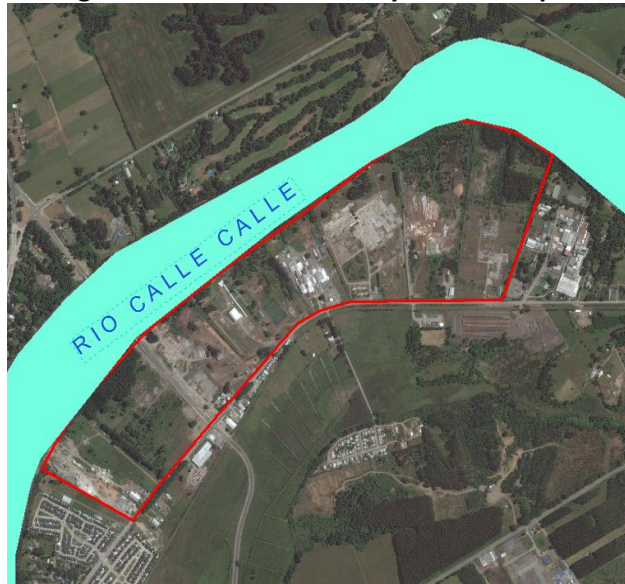
El Plan Regulador Comunal Vigente establece, en la mayoría del sitio, como ZR-2 Zonas de Riesgos de Inundación, permitiéndose los siguientes usos: Equipamiento del tipo Áreas Verdes, de escalas Íterurbana y comunal. Existe una superficie menor en la parte norte del sitio una Zona ZU-6, que permite los 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.

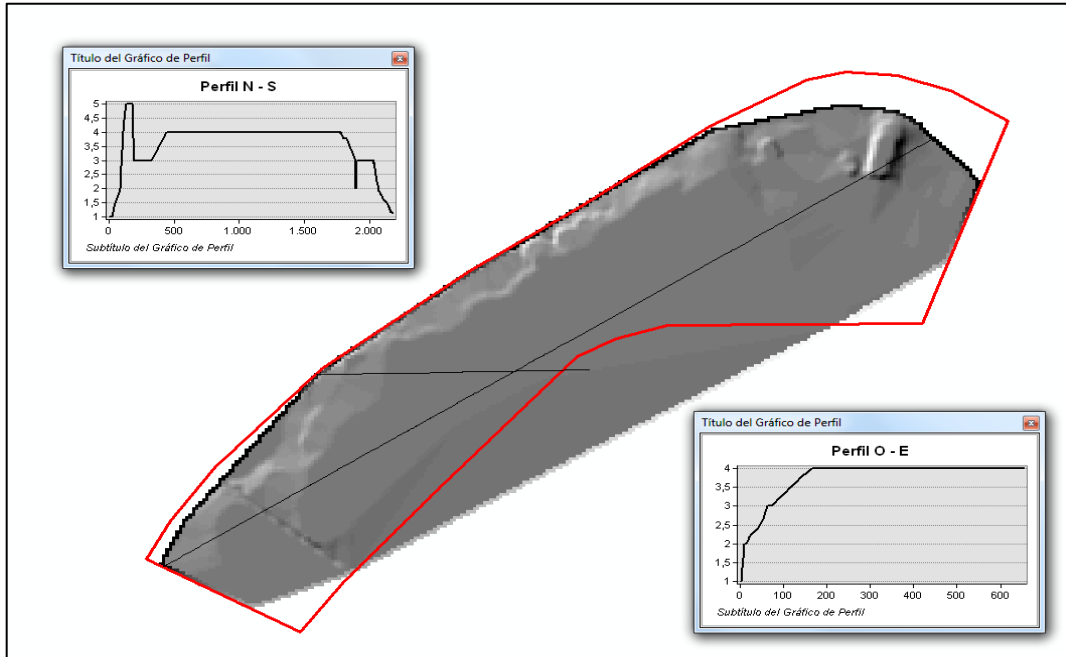
Cursos de Agua: Respecto a los cuerpos de agua, se observa que el río Calle Calle se ubica en el costado norte del sitio.

Imagen Nº 21: Río Calle Calle y sitio Chumpullo.



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 Nº 22 Levantamiento Topográfico



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



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

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.

7.1 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.

