



**ILUSTRE
MUNICIPALIDAD DE
VALDIVIA**

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

PRC DE VALDIVIA VIGENTE (1988 Y ACTUALIZACIONES)

**MODIFICACIÓN POBLACIÓN ARTURO PRAT
MODIFICACIÓN POBLACIÓN LOS JAZMINES**

**UNIDAD DE ASESORÍA URBANA Y DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION TERRITORIAL
SECPLAN**

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | UBICACIÓN ÁREA ESTUDIO | 3 |
| 2. | OBJETIVOS | 3 |
| 3. | ALCANCES Y LIMITACIONES..... | 4 |
| 4. | MARCO JURÍDICO | 4 |
| 5. | METODOLOGÍA..... | 5 |
| 5.1 | ANÁLISIS DE AMENAZAS GEOFÍSICAS..... | 6 |
| 5.2 | ANÁLISIS DE INUNDACIÓN FLUVIAL Y CUENCAS HIDROGRÁFICAS | 6 |
| 5.2.1 | Generación de modelo de susceptibilidad de inundación fluvial | 7 |
| 6. | ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN RESULTADOS | 10 |
| 6.1 | RIESGOS GEOFÍSICOS..... | 10 |
| 6.1.1 | Antecedentes históricos – Terremotos tsunamigénicos | 10 |
| 6.1.2 | Antecedentes históricos – Procesos de remoción en masa por inestabilidad de ladera 11 | |
| 6.1.3 | Caracterización Geológica de Valdivia. | 14 |
| 6.1.4 | Análisis de eventos geofísicos - Terremotos y Remoción en masa..... | 16 |
| 6.1.5 | El rol de la biodiversidad en la contención de las amenazas naturales. | 22 |
| 6.2 | RIESGOS ASOCIADOS A INUNDACIÓN FLUVIAL..... | 23 |
| 6.2.1 | Análisis Histórico - Áreas de inundación | 24 |
| 6.2.2 | Modelo de Susceptibilidad por Inundación | 26 |
| 6.2.3 | Escenarios de Inundación Fluvial | 26 |
| 6.3 | ANÁLISIS DE RIESGO NATURALES EN ZONAS DE ESTUDIO..... | 32 |
| 6.3.1 | Sector 1: Los Jazmines..... | 32 |
| 6.3.2 | Sector 2: Arturo Prat | 37 |
| 6.4 | PROPUESTA DE ÁREAS DE RIESGO EN ZONAS DE ESTUDIO. | 46 |
| 6.4.1 | Sector 1: Arturo Prat | 46 |
| 7. | BIBLIOGRAFÍA | 47 |

1. UBICACIÓN ÁREA ESTUDIO

Los sectores analizados corresponden a las poblaciones de Los Jazmines y Arturo Prat, ex campamentos radicados y emplazados dentro de la zona urbana consolidada de la comuna, con cercanía a las vías de acceso principales, y a los bienes y servicios de la ciudad. La imagen N°1 nos muestra su emplazamiento.

Imagen N°1. Emplazamientos sectores de análisis



Fuente: Elaboración propia.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este estudio corresponde a la definición y delimitación de las áreas de riesgo y/o áreas no edificables que deben ser consideradas en la modificación de Plan Regulador vigente, con la finalidad de mitigar los riesgos naturales existentes y entregar factibilidad normativa en ambos sectores, de acuerdo a lo indicado por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

Este estudio se basa en la definición de modelos de susceptibilidad antes una amenaza natural, es decir, se consideran las características físicas del territorio y las variables naturales que incrementan o mitigan la ocurrencia de un evento. Se realiza a partir de la superposición de capas de información y el análisis multicriterio de cada variable, asignado un peso o grado de importancia a cada una de ellas, de acuerdo a información secundaria y al análisis histórico existente de cada amenaza analizada.

4. MARCO JURÍDICO

De acuerdo a lo indicado por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones en su artículo 2.1.17, se indica que en los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro 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 aquéllas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias.

Por **“áreas de riesgo”**, se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos. Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un estudio fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, cuando corresponda. Este tipo de proyectos podrán recibirse parcial o totalmente en la medida que se hubieren ejecutado las acciones indicadas en el referido estudio. En estas áreas, el plan regulador establecerá las normas urbanísticas aplicables a los proyectos una vez que cumplan con los requisitos establecidos en este inciso.

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

Las **“áreas de riesgo”** se determinarán en base a las siguientes características:

- Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.

- Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
- Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
- Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

5. METODOLOGÍA

Este estudio se basa principalmente en fuentes secundarias oficiales de información, registros históricos existentes y trabajo en terreno, particularmente de los sectores en estudio.

El análisis a nivel de amenazas se realiza en un contexto general, considerando como límite de estudio el área urbana y periurbana de Valdivia, en base al patrón de crecimiento de la ciudad y a las áreas de expansión donde se han consolidado nuevos asentamientos humanos, así como el borde río y borde mar hasta la localidad de Curiñanco. Esto con la finalidad de evaluar en un ámbito global los riesgos presentes en Valdivia de acuerdo a los análisis históricos y revisión bibliográfica, para luego ahondar específicamente en las áreas de estudio.

Imagen N°2. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

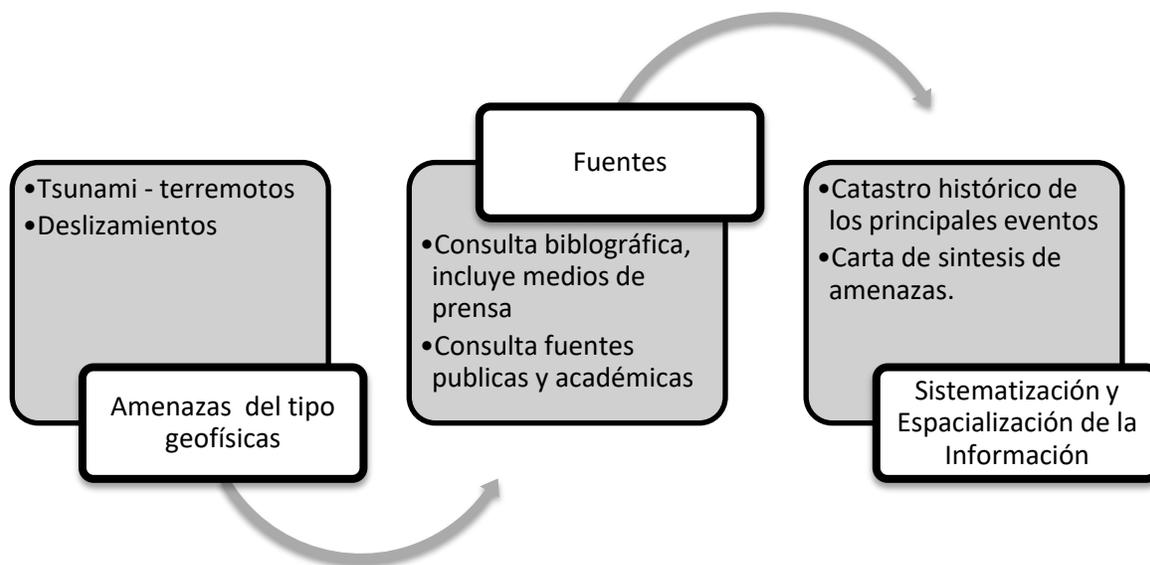
5.1 ANÁLISIS DE AMENAZAS GEOFÍSICAS

Para este tipo de amenaza se consideraron como fuentes secundarias; estudios, libros e informes técnicos provenientes de instituciones vinculadas en la materia, como la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI), el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), la Universidad Austral de Chile (UACH), la I. Municipalidad de Valdivia y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo; entre otros.

Por otro lado, se realizó un análisis histórico de los eventos asociados a sismo – tsunami génicos, desde el año 1575 a partir de relatos bibliográficos, profundizando con mayor detalle en los últimos 50 años de historia de desastre. El objetivo es evaluar los territorios afectados y los períodos de recurrencia.

En relación a lo eventos analizados se consideraron aquellos generados por la geodinámica interna, como los terremotos y tsunamis, así como aquellos producidos por procesos de remoción en masa, como los deslizamiento y flujos de detritos.

El flujo metodológico de esta amenaza se presenta en el siguiente diagrama:



5.2 ANÁLISIS DE INUNDACIÓN FLUVIAL Y CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La inundación por efecto fluvial, es uno de los eventos naturales más comunes que puede afectar al hombre, infraestructuras y medio ambiente, sin embargo, también existen inundaciones causadas por otros procesos, como el sobre flujo en estuarios debido a mareas altas potenciadas con fenómenos climáticos adversos, por falla o rebalse de presas, entre otros (Barrientos & Pomés 1993).

Según Mardones & Vidal (2001), se entiende por inundación fluvial a la ocupación de un territorio por parte de un sistema fluvial debido al escurrimiento descontrolado producto de las crecidas. En este tipo de procesos los riesgos más significativos están vinculados al aumento de caudal y sus consecuencias en los espacios aledaños ocupados por el agua. La frecuencia de las inundaciones dependerá principalmente del clima, del material de las riberas del río y la pendiente del canal (Barriendos & Pomés 1993).

Ahora bien, para analizar el comportamiento histórico de esta amenaza, se realizó una recopilación bibliográfica en base al registro de prensa e informes oficiales, que datan de los efectos de los eventos, número de damnificados, pérdidas materiales y de infraestructura; y recurrencia. Se revisó la documentación en base al Diario Austral entre los años 1960 al 2013.

Por otro lado, se analizaron las cuencas de río Valdivia y del río Cruces, en relación al área (capacidad de colectar agua), la forma de la cuenca (relación área perímetro, condiciona la dinámica hidrológica de la cuenca), curva hipsométrica (relieve y respuesta hidrológica) y la densidad del drenaje (relación entre la longitud de la red y el área). Con la finalidad de evaluar el comportamiento hídrico de la cuenca y sus impactos respecto a eventuales crecidas del curso de agua.

5.2.1 Generación de modelo de susceptibilidad de inundación fluvial

Las áreas de inundación se definieron en base a las condiciones de desborde debido a las concavidades de los meandros en condiciones de terrazas bajas y extensas y al análisis de factores del medio físico (geomorfología, geología, cobertura y estructura vegetal, distancia curso de agua, entre otros).

En este sentido, para analizar las condiciones geológicas y geomorfológicas del área de estudio se consideró como fuente secundaria la digitalización de la carta Geológica y/o carta Geomorfológica disponible del área de Valdivia del SERNAGEOMIN, a través del procesamiento de la información usando el software ArcGis, en el cual se delimitaron en detalle las unidades geológicas establecidas. Además, se realizaron visitas a terreno con la finalidad de corregir o complementar información con énfasis en los sectores de depósitos potencialmente susceptibles a sufrir procesos hidrometeorológicos.

Ahora bien, para generar los modelos de susceptibilidad¹ de inundación, se definió una matriz de evaluación que se divide en cuatro niveles diferenciales, comenzando desde un nivel nulo de susceptibilidad hasta un nivel alto, expresados numéricamente del 1 al 4. Los factores son definidos, estandarizados y superpuestos en formato raster con pixel de tamaño 2 * 2 m y luego agregados a través de una sumatoria lineal ponderada con la herramienta Raster Calculator del software SIG de ArcGIS.

¹ Susceptibilidad se entiende como las características físicas de un territorio considerando sólo las variables naturales que incrementan o mitigan la ocurrencia de un evento natural.

Conceptualmente, la evaluación de la susceptibilidad, considera:

- La cartografía de los procesos en el área de estudio, identificados a partir de la revisión de registros históricos, bibliográficos y su constatación en terreno.
- Evaluación determinística de la susceptibilidad de manifestación a partir de un conjunto de criterios, tales como factores geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, entre otros.

Ahora bien, algunos de los factores que condicionan este tipo de procesos según Ayala-Carcedo & Olcina (2002) y Ayala-Carcedo et al. (2007) son:

- Las condiciones meteorológicas, principalmente las relacionadas al comportamiento de las precipitaciones.
- Las características geológicas y geomorfológicas, en particular las condiciones de pendiente, litología, tipos de suelo y unidades geomorfológicas presentes.
- Las características morfológicas de la cuenca, en especial lo referente a su respuesta hidrológica, ya que puede actuar como un agente de intensificación o bien de mitigación frente a un evento detonador.

