



CONSULTORÍA DESARROLLO URBANO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Huella urbana e histórica, escenarios de crecimiento urbano y estudios básicos sobre mitigación y adaptación al cambio climático en Valdivia

Informe Final Tarea 2

“DESARROLLO URBANO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: Huella urbana actual e histórica, escenarios de crecimiento urbano y estudios básicos sobre mitigación y adaptación al cambio climático en Valdivia”

ESTUDIO URBANO 2. VULNERABILIDAD Y RIESGOS NATURALES EN CIUDADES EMERGENTES Y SOSTENIBLES

Equipo: Universidad Católica de Temuco

Índice:

1	Tarea N°2. Introducción.....	3
2	Metodología	4
2.1	Delimitación área de estudio	4
2.2	Análisis de amenazas geofísicas	5
2.2.1	Amenazas geofísicas.....	5
2.3	Análisis de inundación fluvial y cuencas hidrográficas	7
2.3.1	Análisis de amenazas ante inundación fluvial	7
2.3.2	Elaboración de escenarios de inundación	12
2.4	Análisis de peligros de desarrollo lento	12
2.4.1	Caracterización y análisis de cambios de factores climáticos.....	12
2.4.2	Cambios en el nivel del mar	13
2.4.3	Efectos e impactos socioeconómicos de los peligros de desarrollo lento.....	13
2.5	Evaluación de la vulnerabilidad	15
2.5.1	Estimación de la vulnerabilidad funcional o resiliencia.....	16
2.5.2	Vulnerabilidad material y humana ante eventos geofísicos e hidrometeorológicos.....	18
2.5.3	Estimación del Riesgo	20
2.6	Entrevistas y talleres de participación	21
2.6.1	Entrevistas a actores claves	22
2.6.2	Elaboración de talleres de participación	23
3	Resultados de la Tarea N°2.....	25
3.1	Riesgos Geofísicos.....	25
3.1.1	Análisis histórico de los eventos geofísicos	25
3.1.2	Amenaza de eventos geofísicos.....	28

3.1.3	Vulnerabilidad por eventos geofísicos	37
3.2	Riesgo de inundación fluvial.....	63
3.2.1	Análisis histórico de eventos de inundación fluvial.....	63
3.2.2	Amenaza de eventos de inundación fluvial	64
3.2.3	Escenarios de inundación fluvial	68
3.2.4	Vulnerabilidad por amenazas de inundación fluvial	75
3.3	Peligros de desarrollo lento	90
3.3.1	Factores climáticos y cambios en el nivel del mar	90
3.3.2	Impactos socioeconómicos vinculados a peligros de desarrollo lento	96
4	Cálculo de Peligrosidad y Riesgo	101
4.1	Riesgo ante Eventos Geofísicos. Terremoto y Remoción en masa.....	101
4.1.1	Riesgo Material y Humano	101
4.2	Riesgo ante inundación fluvial.....	112
4.2.1	Riesgo Material y Humano	112
5	Conclusiones	120
5.1	Relativas a amenazas físicas	120
5.2	Relativas a vulnerabilidad.....	120
5.3	Relativas a riesgo	121
5.4	Relativas a recomendaciones y mitigación del riesgo	121

1 Tarea N°2. Introducción

Este informe contiene los resultados finales del estudio de la Tarea II, correspondientes al análisis histórico del riesgo, amenazas y vulnerabilidad ante los eventos de rápida propagación, como son los de tipo geofísico e inundación fluvial, y los denominados peligros de desarrollo lento, como sequías, oleadas de calor y cambios en el nivel del mar, vinculados con el cambio climático, ya que su evolución reciente y tendencia a la intensificación vienen condicionados por las principales variables afectadas por el cambio climático global. El riesgo de incremento de estos últimos eventos de hecho es recogido significativamente en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (MMA 2013) y en los últimos informes del IPCC, en concreto el 4º (2007), y el 5º, actualmente en redacción en su versión final (2013).

Riesgo natural es definido como la probabilidad de ocurrencia en un espacio y tiempo determinado de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes (Mardones & Vidal, 2001). En cuanto a los factores del riesgo, particularmente Ayala-Carcedo (1993, 2002) definen los riesgos naturales como el producto entre la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o *peligro natural*, la *vulnerabilidad* y la *exposición* de la población.

La *peligrosidad* se refiere a un fenómeno natural cuya dinámica puede sobrepasar los umbrales más frecuentes de intensidad, magnitud y localización, pudiendo generar daños a las personas y sus bienes. La *vulnerabilidad* se refiere a la susceptibilidad de un determinado sistema (urbano o de otro tipo) para sufrir daños ante un peligro, ya sean físicos, humanos, de la biodiversidad u otros, así como a su capacidad de reaccionar y de recuperarse ante este tipo de eventos. Por último, la *exposición* se refiere a la población, medida por unidad de habitantes o bienes medidos por unidad de superficie, que están insertos en un área de peligrosidad natural.

Por otro lado, la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres (EIRD) (2009), integra sólo dos factores: *amenaza* y *vulnerabilidad*. La primera está referida a un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueda ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales; y la vulnerabilidad se entiende como las características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hace susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Y de acuerdo a ONEMI 2002, dicho concepto es definido como un factor interno del riesgo de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado, por tanto, se considera su nivel de educación y autocuidado frente al riesgo, la biodiversidad que puede ser afectada, infraestructura y su comportamiento frente a eventos desastrosos.

En este contexto, se incorporó en los estudios de riesgos naturales el concepto de susceptibilidad, el cual está referido a una visión de un territorio en particular y sus características geomorfológicas, hidrológicas, geológicas, edafológicas, entre otras, que condicionan la ocurrencia de dichos eventos; representando mediante una zonificación aquellas zonas afectadas o potencialmente afectadas, y que se pueden calificar con su mayor o menor predisposición ante la ocurrencia de dichos eventos, como es el caso de terremotos, factores de peligrosidad de erupciones volcánicas, áreas afectas a inundación fluvial y por tsunamis.

Al respecto, este informe contempló el análisis cartográfico final del ámbito de estudio, que concluyó con la determinación de los modelos de susceptibilidad y escenarios de cambio climático de fenómenos naturales y antrópicos, para la implementación de actividades productivas, industriales y residenciales, así como la proyección de convivencia con estos tipos de eventos propios de la zona. En cuanto a la normativa chilena, esta temática sólo se orienta a la planificación urbana. Según el marco regulatorio nacional, a través de la

Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), específicamente en su Art. 2.1.17 modificado en noviembre de 2009, se definen las áreas de riesgo en zonas urbanas bajo un Estudio Fundado de Riesgo en Instrumentos de Planificación Territorial (IPTs), como es el caso de los Planes Reguladores Comunales (PRCs). Por otra parte, Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE) contempla este tema como un componente esencial en el análisis territorial.

En base a lo anterior, el desarrollo urbano, inversiones y actividades productivas, desde el punto de vista del desarrollo y la planificación, quedan condicionados a este tipo de fenómenos; teniendo como finalidad mejorar la calidad de vida de las personas, contribuir a un funcionamiento eficiente del sistema territorial y lograr la inserción armónica de los asentamientos humanos en su medio ambiente.

La ciudad de Valdivia se ubica en una zona geográfica de inestabilidad morfodinámica de los sistemas costeros, zona de subducción de placas tectónicas y de dinámica hidrometeorológica; asociada además a la inestabilidad climática propia de zonas templadas, entre otros factores; por lo que es una zona propensa a una serie de fenómenos que pueden constituir un riesgo natural, como las remociones en masa, terremotos, inundaciones fluviales y tsunamis.

2 Metodología

2.1 Delimitación área de estudio

La delimitación del área de estudio se focalizó y determinó según la forma de crecimiento del área urbana de Valdivia y sus alrededores, y de acuerdo a la actualización del Plan Regulador Comunal (PRC). De este modo, recoge las áreas de expansión urbana y el sector de Niebla y Curiñanco, así como el borde del río que los conecta. Se ha añadido la zona del borde costero al norte de Niebla hasta el sector de Curiñanco dado el interés manifestado en esta área por el loteo de propiedades, e instalación de servicios y equipamiento, que responde a una expansión con fines turísticos y de residencia (Figura N° 1).



Figura N°1. Ámbito de estudio Valdivia y alrededores (Valdivia-Niebla-Curiñanco). Fuente: Elaboración propia LPT-UCT 20130

2.2 Análisis de amenazas geofísicas

El análisis de los eventos geofísicos se realizó en base a recopilación de información secundaria, registros históricos existentes, y a un análisis de la vulnerabilidad actual que presenta la ciudad de Valdivia ante este tipo de eventos.

En cuanto a los eventos analizados, se consideraron los generados por geodinámica interna, como terremoto y tsunami. Además, se incorporaron eventos generados por procesos de remoción en masa, como deslizamiento y flujos de detritos.

2.2.1 Amenazas geofísicas

2.2.1.1 Recopilación de información

Este ítem corresponde a la consulta tanto bibliográfica como de fuentes públicas, específicamente de información secundaria, relacionada a eventos geofísicos que han sido registrados en la ciudad de Valdivia y alrededores. En este contexto, se visitaron las distintas reparticiones públicas como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), la Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior (ONEMI), además de instituciones académicas como la Universidad Austral de Chile (UACH); instituciones que poseen información, tanto en formato papel como digital, sobre tsunami y terremoto, deslizamientos y flujos de detritos para la comuna de Valdivia, especialmente en el sector urbano, camino Niebla y Curiñanco. La consulta bibliográfica e información de tipo secundaria se llevó a cabo a través de solicitudes formales, reuniones y correos electrónicos, bien directamente por el equipo técnico del Laboratorio de Planificación Territorial de la Universidad Católica de Temuco (UCT-LPT) o bien a través del municipio.

2.2.1.2 Análisis histórico de las amenazas geofísicas

El análisis de eventos históricos de la comuna de Valdivia, se realizó principalmente a través de la recopilación y revisión de bases de datos secundarias de eventos sismo-tsunamigénicos, considerando desde el año 1575, a partir de los relatos bibliográficos hasta la actualidad, ahondando con mayor detalle en los últimos 50 años de historia de desastres. El objetivo perseguido, fue determinar los principales eventos que afectan a la población en el área de estudio, evaluando el territorio afectado y los periodos de recurrencia, de cara a permitir una identificación más realista de las áreas afectadas, con el refuerzo de la participación de agentes responsables y ciudadanía. Además se completó el levantamiento de información secundaria a partir de libros, informes técnicos oficiales de instituciones público-privadas (Informes Alfa -ONEMI, Informes técnicos- SERNAGEOMIN, entre otros), medios de prensa escrita, registros de campo y entrevistas con actores claves de acuerdo a lo estipulado en la tabla N° 1.

Tabla Nº 1. Levantamiento de información de amenazas naturales geofísicas y asociadas al Cambio Climático.

Evento	Institución	Tipo de Insumos
Inundación	Municipalidad de Valdivia	Informes Técnicos
		Estadísticas
		Damnificados/Perdidas
		Complejos Habitacionales/Expansión Urbana
		Plan de emergencia comunal
	GORE Los Ríos	Informes técnicos
	Subdere	Informes técnicos
	ONEMI	Informes Técnicos
		Informes Alfa
		Alcances del evento
		Plan de emergencia Regional
	DGA	Datos PP, Caudal, T°, etc. "Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica", (DGA-MOP 1995)
	MOP	Mapeo Infraestructura pública Carpeta de Proyectos
	ONG's Forecos Museo de la Memoria UACH Entre Otras	Estudios e Investigaciones vinculadas a Riesgos Naturales y cambio Climático
Terremoto-tsunami	Municipalidad de Valdivia	Informes Técnicos
		Estadísticas
		Damnificados/Perdidas
		Complejos Habitacionales/Expansión Urbana
		Plan de emergencia comunal
	ONEMI	Informes Técnicos
		Informes Alfa
		Alcances del evento
	ARMADA DE CHILE	Plan de emergencia Regional
		Carta de inundación por tsunami
		Batimetría Costera
	SERNAGEOMIN	Informes Técnicos
		Plan de emergencia comunal
		Carta Geológica
Informes Técnicos		
GORE Los Ríos	Informes técnicos	
	Subdere	Informes técnicos
Evento de Desarrollo lento	Instituciones Públicas	Informes técnicos
	ONG's Forecos Museo de la Memoria	Informes técnicos

Fuente: LPT - UCT 2013.

El flujo metodológico general del análisis de amenazas geofísicas se presenta a continuación en la figura N° 2.

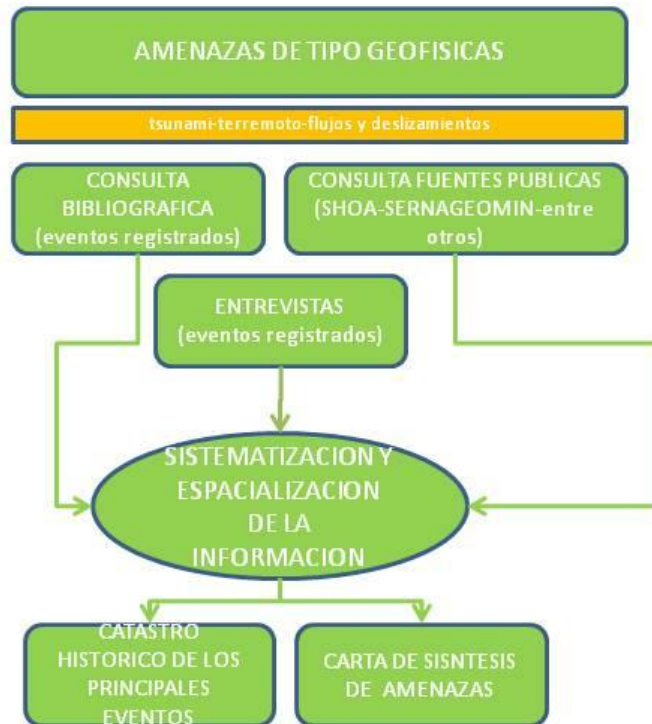


Figura N° 2. Flujo metodológico de amenazas de tipo geofísicas. Fuente: LPT-UCT 2013

2.3 Análisis de inundación fluvial y cuencas hidrográficas

El análisis de los riesgos generados por inundación de tipo fluvial se llevó a cabo a partir del análisis sucesivo de las amenazas y la vulnerabilidad. En el caso de la amenaza, se realizó el levantamiento de un registro histórico y un modelo de susceptibilidad ante eventos de inundación actual para el área de estudio. Además, se consideró la evaluación de escenarios tendenciales de 10 a 100 años.

2.3.1 Análisis de amenazas ante inundación fluvial

2.3.1.1 Recopilación de información

Se llevó a cabo una consulta bibliográfica y de fuentes públicas, específicamente de información secundaria relacionada con estudios de cuencas hidrográficas y eventos de inundación fluvial que han sido registrados en la ciudad de Valdivia y alrededores. En este contexto se visitaron las distintas reparticiones públicas como el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), la Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior (ONEMI), además de instituciones académicas como la Universidad Austral de Chile (UACH), partiendo de información tanto en formato papel como digital sobre la

temática. La consulta bibliográfica e información de tipo secundaria se llevó a cabo por medio de solicitudes formales, reuniones, mediante correo electrónico, directamente por el equipo técnico UCT-LPT o a través del Municipio.

2.3.1.2 Análisis histórico

Para el caso de los registros en prensa e informes oficiales, se utilizó una matriz de doble entrada, la cual detalla los aspectos de estudio más relevantes: efectos de los eventos, número de personas damnificadas, pérdidas materiales, de infraestructura y recurrencia de los eventos. La consulta de las bases de datos se realizó en base a la documentación escrita del Diario Austral entre los años 1960 al 2013.

La matriz de sistematización de riesgos históricos permitió identificar aspectos relevantes para la evaluación del riesgo (Peligro/Vulnerabilidad/Exposición) de cada uno de los eventos, y su relación con la comunidad, sus bienes y servicios, daños estructurales, organismos públicos y/o privados involucrados, entre otros, como se observa en la tabla N° 2.

Tabla N° 2. Matriz evaluación histórica de riesgos naturales.

Fenómeno Natural / Antrópico Evaluado :					N° Página:			
Encargado Revisión:					Fecha:			
Diario, Revista, otro medio	Fecha evento	Tipo de evento	N° personas involucradas, damnificados, muertos Heridos	Instituciones Involucradas	Daños a infraestructura y materiales	Daños a calles y velocidad viento, etc.)	Datos anexos (Precipitaciones, calles anegadas, velocidad viento, etc.)	Recurrencia Del evento

Fuente: LPT - UCT 2013.

Esta información sirvió además de base para el análisis de Vulnerabilidad.

2.3.1.3 Análisis de cuencas hidrográficas

Con el propósito de realizar una caracterización del comportamiento hídrico, se realizó un análisis de cuencas hidrográficas presentes en el área de estudio a partir de una búsqueda de información secundaria acerca de su comportamiento; se consideraron las cuencas del Valdivia y del río Cruces que tienen sus desembocaduras en la ciudad de Valdivia.

Se realizó un análisis que consideró los siguientes parámetros morfométricos:

- Área de la cuenca: Tamaño relativo, a menor tamaño menor capacidad de coleccionar agua, y menor volumen de esta. Se correlaciona directamente con su longitud e inversamente con la densidad de drenaje. Se consideran cuencas muy pequeñas, aquellas de superficie de menos de 500 Km². Pequeñas entre 500 a 2.000 Km². Medianas de 2.000 a 10.000 Km². Grandes a muy grandes sobre 10.000 Km².
- Forma de la cuenca: Relación área/perímetro que condiciona la dinámica hidrológica de la cuenca. En este caso se evalúa mediante dos índices: a) Índice de Horton: Grado de achatamiento. Valores altos indican tendencia a la concentración de aguas y formación de crecidas y b) Coeficiente de Compacidad de Gravelius: Grado de circularidad. Valores cercanos a 1 indican tendencia a concentrar mayor volumen de escurrimiento.

- Curva Hipsométrica: Indica el relieve y la respuesta hidrológica que se presenta, es decir, en una cuenca cóncava la respuesta hidrológica va a ser mayor, lo que potencia por ejemplo procesos de erosión.
- Densidad de drenaje: está definida por la relación entre la longitud total de la red hídrica de la cuenca y el área de la misma. Valores altos indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte.

Lo anterior se llevó a cabo de cara a tener una visión del comportamiento hídrico de estas cuencas y analizar los impactos y su comportamiento con respecto a eventuales crecidas de cursos de agua.

2.3.1.4 Elaboración 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 baja y extensa, análisis de factores del medio físico (geomorfología, geología, cobertura y estructura vegetal, distancia curso de agua, entre otros). En tanto, los sectores en donde el río socava han sido demarcados y obedecen a una condición dinámica de máxima concavidad del meandro y consecuentemente de velocidad del fluido. Los sectores de inundación recurrente asociados a esta dinámica fluvial corresponden muchas veces a áreas localizadas en secciones de menor altura de terrazas, y su límite se ha trazado siguiendo las inflexiones de las curvas de nivel, como también en base a lo observado en terreno e información recogida con la personas del lugar. Las morfologías presentes y la dinámica fluvial constituyen el cuadro funcional del sistema. En este sentido el nivel de encauzamiento fluvial es la unidad de análisis morfológico más relevante, según la presencia y características de las siguientes formas:

Análisis Geológico y Geomorfológico.

La geología y geomorfología se generaron en base a información secundaria, mediante la digitalización de carta Geológica y/o carta Geomorfológica disponible del área de Valdivia del SERNAGEOMIN, a través del procesamiento de la información usando el software SIG ArcGis 10.1, 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.

En este estudio se elaboraron modelos de Susceptibilidad, entendida ésta como las características físicas de un territorio considerando sólo las características naturales que incrementan o mitigan la ocurrencia de un evento natural. Estas se determinaron mediante un proceso de agregación cartográfica de estas características, utilizando álgebra de mapas, a través de Evaluación Multicriterio (EMC), donde se le asignaron un peso a cada variable espacialmente distribuida de importancia para cada evento; para esto se desarrollaron talleres de expertos con el equipo de trabajo, y revisión de antecedentes bibliográficos (libros, manuales técnicos y publicaciones científico-técnicas), con el objeto de definir tanto los factores como la importancia relativa de cada uno en la ocurrencia de los eventos de remoción en masa, licuefacción, inundación y anegamiento. La función de valor de cada factor fue establecida de la misma forma anterior. La matriz de evaluación 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 10.1.

Conceptualmente, la evaluación de la susceptibilidad, considero:

- 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.

Se consideró una serie de elementos que permitieron el análisis y modelación. En esta etapa se incorporó la evaluación determinística de la susceptibilidad a partir de la matriz de evaluación y su desarrollo espacialmente explícito. A continuación se describen los factores de susceptibilidad considerados para la construcción de las matrices:

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 (Barrientos & Pomés 1993).

En este sentido la prevención de los efectos de las inundaciones se puede lograr mediante una serie de medidas estructurales, como la construcción de diques, canales, embalses u otros; y medidas no estructurales, como la información a la gente y la delimitación de las zonas de mayor riesgo; en que la representación espacial de las áreas posiblemente afectadas proporciona una mejor comprensión del fenómeno, siendo un apoyo más eficaz en la toma de decisiones (Jonkman et al. 2008).