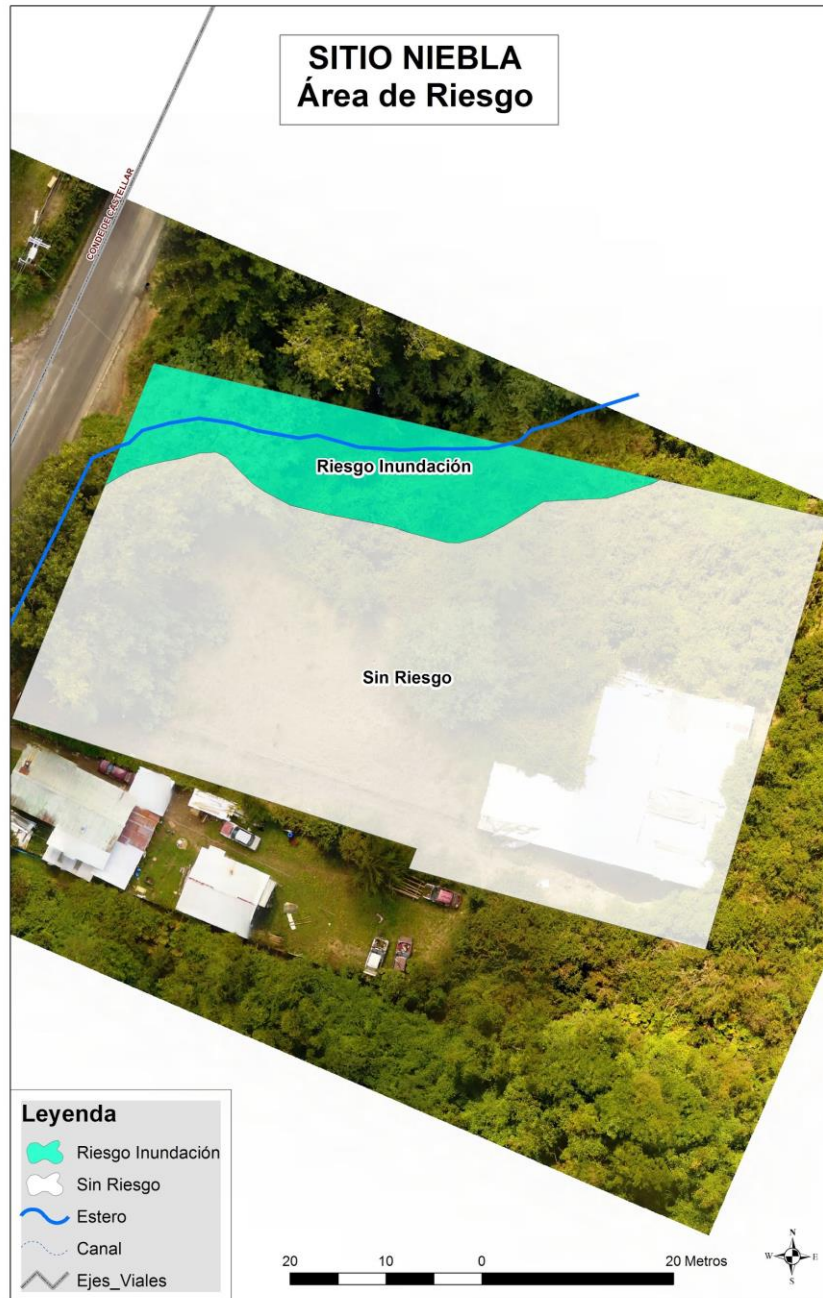
En este contexto, se definirán como áreas de riesgo de inundación a partir de la superposición de información los siguientes elementos:

- 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.

7.1.1 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.



7.1.2 Isla Teja

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.