En este sentido y considerando los antecedentes bibliográficos existentes se definieron una serie de factores y sub factores que precisan los elementos ya sugeridos por las investigaciones de Mardones & Vidal (2001), Ayala-Carcedo & Olcina (2002), Ayala-Carcedo et al. (2006), de la siguiente forma:

Tabla N°1. Matriz de Evaluación Susceptibilidad de Inundación

| W (f) ij | Subfactor | W (sf) ij | Fuente | Nulo | Mínimo | Medio | Alto |
|----------|---|-----------|------------------------------------|--|--|---|--|
| 35 | Material parental | 45 | SERNAGEOMIN | | Granitoides (Msd - Msd1 - PzTrbma - PzTrbmb) | Depósito aluvial (PIHf - Plfea - Plfeb) | Depósito fluvial (Hp - Humedal - Río - Laguna) |
| | Clase de Drenaje | 55 | CIREN | Excesivamente drenado | Bien drenado | Drenaje moderado | Muy pobremente drenado - Pobremente drenado - Drenaje imperfecto |
| 10 | Unidad geomorfológica | 60 | Elaborado por LPT-UCT ² | Cordón montañoso, plataformas (Msd - Msd1 - PzTrbma - PzTrbmb) | Llanura fluvial - Terraza fluvial superior - Llanura aluvial - Fondos de valle | Llanura fluviomarina - Terraza fluvial media (PIHf - Plfea - Plfeb) | Modelado litoral - Depósito aluvial - Llanura de inundación - Terraza inferior (Hp - Humedal - Río - Laguna) |
| | Pendientes | 40 | Elaborado por LPT-UCT | >30° | 20 - 30° | 5 - 20° | 0 - 5° |
| 55 | Distancia a la red hídrica permanente (m) | 30 | Elaborado por LPT-UCT | | > 200 | 30 - 200 | 0 - 30 |
| | Distancia a la red hídrica estacional o canal (m) | 10 | Elaborado por LPT-UCT | | > 4 m | 2 - 4 m | 0 - 2 m |
| | Diferencia de altura desde curso de agua (m) | 60 | Elaborado por LPT-UCT | > 6 m | 3 - 6 m | 2 - 3 m | 0 - 2 m |

Fuente: Elaboración propia, en base a estudios especiales del Plan de Acción ICES – BID (2015)

² LPT-UCT: Laboratorio de Planificación Territorial – Universidad Católica de Temuco

5.2.2 Elaboración escenarios de inundación

Para la elaboración de los distintos escenarios de inundación se utilizó como información base:

- Actualización Plan Maestro de Aguas Lluvias Valdivia, región de los Ríos, DOH – MOP
- Estudio, Análisis de eventos hidrometeorológicos extremos en el país, caudales máximos y mínimos; Manual de Procedimientos de la DGA.
- Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información pluviométrica, DGA, 1995

El modelo utilizado es de aplicación nacional y presenta un carácter tendencial, es decir, no incluye las variaciones futuras de cambios en las precipitaciones producto del cambio climático.

Finalmente, para los escenarios de inundación fluvial:

- Se calcularon las crecidas y los caudales mínimos; para las crecidas, se estimaron caudales máximos en período pluvial.
- Para las crecidas pluviales se establecieron relaciones destinadas a estimar el caudal medio diario máximo asociado al período de retorno 10 años; y a coeficientes de frecuencia para estimar caudales de otros períodos de retorno.
- Para la determinación de los caudales, se utilizó como fuente de información los antecedentes de morfología de cuencas.

6. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN RESULTADOS

6.1 RIESGOS GEOFÍSICOS

6.1.1 Antecedentes históricos – Terremotos tsunamigénicos

Chile posee una extensa historia sísmica que data desde 1570, a través de registros realizados por los colonos españoles, época desde la cual se han reportado 110 terremotos sobre Mw 7.0, de los cuales 11 de ellos han afectado de manera directa e indirecta al centro sur de Chile; y cinco de ellos han dejado consecuencias en la ciudad de Valdivia y sus alrededores, como son los ocurridos los años 1575, 1737, 1837, 1960 y 2010.

Uno de los eventos más recordados corresponde al año 1960, debido a su magnitud de 9,5 Mw y posterior tsunami que afectó las costas de Valdivia y Corral, y las riberas de los ríos Calle Calle, Valdivia y Angachilla. Produjo el hundimiento de la ciudad en 2 mts y provocó una altura promedio de ola de tsunami de 10 mts que afectó el litoral. Además, el hundimiento del terreno provocó que el río aumentara su ancho en las zonas donde las riberas son más bajas, aumentando las zonas de humedales en la ciudad y cercanías a ésta. Otro efecto del terremoto fue la obstrucción del desagüe del Lago Riñihue, evento conocido como Riñihuazo, generando una importante inundación en junio 1960 que afectó el sector de Barrios Bajos y Miraflores.

La alta sismicidad que presenta el área se encuentra vinculada a la posición del país en el cinturón de Fuego del Pacífico, zona que presenta una gran actividad sísmica y volcánica al estar situada sobre la placa sudamericana, en su borde occidental, donde convergen y generan zonas de subducción las

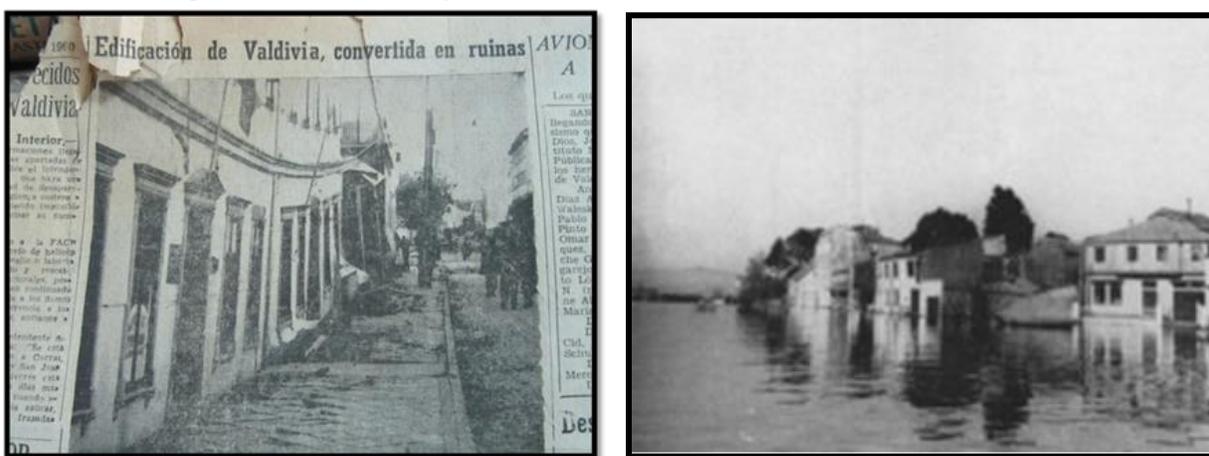
placas de Nazca y Antártica, en tanto que la placa de Scotia se desliza horizontalmente respecto a la placa Sudamericana.

Estas interacciones producen una gran deformación del continente Sudamericano, y generan terremotos en todo Chile. Debido a la alta velocidad de convergencia entre Nazca y Sudamérica, la sismicidad en esa zona es la más intensa y produce los mayores terremotos en el país.

La historia sísmica de Valdivia, pone de manifiesto que son los barrios históricos los más afectados; el Centro, Barrios Bajos, Las Ánimas, Beneficencia y la ribera del río Angachilla, debido a que sus suelos de fundación se caracterizan por ser antiguos humedales que fueron rellenados artificialmente y están conformados por sedimentos naturales provenientes del río (arena, grava, arcilla, etc) lo cual favoreció la amplificación sísmica, evidencia de esto los graves efectos sobre la infraestructura.

En tanto las localidades costeras de la comuna, como Punta Curiñanco, Punta Loncoyen y Niebla fueron totalmente destruidas.

Fotografía N°1. Destrucción por efecto del terremoto 1960 en la ciudad de Valdivia.



Fuente: Diario Austral de Valdivia, mayo 1960.

6.1.2 Antecedentes históricos – Procesos de remoción en masa por inestabilidad de ladera

Los cerros de Niebla han sufrido numerosos eventos de remoción en masa debido a la alta intervención antrópica y a las características propias de su conformación geológica.

Se advierte que desde la época de colonización se ha extraído la piedra canchagua para la construcción de fortificaciones españolas y en la actualidad la extracción de minerales, el ensanchamiento de la ruta T-350, los eventos sísmicos y principalmente la ocupación ilegal de terrenos para vivienda, ha incrementado el nivel de peligrosidad a la inestabilidad de la ladera. Es posible evidenciar la ocurrencia de una serie de deslizamientos, flujos de detritos y caída de rocas en el camino a Niebla.

Fotografías N° 2. Efectos deslizamiento y caída de rocas, año 2013, camino a Niebla



Fuente: Diario Austral de Valdivia

La alta inestabilidad de la ladera que posee el sector del camino Valdivia – Niebla, caracterizado por la conformación geológica asociada a rocas de basamento metamórfico y a un alto grado de fracturamiento y meteorización, al entrar en contacto con precipitaciones de larga duración e intensidad, no tiene capacidad de retención de agua del suelo. Por otro lado, los suelos con alto contenido de arcillas hidrófilas luego de una lluvia se saturan siendo fácilmente movilizados por la acción de la gravedad. En este caso se encuentran los suelos derivados de la descomposición del granito y de la alteración de algunos estratos de lutitas intercaladas en las rocas Terciarias.

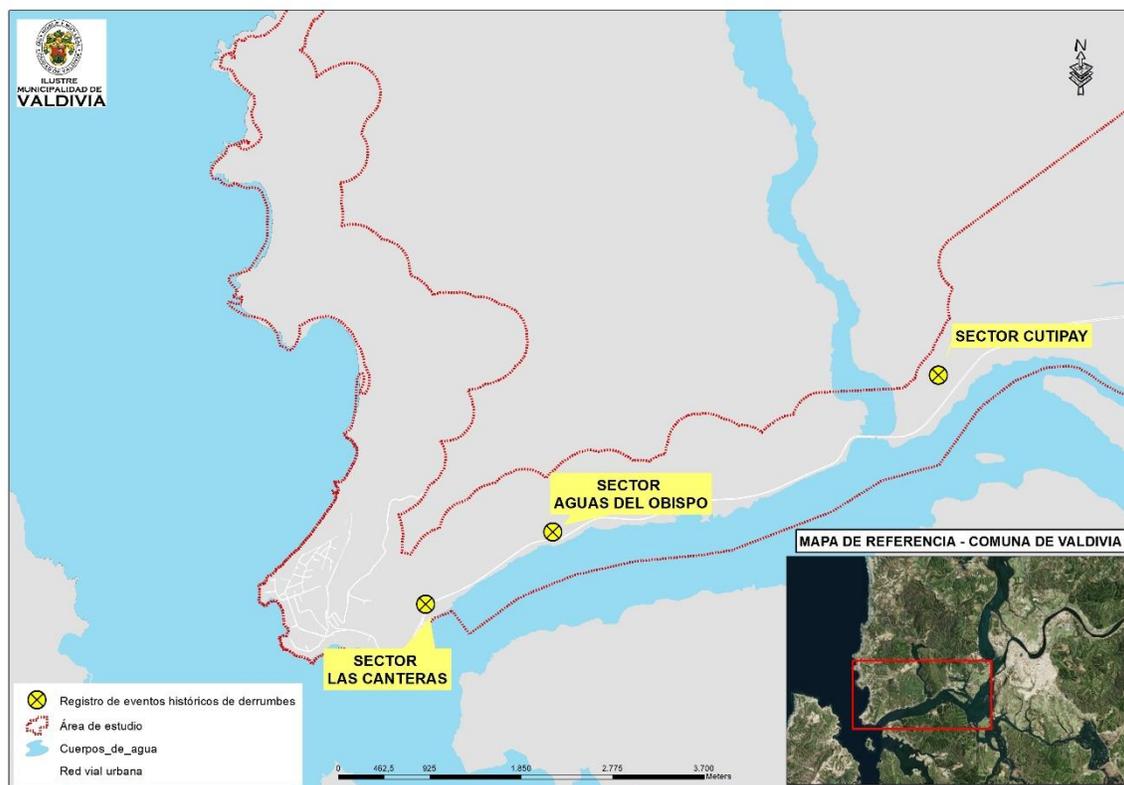
Los principales eventos asociados a remoción en masa se han registrado camino a Niebla, tal como se muestra en la siguiente tabla que resume los hitos ocurridos entre los años 2002 – 2013:

Tabla N° 2: Eventos de remoción en masa acontecidos durante 2002-2013.

| Fecha evento | Características | Causa | Efectos |
|-------------------|---|--|--|
| 02-06-2013 | Pequeño alud de lodo y piedra. | Intensas precipitaciones | Habilitada sólo una vía en la ruta T-350 Valdivia-Niebla, sector Las Canteras. No se registran daños. |
| 31-05-2013 | Deslizamiento de tierra. | Intensas precipitaciones | Habilitada sólo una vía en la ruta T-350 Valdivia-Niebla, sector Las Canteras. |
| 16-01-2013 | Desprendimiento de terreno de rocas, árboles y caída de rocas. 100.000 m ³ de tierra movilizada. | Composición Geológica del terreno | Corte de Caminos Ruta T 350. Familias evacuadas trasladadas que se encuentran en ubicación ilegal. 14 familias afectadas. Plan de mejoramiento de la Ruta a licitar a fines del 2014. Desvíos alternativos, sector torobayo hacia punucapa / Sector Curiñanco. |
| 15-01-2013 | Pequeño desprendimiento controlado. | Composición Geológica del terreno. | No se reportaron daños. |
| 12-12-2012 | Leves desprendimiento de terreno camino forestal Ruta alternativa a Niebla. | Trabajos en la ruta. | No se reportaron daños. |
| 27-02-2010 | Deslizamiento de tierra. | Movimientos sísmicos a raíz del terremoto Mw 8.8 | Habilitada sólo una vía en la ruta T-350 Valdivia-Niebla, sector Las Canteras. |
| 2002-2012 | Durante el periodo 2002-2012, se ha registrado eventos de deslizamientos y derrumbes en la Región de los Ríos, sin embargo no hay reportes que indiquen eventos ni daños en la ciudad y/o comuna de Valdivia. | | |
| 23-11-2002 | 3 derrumbes camino niebla Valdivia. Sector agua del obispo. Sector las canteras. | Altas precipitaciones. Socavones en el terreno. | |

Fuente: Diario Austral de Valdivia

Imagen N°3: Zonas más recurrentes ante eventos de remoción en masa.



Fuente: Elaboración propia, en base a prensa local.

6.1.3 Caracterización Geológica de Valdivia.

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.

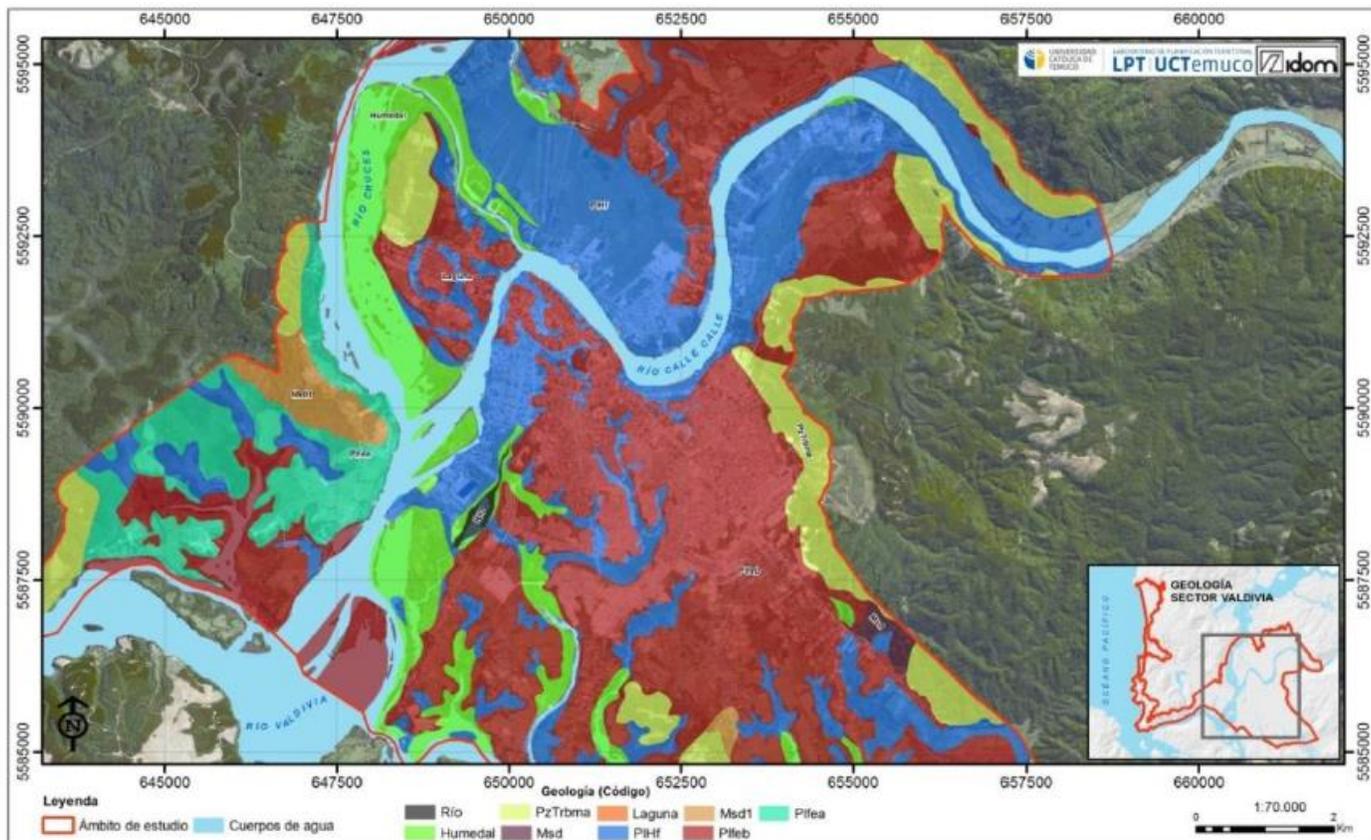
La geología de la zona de Valdivia incluye depósitos cuaternarios de origen glacio-fluvial, fluvioestuarino y litoral, sedimentos marinos y continentales del Mioceno, rocas intrusivas del Cretácico y rocas metamórficas del Paleozoico-Triásico (PLADECO, 2016). La historia geológica de esta zona, a partir 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°4, 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.

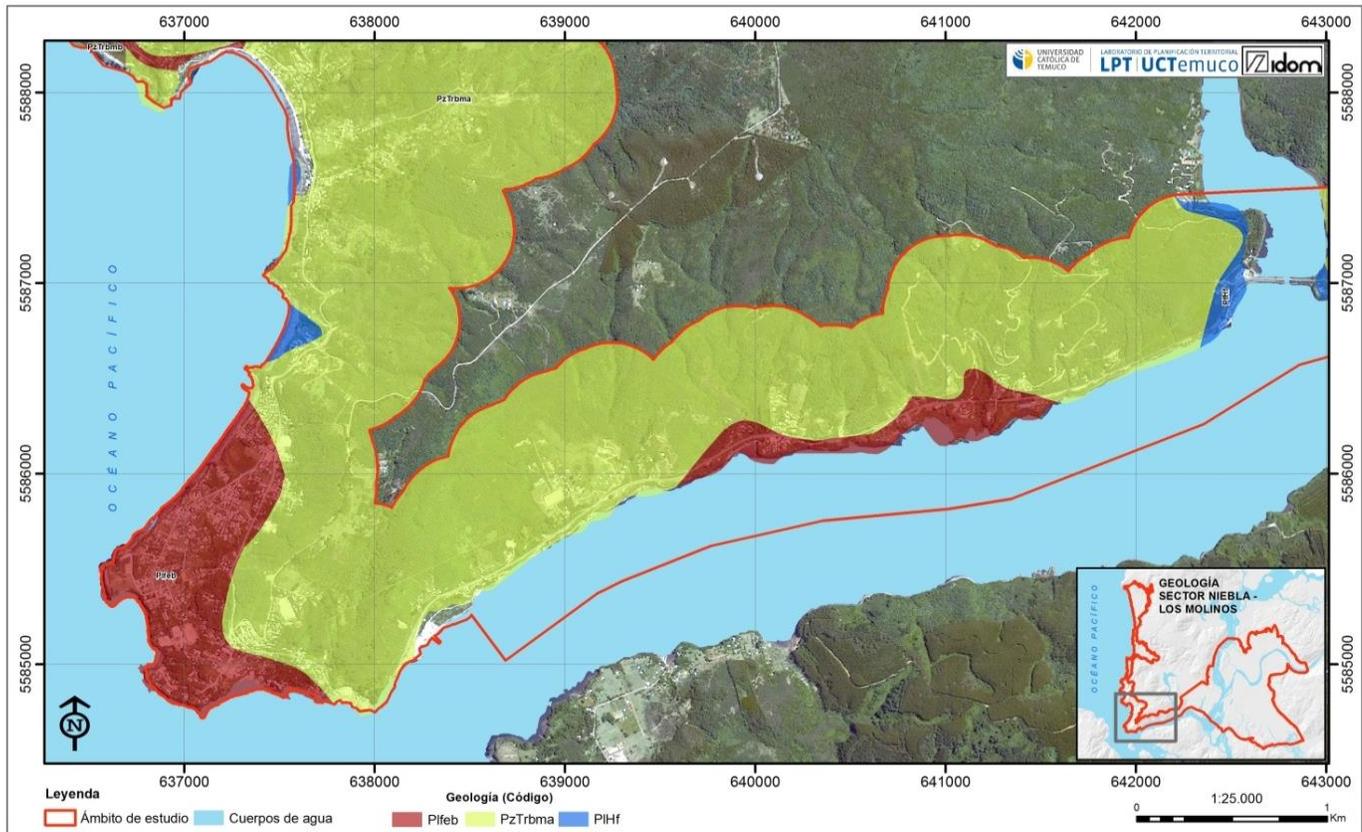
Imagen N°4. Geología Sector Valdivia



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 N°5. Geología Sector Niebla



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

6.1.4 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 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