Algunos de los factores más relevantes 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.

El equipo técnico, considerando los antecedentes bibliográficos existentes y la experiencia de los profesionales integrantes, definió una serie de factores y sub factores que precisan los elementos ya sugeridos por investigaciones como las de: Mardones & Vidal (2001), Ayala-Carcedo & Olcina (2002), Ayala-Carcedo *et al.* (2006), de la siguiente forma:

Factores Geológicos:

- Material parental: En este factor, la característica principal es la textura de los sedimentos que componen el suelo y su condición de drenaje. Tipologías impermeables dificultan la infiltración, haciendo que la inundación dure por mayor tiempo. Así, sedimentos de tamaños medios a gruesos como las arenas otorgan una menor susceptibilidad ante inundaciones, y tipologías finas como el limo y arcillas aumentan esta condición (Mardones & Vidal 2001).

- Clase de drenaje de suelo: Este factor condiciona la dinámica de los caudales en los cursos, asociados a la permeabilidad del suelo según estudio agrológico de CIREN 2002, para la X Región de Los Lagos.

Factores Geomorfológicos:

- Geomorfología: Relieves de llanuras y terrazas inferiores son generalmente los más afectados por los procesos de inundación (Ayala-Carcedo & Olcina 2002). A diferencia de esto, según Mardones & Vidal (2001) las unidades de terraza superior, plataformas y cordones montañosos son los menos afectados.
- Pendiente: La presencia de taludes o fuertes pendientes disminuye la probabilidad de inundación potencial de un sector en particular, siendo asignado a las más bajas una mayor susceptibilidad (MMA 2004).

Distancia:

- Distancia a red hídrica: Wan (2009) y Yalcin (2008) señalan que la distancia al curso de agua puede condicionar la influencia de un evento de crecidas y el grado de saturación hídrica de los componentes del suelo por lo que se acentuarían los efectos de una inundación. A su vez, esta distancia estará influenciada por la altitud de la pared del lecho del río en cada ribera, generando un efecto diferenciado (Tabla N° 3).

Tabla N° 3. Matriz de evaluación para la 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 para el estudio	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 para el estudio	>30°	20 - 30°	5 - 20°	0 - 5°
55	Distancia a la red hídrica permanente (m)	30	Elaborado por LPT-UCT para el estudio		> 200	30 - 200	0 - 30
	Distancia a la red hídrica estacional o canal (m)	10	Elaborado por LPT-UCT para el estudio		> 4 m	2 - 4 m	0 - 2 m
	Diferencia de altura desde curso de agua (m)	60	Elaborado por LPT-UCT para el estudio	> 6 m	3 - 6 m	2 - 3 m	0 - 2 m

Fuente: Elaborada por equipo LPT-UCT 2013.

2.3.2 Elaboración de escenarios de inundación

Para este acápite se utilizó como información base de referencia el estudio hidrológico de “Actualización y ampliación cobertura plan maestro de aguas lluvia Valdivia, Región de Los Ríos” actualmente en proceso de elaboración por la DOH-MOP, el Estudio “Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el país, Caudales Máximos y Mínimos” Manual de Procedimientos, de la DGA y el “Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica” de la DGA, 1995. Este modelo, el cual es utilizado a nivel nacional y presenta carácter tendencial, lo cual no incluye las variaciones futuras de cambio en las precipitaciones producto del cambio climático. Sin embargo, es importante señalar que los resultados que se indican en el punto 3.3.1 de este informe señalan que no existen aumentos relevantes en las precipitaciones a 30 y a 50 años, en comparación al centro norte del país.

Para los escenarios de inundación fluvial, se calcularon las crecidas y los caudales mínimos; para las crecidas, se estimaron caudales máximos en período pluvial.

Los principales aspectos que se consideraron son:

- Para crecidas pluviales se establecen relaciones destinadas a estimar el caudal medio diario máximo asociado al período de retorno 10 años; y 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 detallada en el Anexo N°3.2.

2.4 Análisis de peligros de desarrollo lento

Los peligros de desarrollo lento se encuentran relacionados con los procesos de cambio climático, como sequías, olas de calor y aumento del nivel del mar, incluyendo las proyecciones de estos. En este contexto se analizaron los efectos (en cuanto a la amenaza) e impactos socioeconómicos (en cuanto a la vulnerabilidad).

2.4.1 Caracterización y análisis de cambios de factores climáticos

En primera instancia se realizó un análisis de las principales fuentes de información mundial de tipo secundaria provenientes de WMO, IPCC, NOAA, además de instituciones públicas con competencia en el tema como el Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Por otro lado, a nivel nacional se revisó información a través de bibliografía de estudios publicados en artículos de revistas de carácter científico para Valdivia y alrededores. Además, se hace revisión sobre planes e instrumentos a nivel nacional relacionados con el cambio climático.

En segunda instancia, se realizó un análisis de la ciudad de Valdivia basado en una base de datos de precipitación, para visualizar el comportamiento de las precipitaciones, como insumo para identificar cambios en un período de 20 o más años dependiendo de la disponibilidad de información. El análisis se realizó a través de estadística descriptiva considerando un nivel de detalle mensual, y la fuente de información a consultar fue la proveniente de la estación Llancahue de la DGA período 1990 a 2010.

En tercera instancia, se consideraron dos escenarios (según lo establecido por el IPCC 2007) incluidos en el tercer informe del IPCC 2007, SRES A2 y B2, para los cuales existe información disponible para la zona de estudio; del modelo de circulación general de la atmósfera HadCM₃ (Hadley Center versión 3), se obtuvieron los datos del punto de rejilla geográficamente más próximo a la zona de estudio (Y=51, latitud 40°S, y X=78,

longitud 71,5° W). Para llevar a cabo el escalamiento de las variables meteorológicas, se utilizó el programa SDSM 4.2, utilizando los promedios diarios de temperatura y precipitaciones del período de 1960 a 2014, de la Estación de la Universidad Austral de Chile (UACH).

Primero se analizaron los 26 predictores disponibles en el archivo de datos predictores (NCEP), y se seleccionó para el período observado 1961-1990 el subconjunto que mostró el mejor ajuste con el predictando (Temperatura y Precipitaciones). Las variables predictoras se correlacionaron en común con la base de datos de predictandos de la estación de UACH. Estas variables predictoras fueron para escenarios de temperatura: humedad relativa superficial (rh_{um}), humedad específica superficial (sh_{um}) y altura geopotencial a 500 hpa (p₅₀₀). Por otra parte las variables predictoras para las precipitaciones: la humedad relativa superficial (rh_{um}) y la humedad específica superficial (sh_{um}). El modelo se validó con los datos del período observado 1961-1990. Finalmente, con un nivel de significancia de 0,05, se generó un ensamble de 20 experimentos de series diarias en los escenarios A2 y B2 (IPCC 2007), derivados del HadCM3 desde el año 1961 hasta el año 2099.

2.4.2 Cambios en el nivel del mar

El presente estudio proyectó la tendencia del nivel del mar en la zona de Valdivia considerando el cambio climático global y los cambios de nivel asociados al tectonismo, entre los años 2014 y 2050. Para lograr esto, se utilizaron dos metodologías diferentes. Por un lado se ajustó el registro de 25 años del mareógrafo de la bahía de Corral a la proyección global de aumento del nivel del mar, considerando dos escenarios propuestos por el IPCC (A2 y B2). El otro método ajustó las proyecciones locales propuestas por el “Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI” para la costa chilena (Universidad de Chile, 2006) con los datos de desplazamientos tectónicos verticales de la costa, medidos con GPS geodésico. La metodología se detalla en el Anexo N° 1.1.

2.4.3 Efectos e impactos socioeconómicos de los peligros de desarrollo lento

2.4.3.1 Efectos relacionados a los peligros de desarrollo lento

El análisis de los efectos se señala en la carta de “Mapa de efectos de multiamenazas e impactos socioeconómicos asociados a cambio climático”; se desarrolló en base a la integración de resultados obtenidos del análisis de los peligros de desarrollo lento e inundación fluvial, en este último caso, considerando el modelo de susceptibilidad ante eventos de inundación fluvial, ya que es el que se acerca a un peor escenario de probabilidad de ocurrencia. Al respecto, el IPCC 2007 establece los siguientes efectos generados por el cambio climático observado en la siguiente tabla (Tabla N° 4). Es importante indicar que solamente se consideraron los efectos que se presentan en el área de estudio.

Tabla N° 4. Principales efectos del cambio climático actual según IPCC 2007.

Cambios proyectados en fenómenos climáticos extremos y su probabilidad	Consecuencias del cambio climático
Días y noches más cálidos y menos frecuentemente fríos, días y noches más cálidos y más frecuentemente muy cálidos (prácticamente seguro).	Disminución de la demanda de energía para calefacción, aumento de la demanda de refrigeración, disminución de la calidad del aire en las ciudades, menos dificultades para el transporte debido a nieve y hielo, efectos sobre turismo de invierno.

Cambios proyectados en fenómenos climáticos extremos y su probabilidad	Consecuencias del cambio climático
Periodos cálidos/olas de calor. Aumento de su frecuencia en la mayoría de las extensiones terrestres (muy probable) .	Aumento en demanda por agua; problemas de calidad del agua; aumento en riesgo de mortalidad relacionado con el calor, especialmente para la tercera edad, enfermos, muy jóvenes y personas socialmente aisladas; reducción en la calidad de vida para personas en áreas calurosas sin vivienda apropiada.
Área afectada por el aumento de las sequías.	Mayores extensiones afectadas por estrés hídrico; escasez de agua; degradación de la tierra; menor rendimiento, deterioro e incluso malogramiento de los cultivos; aumento del riesgo de incendios incontrolados; menor potencial de generación hidroeléctrica; posibles migraciones de la población.
Episodios de precipitación intensa. Aumento de su frecuencia en la mayoría de las regiones (muy probable).	Efectos adversos sobre agua superficial y subterránea; contaminación de fuentes de agua; aumento en riesgo de muerte, lesiones y enfermedades infecciosas, respiratorias y de la piel; disrupción de asentamientos, comercio, transporte y sociedades debido a inundaciones; desplazamiento de personas; presiones sobre infraestructura rural y urbana; pérdida de propiedad; estrés hídrico puede ser aliviado (beneficio de corto plazo).
Aumento en actividades de tormentas tropicales intensas (probable) .	Cortes de energía; migración hacia áreas urbanas; disrupción de fuentes públicas de agua potable; aumento en riesgos de muerte, lesiones, enfermedades de alimentos y de agua; estrés posttraumático; disrupción por inundaciones y vientos fuertes; ausencia de seguros privados en áreas vulnerables; pérdida de propiedad.
Aumento en incidencia de niveles de mar alto (excluye tsunami) (probable).	Reducción en disponibilidad de agua fresca debido a salinización; aumento en riesgo de muerte y lesiones por inundaciones y efectos sobre salud de migrantes; pérdida de propiedad y medios de sustento; erosión permanente y sumersión de terrenos; costos de protección costera versus costos de relocalización de usos de suelo; potenciales migraciones; infraestructura de protección.

Fuente: IPCC 2007 en Barton 2009.

2.4.3.2 Impactos socioeconómicos relacionados a los peligros de desarrollo lento

El análisis de los impactos socioeconómicos se representa en la carta de “Mapa de efectos de multiamenazas e impactos socioeconómicos asociados a cambio climático”

Dado el carácter relativamente difuso de estos fenómenos y el nivel prospectivo de los datos relativos a sus efectos en escenarios vinculados al cambio climático a nivel local, para el estudio de sus previsibles impactos se planteó un análisis prioritariamente cualitativo, en base a información secundaria de actores estratégicos y estudios disponibles relativos a esta cuestión. En este sentido, se trabajó considerando las estrategias y sectores de vulnerabilidad recogidos en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (CONAMA, 2012), en el sentido que afecten al área urbana de Valdivia; principalmente: crecimiento urbano, sector silvoagropecuario, ecosistemas, salud, infraestructura, recurso hídrico, turismo.

Se estimaron dos tipos de impacto: material, y humano, para cada peligro considerado. Ello se evaluó a partir de información documental recopilada sobre las distintas infraestructuras implicadas, y los aportes de las entrevistas a actores estratégicos, en función de los datos levantados para las proyecciones de los distintos escenarios de cambio climático relativos a nivel del mar, temperaturas y precipitaciones. Se evaluaron impactos sociales y económicos relativos a:

- Subida del nivel del mar y marejadas: impactos en infraestructura portuaria y/o áreas turísticas.

- Sequía y ola de calor. Incremento de temperaturas. Impactos relativos a: incremento de incendios, a partir de mapas de peligrosidad regional e incendios; e impactos relativos a déficit hídrico futuro, particularmente en zonas rurales dependientes de Agua Potable Rural. Evaluación del actual sistema de abastecimiento de agua de Valdivia. Evaluación sintética de la capacidad hospitalaria de la ciudad.
- Tormentas: impactos recogidos en el análisis prospectivo de inundación fluvial y anegamiento.

2.5 Evaluación de la vulnerabilidad

Siguiendo metodologías desarrolladas respecto a estudios de riesgo, en concreto la aplicada por el Centro de Prevención de Desastres Naturales de Perú (PREDES, 2010), se trabajó sobre dos tipos de vulnerabilidad: la vulnerabilidad material, en el sentido de susceptibilidad a sufrir pérdidas materiales y económicas de la ciudad; y la vulnerabilidad humana, es decir, susceptibilidad a sufrir daños humanos, tales como pérdida de vidas o afecciones a la salud y las condiciones básicas de vida de la población.

La vulnerabilidad material de ante el efecto de una amenaza determinada considera las características físicas de los materiales constructivos y la tipología estructural de los edificios. Para ello se consideraron las zonas de la ciudad expuestas a los diversos eventos y amenazas objeto de análisis del presente estudio. Para cada una de las amenazas estudiadas se estimó lo anteriormente señalado.

El esquema metodológico general es el siguiente (Figura N° 3):

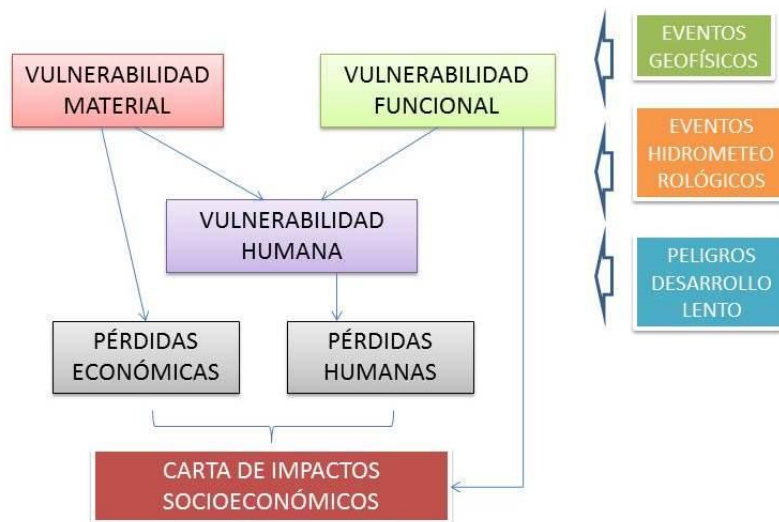


Figura N° 3. Esquema del análisis de Vulnerabilidad. Fuente LPT-UCT 2013.

Sin embargo, para la estimación de la vulnerabilidad humana, aparte de la consideración de variables sociales y demográficas, como la densidad de población o el nivel socioeconómico, influyen otros dos tipos de variables: la preparación e información ante emergencias (grado de afección y respuesta de determinados servicios e infraestructuras básicas para el caso de emergencias), y la propia vulnerabilidad material, entendida como debilidad de los edificios que acogen a las personas.

2.5.1 Estimación de la vulnerabilidad funcional o resiliencia

Se define la vulnerabilidad funcional como la susceptibilidad de una serie de servicios de emergencias e infraestructuras básicas a sufrir daños ante un evento natural, y quedar por consiguiente inoperativos, poniendo en peligro a la población.

Entre los elementos y servicios considerados, estarán:

Estructurales:

1. Infraestructura básica: como la de transporte, siendo relevantes puentes y vías de acceso, así como estaciones de buses, de ferrocarril, aeródromos y muelles fluviales. También se consideran la infraestructura eléctrica, almacén de combustibles y productos peligrosos, red de aguas de lluvia, abastecimiento de aguas, incluyendo redes de suministro, y evacuación y depuración de aguas residuales, puntos de deposición de residuos, centros de abastecimiento de alimentos, entre otras.

No estructurales:

2. Servicios de emergencia de importancia básica: incluyendo cuerpos de seguridad, órganos de gobierno y servicios sanitarios.

3. Estructura y organización ante emergencias: estos deben responder a informar sobre la existencia de oficinas de emergencias y planes de emergencias, además de coordinar los servicios de emergencia y de determinar el grado de afectación de los riesgos y protocolos de emergencia entre la población. Para la obtención de este tipo de información se trabajó con fuentes provenientes de: la Municipalidad de Valdivia, Dirección de Obras, IDE Chile, ONEMI, y aportes de los actores relevantes en Talleres de Participación. Esta información se clasificó y catalogó ante eventos naturales.

Se realizó una ficha catastro infraestructura (Tabla N°5) que consideró los siguientes aspectos:

- Nombre del servicio
- Localización
- Año de construcción
- Tipo de estructura / materialidad
- ¿Dispone de protocolo de emergencia?
- ¿Dispone de suministro eléctrico autónomo?,
- Exposición a algún evento natural
- Reacción ante un sismo de alta intensidad

Estas dos últimas consideraciones se desprendieron del análisis a consulta a expertos, relativas a la reacción de los servicios ante una situación de emergencia. Se valoran con un esquema de colores en función de su nivel de adecuación (bueno, medio, crítico).

Tabla N°5. Ficha Catastro Infraestructura.

Nombre de Institución	Dirección:	
Imagen	Año de construcción:	Protocolo de emergencia: Sí/No
	Tipo de estructura: Sismo resistente: Sí/No	N° de Plantas o Pisos:
	Exposición a algún evento natural:	Reacción ante sismo de alta intensidad:

Fuente: LPT - UCT 2013.

Este análisis abarcó los siguientes servicios e infraestructuras básicas ante emergencias:

Infraestructuras básicas:

- De transporte y comunicaciones:
 - Red viaria y de accesibilidad esencial
 - Puentes
 - Terminales de bus y ferrocarril, muelles, aeródromo
- Telecomunicaciones
- Infraestructuras Eléctricas
- Infraestructuras de aguas pluviales y depuración de aguas
- Depósitos de combustibles y sustancias peligrosas
- Vertederos y deposición de residuos
- Suministro de agua potable
- Patrimonio

Servicios básicos ante emergencia:

- Cuerpos de seguridad
- Cuerpos de gobierno
- Edificios de salud

Estructura y organización para emergencias:

- Existencia de planes de emergencias
- Existencia de coordinación entre servicios de emergencia
- Existencia de determinado grado de información de riesgos y protocolos de emergencia entre la población
- Severidad y calidad de esta información entre la población

Como conclusiones más relevantes en este aspecto, y para cada tipo de amenaza distinto, se plantearon las siguientes cuestiones, que se representan en una tabla de síntesis, con indicadores de colores en función del grado de cumplimiento o adecuación de cada aspecto (bueno, medio, crítico):

- ¿Las principales infraestructuras y servicios de emergencia están ubicadas en zonas de riesgo?
- ¿Las principales infraestructuras y servicios se mantendrían operativas ante un evento de riesgo, con la excepción de un evento sísmico de gran intensidad?
- Respecto a protocolos de emergencias.
- Existencia de planes de emergencias: ¿existe un Plan Formalizado?
- Existencia de coordinación entre servicios de emergencia: SÍ/NO.
- Grado de información de riesgos y protocolos de emergencia entre la población.
- Severidad y calidad de esta información.

2.5.2 Vulnerabilidad material y humana ante eventos geofísicos e hidrometeorológicos

2.5.2.1 Vulnerabilidad material

Se estimó como una función de diversas variables: el tipo de estructura de las construcciones; antigüedad y estado de conservación de las construcciones; altura, expresada en número de plantas o pisos; así como el factor de intensidad del fenómeno.

La tipología de la estructura se estimó por manzana, como un promedio a partir de los datos incorporados de las manzanas censales (INE, 2012), así como por los aportes de los actores estratégicos, así como a partir de imágenes satelitales y visitas in-situ sobre el terreno. Esto se trabajó en base a tres categorías:

- Uno: edificios con estructura de fábrica de ladrillo o piedra antiguos
- Dos: estructuras de madera y acero en viviendas unifamiliares
- Tres: Hormigón armado y acero, en estructuras sismorresistentes

La antigüedad se estimó igualmente por manzana a partir de los datos incorporados a nivel censal (INE, 2002), así como por los aportes de los actores estratégicos y el reconocimiento en terreno. Se abordó en tres categorías:

- Baja: edificaciones con menos de 20 años, y edificaciones rehabilitadas y con un alto mantenimiento
- Media: edificaciones con entre 20 y 45 años de antigüedad
- Alta: edificaciones con más de 45 años de antigüedad

La altura se estimó por manzana a partir de los datos detectados in situ y del análisis de la imagen satelital. Se divide en tres categorías:

- Edificaciones de una o dos plantas
- Edificaciones entre dos y cuatro plantas
- Edificaciones de más de cuatro plantas

Cada una de estas variables se ponderó considerando:

$$\text{Rango vulnerabilidad} = 6(\text{vestr.}) + 4(\text{altura}) + 4(\text{antigüedad})$$

A partir del proceso espacial de sumatoria de estas variables, aplicadas en el sistema de algebra de mapas utilizando ArcGIS 10.1 se generó una carta de vulnerabilidad material.