7.1.5 Collico

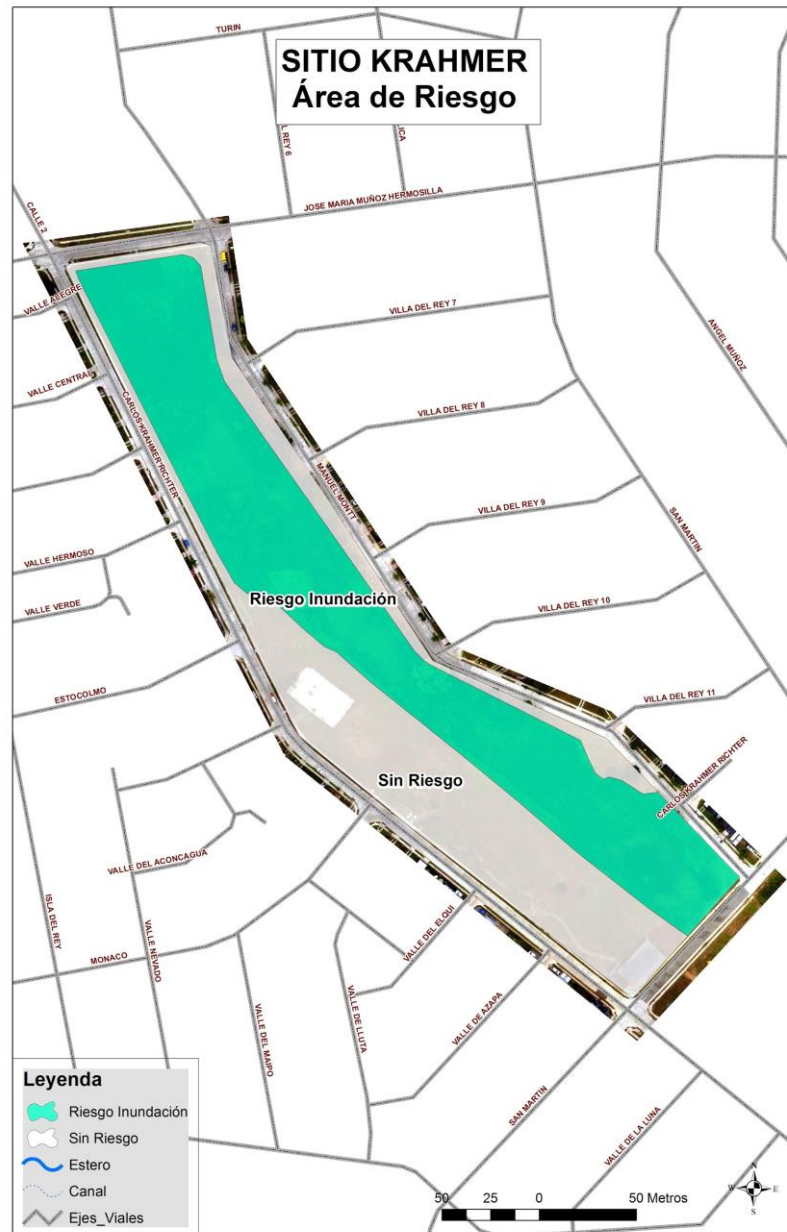
En el sitio Collico se identificó un área con riesgo de inundación en el sector Nororiente asocia al cauce del Estero Balmaceda, que alcanza una superficie total de 62.637 m² (35% del área total del sitio).

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



7.1.4 Krahmer

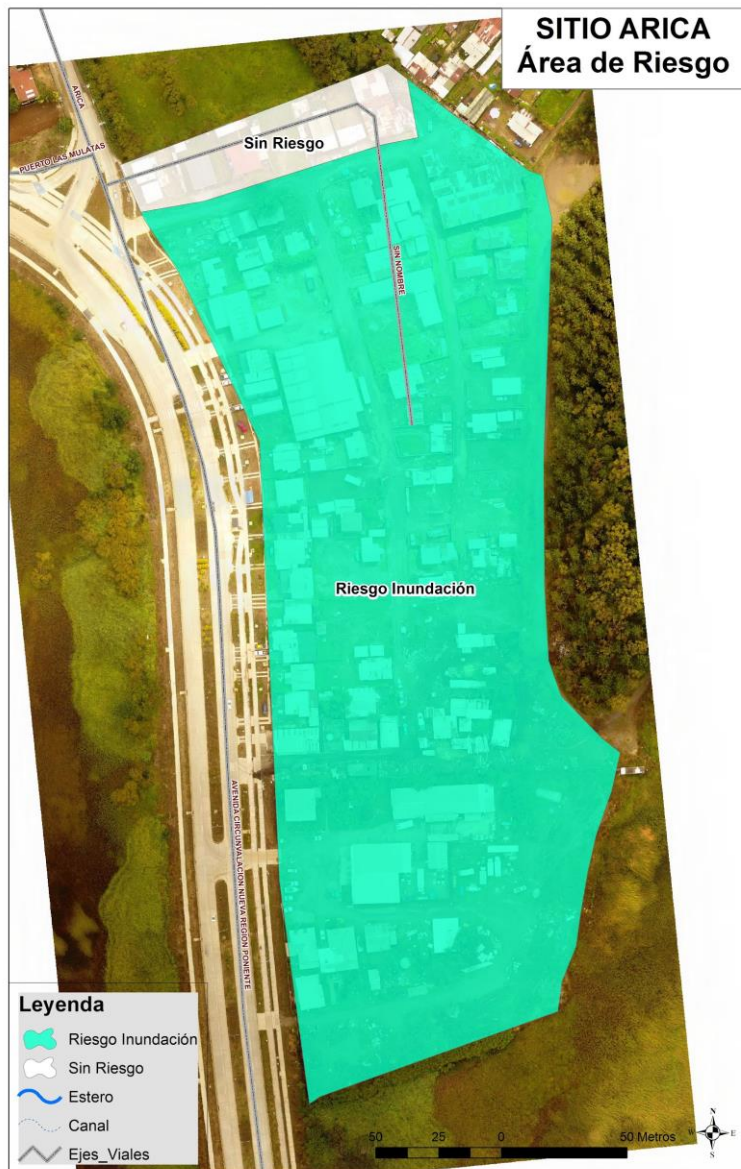
En el sitio Krahmer se identificó un área con riesgo de inundación que alcanza una superficie de 19.848,8 m² (56% del área total del sitio), correspondiente estero y el humedal existente en la llanura de inundación.