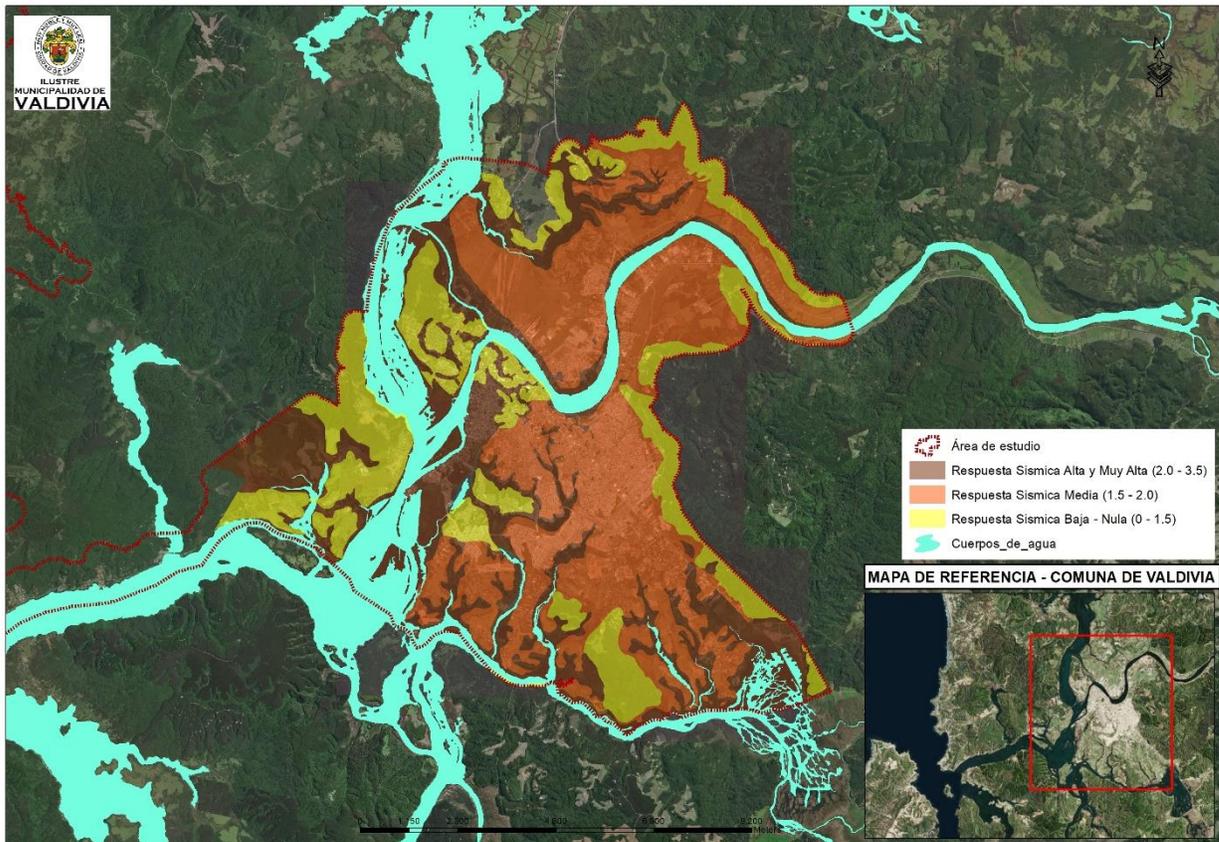
de la existencia y continuidad de una capa de arenisca limosa moderadamente cementada, conocida localmente como Cancagua. Plfe1 presenta una capa más o menos continua, de 0,5 a 2 m de espesor, pudiendo hallarse en algunos sectores más de un nivel de este sedimento. En Plfe2 sólo se ha reconocido localmente 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.

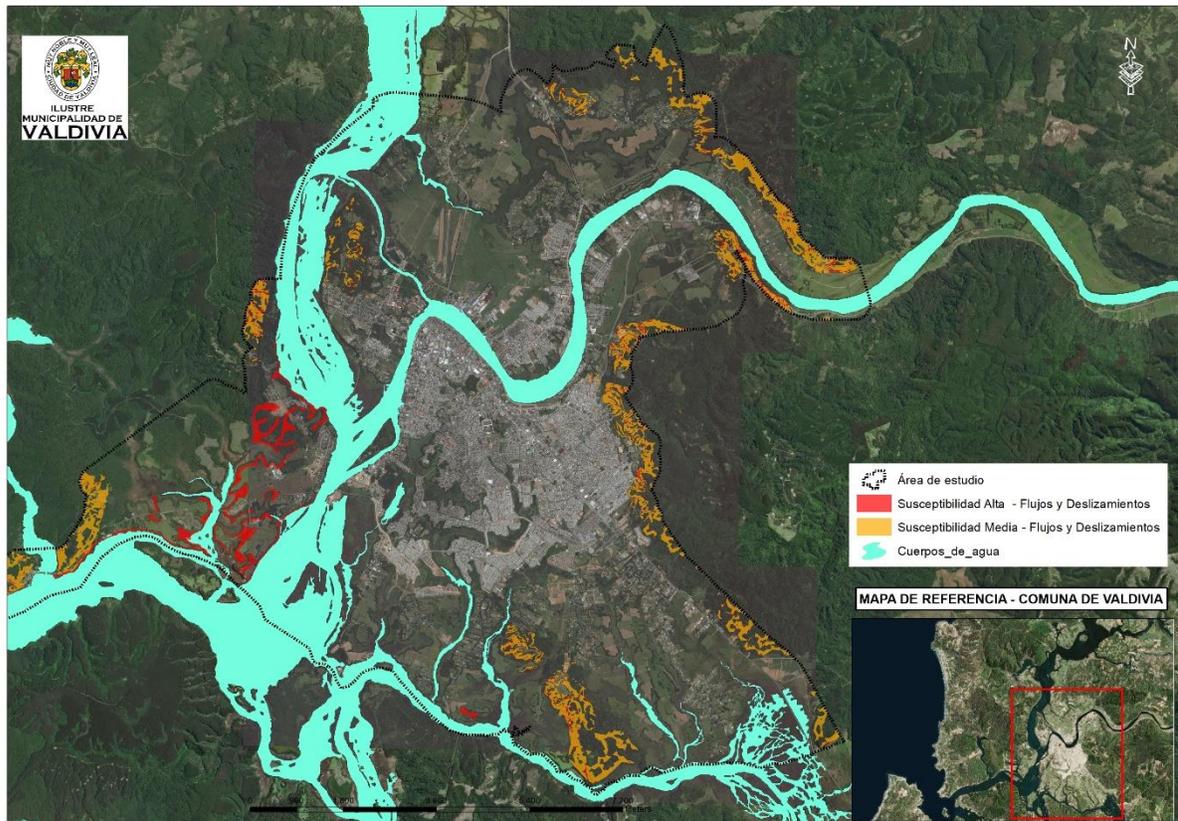
Imagen N°6. Respuesta sísmica (Intensidad de Mercalli)



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

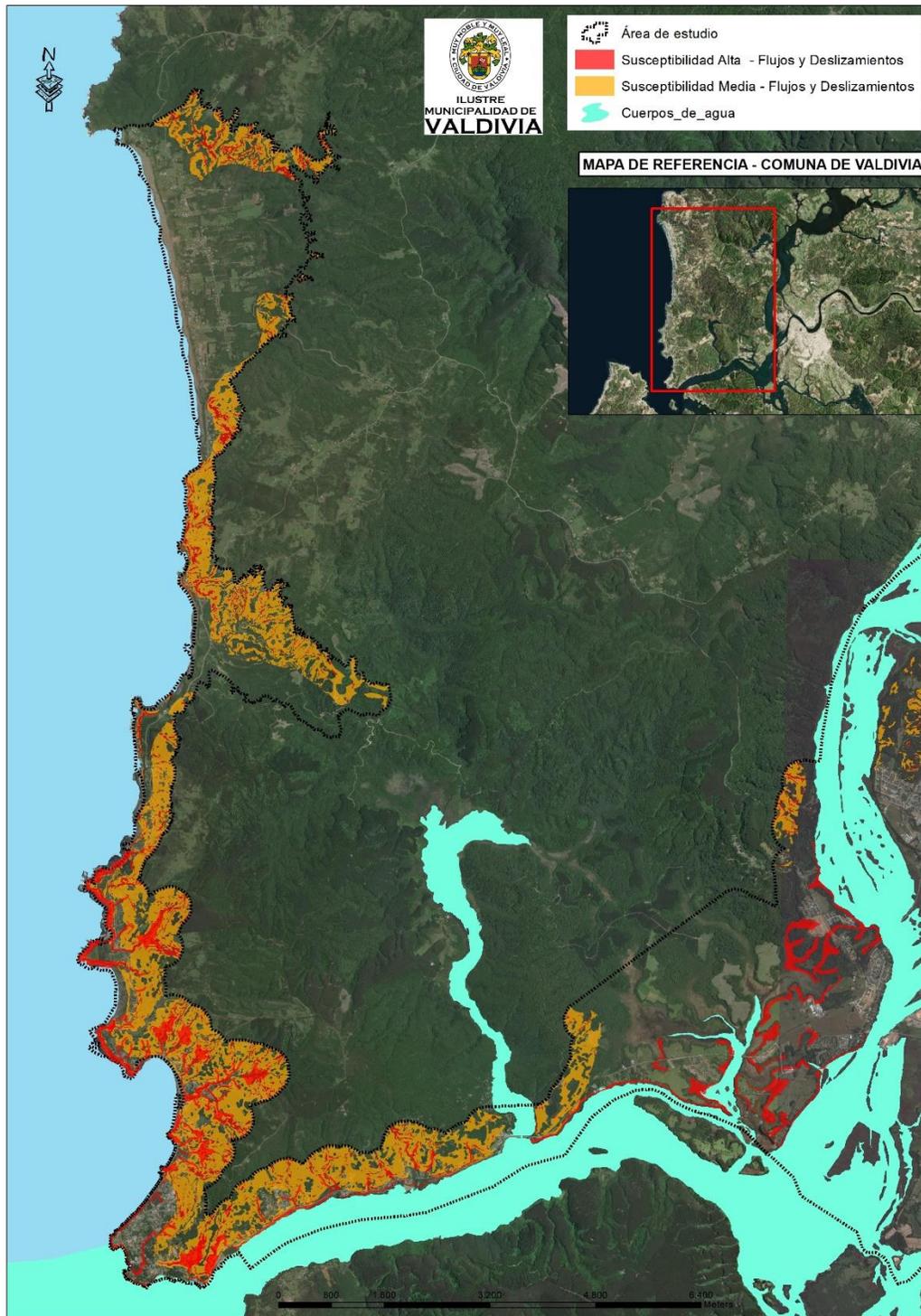
Con respecto a los procesos de remoción en masa que puedan ocurrir, estos se concentran en el camino de Valdivia – Niebla, según modelo basado en el análisis de pendientes ($0^\circ - 14.9^\circ$, $15^\circ - 35^\circ$, $>35^\circ$) y la unidad geológica en relación al material parental metamórfico.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

Imagen N°7. Amenaza por procesos de remoción en masa – Sector Valdivia



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

Imagen N°8. Amenaza por procesos de remoción en masa – Sector Niebla – Curiñanco



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

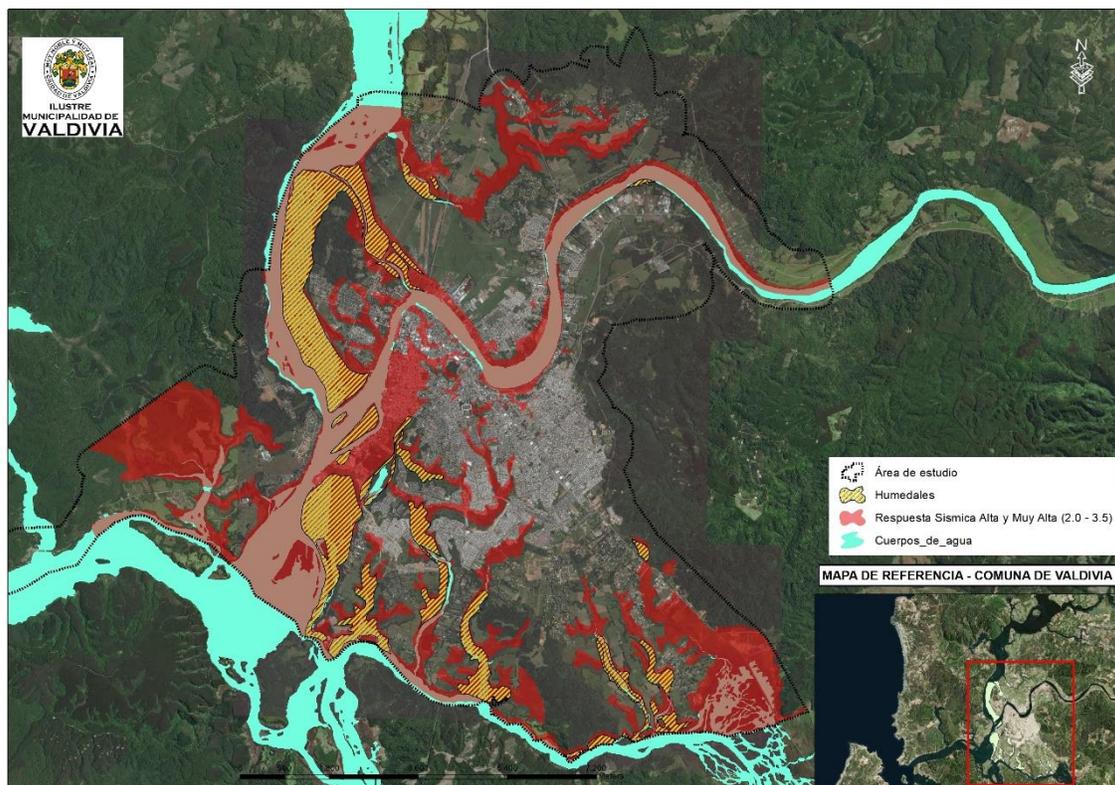
Esta amenaza se presenta en pendientes altas (>40°), donde existe una acción erosiva de los ríos en los pies de las laderas, principalmente en el río Valdivia y río Tornagaleones; y una acción erosiva de las olas que afectan el sector costero de Niebla y la Isla Mancera.