2.5.2.2 Vulnerabilidad humana

Para el cálculo de la vulnerabilidad humana, se consideraron las siguientes variables: población vulnerable socioeconómicamente, densidad de población, y vulnerabilidad material. Por último, la vulnerabilidad funcional considerada para cada tipo de amenaza, tal como se ha descrito anteriormente, incluyendo los diferentes sistemas de aviso y de respuesta de los servicios de emergencia, autoridades y gestores de infraestructuras en la reducción del riesgo (Figura N° 4).



Figura N° 4. Representación de variables para estimación de vulnerabilidad humana. Fuente: LPT-UCT 2013.

Vulnerabilidad Material

Es la que se ha descrito con anterioridad.

Cálculo de la población en riesgo

La población en riesgo, se estimó a partir de los datos censales INE (2012,) relativos a densidad media de población por manzana. Se expresó en los siguientes niveles:

- Baja: menos de 50 hab./ha.
- Media: 50 –150 hab./ha.
- Alta: más de 150 hab./ha.

Vulnerabilidad socioeconómica

Se consideró la población de nivel socioeconómico más bajo así como aquella en situación de exclusión social o altas tasas de analfabetismo. Estos datos se extrajeron de INE (2012), así como de información aportada por actores estratégicos.

Estimación de las tasas de mortalidad y cálculo del número de víctimas potenciales

El número de víctimas potenciales ante un evento catastrófico se obtiene del producto de la población en riesgo (PR) existente en el área de afección y la tasa de mortalidad establecida (FR). Para efectos de este trabajo, una vez determinada el área expuesta a amenaza y consiguientemente la población expuesta en función de las densidades de población consideradas, se estimó a partir de los niveles de vulnerabilidad material, funcional, y la preparación ante eventos de emergencia considerados, incluyendo la existencia o no de sistemas de aviso (Graham, 2005), unas tasas de mortalidad o afección a la población. En el caso de un evento sísmico esta estimación es difícilmente cuantificable, por lo que se comparó, en función de la población expuesta, con otros eventos similares.

2.5.3 Estimación del Riesgo

A partir del método explicado anteriormente se generan distintos escenarios para inundación fluvial y terremoto, en el cual, se consideraron la intensidad del evento (medida tomando una determinada magnitud indicadora de la gravedad del proceso, por ejemplo velocidad del caudal o profundidad de inundación), con el daño medio esperado. Por lo tanto, para cada tipo diferente de amenaza, se selecciona una función o índice de vulnerabilidad que relaciona la intensidad con el nivel de daño esperado para cada elemento, humano o material, expuesto.

2.5.3.1 Riesgo Material

El riesgo, se define como una función de la amenaza y la vulnerabilidad, relacionado con la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno.

$$R = \text{Probabilidad} \times (\text{Intensidad de evento, Vulnerabilidad})$$

Se consideró, para el escenario más probable (amenaza inundación fluvial cada 10 años) y peor escenario (amenaza terremoto, periodo de retorno para inundación de 100 años), una determinada magnitud del evento. Para la estimación del riesgo material ante sismo, la medida de intensidad es, por ejemplo, la aceleración horizontal esperada vinculada a cada zona geológica de la ciudad, combinada con la magnitud del evento (Alvarado 2012).

Para una medida de intensidad determinada y un tipo de estructura se consideró, a partir del análisis de otras metodologías, una función de vulnerabilidad que nos diera el nivel de pérdida esperado, entre 0 y 1. Esta función se adoptó a partir de las funciones propuestas en estudios experimentales equivalentes al objeto del trabajo (PREDES 2010).

La pérdida material, consiguientemente, vincula el porcentaje de daño asignado a cada grado de vulnerabilidad, con el coste de reposición, que es el coste de la edificación como si fuera nueva, menos la depreciación debida a su antigüedad.

Para la obtención del valor o coste de reposición de la edificación existente expuesta a las distintas amenazas, se obtuvo una superficie construida por manzana, determinada a partir de las huellas de las edificaciones que aparecen en la cartografía de la SECPLAC (2012) y la fotografía aérea, que se multiplicó por la altura media de las manzanas tal como se identificaron la fase anterior.

Respecto al coste de reposición por metro cuadrado para cada tipo de edificación identificado, el tipo de materialidad de cada edificación se ha definido en el apartado de vulnerabilidad material, asignando un tipo constructivo medio por manzana. En cuanto al coste de construcción por metro cuadrado (m^2), se obtuvieron los

valores asimilando cada uno de los tipos de materialidad con los niveles de calidad constructiva definidos por la Cámara Chilena de la Construcción, para tipos genéricos de construcción.

Finalmente se obtuvo el Coste de Reposición, que es el coste de construcción menos la depreciación por antigüedad. En función de la antigüedad media por manzana igualmente determinada, se aplicó a los costos totales por manzana, el factor de depreciación vinculado a su grado de antigüedad.

Una vez obtenido el Coste de Reposición (CDR) por manzana, para estimar las pérdidas, se aplicó la vulnerabilidad obtenida en cada escenario para cada manzana, por el CDR de esa manzana.

$$\text{Pérdida} = \text{CDR} \times \% \text{Vulnerabilidad}$$

2.5.3.2 Riesgo Humano

Es entendido como pérdidas humanas esperadas ante un evento, y se ha descrito en parte en el apartado de vulnerabilidad humana, pero se especifica a continuación.

Estimación de las tasas de mortalidad y Cálculo del número de víctimas potenciales

El número de víctimas potencial ante un evento catastrófico se obtiene del producto de la población en riesgo (PR) existente en el área de afección y la tasa de mortalidad establecida (FR). En el caso de un evento sísmico esta estimación es muy difícilmente cuantificable para un estudio como el presente. Para los efectos de este trabajo, se propuso, una vez planteado un escenario con un evento de una intensidad determinada y una cantidad de población afectada según la zona de exposición de la amenaza, estimar a partir de los niveles de vulnerabilidad material, funcional, y la preparación ante eventos de emergencia considerados, incluyendo la existencia o no de sistemas de aviso (Graham, 2005) unas tasas de mortalidad, con el fin de ponderar los resultados de mortalidad esperados por comparación con eventos similares (por ejemplo, considerando lo ocurrido en Valdivia en 1960 y en Concepción en 2010).

2.6 Entrevistas y talleres de participación

Se desarrolló una serie de subtemas entre los cuales, está una sistematización de la información necesaria (primaria y secundaria) para conocer la percepción y evaluación de riesgos por desastres naturales pasados y futuros, desde la mirada histórica y actual de los acontecimientos ocurridos, de los actores involucrados directa o indirectamente en la gestión de riesgos naturales en la ciudad.

El énfasis se concentró en la dimensión social y/o vulnerabilidad social, es decir, la evaluación y percepción que los actores hacen de la institucionalidad, experiencia y acontecer vivenciados ante la amenaza de riesgos naturales.

En esta etapa se consideraron tres enfoques metodológicos:

- 1) Recopilación de antecedentes técnicos para la formulación de los escenarios esperables a causa del cambio climático.
- 2) Percepción y evaluación de los riesgos por parte de los agentes, actores y ciudadanía.
- 3) Actitud colaborativa entre los expertos y los actores claves (agentes, actores y ciudadanía). Esta propuesta aborda el enfoque número 2, contando de esta manera con los antecedentes históricos desde la mirada de los sobrevivientes para así poder contrastar tales datos con los análisis técnicos respecto a los escenarios esperables en situación de desastre naturales que pudiesen ocurrir.

Transversalmente se trabajó en el análisis de la situación pasada y actual relativa al grado de vulnerabilidad en que se encuentran o se sienten los habitantes del territorio.

2.6.1 Entrevistas a actores claves

Con el objetivo de poder contrastar los antecedentes técnicos con la percepción y evaluación de los riesgos experimentados por partes de los agentes, actores y ciudadanía en su conjunto, se llevó a cabo un proceso de revisión de datos secundarios y primarios provenientes de actores públicos y privados relacionados directa o indirectamente con la gestión de riesgos, cambio climático y crecimiento urbano.

Lo anterior, a través de entrevistas semiestructuradas a agentes, actores públicos y privados relacionados con la gestión de riesgos, cambio climático y crecimiento urbano, que se enuncian en la tabla N° 6:

Tabla N° 6. Contenidos presentes en la entrevista semiestructurada.

Tema: "Dimensión"	Subtemas a explorar
1.1. Identificar agentes, actores y ciudadanía claves.	a. Título, especialidad, sexo, edad etc. b. Cargo que ocupa/ocupaba. c. Institución.
1.2. Descripción del rol y responsabilidad de la institucionalidad pública sobre la gestión de riesgos naturales ante amenazas potenciales y en la actualidad.	a. Descripción de su ámbito de competencias/funciones. b. Descripción de sus responsabilidades.
1.3. Percepción y conocimiento por parte de los actores locales (público, privado) acerca del cambio climático y sus implicancias en las amenazas naturales.	a. Percepción/Conocimiento concepto de cambio climático. b. Percepción/Conocimiento de las amenazas naturales en la ciudad. c. Percepción/Conocimiento de la relación entre ambos conceptos.
1.4. Conocer la capacidad de reacción ante el riesgo de desastre naturales y las acciones que esto pueden tomar individual o colectivamente para reducir la exposición y la vulnerabilidad frente a estas amenazas.	a. Descripción de las herramientas para mitigar los efectos de las amenazas naturales. b. Valoración y conocimiento de campañas de preparación antes amenazas naturales. c. Distinguir entre herramientas y medidas a realizar o realizadas individual o colectivamente.
5.5. Evaluación histórica del grado de desastre en un período de 75 años a la fecha, a partir de la percepción de los actores claves sobrevivientes al desastre.	a. Descripción de los hechos históricos al momento de ocurrido el desastre. b. Percepción del nivel de desastre ocurrido a nivel personal, como en el territorio.

Fuente: LPT - UCT 2013.

En cuanto a las fuentes de información y actores claves, estos pueden ser clasificados preliminarmente. Ello se describe en la tabla N° 7:

Tabla N°7. Fuentes de información y actores claves.

Actores Privados	- Centros de Investigación - Universidades - Empresas
Actores Públicos	- Ministerios - Gobierno Local (municipios, GORE, Oficinas regionales)
Sociedad Civil	- Sobrevivientes de catástrofes naturales - ONGs - Organizaciones funcionales y territoriales
Grupos Multilaterales	- Gremios - Asociaciones profesionales, sindicales, etc.

Fuente: LPT - UCT 2013.

Finalmente, se elaboró un mapa de actores relevantes en el contexto de riesgos naturales para la ciudad de Valdivia.

2.6.2 Elaboración de talleres de participación

Se realizó un taller de participación el cual se planteó en base a los siguientes objetivos:

- Complementar, analizar y validar la información temática y territorial con respecto a la zonificación de antiguos y actuales fenómeno hidrometeorológicos (inundaciones y peligros de desarrollo lento) y geofísicos (terremoto y tsunami) en Valdivia y entorno.
- Priorizar los principales fenómenos naturales y los efectos que generan en la población y sus bienes.
- Complementar, analizar y validar la información temática existente relacionada con la vulnerabilidad de Valdivia y alrededores ante fenómenos naturales, según lo establecido en IPCC (2012)/PANCC(2013) en cuanto a los sectores de análisis de riesgo: salud, ecosistemas, silvoagropecuario, recursos humanos, infraestructura, energía, pesca y turismo.
- Levantar información con respecto a la disponibilidad y orgánica a nivel regional y local de: 1.- identificación de la red de monitoreo meteorológica, 2.- avances en estudios sobre riesgos climáticos a nivel local, 3.- existencia de indicadores de efectividad; 4.- plataformas existentes a nivel regional y 5.- centros de investigación existentes en la región.

Criterios de selección de Actores Claves Públicos-Privados: se convocaron a representantes de los servicios públicos y municipales, corporaciones, ONGs, organizaciones sociales, colegios profesionales y académicos que tengan información pertinente acerca de la temática de riesgos naturales y que se desarrollen laboralmente en Valdivia.

Modalidad de convocatoria: se consensó una nómina definitiva de 20 invitados entre ambas partes con el objetivo de asegurar la asistencia de un mínimo de 20 integrantes.

Conformación de las Mesas: Se trabajó en mesas de máximo 10 personas, en conjunto con un moderador y un asistente. Los dos últimos serán integrantes del equipo LPT/UCT (Tabla N° 8).

Tabla N° 8. Temas y responsables de mesa.

MESA	TEMAS PRIORITARIOS	RESPONSABLES
	<ul style="list-style-type: none"> Localización áreas históricas y actualmente afectadas por fenómenos naturales. Priorización de los principales fenómenos naturales que afectan Valdivia y alrededores. Información disponible y organización de la institucionalidad pública en temas de riesgo de la Región de Los Ríos. 	<i>Moderador:</i> <i>Asistente:</i>

Fuente: LPT - UCT 2013.

Metodología de Trabajo: La jornada de trabajo se conformó en dos etapas:

- Bienvenida y Presentación en Plenario:* Saludo de bienvenida.
Presentación del Proceso ESTUDIO y resumen del levantamiento de información a la fecha.
Presentación de los objetivos y metodología de trabajo para el taller. Encargado de LPT-UCT.
- Trabajo en Mesas:*
Cada mesa se compuso de un número máximo de 10 integrantes, 1 moderador y 1 asistente. Los moderadores guiaron la discusión de la mesa, mientras que el asistente es quien sistematizó las ideas principales y acuerdos tomados en plantillas, cartografía base y temática dispuesta para ello.

Productos: Los resultados establecidos por cada mesa fueron los siguientes:

- Cartografía base y temática con zonificación histórica y actual de los fenómenos naturales de Valdivia y su entorno.
- Encuesta con la identificación de las principales observaciones de los participantes.
- Listado complementario de actores claves.
- Resumen de las principales conclusiones y acuerdos.

3 Resultados de la Tarea N°2

3.1 Riesgos Geofísicos

3.1.1 Análisis histórico de los eventos geofísicos

Se presenta una síntesis del análisis; el detalle del análisis realizado se encuentra en el anexo N° 2.1.

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 a nivel internacional es el ocurrido el 22 de Mayo de 1960, debido al efecto destructor del terremoto de Mw 9,5, y posterior tsunami que afectó directamente al sur de Chile. En tanto, otros eventos destructivos y que tuvieron consecuencias similares a las de 1960, son los terremotos también tsunamigénicos que acontecieron los años 1537 y 1837. Los efectos del terremoto de 1960 en la ciudad de Valdivia fueron muy severos en las riberas de los ríos Calle Calle, Valdivia y Angachilla, por efecto de la subsidencia co-sísmica, que produjo el hundimiento de la ciudad en 2 metros, y provocó una altura promedio de ola de tsunami de 10 metros que afectó al litoral. Extensos sectores de la ciudad se inundaron, como por ejemplo la avenida Arturo Prat (costanera) donde los adoquines del Malecón sufrieron grietas y resaltes en la superficie; de acuerdo a Rojas 2010, la destrucción fue tan considerable en la costanera que sólo se podía realizar un mínimo de tráfico peatonal y de mercancías; además el hundimiento del terreno provocó que el río Valdivia aumentara su ancho en las zonas en que sus riberas son más bajas, y consiguientemente aumentó la zona de humedales en la ciudad y cercanías a esta. Otro efecto del terremoto fue la obstrucción del desagüe del Lago Riñigüe; a pesar de las obras de desagüe controlado del “tapón”, evento conocido como “Riñihuazo”, se generó una importante inundación en junio 1960 que afectó al sector de los barrios bajos y Miraflores.



Fotografía N°1. Destrucción de viviendas por efecto del terremoto 1960 en la ciudad de Valdivia. Fuente Diario Austral de Valdivia, Mayo 1960.

A raíz de la historia sísmica de Valdivia, son los barrios histórico los más afectados (Centro, Barrios Bajos, Las Ánimas, Beneficencia y la riberas 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, siendo evidencia de esto los graves efectos en la infraestructura, como se puede comprobar en los registros fotográficos de la época (año 1960). En cuanto a los efectos generados por el tsunami, en la ciudad no se percibieron daños estructurales, dadas las “barreras naturales” que esta posee, como el área de Puerto Corral, Niebla, Isla del Rey e Isla Mancera; estas áreas recibieron los efectos de las olas, posterior inundación y socavación de estructuras. Además, cabe mencionar el efecto de contención como “barrera natural” de los humedales dispuestos en red de conexión al Oeste de la ciudad.



Fotografía N°2. Destrucción de viviendas por efecto del Terremoto 1960 en la ciudad de Valdivia. Fuente: Diario Austral de Valdivia, Mayo 1960.

En tanto, las localidades costeras de la comuna de Valdivia como Punta Curiñanco, Punta Loncoyen y Niebla fueron totalmente destruidas. En esta última se produjo un desprendimiento de terreno en el sector del faro de Niebla, por efecto del terremoto y arrastre de sedimentos posterior por el tsunami.

En relación a los efectos del terremoto de febrero del 2010, en Valdivia los daños fueron menores, destacando los siguientes: destrucción del puente Cayumapu, destrucción del muelle Schuster, grietas en la costanera por efecto de licuefacción y daños menores a infraestructura privada.

Procesos de remoción en masa por Inestabilidad de ladera

El sector las canteras en Niebla ha sido afectado innumerables veces por eventos de remoción en masa debido a la alta intervención antrópica y las características propias de su conformación geológica; es así que desde comienzo del siglo XVII, producto de la colonización, se advierte una alta intervención de los cerros de Niebla, utilizados para la extracción de rocas, específicamente de la piedra canagua, para la construcción de las fortificaciones españolas.

A raíz de las constantes intervenciones que han presentado los cerros de Niebla para la construcción de las fortificaciones, búsqueda y extracción de minerales en yacimientos mineros, elaboración de espigones para la navegabilidad del río y control de inundaciones, ensanchamiento de la ruta T-350, así como por efecto de eventos sísmicos relevantes como son el terremoto y tsunami de 1960 y el terremoto del 2010, y la ocupación ilegal, por último, de terrenos para viviendas, es que se ha incrementado el nivel de peligrosidad frente a la inestabilidad de ladera, siendo posible establecer la ocurrencia periódica de deslizamientos traslacionales, flujos

de detritos y caídas de rocas en el camino de Valdivia – Niebla, observándose la ocurrencia de 4 eventos durante el año 2013.

El evento más representativo de los últimos diez años fue el acontecido el 16 de enero del 2013, donde se observó un deslizamiento y caída de rocas que afectó la conectividad de la ruta T-350 que une Valdivia con Niebla (Fotografía N° 3 y 4). A raíz del desencadenamiento de este evento, se articularon todos los mecanismos de emergencia comunal (ONEMI, Municipalidad, MOP-Vialidad, Carabineros, MINVU), para volver a la normalidad la ruta siendo necesario realizar desvíos alternativos por el sector Torobayo hacia Punucapa y sector Curiñanco (Figura N° 5).



Fotografías N° 3 y 4. Efectos deslizamiento y caída de rocas, 16 de enero 2013 y 28 de mayo 2013.

Eventos de similares características de origen, pero distinto grado de daño, fueron los registrados durante noviembre del año 2002 en los cerros de los sectores Cutipay, Aguas del Obispo y las Canteras.

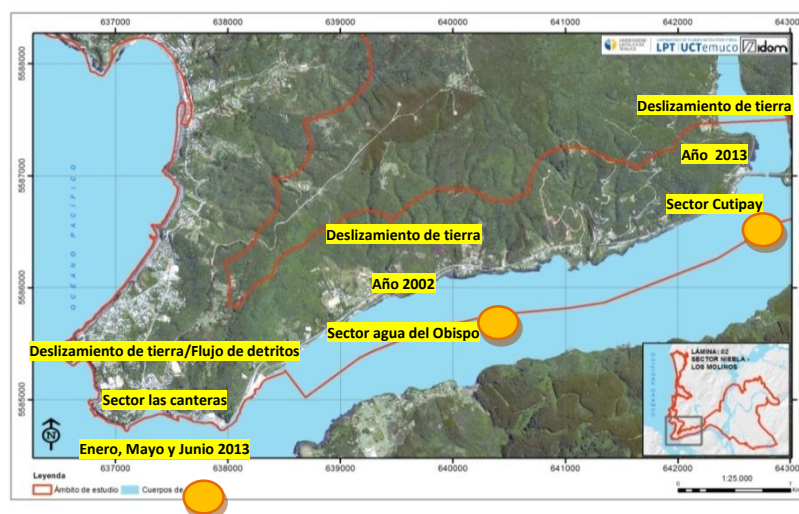


Figura N°5. Zona de deslizamiento reciente en Niebla. Fuente: Elaboración propia LPT-UCT 2014.