7.1.3 Arica

En el sitio Arica se identificó un área con riesgo de inundación por saturación de suelos en casi su totalidad alcanzando una superficie de 44.291,5 m² (93% del área total del sitio), correspondiente a la llanura de inundación del humedal del afluente del río Valdivia.

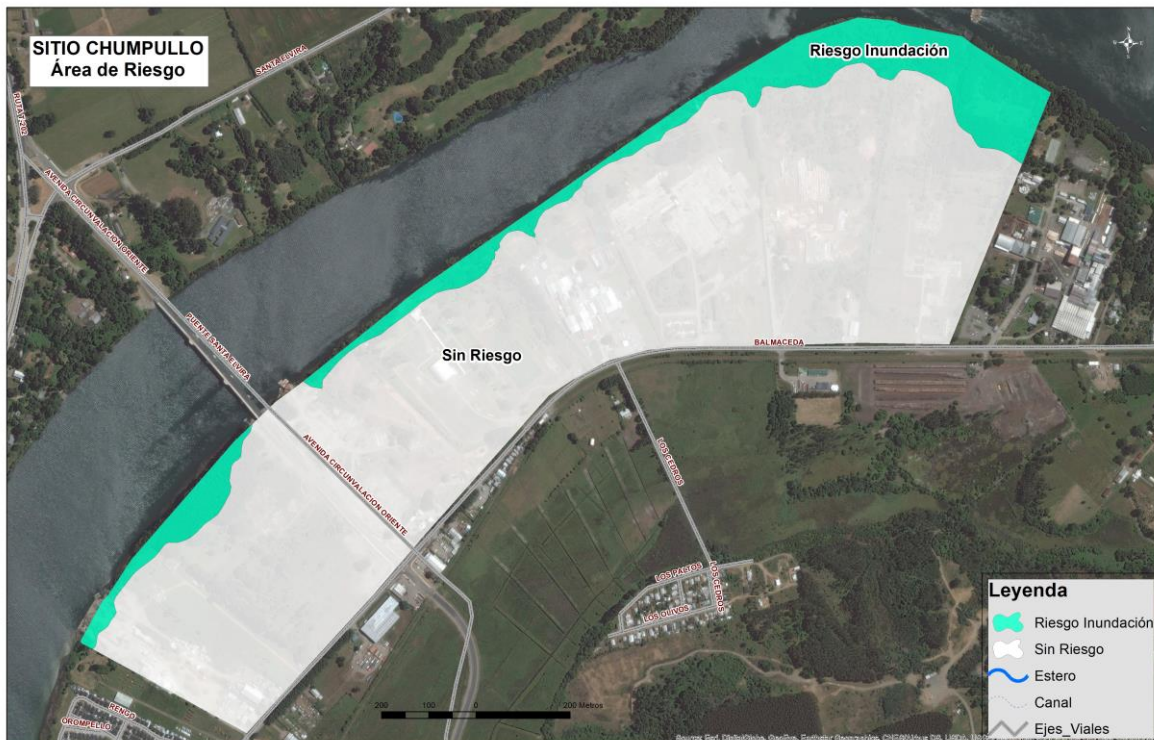
Por tanto, se mantiene el área de riesgo de inundación establecido en el PRC vigente.



7.1.6 Chumpullo

En el sitio Chumpullo se identificó un área con riesgo de inundación en el sector Norte, correspondiente al límite del sitio con el río Calle Calle, donde se consideró la cota de inundación 1 metro a partir del cauce del río Calle Calle, según el aumento de caudal en situación de crecidas extrema determinado en el Plan Maestro de aguas Lluvias. La superficie del área de inundación es 130.549,6 m² (12,6% del área total del sitio).

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.



7.3 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

8. 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* (2003), 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).