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.

6.1.5 El rol de la biodiversidad en la contención de las amenazas naturales.

Se destaca la importancia de los humedales como barreras de protección ante amenazas naturales. Para el caso de los terremotos y posteriores tsunamis, estos ecosistemas actúan como zonas de amortiguación. Por ejemplo, la cantidad de zonas húmedas que se encuentran en el borde de la ciudad de Valdivia, se explican por la dinámica tectónica y el tsunami de 1960 (Araya 1993). Como se ve en la siguiente Imagen, las áreas de humedades coinciden con las áreas de subsidencia tectónica (respuesta ante la amplificación sísmica), por lo tanto, funcionarían como amortiguación ante un nuevo evento de subsidencia tectónica, debido al aumento de las napas freáticas a la superficie e invasión de las aguas de los ríos.

Imagen N°9. Humedales existentes y Superficie de respuesta sísmica alta y muy alta en Valdivia.



Fuente: Elaboración propia, SERNAGOEMIN 2002.

Por otro lado, en relación a la vegetación y su importancia como contenedor de los procesos de remoción en masa, dependerá del grado de naturalidad o intervención antrópica y del tipo de cobertura presente. De acuerdo a lo indicado por Van Westen et al. (2008), la importancia de la vegetación en este tipo de eventos radica en la estabilidad mecánica que brinda al suelo debido a las raíces. Esto se evidencia en el bosque nativo, que posee un mayor enraizamiento que los cultivos exóticos y por su condición caducifolia (bosque valdiviano) genera un importante aporte a la formación del suelo. Sin embargo, la gran parte de suelo cercano a las localidades y vías de acceso son praderas y matorrales, generando un aumento de la inestabilidad de la ladera, sobre todo en pendientes mayores a 35°, aumentando la probabilidad de deslizamientos y por ende el peligro hacia la población localizada en estas áreas, agudizado por el aumento en las viviendas informales en estos terrenos.

6.2 RIESGOS ASOCIADOS A INUNDACIÓN FLUVIAL

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.

6.2.1 Análisis Histórico - Áreas de inundación

El estudio de Arenas et al., (2002) indica que la mayor superficie de inundación corresponde a zonas que se encuentran permanentemente inundadas y que son efecto de la subsidencia de terreno que sufrió Valdivia producto del terremoto de 1960. Estas zonas corresponden a las riberas del río Valdivia en el sur de la ciudad. Por otro lado, se identifican zonas que presentan una condición de inundación producto de lluvias intensas, y son clasificados como terrenos inundados ocasionalmente, como las terrazas bajas afectas por el aumento en el nivel del caudal, como son los sectores de Las Animas y Collico. Además, se encuentran otras zonas frecuentemente inundadas como el sector de Barrios Bajos, producto del hundimiento del terreno por el terremoto del año 1960 y que sufre anegamiento principalmente por lluvia.

En la tabla siguiente se muestran los tipos de inundación existentes en la ciudad de Valdivia de acuerdo a Arenas et al., 2002 son:

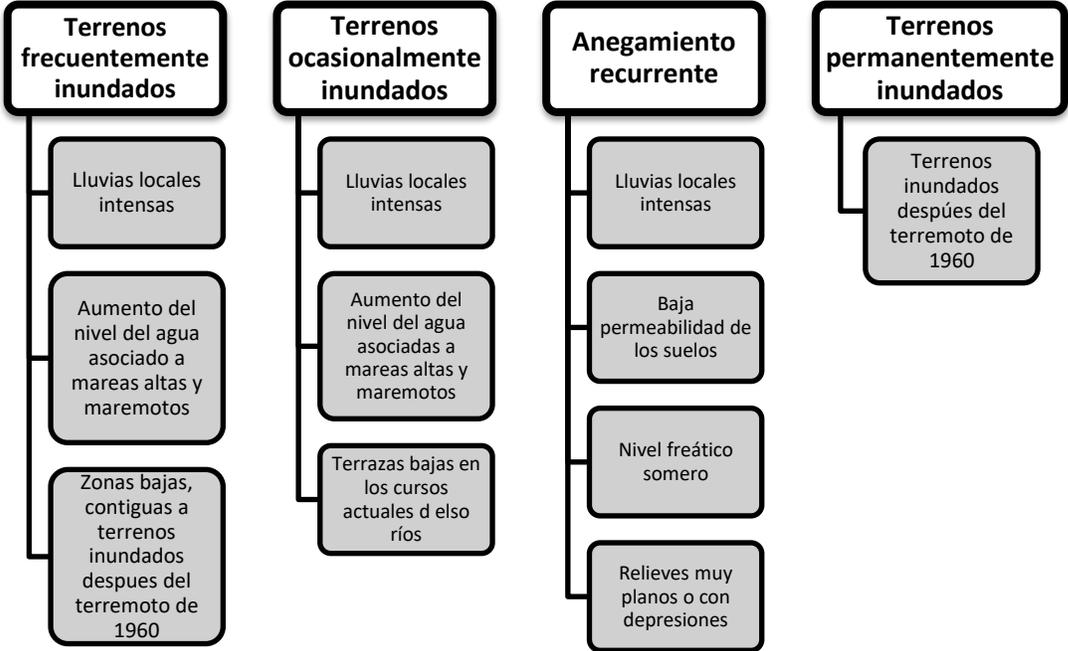
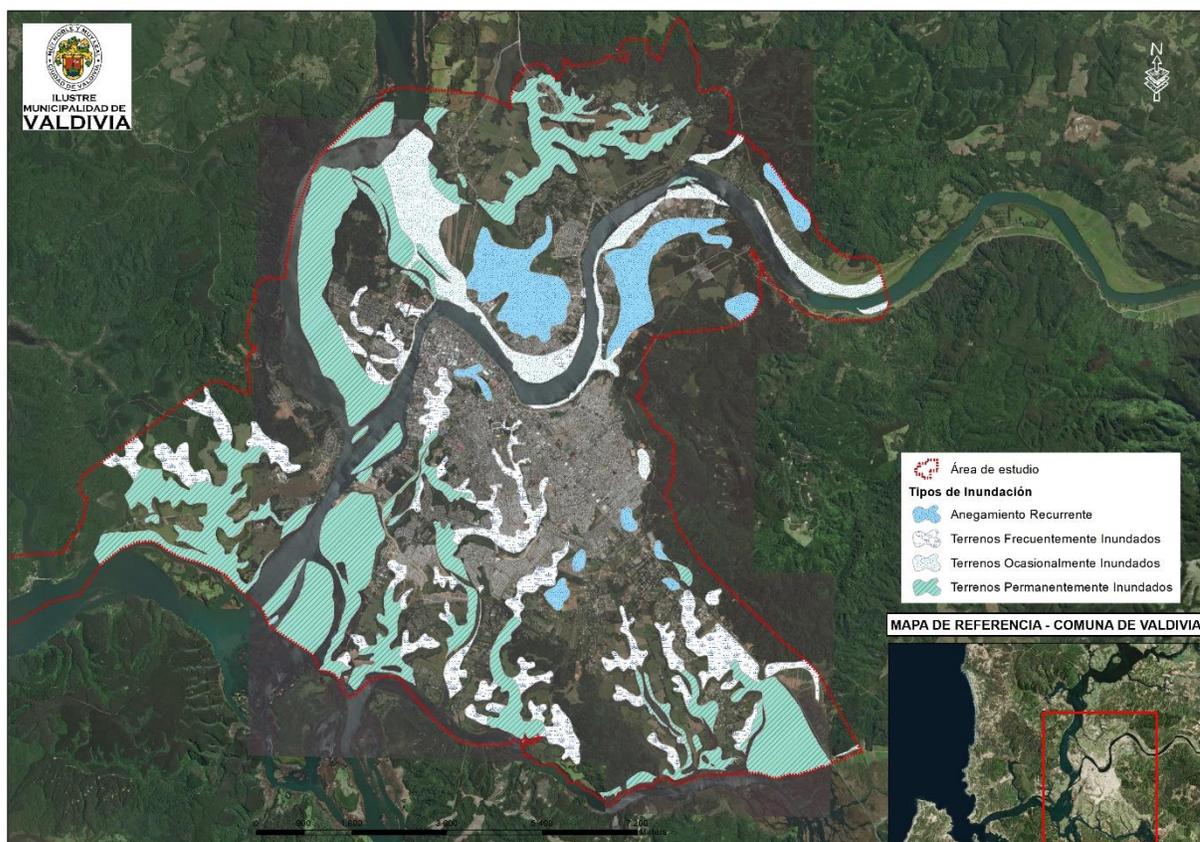


Imagen N°10. Tipos de Inundación de Valdivia



Fuente: Arenas et al., 2002. Elaboración propia

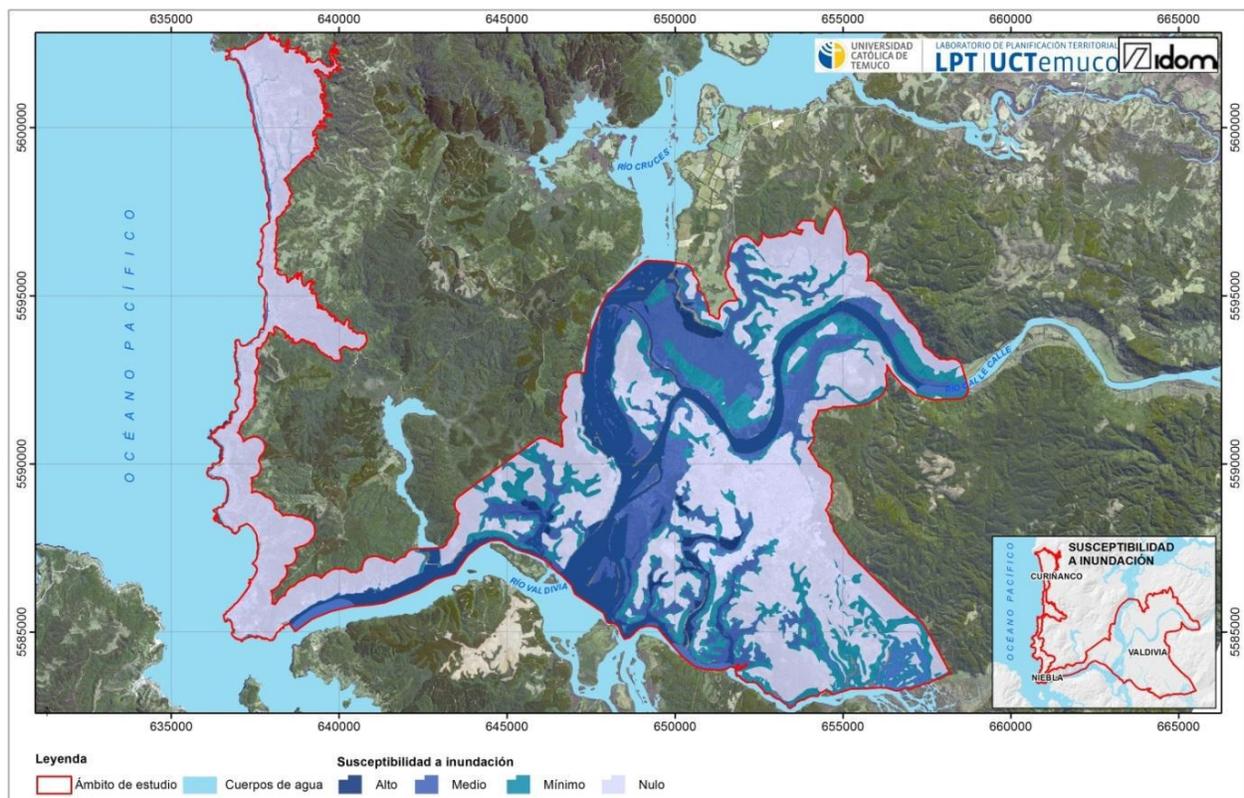
En general y de acuerdo a las características geomorfológicas, pluviométricas e hidrográficas, y según los registros consultados, las zonas que presentan una mayor amenaza frente a eventos hidrometeorológicos son:

- 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

6.2.2 Modelo de Susceptibilidad por Inundación

En relación a los antecedentes presentados, a continuación, se muestra la distribución espacial de los niveles de susceptibilidad de inundación, es decir, la probabilidad que ocurra este evento en un área en base a las condiciones locales del terreno. Se evidencia que los sectores con mayor probabilidad corresponden a los cuerpos de agua ríos Cruces y Calle Calle y a espacios urbanizados de la ciudad de Valdivia; lo cual releva la consideración de medidas de mitigación, actualización de la normativa territorial y nuevas iniciativas de infraestructura. Se destacan como sectores inundables, Las Mulatas, Barrios Bajos, Las Animas y algunos sectores de la Isla Teja.