3.1.2 Amenaza de eventos geofísicos

3.1.2.1 Caracterización geológica del área de estudio

A continuación se presenta una síntesis; el detalle del análisis se encuentra en el Anexo N°2.2.

La constitución estructural de los suelos constituye una materia importante al momento de generar proyecciones de crecimiento y tipo de construcciones urbanas, dado que la resistencia y procesos de amplificación de onda actúan de diferente manera dependiendo del tipo de sustrato. Es por ello que los suelos menos compactos son susceptibles a sufrir procesos de licuefacción y acentuar el movimiento sísmico ante la ocurrencia de este. Por ello se realiza una descripción geológica y geomorfológica de Valdivia y sus alrededores.

Geología:

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, 2010). 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 figura N° 6, 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.

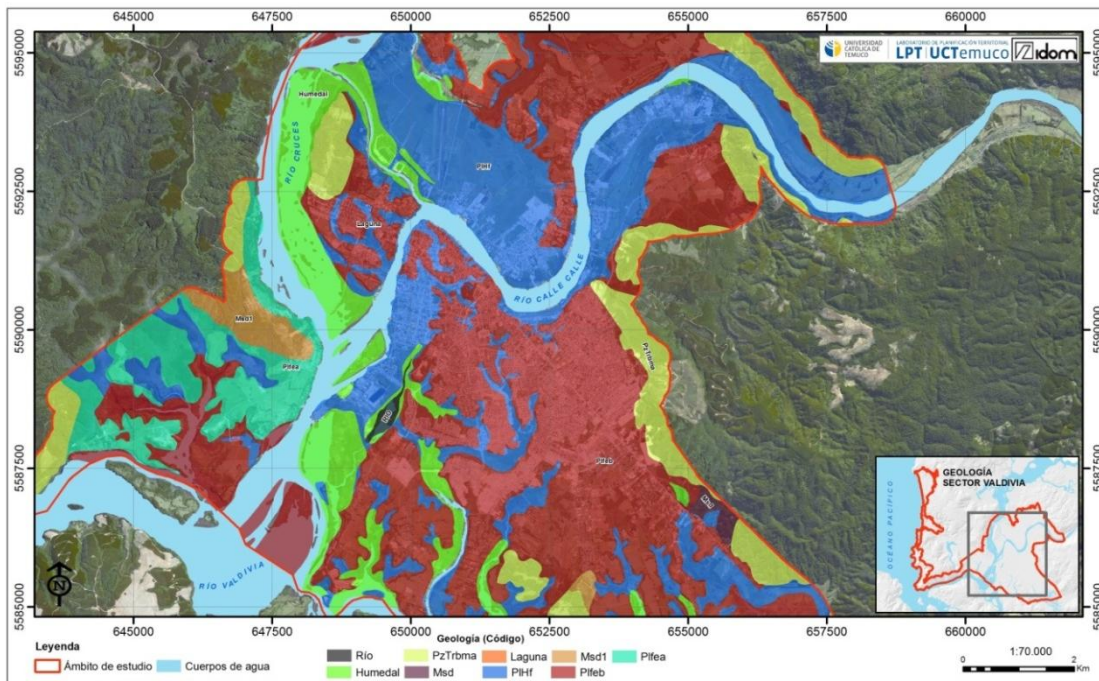


Figura N° 6. Geología sector Valdivia. Fuente: Arenas et al., 2002. Edición: elaboración propia LPT-UCT 2013.

En el caso del sector camino Valdivia - Niebla, el estado metamórfico, las altas pendientes 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 (figura N° 7).

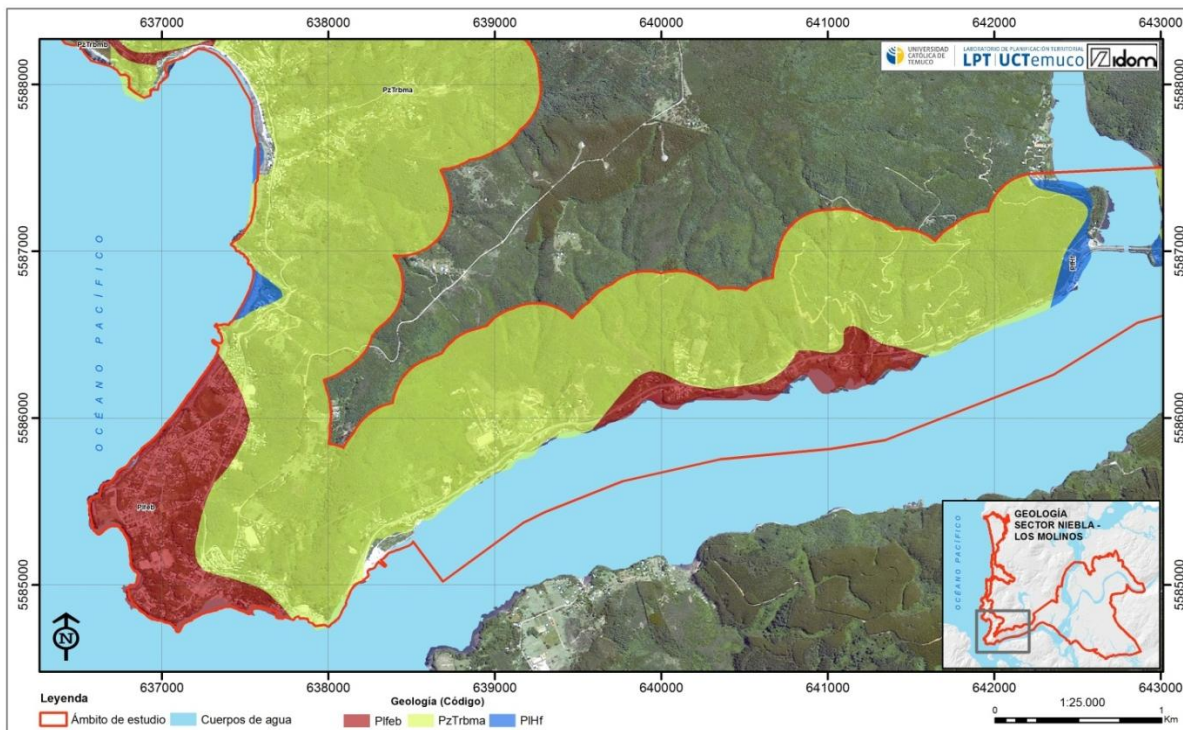


Figura N° 7. Geología sector Niebla. Fuente: Arenas et al., 2002 Edición: elaboración propia LPT-UCT 2013.

3.1.2.2 Análisis de eventos geofísicos (terremotos y remoción en masa)

Como se indicó en el apartado anterior, la ciudad de Valdivia se emplaza, principalmente, sobre las planicies conformadas por sedimentos fluvio-estuarinos del último periodo interglacial (Pife), con cotas superiores a 8 msnm (13 msnm en promedio), y sobre las llanuras de inundación de los ríos Calle-Calle, Cruces y Valdivia. Estas últimas están conformadas por depósitos fluviales y estuarinos (PIHf) y tienen cotas generalmente inferiores a 5 msnm.

Arenas et al., 2002, realizó una zonificación de la respuesta sísmica basada en la estimación de los llamados “incrementos de intensidad”. Estos valores reflejan el comportamiento diferencial de las unidades de suelo frente a un sismo. Similar metodología ha sido utilizada antes en Chile para zonificar la ciudad de Concepción y un área más restringida de la ciudad de Valdivia (Monge, 1996; Norambuena y Veiga, 1969; Retamal, 1969). Las diferentes áreas 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.

En general, la zonificación de la respuesta sísmica coincide con los límites de las unidades geológicas. Los sedimentos del último interglacial son los que presentan la mejor respuesta frente a un sismo, seguidos por los

depósitos fluviales recientes y las zonas de vegas. El relleno artificial es el que se comporta de peor manera, debido al uso de materiales y técnicas de relleno inadecuadas. En igual condición se encuentran las zonas pantanosas, inundadas desde el sismo de 1960, 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. Para el caso de Plfe, la profundidad del agua subterránea coincide, en general, con la parte superior de la arena limosa cementada. En el sector de Las Mulatas el acuífero se hace más superficial, lo que explica los valores de incrementos más altos. Lo mismo sucede debido a la ausencia, en algunas zonas, del estrato de arena cementada (Figura N° 8).

En los lugares en que no se tenía información del nivel de agua, se aumentó el incremento de intensidad en media unidad. Por falta de confinamiento y alto contenido de agua, las riberas de los ríos tienen una peor respuesta, y además pueden verse afectadas por remociones en masa. Las intensidades de los suelos de Valdivia durante el sismo de 1960 se estimaron sobre la base de las encuestas de daños y los incrementos de intensidad calculados. Estos coinciden en general con las estimaciones de varios autores (Doyel et al., 1960; Watanabe y Karzulovic, 1960; Saint-Amand, 1961a,b; Weischet, 1963b; Lástrico, 1967).

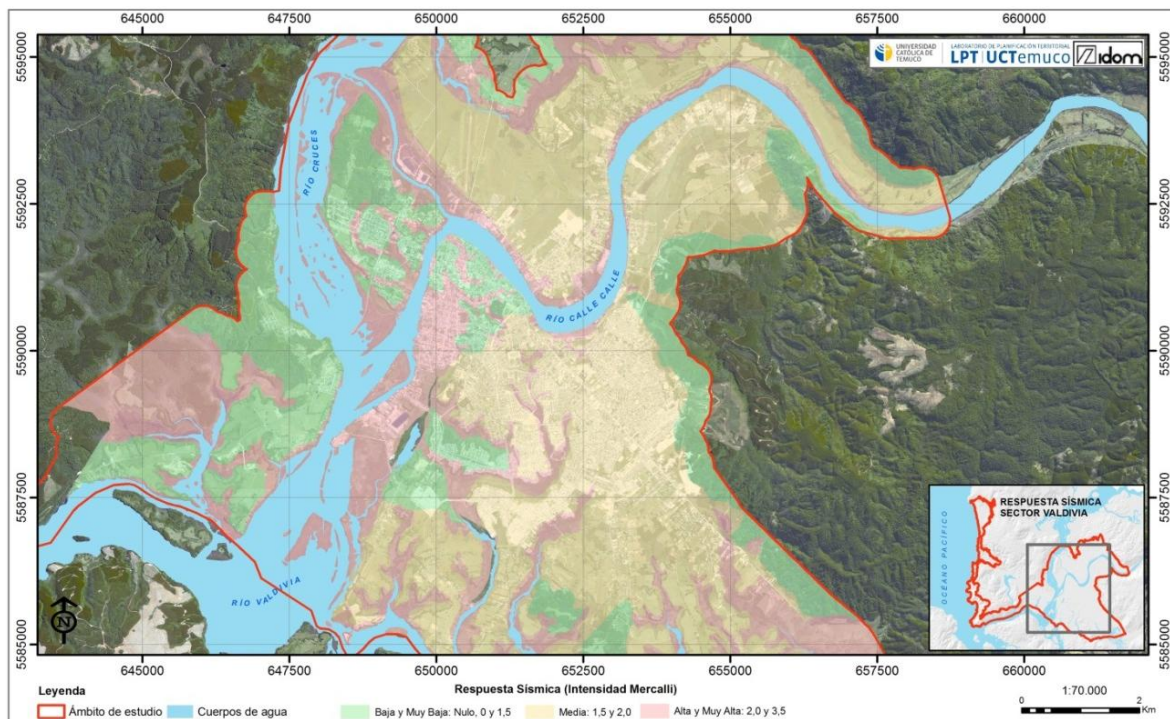


Figura N° 8. Respuesta sísmica Valdivia. Fuente: Arenas et al., 2002 Edición: elaboración propia LPT-UCT 2013

Por otro lado, los procesos de remoción en masa según el Plan Regulador Comunal (PRC) de Valdivia (en proceso de aprobación), se concentran en el camino de Valdivia a Niebla, según el modelo realizado en base al análisis de pendientes (0° - $14,9^{\circ}$; 15° - 35° ; $>35^{\circ}$) y unidad geológica asociada a material parental metamórfico. En el modelo se observa que los sectores más propensos a la generación de flujos y deslizamientos son Niebla y Torremolinos.

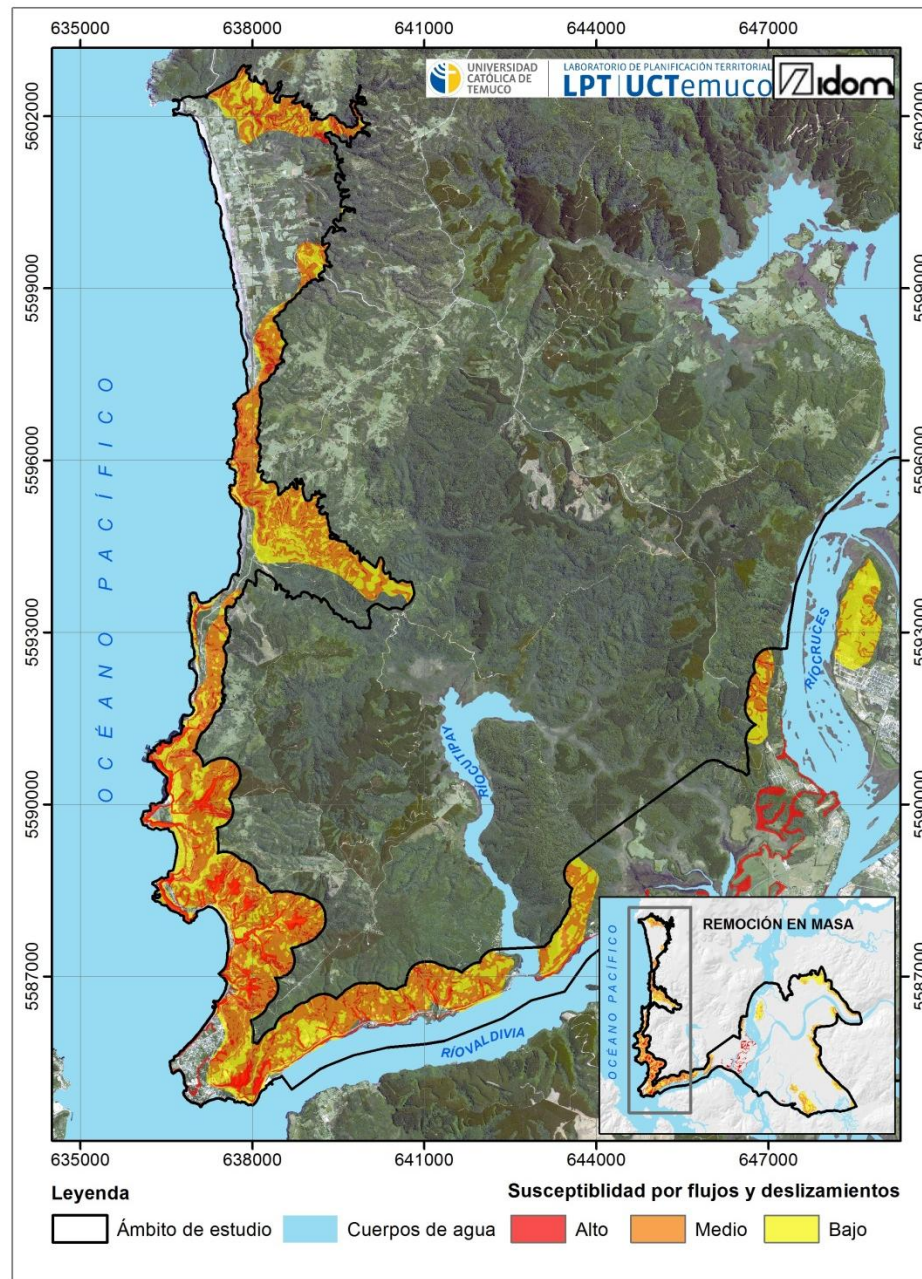


Figura N°9. Amenaza por procesos de remoción en masa. Fuente: LPT-UCT 2013.

Se presenta en laderas de pendientes altas a muy altas (sobre 40°); entre sus causas se puede mencionar la alta pendiente de las laderas, la acción erosiva de los ríos en los pies de las laderas, principalmente a lo largo de las riberas de los ríos Valdivia y Tornagaleones; y la acción erosiva de las olas que afectan al sector oriental de Isla Mancera y de manera más dramática al sector costero de Niebla.

Al respecto, Arenas *et al.*, (2002), señala con respecto a las unidades geológicas en el sector lo siguiente: “Las zonas de alto grado de peligrosidad coinciden en general con las rocas del basamento metamórfico (PzTrbm). En muchos sectores, los planos de esquistosidad de estas rocas son favorables a deslizamientos traslacionales, debido a que la pendiente de la discontinuidad es menor que la pendiente de la ladera o del talud artificial. De igual manera, el alto grado de fracturamiento que se observa en algunos sectores favorece la caída de rocas y los deslizamientos traslacionales. Estos fenómenos se pueden observar a lo largo de los caminos costeros que unen Niebla con Curiñanco y Corral con Chaihuín”.

Otra característica de estas rocas es el alto grado de meteorización, que se ve reflejado en suelos arcillosos residuales de hasta 4 m, generalmente en contacto abrupto con la roca relativamente fresca. Estos suelos son fácilmente erodables, como se puede observar en muchos sectores del camino que une Corral con Valdivia y en el sector de Calfuco en la costa. Además, el contacto abrupto del suelo con la roca, sumado a la alta pendiente, permite condiciones favorables para que se produzcan deslizamientos traslacionales. Este es muy frecuente en el camino ubicado en la ribera norte del río Calle-Calle, entre los sectores de Logroño y Pishuínco.

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

Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más relevantes del planeta, destacándose su función en el control de inundaciones, control de la erosión, retención de sedimentos y nutrientes, reserva de biodiversidad, además de ser zonas de transición entre ambientes terrestres y acuáticos, otorgando gran variedad de hábitat y refugio (Costanza et al. 1997; Peña-Cortés et al. 2006; Jogo & Hassan 2010). En el caso de terremotos y posteriores tsunamis, los humedales actúan como franja de amortiguación ante eventos de tipo tsunamigénicos. La cantidad de zonas húmedas que se encuentran en el borde de la ciudad de Valdivia se explica por la dinámica tectónica y el Tsunami de 1960; ésta presentaría un proceso de subsidencia tectónica reciente, que ha provocado un drenaje imperfecto, que se manifiesta también hacia el interior (Araya 1993). El detalle de la importancia de estos ecosistemas se detalla en el Anexo N°5 y se releva en cuanto a las recomendaciones en el informe de la Tarea III, específicamente en el punto 3.3.3.

Como se observa en la figura N° 10, las áreas de humedales coinciden con las áreas de subsidencia tectónica (respuesta ante la amplificación sísmica); en estos espacios funcionarían de reserva para la biodiversidad y además como amortiguación ante un nuevo evento de subsidencia tectónica, que implicaría el aumento de las napas freáticas a la superficie e invasión de las aguas de los ríos.



Figura N° 10. Humedales existentes y, superficie de alta y muy alta respuesta sísmica en la ciudad de Valdivia.
Fuente: Sernageomin 2002 y edición LPT - UCT 2014.

En el caso del tipo de vegetación y el rol de contenedor ante procesos de remoción en masa, específicamente deslizamientos, depende del grado de naturalidad o intervención antrópica y tipo de cobertura presente. Según lo descrito por Van Westen et al. (2008), la importancia de este factor radica en la estabilidad mecánica que brinda al suelo debido al efecto principalmente de las raíces. Esto se demuestra en la diferencia que genera el tipo de bosque nativo, el cual posee un enraizamiento mayor a los cultivos de exóticas y por su condición caducifolia (bosque valdiviano) que genera un aporte importante a la formación de suelo.

En la figura N°11 se observa que gran parte del suelo que se encuentra cercano a las localidades y vías de acceso es principalmente de praderas y matorrales, lo que se traduce en una baja cobertura vegetal; ello genera un aumento en la inestabilidad de ladera (sobre todo en pendientes mayores de 35°) lo que resulta en el aumento de la probabilidad de procesos de deslizamiento. Esto se traduce en peligro hacia la población localizada en estas áreas y problemas de conectividad ante la ocurrencia de estos eventos. Se ha detectado además el aumento de viviendas informales que ocupan estas áreas de alto peligro por procesos de deslizamientos, y que generando malas prácticas de instalación, aumentan incluso este peligro.