Imagen N°11. Modelo de Susceptibilidad a Inundación



Fuente: LPT-UCT 2014.

En relación a la figura anterior, los sectores más susceptibles a la inundación corresponden a zonas compuestas por depósito y que coinciden con los humedales, siendo éstos clave para la regulación de los flujos de agua, suavizando los períodos de lluvias y sequías.

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:

$$P_t^T = K * CD_t * P_{24}^T \text{ Ecuación N}^\circ 1, \text{ donde}$$

P_t^T : precipitación para la duración t , con período de retorno "T"

P_{24}^T : precipitación para una duración de 24 horas, con período de retorno "T" años

CD_t : 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 N°3. 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.

$$Sección = \frac{Q}{\frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}} \quad \text{Ecuación N°2, donde}$$

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 períodos 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 N°4. Periodos de retorno (años) de la precipitación, caudales y alturas para la estación Llancahue.

| PERÍODO DE RETORNO (AÑOS) | PRECIPITACIÓN DIARIA | ESTACIÓN LLANCAHUE | | | | |
|---------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| | | CAUDAL MÁX. (M ³ /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

Si analizamos el peor escenario en términos espaciales, se indica que en una tasa de retorno a 10 años habría eventos que llegarían a una altura de 2 msnm, es decir, el área urbana de Valdivia estaría cubierta por 3.866,6 hectáreas con agua. Este análisis considera los cuerpos de agua, por lo que en función de su dinámica se debe asumir un delta entre la superficie que ocupa normalmente el cuerpo de agua y la altitud de los 2 msnm.

Con respecto a la tasa de retorno a los 100 años, la superficie aumentaría a 698, 1 hectáreas, ajustando a 3 mts como el peor escenario. A modo de representación se utilizan los períodos de retorno de 10 y 100 años, ya que se evidencia de mejor manera el evento.

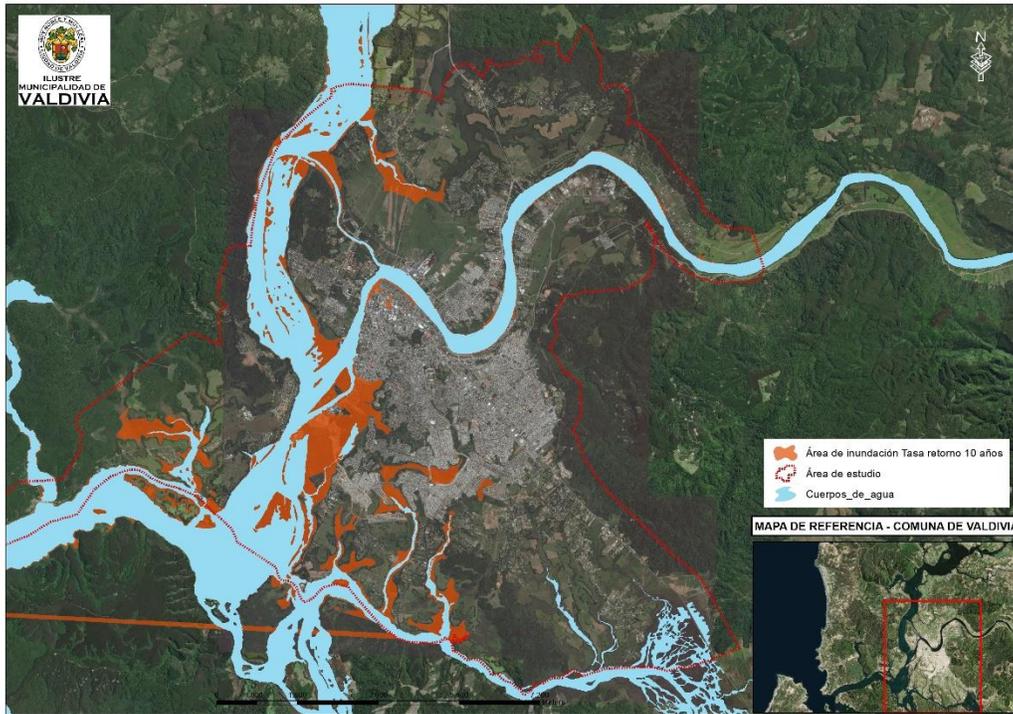
Tabla N°5. Rangos de altura asociada a la superficie ocupada.

| 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 |

Fuente: Elaboración propia

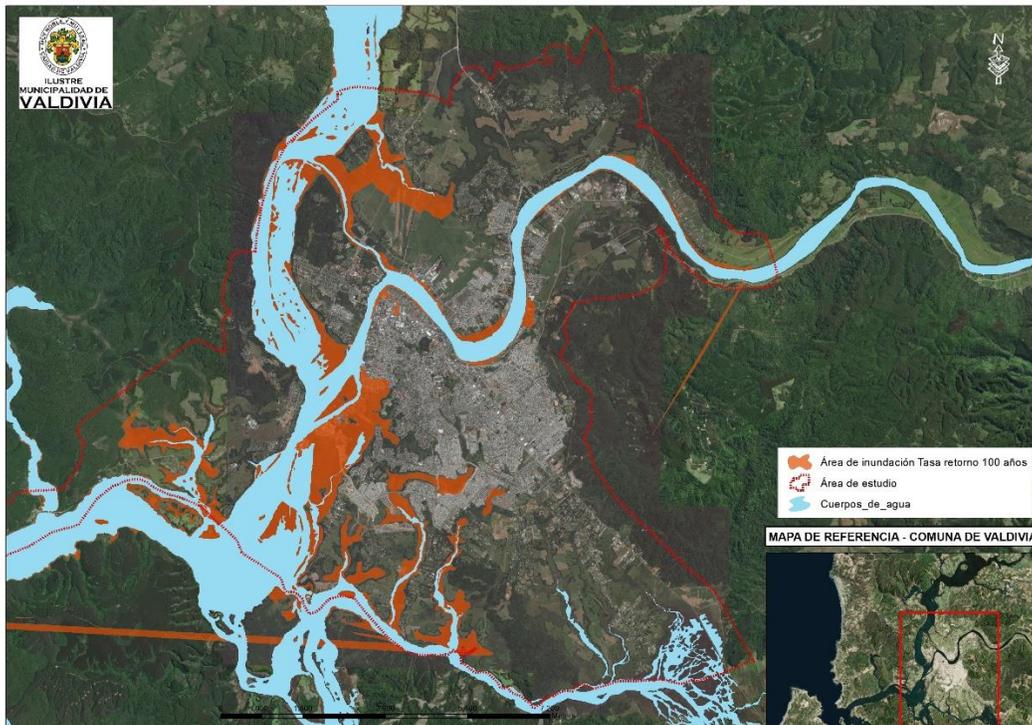
A continuación, se presentan las superficies inundadas ante el evento a tasas de retorno de 10 y 100 años.

Imagen N°11. Área de inundación - Tasa retorno 10 años – Caudales máximos



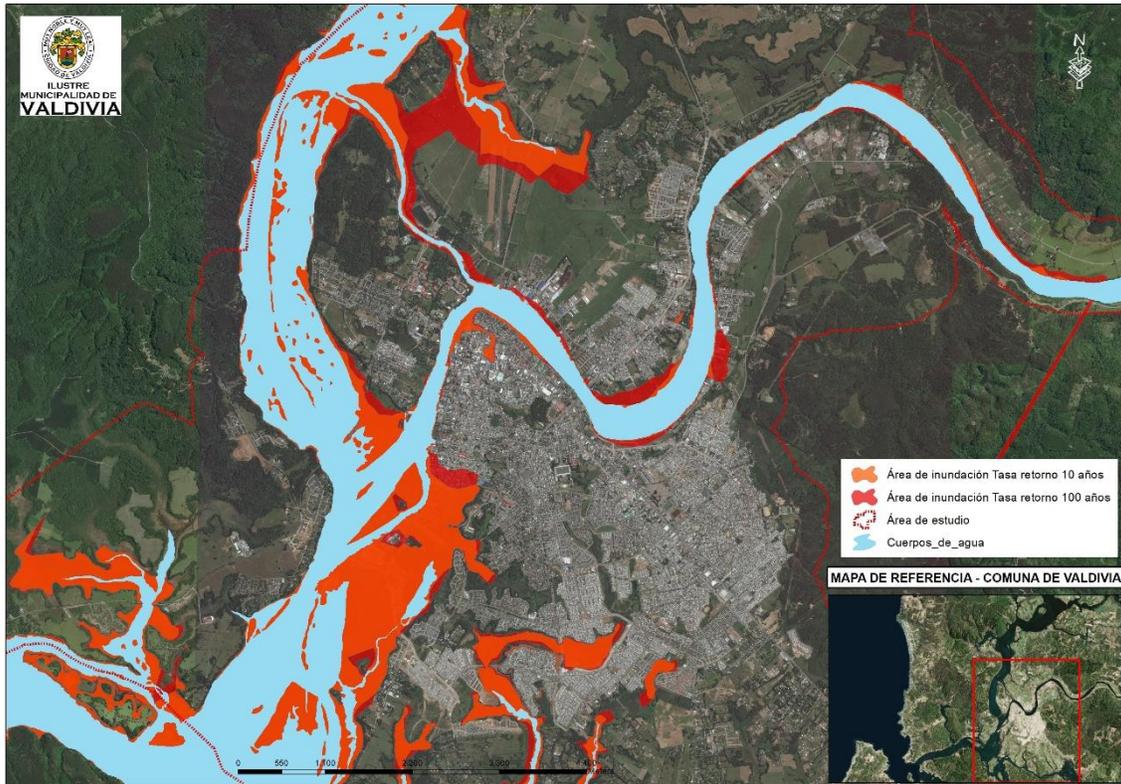
Fuente: Elaboración propia

Imagen N°12. Área de inundación - Tasa retorno 100 años – Caudales máximos



Fuente: Elaboración propia

Imagen N°13. Comparación áreas de inundación – Tasas retorno 10 años a 100 años



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.

6.3 ANÁLISIS DE RIESGO NATURALES EN ZONAS DE ESTUDIO

6.3.1 Sector 1: Los Jazmines

El conjunto de viviendas de los Jazmines se emplaza al nororiente de la comuna de Valdivia y es parte de una zona urbana consolidada de carácter residencial. Se conecta con el centro de la ciudad por Avda. Las Zinnias (Avda. Circunvalación) y por Avda. Balmaceda principalmente. Limita al norte con un desnivel de terreno con presencia de vegetación arbórea.

Imagen N°14. Área estudio – Los Jazmines



Fuente: Elaboración propia

Fotografías N° 3. Vista lateral del condominio y calle de acceso



Fuente: Captura en Terreno, agosto 2018.

Fotografía N° 4. Vista hacia pendiente colindante al Condominio Los Jazmines.

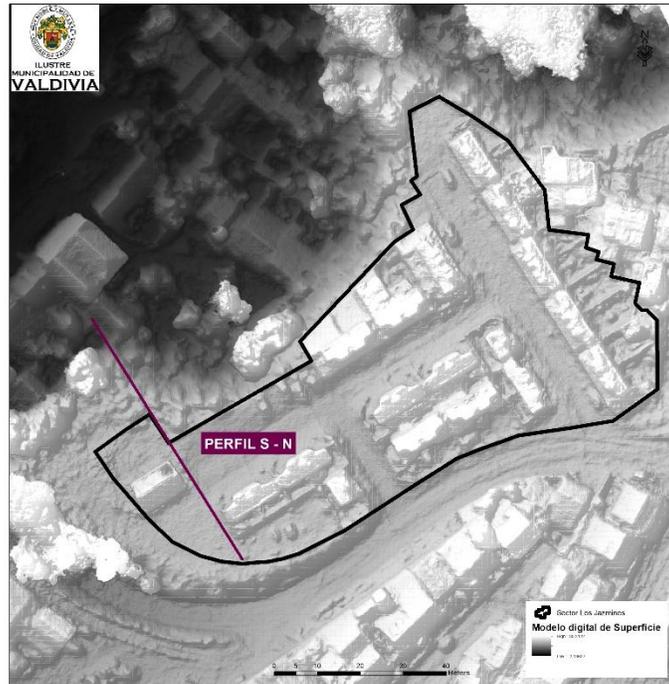


Fuente: Captura en Terreno, agosto 2018.

Aspectos Geofísicos

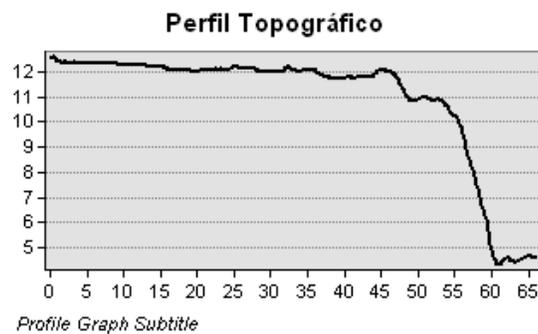
Para analizar la superficie del terreno, se consideraron las curvas de nivel cada 50 cm obtenidas mediante un vuelo en dron realizado este año, generando un modelo digital de terreno con el software Arcgis 10.2 y con ello un análisis del perfil topográfico.

Imagen N°15. Modelo Digital Terreno– Los Jazmines



Fuente: Elaboración propia, a partir del Software ArcGis 10.2.

Gráfico N°1. Perfil Topográfico Los Jazmines



Fuente: Elaboración propia, a partir del Software ArcGis 10.2.

Tal como se muestra en el gráfico anterior, el condominio Los Jazmines se encuentra emplazado en un terreno relativamente plano, aproximadamente a 10 msnm, perfil que coincide con los asentamientos residenciales colindantes. (Ver Imagen N°15).

Es importante destacar el cambio de pendiente brusco que se genera hacia el norponiente del condominio, donde confluye un estero sin nombre, hacia el costado de calle Balmaceda.

Indicar que este desnivel se encuentra fuera del límite del área de estudio y que de acuerdo a los registros históricos revisados, no se han generado eventos de remoción en masa en el sector.

A modo de complementar la situación actual de los terrenos en cuestión, se presenta a continuación el estudio de mecánica de suelos realizado en diciembre del 2012 por la empresa MADLAN. Este análisis considero la realización de seis calicatas para determinar las propiedades del suelo de fundación, las cuales fueron inspeccionadas y muestreadas por LEMCO, generando un registro estratigráfico.

Imagen N°16. Ubicación Calicatas – Sector Los Jazmines



Fuente: Mecánica de suelos, Loteo vivienda Los Jazmines, MADLAN, año 2012.

Imagen N°17. Modelo Estratigráfico – Sector Los Jazmines

| Unidad | Material | Profundidad Estratos (m) | | | | | |
|--------|---|--------------------------|------|------|------|------|------|
| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| U1 | Capa vegetal o material de relleno y escombros | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.60 | 0.30 | 0.20 |
| U2 | Limo o limo arcilloso. Clasificado como ML según U.S.C.S. | 0.20 | 0.20 | 0.20 | - | - | 0.20 |
| | | 2.70 | 2.60 | 2.50 | - | - | 2.60 |
| | Arcilla Limosa. Clasificado como MH según U.S.C.S. | - | - | - | 0.60 | 0.30 | 2.60 |
| | | - | - | - | 2.25 | 2.30 | 3.00 |

Fuente: Mecánica de suelos, Loteo vivienda Los Jazmines, MADLAN, año 2012.

Ahora bien, de acuerdo a la información levantada se observó que el subsuelo está compuesto por un estrato de distintos materiales de relleno tales como vegetación, escombros y basura. Luego, en la mitad sur del terreno en estudio se evidencia un estrato de limo o limo arcilloso color café claro con indicios de materia orgánica. Su cementación es débil, de estructura homogénea y humedad media. Mientras que aproximadamente en la mitad norte del terreno en estudio, se encuentra un estrato de arcilla limosa color ceniza, sin olor, de humedad media y alta plasticidad. No presenta indicios de materia orgánica y su cementación es débil.

Por otro lado, de acuerdo al mapa geológico de Valdivia, esta zona corresponde a depósitos fluvio-estuarinos y son una secuencia irregular de arcillas, limos, arenas y gravas. Esta unidad conforma las partes más altas de la ciudad y presenta una aptitud regular para la construcción.

De acuerdo al informe “Perfiles sísmicos y estudios sísmicos especiales – Proyecto viviendas sector Los Jazmines, Collico”, de octubre de 2012 a cargo del Dr. Ingeniero Galo Valdebenito, el suelo de fundación clasifica sísmicamente como tipo D, por lo que las estructuras deben diseñarse para esta condición, asociado a zona sísmica 3 según Decreto Supremo N°61.

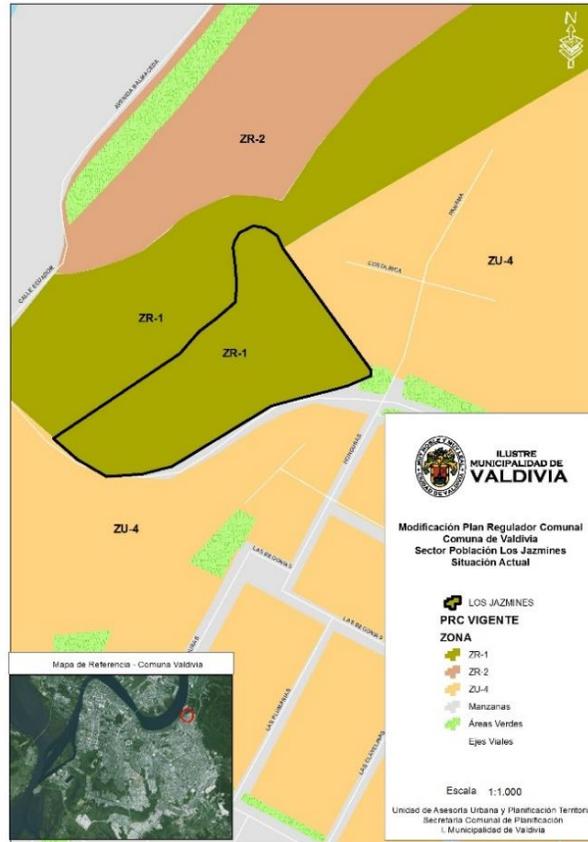
Inundaciones

Por otro lado, al analizar el riesgo asociado a inundación, no se evidencian registros históricos asociados a este tipo de eventos. Destacar que la zona se encuentra fuera de la cota de inundación.

Normativa urbana

Finalmente, en relación al Plan Regulador vigente, se establece una Zona de Parque ZR-1, en toda la extensión del condominio social, el cual permite solo equipamiento de escala regional e interurbana, asociada a cultura, áreas verdes, esparcimiento, turismo y deportes. Los sectores residenciales aledaños tienen una zonificación ZU-4 que permite residencia.

Imagen N°18. Zonificación Plan Regulador Valdivia



Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 Sector 2: Arturo Prat

La población Arturo Prat se ubica en el sector de Las Ánimas, al nororiente de la ribera del río calle Calle Calle en la comuna de Valdivia. Se conecta con la ciudad a través de las calles Bombero Classing, Avda. Pedro Aguirre Cerda y el Puente Calle Calle principalmente.

Este sector colinda con asentamientos residenciales formales, sin embargo, su emplazamiento sobre terrazas bajas y la cercanía a cursos de agua con alta probabilidad de crecida, generan una susceptibilidad mayor a la inundación.

Imagen N°19. Área estudio – Arturo Prat



Fuente: Elaboración propia

Las imágenes que se presentan a continuación, nos presentan la población Arturo Prat, la cual presenta un déficit en términos de infraestructura, ya que no cuenta con alcantarillado, por lo que las aguas servidas son vertidas en su mayoría al río sin tratamiento previo.

Fotografías N° 5 y N°6 Población Arturo Prat, Vías de acceso no pavimentadas



Fuente: Captura en Terreno, agosto 2018.

Fotografía N° 7 (Izquierda): Canal desagüe que desemboca al río Y **Fotografía N°8 (Derecha):** Vista desde ribera del río hacia sector Arturo Prat



Fuente: Captura en Terreno, agosto 2018.

Fotografía N°9: Borde ribera río Calle Calle, área inundada sector Arturo Prat



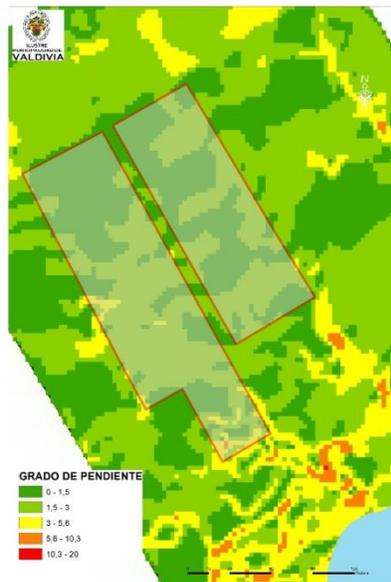
Fuente: Captura en Terreno, agosto 2018.

El sector se encuentra colindante a la ribera del río Calle Calle, presenta una alta intervención antrópica con movimiento de tierra y canalización de las aguas sin las medidas adecuadas.

Aspectos Geofísicos

En relación al perfil topográfico de norte a sur, el sector de Arturo Prat es relativamente plano, su pendiente no supera los 5° desde calle principal hasta el borde de la ribera del río.

Imagen N°20. Grado de Pendiente – Arturo Prat



Fuente: Elaboración propia a partir de Arcgis 10.2.

Con respecto a la presencia de riesgo asociado a amenazas geofísicas, el sector de Arturo Prat presenta suelos con una alta inestabilidad geológica y con registros históricos de hundimiento,

principalmente asociados al terremoto de 1960, lo que favorece el incremento de la intensidad sísmica.