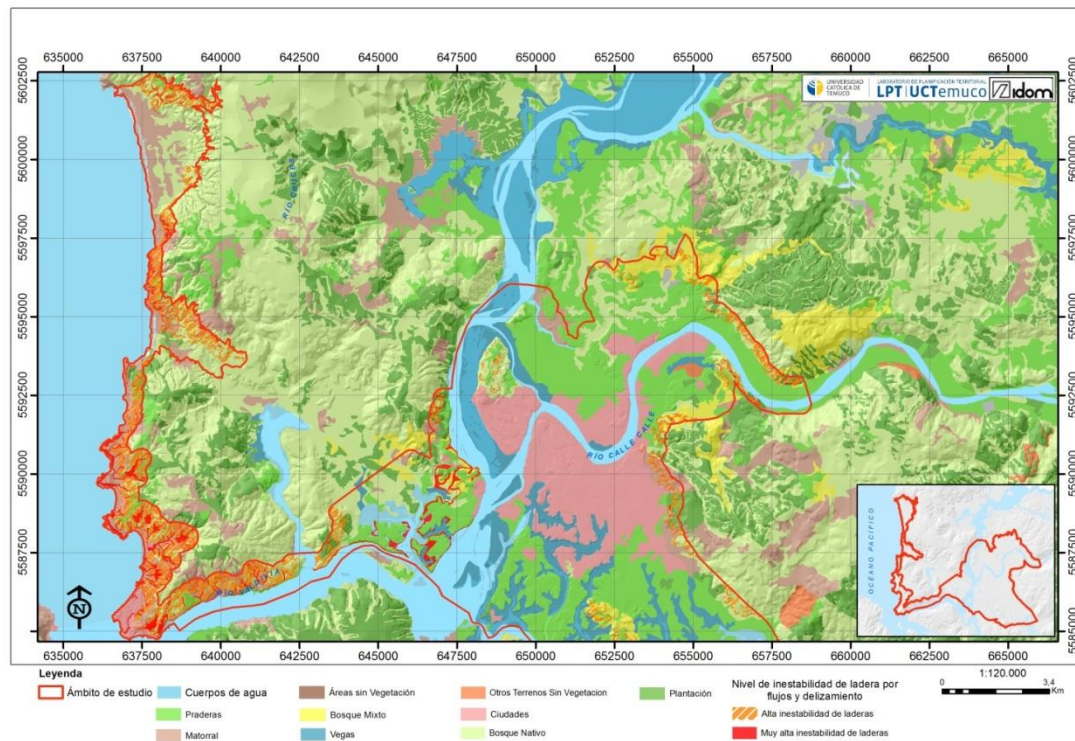


Figura N° 11. Uso de suelo y amenaza por deslizamientos en el área de estudio. Fuente: LPT-UCT 2014.

Análisis de uso de suelo y amenazas geofísicas

Para el área de estudio y según lo analizado en las amenazas generadas por eventos geofísicos (terremotos, tsunamis y deslizamientos), el caso de terremoto se agrava a partir de los procesos de subsidencia y amplificación sísmica; es en los sectores analizados anteriormente donde se observa una ocupación, de carácter urbano principalmente, ocupando sectores próximos a humedales, donde según la información recogida se desarrollan proyectos de relleno para instalación de infraestructura y edificios. Por otro lado, en cuanto a procesos de remoción en masa, específicamente deslizamientos que son los principales eventos que se registran en los sectores camino Valdivia - Niebla y Niebla - Curiñanco, en estos sectores predominan las praderas y matorrales, y es importante incorporar el antecedente del aumento de la ocupación de viviendas dispersas en las laderas; principalmente este fenómeno se desarrolla producto de la cercanía al camino. Por ello, la mayor cantidad de bosque nativo se concentra en las lejanías de los caminos y localidades (Figura N° 12.). En lo que corresponde al análisis que se generará en la Tarea III se obtendrán estos escenarios de crecimiento y se describirá hacia donde actúan las zonas de expansión y qué espacios son los que tienden a ser ocupados.

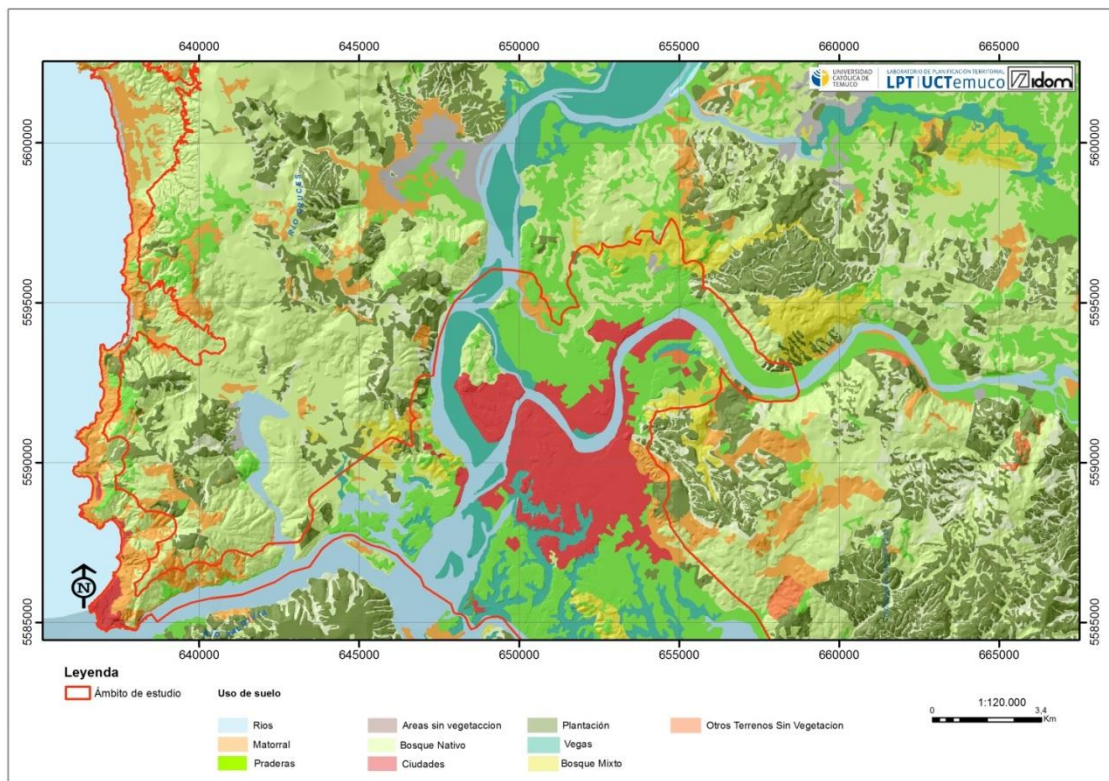


Figura N° 12. Uso actual de suelo para área de estudio ciudad de Valdivia y camino Niebla-Curiñanco. Fuente: Catastro de uso de suelo 2007, LPT-UCT 2014.

3.1.3 Vulnerabilidad por eventos geofísicos

3.1.3.1 Análisis de la Vulnerabilidad Funcional: Resiliencia

Dentro del concepto de vulnerabilidad funcional, transversal a los diferentes tipos de amenazas pero que se especifica con los elementos más concretos que afectan en cada caso diferente, se desarrolló un análisis de las principales infraestructuras y protocolos que tienen un papel crítico ante los eventos extremos analizados.

En el caso de los eventos geofísicos, considerando terremoto y remoción en masa, el análisis se desarrolló sobre aquellas infraestructuras que tienen un papel resiliente, es decir, reactivo en orden a minimizar los impactos de una catástrofe, ya sea en prevención y reacción, o en la recuperación. En segundo lugar, se analizó la vulnerabilidad de otras infraestructuras de relevancia, pero que no tienen un papel activo ante eventos de emergencia o catastróficos.

Dentro del análisis de la infraestructura de resiliencia, se distinguen los sistemas estructurales y no estructurales:

Sistemas Estructurales

Se realiza un análisis individualizado de las características y la vulnerabilidad material (respuesta previsible) de cada una de las infraestructuras críticas, basado en un análisis específico de su antigüedad, altura o tipología

de estructura, aparte de su localización en zona urbana según la amplificación sísmica por efecto de sitio, tal como se refleja en la siguiente figura (Figura N° 13). Toda esta valoración se sistematiza finalmente en una tabla de síntesis.

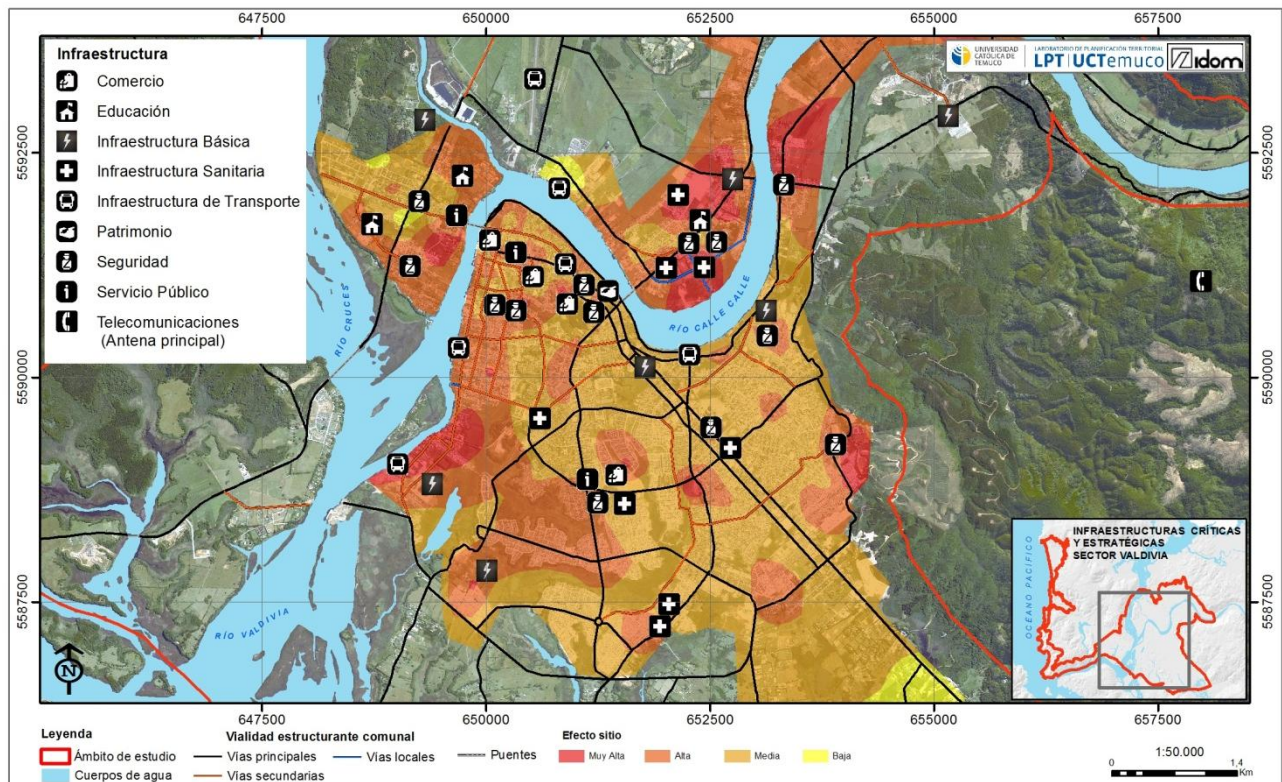


Figura N° 13. Espacialización de infraestructura crítica/estratégica sobre efectos de sitio ante terremoto. Fuente: LPT-UCT 2014.

Infraestructuras de transporte:

Dada la singular condición física de la ciudad, las redes de transporte son un elemento crítico ante situaciones de eventos naturales violentos.

En primer lugar, las comunicaciones por carretera de la ciudad tienen como elementos clave los accesos norte y sur, así como la carretera que comunica con la Isla Teja y Niebla. Las principales avenidas son Pedro Montt (acceso norte), Errázuriz (acceso sur), Ramón Picarte, Costanera-Arturo Prat-Pedro Lagos, Circunvalación Sur, Avenida de Los Robles y Avenida de Los Lingues (salida hacia Niebla).

Los puntos críticos frente a eventos geofísicos (figura N° 14) detectados a partir del análisis histórico y de la consulta a agentes, son:

- Los puentes Calle Calle, y Pedro de Valdivia, principalmente, ante terremoto
- La carretera a Niebla, principalmente a remoción en masa, y terremoto

- La carretera costera entre Niebla y Curiñanco

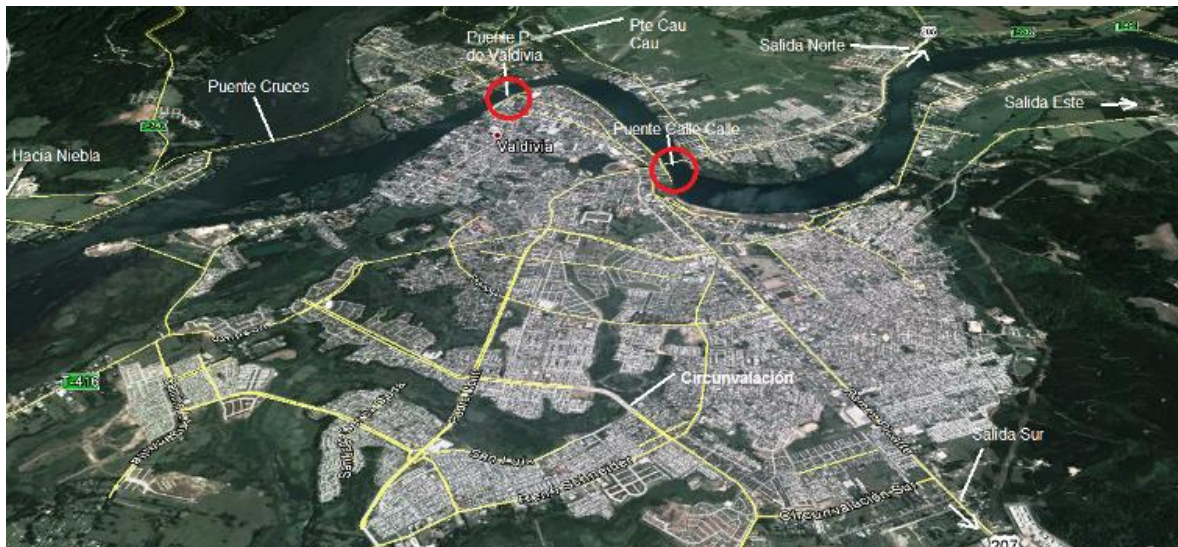



Figura N° 14. Principales vías de comunicación y puentes de Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014 y Google Earth

Dado su carácter crítico, se sistematizó la información disponible sobre los principales puentes de la ciudad en la actualidad, y se efectuó una consulta a expertos enfocada a cómo responderían ante un terremoto de importante intensidad.

Puente del Calle Calle		Dirección: Avda. Pedro Montt	
	Año de construcción: 1938 Rehabilitado en: 1996		
	Tipo de estructura: Hormigón armado Sismo resistente	4 pistas	
	Reacción esperada ante sismo de alta intensidad: daños medios		
Puente Pedro de Valdivia		Dirección: Avda. Los Robles	
	Año de construcción: 1953 Rehabilitado en: 1960		
	Tipo de estructura: Hormigón armado Sismo resistente	2 pistas	
	Reacción esperada ante sismo de alta intensidad: daños medios		

Puente Cruces		Dirección: Avda. Los Lingues	
		Año de construcción: 1987	
		Tipo de estructura: Hormigón armado Sismo resistente	2 pistas
Reacción esperada ante sismo de alta intensidad: daños medios			

El análisis arroja que estos elementos han demostrado su resistencia ante terremotos de gran intensidad, pero serían necesario estudios específicos de resistencia estructural (especialmente a los puentes Calle Calle y Pedro de Valdivia), para comprender su reacción exacta ante un sismo de gran intensidad.

Respecto a la carretera de Valdivia a Niebla, presenta una gran vulnerabilidad debido a su posición junto a laderas con gran susceptibilidad a sufrir procesos de remoción en masa. Se trata de una infraestructura crítica, ya que es prácticamente la única ruta que da acceso a Niebla, descontando la pista interior que atraviesa el parque de Oncol (Figura N° 15).



Figura N° 15. Carretera entre Valdivia y Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014 y Google Earth.

Respecto a la pista entre Niebla y Curiñanco, presenta una problemática dada la baja calidad de carpeta (ripió), y una alta susceptibilidad a ser obstruida ante deslizamientos o flujos (Figura N° 16).



Figura N° 16. Carretera entre Curiñanco y Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014 y Google Earth

Respecto al resto de infraestructuras de transporte, las principales de entre las expuestas a eventos geofísicos son las siguientes:

Terminales de bus y ferrocarril, muelles, aeródromo

El terminal de buses de Valdivia se aloja en un edificio de un piso, ubicado junto al río Calle Calle y la Costanera. Dispone de una estructura de pórticos metálica; sin embargo, que a partir de la información recabada, no obstante, podría ser dañada por un terremoto severo (Fotografía N° 5).



Fotografía N°5. Terminal de Buses, Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014.

Aeródromo de Las Marías: fué construido a raíz del terremoto de 1960, ubicado en el sector Las Ánimas, en una zona libre de exposición a amenazas complejas (no así a anegamientos). Ha sido recientemente rehabilitado y reinaugurado. Sin embargo, a raíz de los datos recabados, caben dudas de la respuesta a la carpeta de la pista ante un evento sísmico de alta intensidad (Fotografía N° 6).

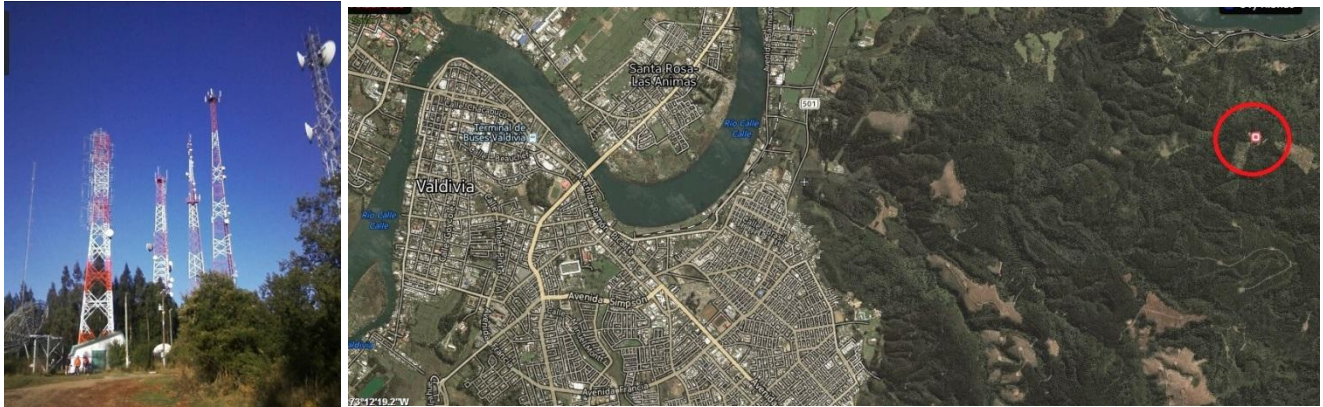


Fotografía N° 6. Aeródromo de Las Marías. Fuente: LPT-UCT 2014.

En cuanto a los muelles fluviales, su vulnerabilidad se analiza en el apartado referido a amenazas de tipo de inundación fluvial.

Telecomunicaciones

El principal centro de emisiones de señal de televisión, radio y telefonía se localiza en el cerro Filum (la cual se observa en la figura N° 13 “Antena principal”), al Este de la ciudad. Se trata de una zona de baja vulnerabilidad a eventos sísmicos o inundaciones. No obstante, al estar en un área forestal, podría verse afectada por incendios. Existen en toda el área urbana antenas de telefonía móvil en diversas localizaciones, contando a nivel comunal con 208 puntos de telecomunicaciones (Espacializadas en Anexo cartográfico) que entregan servicios de telefonía Fija, móvil, transferencia de datos e internet, asociada a las principales compañías telefónicas existentes a nivel nacional, siendo relevada la cobertura realizada por la empresa Entel que cuenta con alrededor de 100 puntos de telecomunicaciones, siguiendo en cantidad de puntos de acceso la empresa Claro Chile con 50 puntos, Nextel S.A 14, Telefónica móvil 41 y VTR 2.



Fotografía N° 7 y 8. Antenas y repetidores en el cerro Filum. Localización. Fuente: Wikimapia 2014.

En cuanto a las telecomunicaciones en caso de la ocurrencia de la emergencia a nivel regional, el centro de alerta temprana (CAE) de la oficina nacional de emergencia, Región de Los Ríos, cuenta con teléfonos satelitales e internet satelital, así como también cada comuna de la región, la intendencia y cada gobernación. A nivel de telecomunicaciones, la ONEMI opera en todas las bandas (sistema análogo y digital), además de una camioneta totalmente equipada con un Kit de respaldo satelital (comunicación personal profesional ONEMI Los Ríos 2014), lo anterior concentrado en la ciudad de Valdivia, tanto en equipamiento como en operación.

Esta Información toma relevancia al momento de articular los planes de contingencia para afrontar una emergencia, dado que los sistemas de comunicación y transporte son los principales elementos que presentan complicaciones y afectan el correcto funcionamiento de las ciudades y la organización de los comités de operación de emergencia (COE), a nivel local, regional y nacional, por tanto afectan la coordinación de la emergencia.

Sedes de los principales servicios de emergencias, salud, y gobierno

Los protocolos y capacidad de reacción de los principales servicios implicados en situaciones de emergencia se analizan en el apartado "sistemas no estructurales". Sin embargo, ante eventos como un terremoto de gran intensidad, se realizó un análisis básico de la respuesta y preparación de los edificios e infraestructuras ante este tipo de eventos, basado en análisis de información documental, localización en el área urbana, y consulta a los agentes seleccionados, lo que se sintetiza en la última casilla de la tabla.

Cuerpos de seguridad:

Carabineros de Chile, Valdivia		Dirección: Beauchef 1025, Valdivia	
	Año de construcción: Años 80	Protocolo de emergencia: Sí	
	Tipo de estructura: Metálica Sismo resistente	Alturas: 2	
	Reacción esperada ante sismo de alta intensidad: Daños menores		
Carabineros de Chile		Dirección: El castillo 1060 Niebla	
	Año de construcción: Años 80	Protocolo de emergencia: Sí	
	Tipo de estructura: Hormigón armado Sismo resistente: Sí	Plantas: 2	
	Reacción ante terremoto de alta intensidad: Daños menores		
Bomberos		Dirección: Ramón Picarte	
	Año de construcción: Años 70	Protocolo de emergencia: Sí	
	Tipo de estructura: Hormigón armado Sismo resistente: Sí	Alturas: 2	
	Reacción ante sismo de alta intensidad: Daños medios		

Cuerpos de gobierno:

Municipalidad		Dirección: Independencia 455	
	Año de construcción:	Protocolo de emergencia:	
	Años 70	Sí	
	Tipo de estructura: Hormigón armado Sismo resistente	Alturas: 6	
Reacción ante sismo de alta intensidad: Daños medios			
Edificio de Gobierno Regional		Dirección: O'Higgins 543	
	Año de construcción:	Protocolo de emergencia:	
	Años 60	Sí	
	Tipo de estructura: Hormigón armado Sismo resistente	Alturas: 5 + ático	
Reacción ante sismo de alta intensidad: Daños medios			

Edificios de salud:

Edificio de Hospital Clínico Regional		Dirección: Santiago Bueras esq. Simpson.	
	Año de construcción:	Protocolo de emergencia:	
	1939		
	Rehabilitado en:	Protocolo de emergencia:	
1994	Sí		
Tipo de estructura: Hormigón armado	Alturas: 7 + ático		
Reacción ante sismo de alta intensidad: Daños medios			

Clínica Alemana Valdivia		Dirección: Beauchef 765	
	Año de construcción: Varias etapas	Protocolo de emergencia:	de
	Tipo de estructura: Hormigón armado	Sí	Alturas: 3
Reacción ante sismo de alta intensidad: Daños menores			

Infraestructura Eléctrica

La planta de generación de energía eléctrica que suministra a Valdivia se encuentra en el área de Collico, fuera de un área de exposición a eventos violentos. El acceso a la subestación se realiza por el camino a Collico, en el ramal que conecta en dirección a Los Lagos, a 4 km del centro de la ciudad. Dispone de una potencia de 106 MW (Figura N° 17).



Figura N° 17. Localización de Central Antilhue, Valdivia. Fuente: Wikimapia, 2013

La mayoría del tendido eléctrico es aéreo, lo que lo hace altamente vulnerable ante eventos como terremotos, aunque frente a inundaciones fluviales o anegamiento esta circunstancia puede ser eventualmente beneficiosa. Algunos de los sectores de más reciente creación en el área sur e Isla Teja, cuentan con redes de distribución subterráneas. La red de alumbrado público, no obstante, debe considerarse fuertemente vulnerable ante un evento de terremoto, pudiendo esperarse en general importantes cortes tanto del alumbrado como del suministro eléctrico (Fotografía N° 9).



Fotografía N° 9. Imagen en que se aprecian los tendidos eléctricos (más altos y gruesos) y los tendidos telefónicos y de alumbrado, todos aéreos. Fuente: LPT-UCT 2014

Depósitos de combustibles y sustancias peligrosas

Dada la no existencia de industrias importantes en el ámbito urbano que manejen residuos o sustancias peligrosas, las principales infraestructuras de sustancias de tipo peligroso a considerar son las estaciones de servicio y los depósitos de carga y almacenamiento de combustible doméstico (gas licuado inflamable).

Estas localizaciones se describen en las figuras N° 18 y 19.



Figuras N° 18 y 19. Localización de puntos de almacenamiento de gas doméstico, y bencineras urbanas. Fuente: Google Earth, 2014

En ambos casos las instalaciones cuentan con una normativa de seguridad (D.S N° 90/96 Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento, Refinación, Transporte y Expendio al Público de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo) que las hace escasamente vulnerables a producir fugas, peligro físico por explosión o contaminación ante la eventualidad de un terremoto (Fotografía N° 10).



Fotografía N° 10. Servicentro en calle Aguirre Cerda. Fuente: LPT-UCT, 2014

Otras infraestructuras: Aguas servidas, vertederos y deposición de residuos

El vertedero municipal se encuentra fuera del área de estudio, en Morrompulli, actualmente en fase de conversión a relleno sanitario. Otros puntos para recogida de residuos de tipo diverso se localizan: uno en la isla Teja, en la Universidad Austral, para residuos contaminantes, y otro en la entrada de Valdivia desde el norte. No existe, sin embargo, según la información recopilada, un sistema para separación y recogida de residuos peligrosos, industriales y de otro tipo, en cumplimiento del Decreto Supremo n° 148 de Residuos Peligrosos.

La Estación Depuradora de Aguas Servidas (Edas), gestionada por Aguas Décima, se localiza en el área de Alto las Mulatas. Esta planta vierte las aguas una vez tratadas aguas abajo del Río Valdivia (Fotografía N° 11). La localización de esta planta no afectaría en caso de la generación de un evento complejo (geofísico).



Fotografía N° 11. Estación Depuradora de Aguas Servidas. Fuente: LPT-UCT, 2014

Suministro de agua potable

Aguas Décima igualmente gestiona el abastecimiento de aguas de la ciudad (Fotografía N° 12). El sistema de captación se compone de las siguientes instalaciones:

- Dos plantas de tratamiento, Llancahue, y Cuesta de Soto, que se abastecen respectivamente del estero Llancahue y el Río Calle Calle. Los sistemas de captación se describen más extensamente en el apartado vinculado a impactos socioeconómicos de cambio climático.
- Desde ambas plantas el agua es enviada por gravedad mediante sendas aducciones de diámetros 400, 500, 630 y 800 mm, hasta los estanques de regulación y reserva, con capacidad para almacenar 10.000 m³ ubicados en distintos puntos de la ciudad, en los sectores Inés de Suárez y Avda. Picarte, esquina Huemul, y luego desde allí se distribuye a la población para su consumo.

El estanque de regulación de Avenida de Picarte se considera el elemento más vulnerable del sistema de abastecimiento ante un terremoto.



Fotografía N°12. Estanque de regulación en Avda. Picarte. Fuente: LPT-UCT 2014

Escuelas, Liceos y otros edificios públicos

Respecto a los edificios públicos más vulnerables, en particular escuelas de primaria, liceos, hogares de ancianos, bibliotecas, centros culturales etc., aunque una evaluación en profundidad requeriría de estudios específicos que no son objeto del presente estudio, cabe hacer algunas consideraciones. Las escuelas cuentan con protocolos de evacuación ante eventos sísmicos, y reciben formación de riesgos como el Plan Cooper generado por la Onemi. Los principales edificios públicos como bibliotecas, teatros, universidades, etc. cuentan así mismo con protocolos de actuación ante emergencias (Figura N° 20).

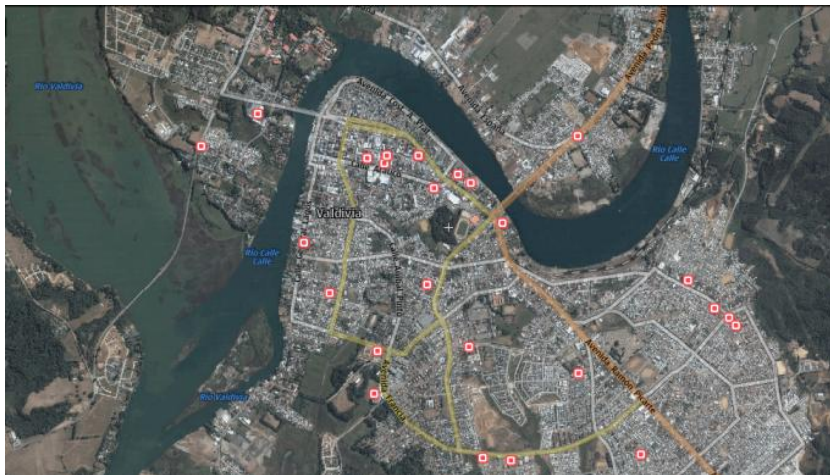


Figura N° 20. Localización de los principales centros escolares del centro de Valdivia. Fuente: Google Earth, 2014.

Patrimonio

Los principales elementos de patrimonio presentes en la comuna de Valdivia son:

- Los Fuertes de Valdivia, de los que quedan sendos torreones del siglo XVII en el área urbana. Así como el Fuerte o castillo de Niebla
- Casas Patrimoniales: Casa Schüller y Casa Andwanter (Fotografía N° 13)
- Los barrios patrimoniales del entorno de la Costanera Arturo Prat y General Lagos



Fotografía N° 13. Casa Andwanter, Isla Teja. Fuente: LPT-UCT 2014.

Todas son estructuras de gran antigüedad, por lo que resulta complicado evaluar cómo responderían ante un terremoto de alta intensidad. Sin embargo, muchos de ellos han resistido a eventos de este tipo a lo largo de los pasados siglos.

Sistemas no estructurales

La Constitución Política de la República de Chile establece que el Estado, ente superior de la nación, es el encargado de la función pública denominada Protección Civil y delega esas funciones a la Oficina nacional de emergencia (ONEMI).

La Protección Civil, entendida como la protección a las personas, a sus bienes y ambiente ante una situación de riesgo colectivo, es ejercida en Chile por un sistema de organismos, servicios e instituciones, tanto del sector público como del privado, incluyendo a las entidades de carácter voluntario y a la comunidad organizada, bajo la coordinación de la Oficina Nacional de Emergencia perteneciente al Ministerio del Interior, ONEMI. Corresponde a la ONEMI, por tanto, la coordinación de emergencias de los diversos cuerpos implicados, ya sea en las fases de prevención y preparación, de reacción o de recuperación. Para evaluar cada una de estas fases, la principal fuente consultada es la propia ONEMI a través de sus representantes en Valdivia, los responsables de emergencias de la Municipalidad de Valdivia, así como la información recogida de los talleres con actores relevantes.

Se analizan en este apartado los protocolos y servicios orientados en exclusiva a situaciones de emergencia. Para ello se considera las tres componentes básicas frente a este tipo de situaciones: preparación, respuesta y recuperación.

Los principales agentes de emergencias implicados en Valdivia son por un lado la ONEMI, y por otro la Municipalidad de Valdivia, que cuenta con un departamento para situaciones de emergencia bajo el alero de la Dirección de Obras Municipales.

1. Preparación.

La ONEMI cuenta con una oficina en la Región de Los Ríos, emplazada en Valdivia y dotada con un representante (director regional), tres profesionales, además de un equipo de técnicos que están disponibles en turnos de 24 horas por los 7 días de la semana (24/7). Su implementación fue posterior al terremoto del 27 de febrero 2010. La ONEMI Valdivia cuenta con diversos mecanismos para difusión e información relativa a riesgos, un servicio de recepción de llamadas, y centraliza el protocolo de coordinación de emergencias respecto al resto de servicios implicados (figura N° 21).

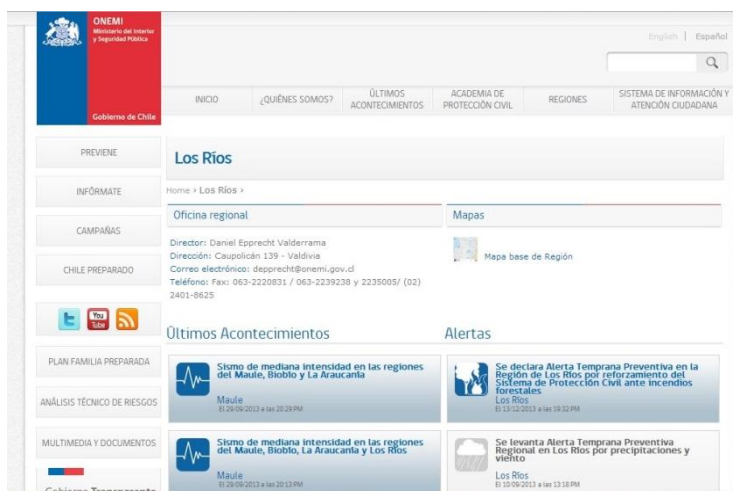


Figura N° 21. Página web de la ONEMI de Los Ríos.

La ONEMI trabaja con diversos planes de información y prevención ante eventos en instituciones y familias: programa familia preparada, escuela preparada, oficina preparada.

Gestiona así mismo un sistema de alerta temprana ante distintos eventos de riesgo.

2. Respuesta.

ONEMI de Los Ríos, como se ha dicho, coordina los diversos cuerpos que actúan ante una situación de emergencia. La preparación y capacidad de reacción de estos cuerpos es la siguiente:

Carabineros

Carabineros dispone en Valdivia de dos comisarías, dos subcomisarias, dos tenencias y un retén. Todos estos cuerpos están distribuidos con regularidad por los distintos sectores de la superficie urbana, incluyendo las zonas de Collico, Isla Teja y Niebla. Se trata de un cuerpo en general bien equipado y preparado para situaciones de emergencia.

Bomberos

Cuenta con 10 compañías ubicadas en diversos sectores de la ciudad, incluyendo Las Ánimas o Niebla. Se trata de un cuerpo formado en buena parte por voluntarios, sin embargo está bien dotado y tiene una buena capacidad operativa a nivel urbano y en los sectores forestales próximos (Figura N° 22).

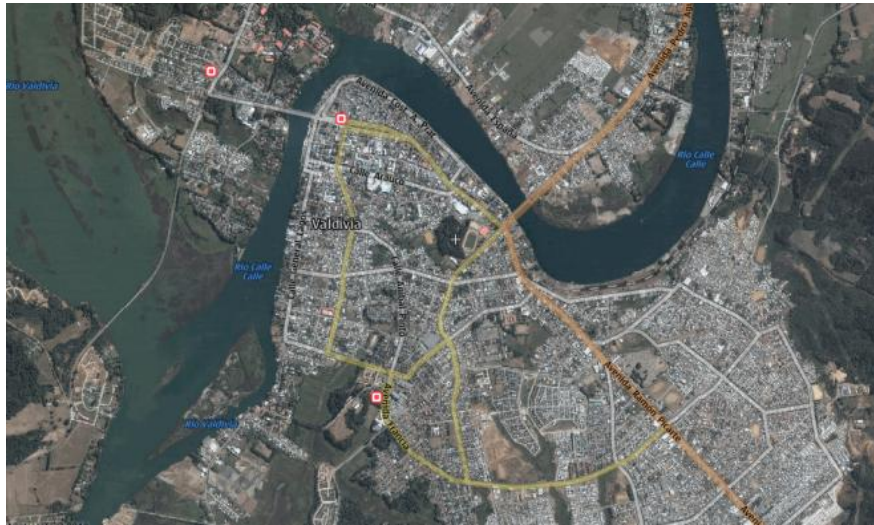


Figura N° 22. Localización de las principales dotaciones de bomberos del centro de Valdivia. Fuente: Google Earth, 2014

Militares

La sede de los militares se encuentra en el acuartelamiento de Campo Militar de Valdivia. El cuerpo militar es una unidad con amplia experiencia en intervención en situaciones catastróficas en todo Chile.

Armada de Chile

La Gobernación Marítima de Valdivia es una de las más antiguas, dado que se encuentra presente desde la conquista española (siglo XVIII). Actualmente está ubicada en la Avda. Arturo Prat. A raíz de eventos destructivos como el del 1960, tuvo que ser trasladada a calle Maipú frente al Hotel Schuster, sin embargo en la década de los 80 retornó a la costanera. La gobernación marítima dispone de representantes a través de la capitanía de puerto en Corral y Valdivia.

Servicios Hospitalarios, SAMU, Cruz Roja

Los servicios de salud están coordinados por el Hospital Base de Valdivia. Estos servicios consideran los equipamientos hospitalarios (Hospital Regional, Centros de Salud, clínicas privadas) y el servicio de emergencias SAMU. Las instituciones privadas están obligadas por ley a atender a heridos ante situaciones de emergencia. La capacidad del Hospital regional se considera amplia, ya que en la actualidad da servicio a un área más extensa de la región (Figura N° 23). Cabe mencionar que el hospital Regional no se encuentra en área de riesgo.

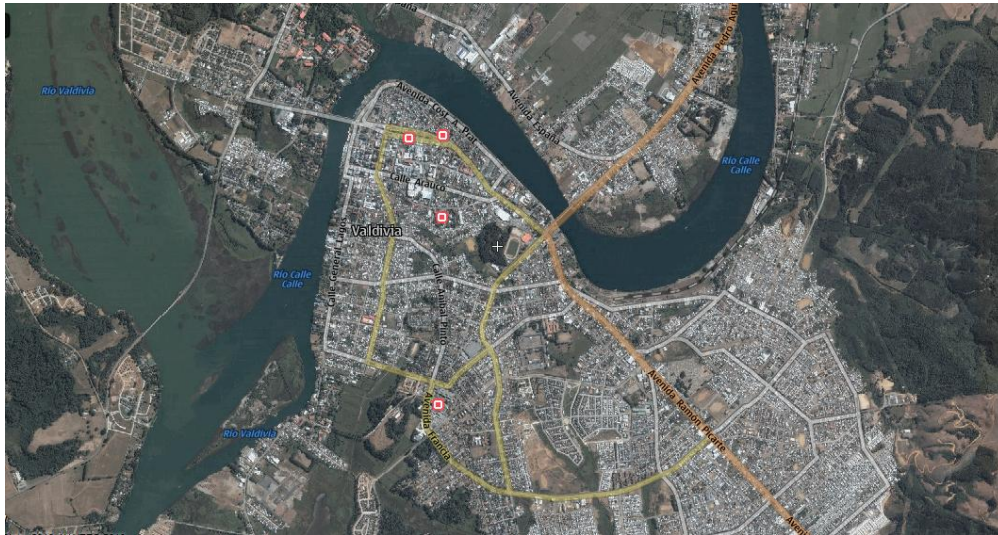


Figura N° 23. Localización de los principales centros hospitalarios del centro de Valdivia. Fuente: Google Earth, 2014.

En cuanto a la cruz roja Chile en Valdivia, cuenta con una Dirección Nacional de Gestión del Riesgo, formada por los programas de: Programa Nacional de Reducción de Riesgo, Programa Nacional de Intervención en Desastres y Programa Nacional de Medios de Vida, enfocados a los momentos de preparación, respuesta y recuperación. La cruz roja en Valdivia presta apoyo general a la respuesta sanitaria ante situaciones de emergencia.

Espacios e infraestructura para realojamiento y abastecimiento temporal

Los principales espacios para la instalación de albergues y reubicación de heridos y damnificados ante catástrofes son los campos militares, el parque forestal y el Estadio (Figura N° 24). Respecto al abastecimiento de alimentación, Valdivia cuenta con infraestructura de diversa consideración como los supermercados y negocios minorista repartidos en los barrios.

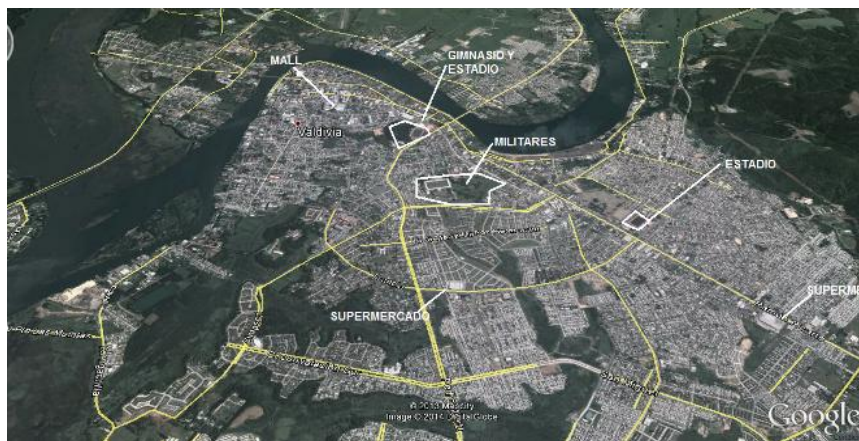


Figura N° 24. Localización de los principales lugares para realojamiento. Fuente: LPT-UCT 2013, Google Earth.