Imagen N°20. Respuesta Sísmica – Población Arturo Prat



Fuente: Elaboración propia en base a estudio Arenas et al;2002

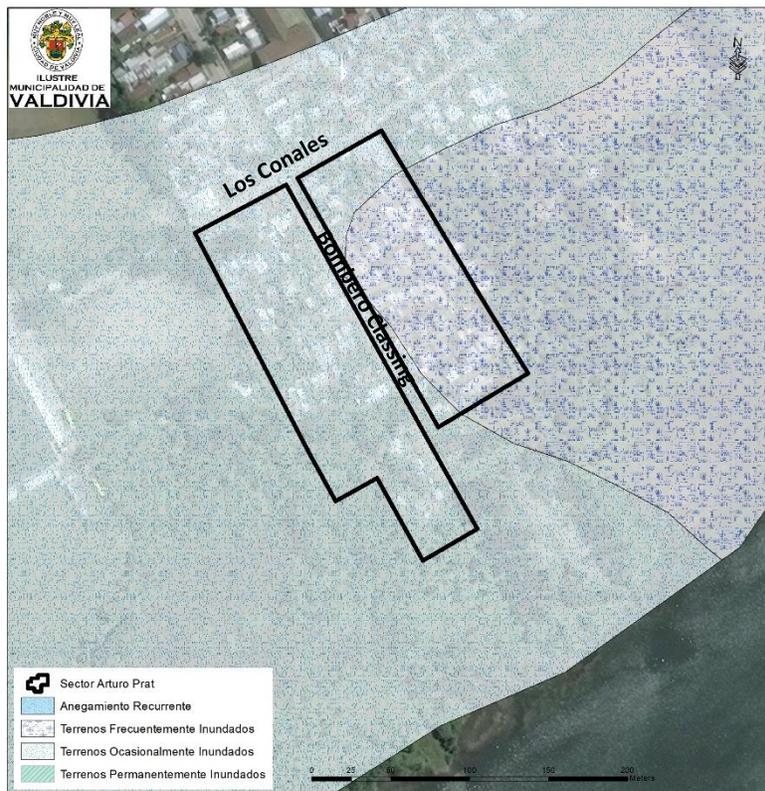
Por otro lado, en relación a la composición geológica de los suelos del sector Arturo Prat, estos son antiguos depósitos fluviales conformados por sedimentos naturales (arena, limo, entre otros), lo que favorece la amplificación sísmica.

En este sentido, 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 sector de Arturo Prat presenta una respuesta sísmica alta, que se complejiza si consideramos que el agua subterránea varía entre los 0,5 y 2 mts, siendo casi superficial en invierno (Barozzi y Lemke, 1962) y la permeabilidad varía de baja a moderada, por lo que una sobrecarga podría causar subsidencias y licuefacción de los sedimentos debido a excesos de presión del agua.

Inundaciones

Con 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 los terrenos de la población Arturo Prat han sido ocasionalmente inundados al poniente de la calle Bombero Classing y frecuentemente inundados al oriente de la misma calle. Esto se debe principalmente a las lluvias intensas, al aumento del nivel del agua asociado a mareas altas del río Calle Calle; y a la presencia de terrazas bajas en los cursos actuales del río para el caso de los terrenos ocasionalmente inundados y zonas bajas contiguas a terrenos inundados durante el terremoto de 1960, para el caso de los terrenos frecuentemente inundados. (Ver Imagen N°21).

Imagen N°21. Tipos de Inundación – Sector Arturo Prat

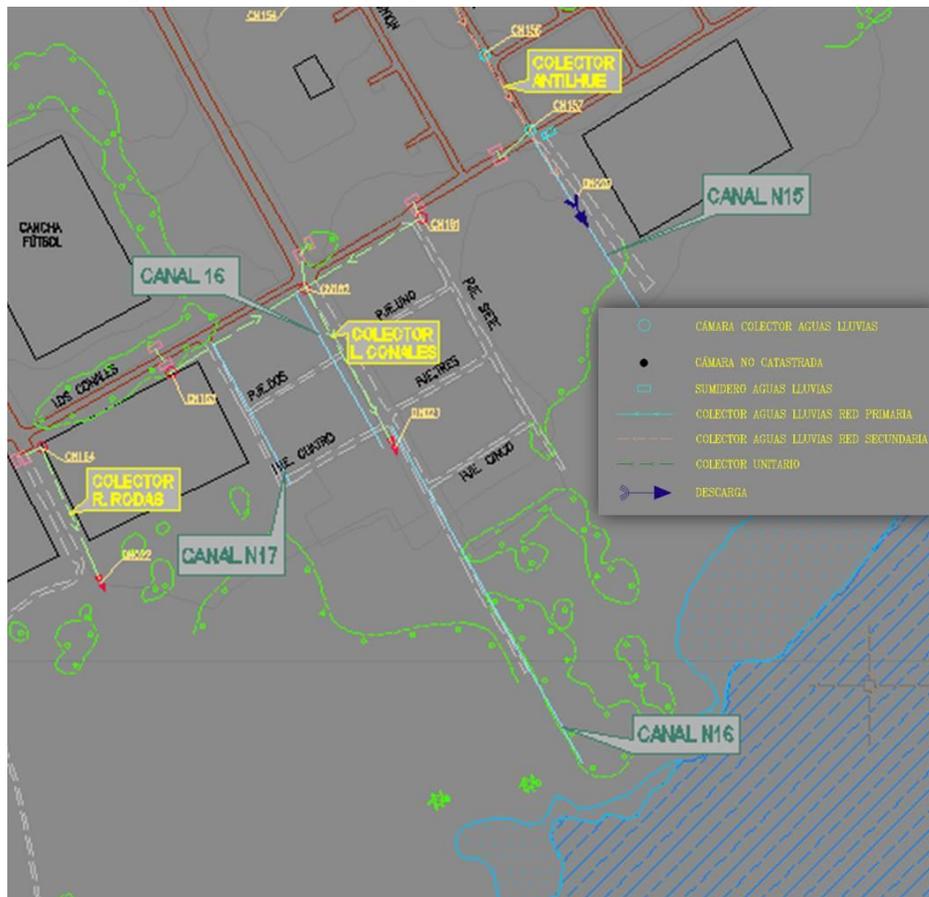


Fuente: Elaboración propia en base a Arenas et al; 2002

Por otro lado, cuando se analiza el Plan Maestro de aguas lluvias del año 2013, la canalización de las aguas en el sector Arturo Prat se extienden a través del colector secundario Los Conales, con punto de descarga por calle Bombero Classing en Canal N°16, que vierte sus aguas directamente al afluente del río Calle Calle; al igual que el canal N° 17.

De acuerdo al estado de los cauces y canales del sector, éstos presentan un estado de conservación regular y no se han evidenciado desbordes. Por otro lado, no se detectaron problemas de inundación en el sector en base a las participaciones ciudadanas y a las visitas a terreno en días de lluvia, de acuerdo al estudio de actualización del Plan Maestro de aguas lluvias.

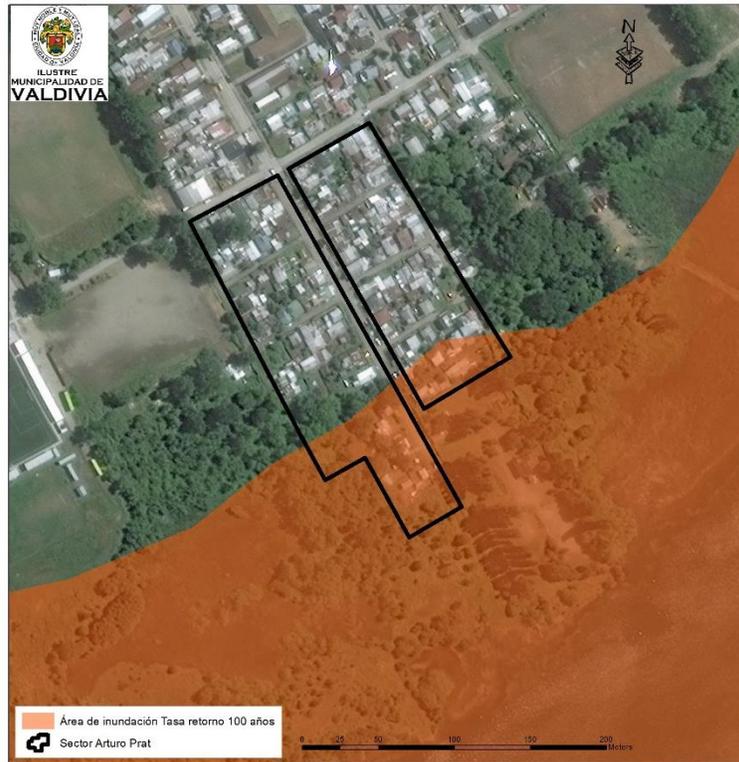
Imagen N°22. Plan Maestro Aguas Lluvias año 2013 – Sector Arturo Prat



Fuente: Plan Maestro Aguas Lluvias 2013- Dirección de Obras Hidráulicas - MOP

Finalmente, cuando se analizan los escenarios de inundación fluvial para la comuna (Ver Apartado 6.2.3) y se considera la modelación a una tasa de retorno a 100 años considerando caudales máximos, una parte de la población Arturo Prat se encuentra dentro de la cota de inundación (3 msnm). Como lo muestra la siguiente imagen:

Imagen N°20. Cota de Inundación tasa retorno 100 años considerando – Sector Arturo Prat



Fuente: Elaboración propia.

Normativa Urbana

Finalmente, cuando analizamos el Plan Regulador vigente, se establece una Zona de Parque ZR-1, en todo el sector de Arturo Prat, el cual permite solo equipamiento de escala regional e interurbana, asociada a cultura, áreas verdes, esparcimiento, turismo y deportes. Esta situación ocurre desde calle Los Conales hasta la ribera norte del río Calle Calle. (Ver Imagen N°21).

Imagen N°21. Zonificación Plan Regulador Valdivia – Sector Arturo Prat



Fuente: Elaboración propia

6.4 PROPUESTA DE ÁREAS DE RIESGO EN ZONAS DE ESTUDIO.

A continuación, se presentan las áreas de riesgo definidas para las zonas de estudio, de acuerdo a los antecedentes analizados en el apartado anterior. Es importante destacar que las áreas de riesgo identificadas corresponden a riesgo de inundación y no aplica para el sector de Los Jazmines.

6.4.1 Sector 1: Arturo Prat

Para el caso de Arturo Prat se identifica un área de riesgo en el sector sur oriente, correspondiente a terrazas de inundación bajo la cota del río Calla Calle, con una superficie de 9.150 m², lo que equivale al 34% de la superficie total del área.

Imagen N°22. Área de riesgo – Sector Arturo Prat



Fuente: Elaboración propia

Hay que destacar que este sector se encuentra zonificado como Zona de Parque de acuerdo al Plan Regulador vigente, permitiendo el equipamiento a escala comunal, en ese sentido la definición de área de riesgo se propone de la siguiente manera:

| SITIO | PELIGRO SEGÚN OGUC | DESCRIPCIÓN | CRITERIO ZONIFICACIÓN URBANA OGUC. ÁREA NO CONSOLIDADA | CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA OGUC. ÁREA CONSOLIDADA |
|-------------|--------------------|-----------------------|--|--|
| Arturo Prat | Inundación | Llanura de inundación | Riesgo (2.1.17), uso área verde | Mitigar |

Como recomendación, para mitigar los efectos de las inundaciones se pueden implementar medidas estructurales, como la construcción de diques, canales y muros de contención.

Además, se recomienda relevar el rol de la infraestructura verde y los humedales presentes en la zona, ya que por un lado se incentiva la conservación de espacios de biodiversidad y por el otro lado se contribuye a la mitigación de futuros eventos de inundación y terremotos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arenas et al., (2002), Geología Ambiental del área de Valdivia, X Región de Chile
- D. Alvarado, G. Valdebenito. 2004. Microzonificación sísmica en zonas de geología compleja. Evaluación del peligro sísmico local en Valdivia, Chile.
- Dirección de Obras Hidráulicas 2002. Plan maestro de aguas lluvias para la ciudad de Valdivia.
- Dirección de Obras Hidráulica 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. Plan Regulador de Valdivia 1988 y actualizaciones.
- Municipalidad de Valdivia 2013. Proyecto Actualización Plan regulador comunal de Valdivia.
- 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).
- Banco Interamericano de Desarrollo, I. Municipalidad de Valdivia. Plan de Acción ICES y estudios especiales. 2015; Vulnerabilidad y Riesgos Naturales en Ciudades Emergentes y Sostenibles 2013. Laboratorio Planificación Territorial, Universidad Católica de Temuco e IDOM.