3. Recuperación.

En función de la información aportada por los agentes consultados, corresponde a la Municipalidad la intervención y operaciones de recuperación ante emergencias leves o puntuales, como inundaciones leves o eventos de remoción en masa. Ante una emergencia de gran magnitud, la ONEMI coordina las labores de recuperación y los bienes y servicios aportados a la población o agentes dañados: desde medios físicos, a coordinación de seguros, estudios necesarios, etc. Esto lo realiza a través de la redacción de informes técnicos, necesarios para la determinar el nivel de daño y apoyo a la comunidad, como son:

DEDO: (Sistema de Evaluación de Daños y Necesidades en Situaciones de Emergencia y Desastre): Es un método que permite a las autoridades y administradores de situaciones de emergencia recordar, en forma simple, los elementos claves que se deben tener en cuenta para una efectiva y eficiente toma de decisiones ante la ocurrencia de una emergencia o un desastre

EDANIS: Cuantificación de daños en infraestructura sectorial pública/ privada y en servicios básicos afectados.

EFU: Evaluación de daños, identificando y priorizando las necesidades de familias potencialmente identificadas con ocasión de un evento destructivo.

Informes **ALFA Y DELTA:** permiten reconocer los daños, que se exponen en las direcciones de protección civil, y emergencia de municipalidades, gobernaciones, intendencia y ONEMI.

REDES: mantiene actualizada la relación entre los elementos de socorro recepcionados, los entregados y los disponibles para satisfacer las necesidades que demanda o puede demandar la ocurrencia de un evento destructivo determinado.

En cuanto a la existencia de seguros, esta es mayoritariamente contratada por la esfera privada, no existiendo estadísticas relativas al grado de cobertura de los bienes expuestos.

Evaluación de los servicios y protocolos de emergencia de cara al cálculo de la vulnerabilidad:

En función de la información recopilada hasta la fecha se estima la siguiente información relevante relativa a preparación ante emergencias, de cara al cálculo de la vulnerabilidad (Tabla N°9):

Tabla N° 9. Información relevante relativa a preparación ante emergencias.

Existencia de planes de emergencias	No existe un Plan Formalizado
Existencia de coordinación entre servicios de emergencia	SÍ
Grado de información de riesgos y protocolos de emergencia entre la población	MEDIA
Severidad y calidad de esta información	MEDIA

Fuente: LPT-UCT 2013

Evaluación de la resiliencia y la vulnerabilidad funcional para la estimación de la vulnerabilidad humana, y de los impactos socioeconómicos

El análisis efectuado, en lo relativo a respuesta de las principales infraestructuras y servicios de emergencia ante un evento sísmico por un lado, así como la existencia de oficina de emergencias y planes de emergencias relativos, por otro, entran como variables para la consideración de la vulnerabilidad humana, entendida como riesgo de pérdida de vidas o de daños a las personas o la salud ante un evento de riesgo.

A modo de síntesis, se evalúa a partir de la información recopilada la respuesta de las principales infraestructuras críticas ante un evento sísmico, en tres niveles: buena, media, y crítica. Igualmente se valora la capacidad de los cuerpos de emergencia y la existencia de información, protocolos, etc. Como conclusiones más relevantes, por consiguiente, podemos resumir (Tabla N°10):

Tabla N° 10. Tabla resumen de resiliencia y vulnerabilidad funcional ante eventos geofísicos.

INFRAESTRUCTURA		RESPUESTA
Respuesta de infraestructura de transportes		CRÍTICA
Respuesta de infraestructura de telecomunicaciones		BUENA
Respuesta de infraestructura eléctrica		MEDIA
Respuesta de infraestructura de abastecimiento de aguas		BUENA
Respuesta de infraestructura de depuración de aguas		MEDIA
Respuesta de otras infraestructuras y servicios públicos	Edificios de seguridad	MEDIA
	Edificios de salud	BUENA
	Edificios de gobierno	MEDIA
Productos peligrosos o bencineras expuestos a situaciones de amenaza.		NO
Las principales infraestructuras y servicios se mantendrían operativas ante un evento de riesgo, con la excepción de un evento sísmico de gran intensidad.		SÍ
Servicios y protocolos de emergencias	Alerta Temprana	SÍ
	Existencia de planes de emergencias a nivel municipal	NO EXISTE UN PLAN FORMALIZADO
	Existencia de coordinación entre servicios de emergencia	SÍ
	Grado de información de riesgos y protocolos de emergencia entre la población	MEDIA
	Severidad y calidad de esta información	MEDIA

Fuente: LPT-UCT 2013.

3.1.3.2 Análisis de la vulnerabilidad material

Para el análisis de la vulnerabilidad material ante terremoto, siguiendo la metodología expuesta, se consideran tres variables: Tipología estructural de las edificaciones, antigüedad/estado de conservación y altura.

Para la ponderación de cada una de las variables, así como para la identificación de los tipos y grados de vulnerabilidad para cada una de las variables consideradas, se consideraron estudios de vulnerabilidad a sismo, tal como lo desarrollado por el Centro de Estudios y Prevención de Desastres de Perú (PREDES), "Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos", así como las aportaciones de los actores estratégicos consultados.

La tipología estructural se agrupa en tres categorías de vulnerabilidad (Figura N° 25):

- Estructuras autoconstruidas con maderas o deshechos, y estructuras con muros de carga de ladrillo o mortero: Alta

- Estructuras flexibles de madera o metálica, en edificios de pequeño tamaño: Media
- Estructuras rígidas de hormigón o acero sismorresistentes: Baja

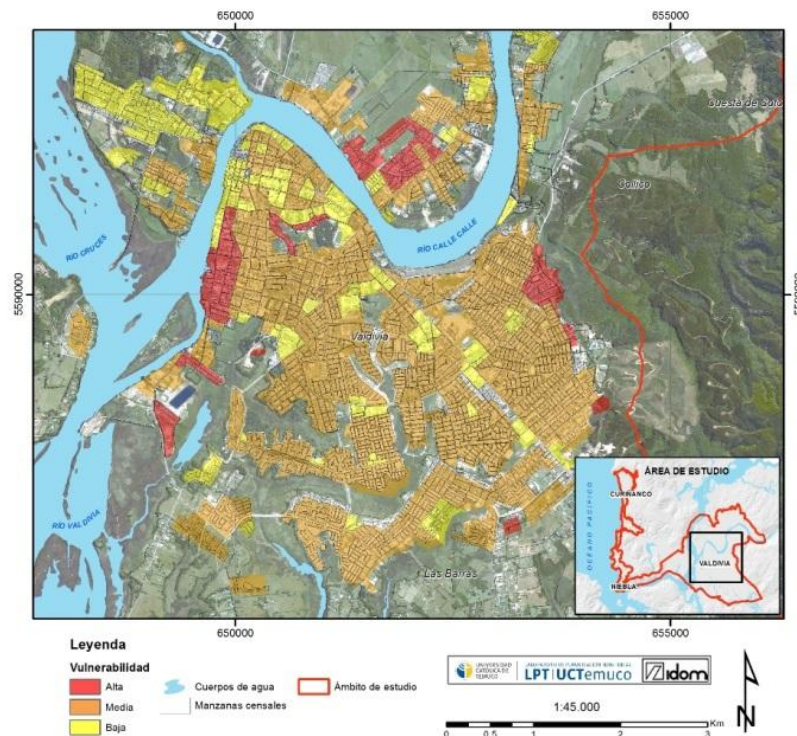


Figura N° 25. Tipología estructural. Fuente: LPT-UCT 2014.

A este respecto, el estudio del Instituto de Mecánica Estructural y Riesgo Sísmico (IMERIS) de Mendoza, Argentina, relativo a "La influencia del tipo de suelo en las consecuencias de un terremoto" a partir de ensayos de efectos de sismo, concluye que "las estructuras cuanto más rígidas, sufren más si el suelo es duro; y viceversa, si son muy deformables son más afectadas por los suelos blandos". Lo cual deberá considerarse en estudios más detallados que relacionen la amplificación sísmica por efecto de sitio, con el daño que provoca en las estructuras.

La antigüedad y estado de conservación se agrupa en tres categorías de vulnerabilidad (Figura N° 26):

- Edificios de más de 45 años o bajo nivel de conservación: Alta
- Edificios de entre 20 y 45 años y nivel de conservación medio: Media
- Edificios de menos de 20 años: Baja

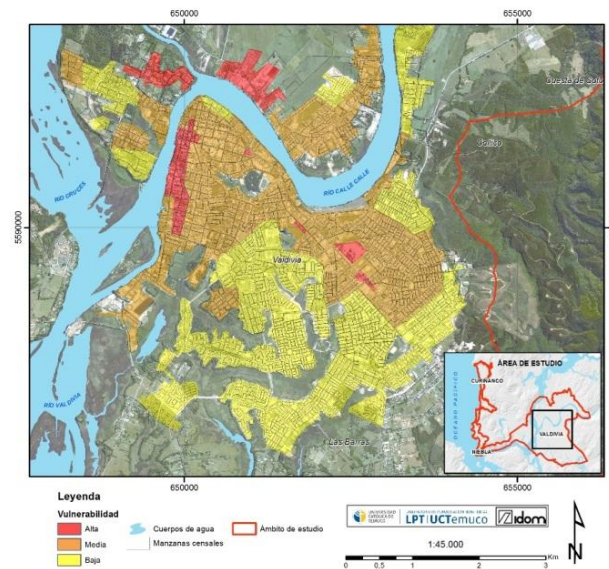


Figura N° 26. Antigüedad y estado de conservación. Fuente: LPT-UCT 2014.

La altura se agrupa en tres categorías de vulnerabilidad (Figura N° 27):

- Edificios de menos de dos pisos: Baja
- Edificios de dos a cuatro pisos: Media
- Edificios de más de cuatro pisos: Alta

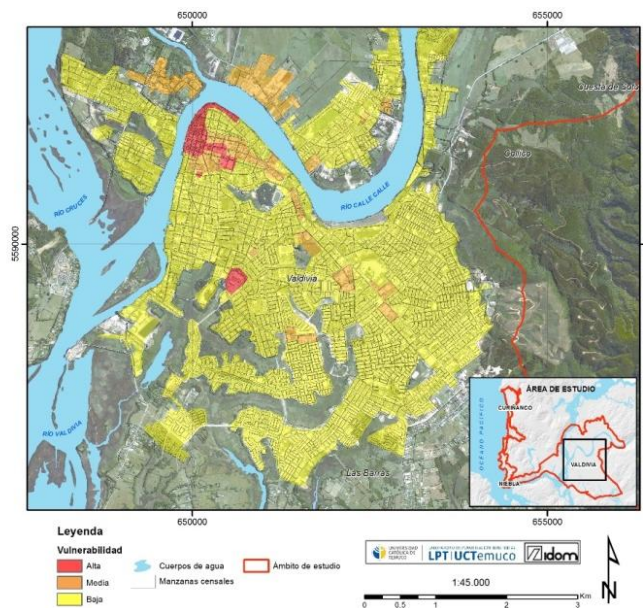


Figura N° 27. Altura de edificios. Fuente: LPT-UCT 2014

La ponderación y función para estimar la vulnerabilidad es la siguiente: Vulnerabilidad material (0 a 1) = (0,4) x T. estructural + (0,3) x Antigüedad + (0,3) x Altura. Obteniéndose consiguientemente los valores: Alta, Media, y Baja (Figura N° 28):

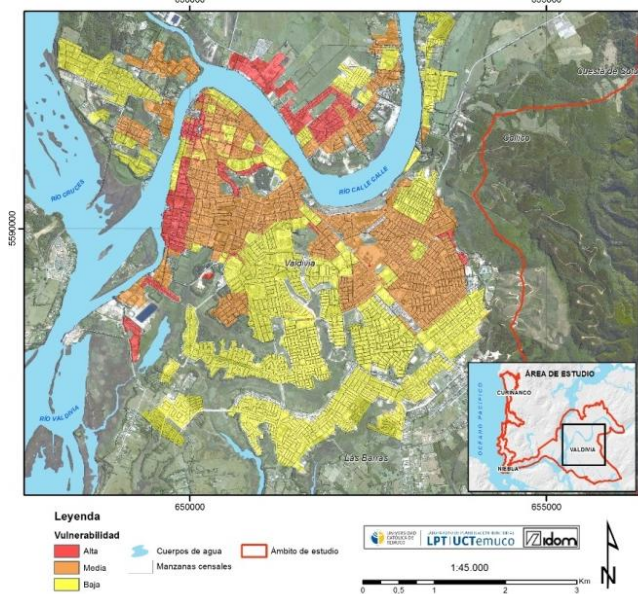


Figura N° 28. Vulnerabilidad Material. Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014.

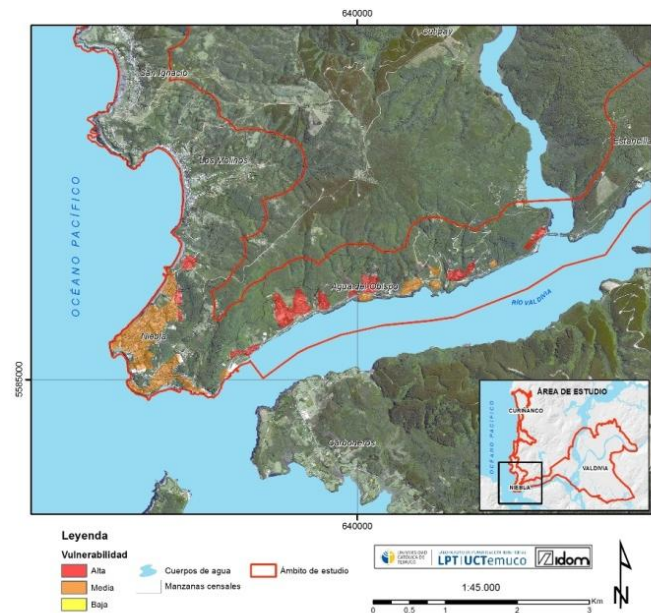


Figura N °29. Vulnerabilidad Material a Terremoto. Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014.

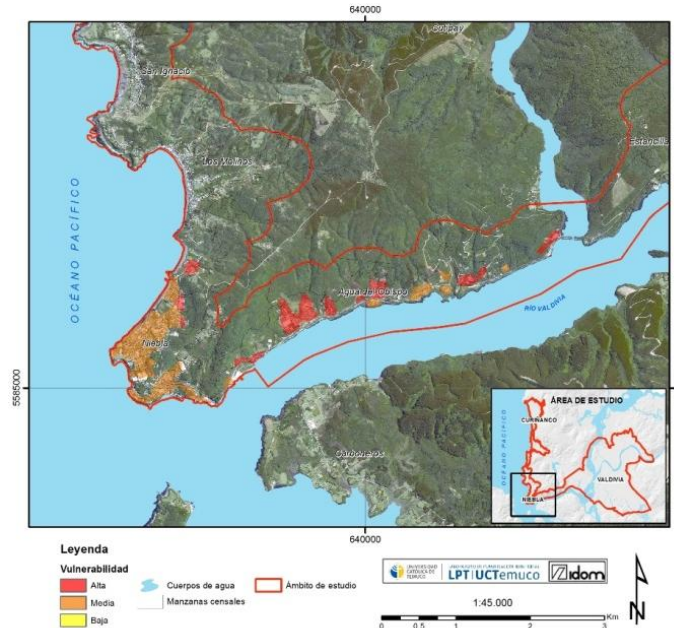


Figura N° 30. Vulnerabilidad Material a Remoción en masa. Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014.

Las áreas más vulnerables se corresponden con los campamentos y tomas, con los barrios más antiguos del centro, y con diversas áreas de Niebla. Zonas de intermedia y baja vulnerabilidad son los barrios residenciales de viviendas bajas del centro y sur de Valdivia e Isla Teja, y las zonas de edificios recientes del centro e Isla Teja, principalmente. La carretera Valdivia – Niebla presenta una alta vulnerabilidad ante remoción en masa.

3.1.3.3 Análisis de la vulnerabilidad humana.

Para el análisis de la vulnerabilidad humana ante terremoto, entendida como susceptibilidad a pérdida de vidas, número de heridos y población en condiciones de precariedad, y siguiendo la metodología PREDES (2010), se consideraron tres factores: la vulnerabilidad material de las edificaciones, el nivel socioeconómico vulnerable de la población (que incluye nivel sociocultural y precariedad de servicios básicos) y la densidad de población.

Para la vulnerabilidad material de las edificaciones, se consideran los tres niveles expuestos en el punto anterior. Esta variable contiene implícito el nivel de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) que las edificaciones tienen en función de su mejor o peor calidad, es decir: si disponen de suministro de agua, eléctrico o alcantarillado.

Para la vulnerabilidad socioeconómica, se consideraron el nivel sociocultural y la precariedad de servicios básicos a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE 2002), así como la identificación en terreno de los principales campamentos, tomas y asentamientos informales. Se identificaron dos categorías:

- Áreas vulnerables socioeconómicamente.
- Resto de áreas no identificadas por INE.

Respecto a la densidad de la población, y a partir de los datos INE 2012 y de una reelaboración y trabajo de precisión del propio equipo consultor, se establecen tres categorías:

- Densidad de población baja: menos de 50 hab. /ha.
- Densidad de población media: entre 50 y 150 hab. /ha.
- Densidad de población alta: más de 150 hab. /ha.

Cabe considerar que este dato no refleja aspectos relevantes, como la movilidad de la población entre el día y la noche, que la puede hacer ocupar más masivamente las zonas del centro en determinados momentos del día; o la existencia de población flotante en determinadas estaciones, como el verano o en los momentos de afluencia de población estudiantil. Aspectos que deberían ser considerados en estudios específicos de mayor detalle (Figura N° 31).

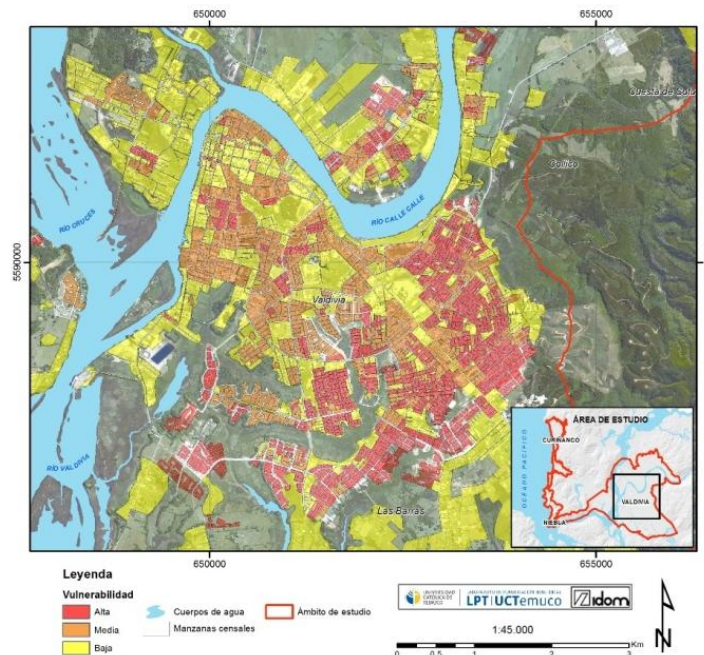


Figura N° 31. Densidad de población. Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014.

Se elabora una carta que superpone densidad de población, vulnerabilidad socioeconómica y vulnerabilidad material, de cara a la estimación del riesgo humano.

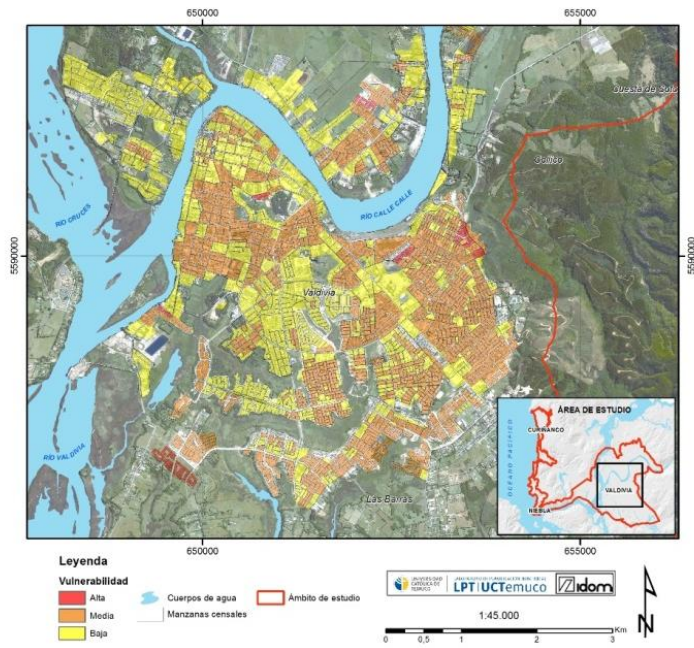


Figura N° 32. Vulnerabilidad Humana a Terremoto. Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014.

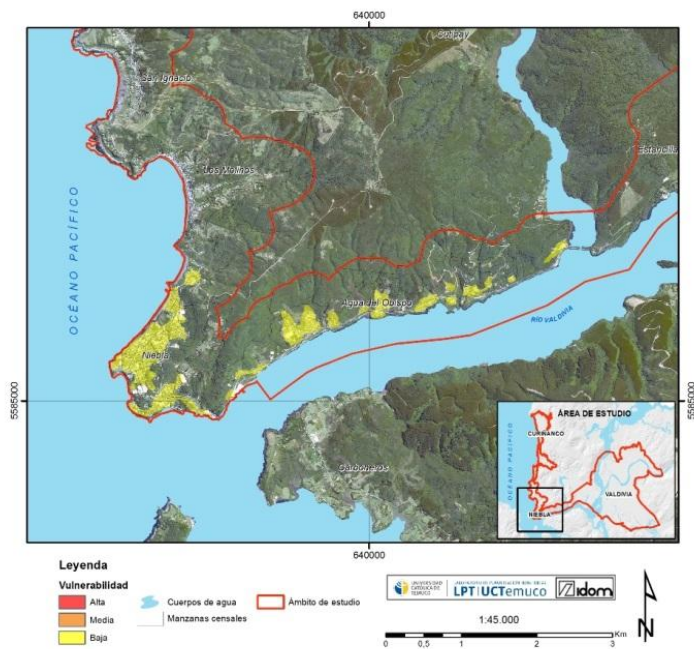


Figura N° 33. Vulnerabilidad Humana a terremoto. Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014.

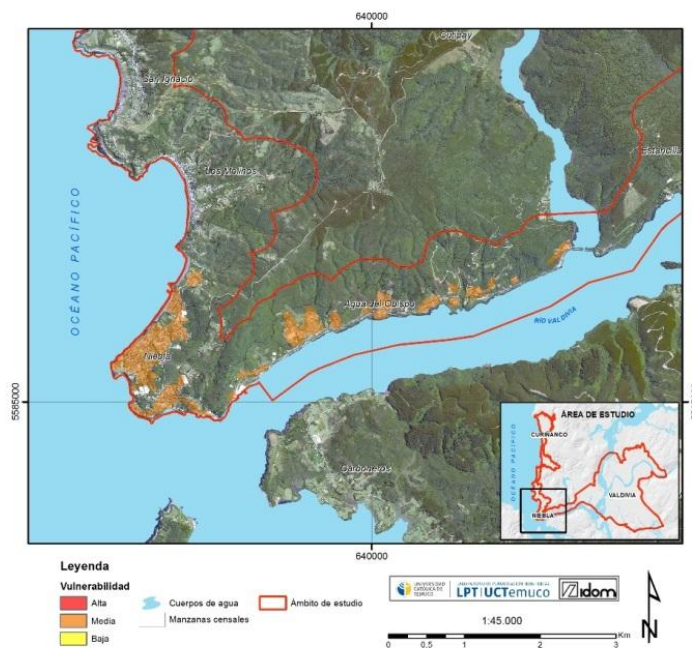


Figura N° 34. Vulnerabilidad Humana a remoción en masa. Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014.

Las áreas en que hay más población vulnerable corresponde a campamentos y tomas, y los barrios del centro y Barrios bajos donde la calidad de la edificación es baja, y barrios en torno a Avenida de Picarte y la salida Sur, donde la densidad de población es mayor, aunque la calidad de la edificación es mejor. Así mismo hay una vulnerabilidad importante de edificaciones y personas a remoción en masa en la carretera a Niebla.

3.2 Riesgo de inundación fluvial

3.2.1 Análisis histórico de eventos de inundación fluvial

El detalle de este análisis se describe en el Anexo N° 3.1. Históricamente, desde los periodos de la conquista y fundación de Valdivia, los habitantes de la ciudad se han visto afectados por eventos de inundaciones en las zonas bajas, dado los efectos del aumento del caudal del río en periodos invernales. Dichos eventos se han visto favorecidos por la conformación geológica y geomorfológica que presenta la ciudad, y la presencia de humedales que han sido rellenados artificialmente y llanuras de inundación que no sobrepasan los 2 metros, todo lo cual posibilita la invasión del terreno por agua a la ciudad.

Dadas las características estuarinas que posee Valdivia, existe una clara relación entre las mareas de sicigia y las inundaciones por desborde de río en Valdivia: de los 70 eventos registrados en Valdivia desde el año 1989-2006 (Rojas 2010), 42 de ellos ocurrieron en marea de sicigia, por lo cual se observaba una marea más alta de lo normal, lo cual potencia el desarrollo de las inundaciones y desborde de cauce. De acuerdo a la información recopilada se establece que los mayores eventos de inundación histórica en la ciudad de Valdivia se concentran entre los meses de mayo a septiembre, activándose la emergencia cuando se superan los 80 mm/24 horas. Sin embargo, según se indica en el análisis de cambio en el nivel del mar, existe una disminución tendencial de este de -3,9mm anuales.

Los humedales en la ciudad de Valdivia han aumentado en superficie por efecto de eventos extremos como son terremotos y tsunamis desde su fundación; sin embargo por efecto de ocupación de la ciudad desde la colonización, han sido rellenados artificialmente, lo que se ha manifestado en el aumento de anegamientos en las plantas bajas de los edificios, principalmente del centro. Estos sectores se encuentran actualmente ocupados por instalaciones del Casino de juegos de Valdivia, supermercado Unimarc, el mall plaza Los Ríos, entre otros.

3.2.2 Amenaza de eventos de inundación fluvial

Áreas de inundación

El estudio de Arenas *et al.*, (2002), muestra que la mayor superficie de áreas de inundación corresponde con zonas que se encuentran permanentemente inundadas (Tabla N° 11), que son efecto de la subsidencia de terreno que sufrió Valdivia producto del terremoto de 1960. Estas zonas se encuentran asociadas a las riberas del río Valdivia, en el sur de la ciudad. Por otro lado, se señalan zonas de terrenos que presentan procesos de inundación y que se encuentran asociados principalmente a lluvias intensas; entre estos (Figura N°35) se encuentran los terrenos inundados ocasionalmente, como las terrazas bajas afectadas por aumento en el nivel de caudal, casos del sector “Las Animas” y “Collico”. Además, se encuentran otras zonas frecuentemente inundadas, como el sector de Barrios bajos, generadas a consecuencia del hundimiento de terreno del terremoto de 1960, y que sufren principalmente procesos de anegamiento por lluvia.

Tabla N° 11. Descripción de los tipos de inundación existentes en la ciudad de Valdivia. Fuente: Arenas *et al.*, 2002

DESBORDE DE CAUCES	
Terrenos frecuentemente inundados.	Lluvias locales intensas.
	Aumento del nivel del agua asociado a mareas altas y maremotos.
	Zonas bajas, inmediatamente contiguas a terrenos inundados después del terremoto de 1960.
Terrenos ocasionalmente inundados.	Lluvias locales intensas.
	Aumento del nivel del agua asociado a mareas altas y maremotos.
	Terrazas bajas en los cursos actuales de los ríos.
Anegamiento recurrente.	Lluvias locales intensas.
	Baja permeabilidad de los suelos.
	Nivel freático somero.
Terrenos permanentemente inundados.	Relieves muy planos o con depresiones.
	Terrenos inundados después del terremoto de 1960.

Fuente: LPT-UCT 2013.

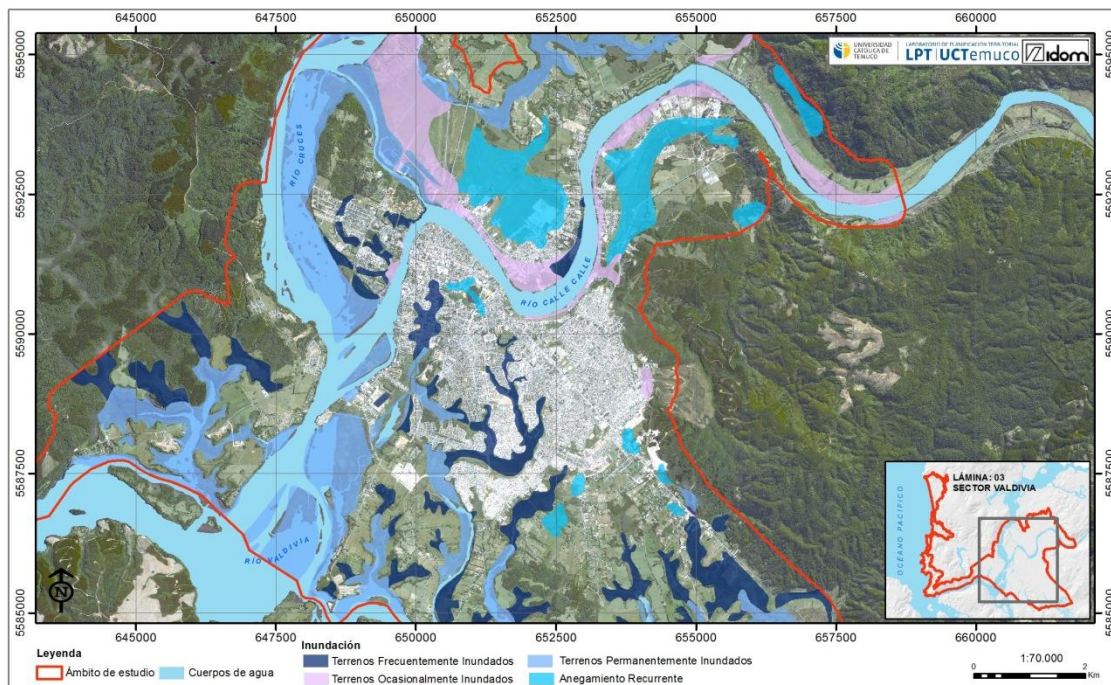


Figura N°35. Inundación Valdivia. Fuente: Arenas et al., 2002 Edición: elaboración propia LPT-UCT 2013

Modelo por susceptibilidad por inundación

De acuerdo a los antecedentes indicados, en la figura N° 36, se muestra la distribución espacial de los niveles de susceptibilidad de inundación, donde se puede observar que las áreas más altas se encuentran asociadas a los cuerpos de agua río Cruces y Calle-Calle, pero también a espacios ya urbanizados de la ciudad de Valdivia; circunstancia relevante ésta a considerar para medidas de mitigación, de actualización de normativa territorial y nuevas iniciativas de infraestructura. Se observan además como inundables los sectores de las Mulatas, Barrios bajos, Las Ánimas y pequeños sectores de la Isla Tejas asociados a las riberas del río Calle-Calle.

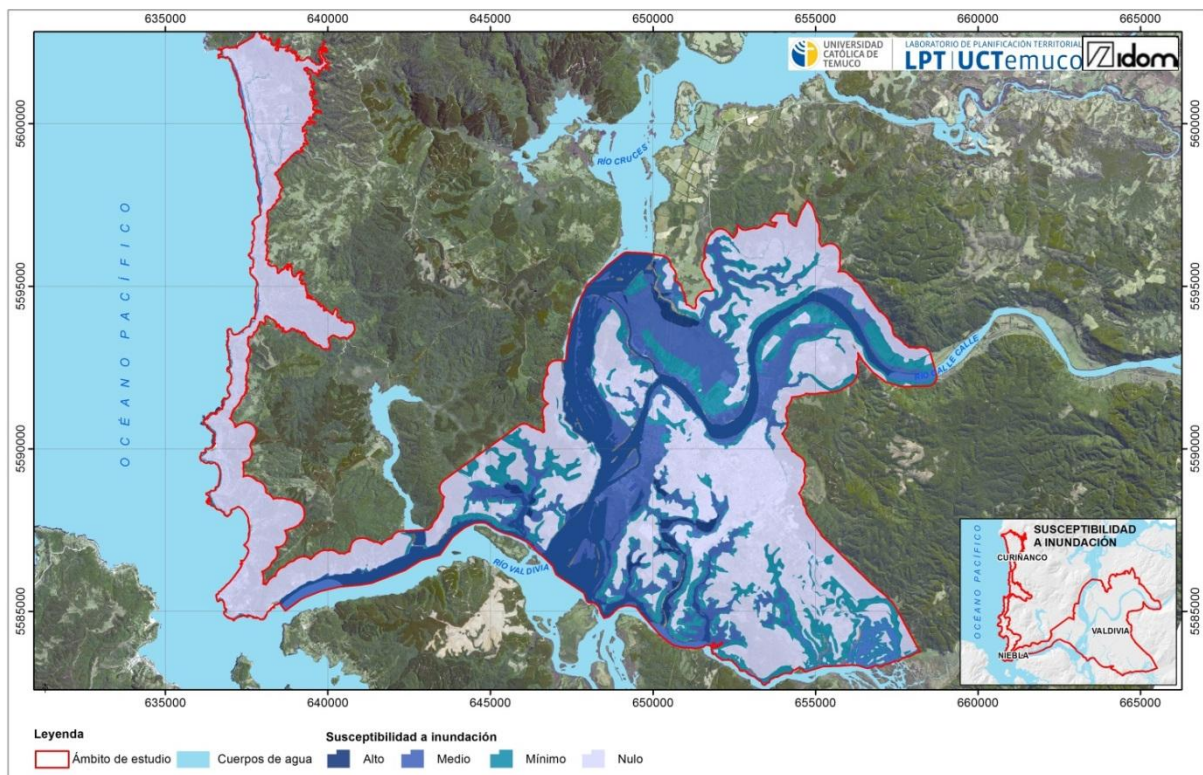


Figura N° 36. Modelo de susceptibilidad de inundación fluvial. Fuente: LPT-UCT 2014.

Rol de la biodiversidad en la contención de eventos de inundación fluvial

En cuanto a lo ya señalado anteriormente en relación a modelos de susceptibilidad ante eventos de inundación, las zonas más susceptibles al desarrollo de estos eventos son sectores principalmente compuestos de depósitos, y que coinciden con los ecosistemas de humedales. Estos humedales juegan un importante papel en la mitigación de los efectos del cambio climático, contribuyendo a la regulación de la cantidad de agua, y la propia gestión de humedales puede asegurar un flujo de agua estable, suavizando así los períodos de exceso de lluvias y sequías. En relación a esto, el impacto del cambio climático se traduce en cambios extremos de temperaturas y en el ciclo de lluvias. Proceso que se acelerará en el futuro. Algunas zonas recibirán más lluvia y otras menos, como es el caso de Valdivia, análisis que se detalla en los acápite de escenarios descritos en este informe.

En la figura N° 37, se observan humedales asociados a los principales cursos de agua (“humedales ribereños”) y a esteros que se encuentran en la cercanía de la ciudad. Es importante señalar, como se describe con mayor detalle en el Anexo N°3.1, que el actual centro de la ciudad en el año 1794 se encontraba un extenso humedal, el cual fue rellenado artificialmente (cubriéndose la depresión natural o hualve con una mezcla heterogénea de limo, arena) y realizándose consecuentemente importantes esfuerzos en las obras de ingeniería “correctiva” para reutilizar esos espacios.

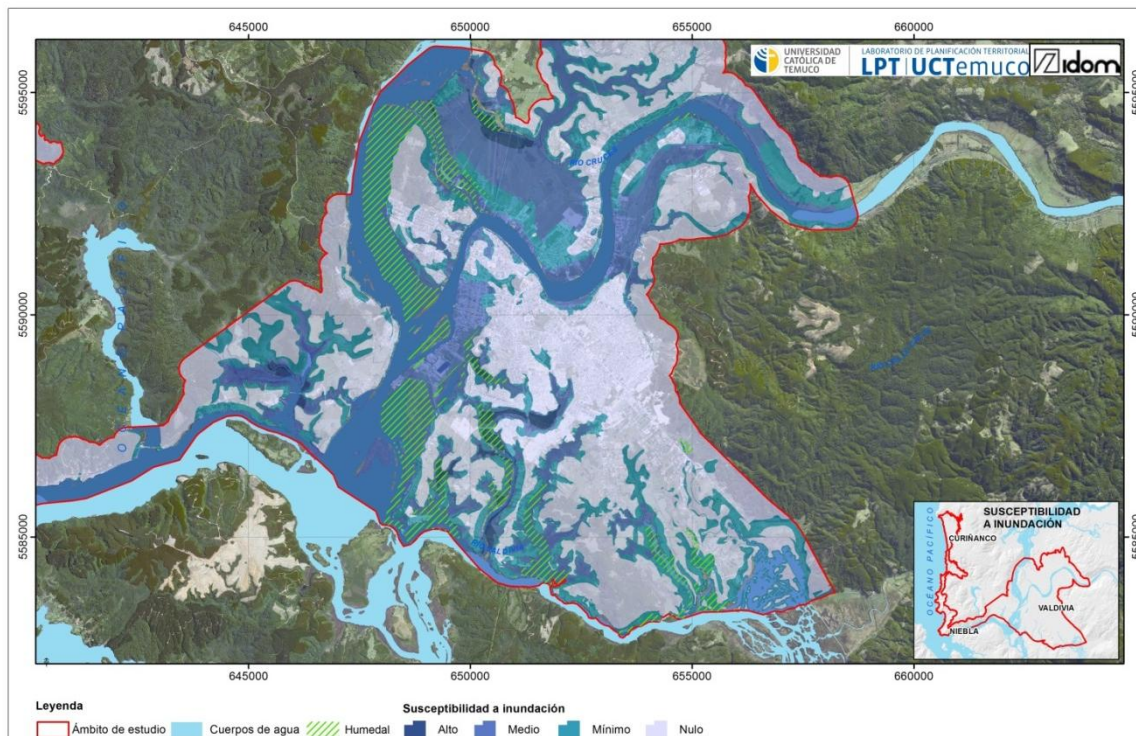


Figura N°37. Presencia de humedales y zonas de susceptibilidad ante eventos de inundación fluvial. Fuente: Elaboración propia LPT-UCT 2014.

Análisis de uso de suelo y eventos de inundación fluvial

Para el área de estudio y según lo analizado en los modelos de inundación fluvial, en estas áreas donde se producen las inundaciones, coexisten las actividades residenciales y praderas del entorno del sistema urbano. El modelo de ocupación en estas áreas es principalmente urbano, ya que son terrenos planos, que cuando presentan problemas en cohesión de los suelos o de superficialidad de napas, son rellenados. En lo que corresponde al análisis de cambios de uso de suelo de la Tarea III específicamente en el punto 3.3.3., en el cual se observan escenarios de crecimiento, zonas de expansión y espacios son los que tienden a ser ocupados.

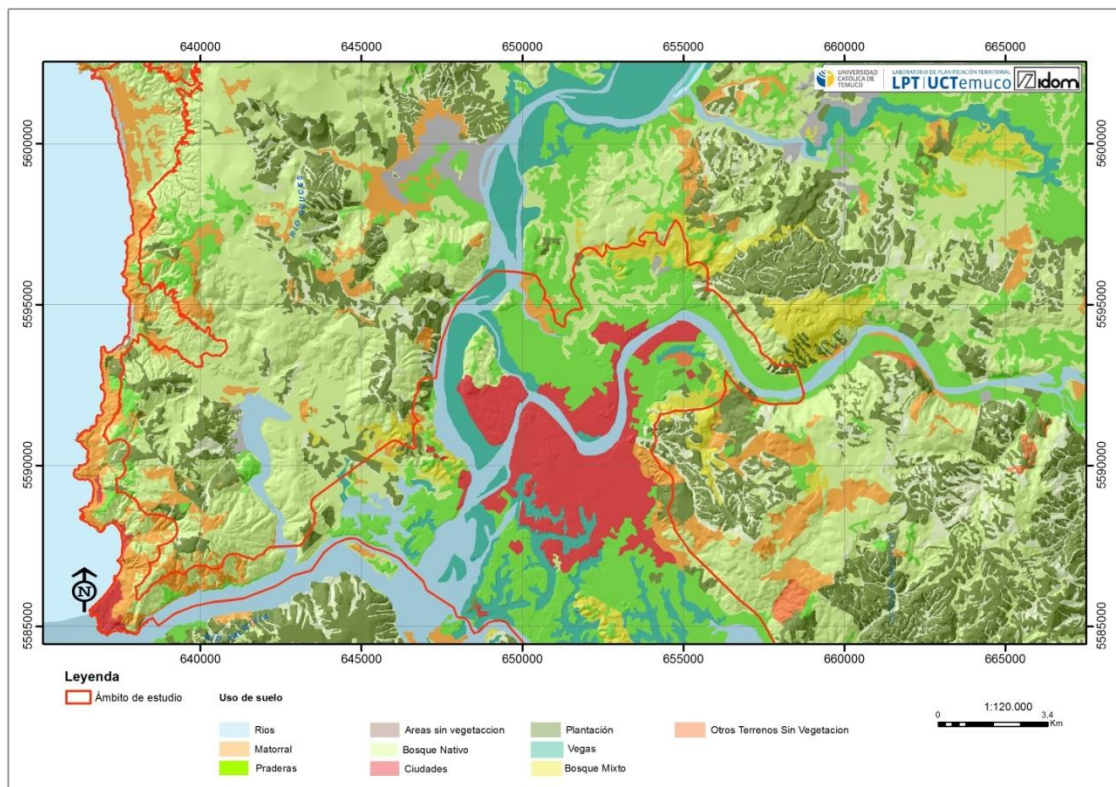


Figura N°38. Uso actual de suelo para área de estudio ciudad de Valdivia y camino Niebla-Curiñanco. Fuente: Catastro de uso de suelo 2007, edición LPT-UCT 2014.

3.2.3 Escenarios de inundación fluvial

Dada su cercanía a la ciudad de Valdivia y la extensión de la serie observada de precipitaciones diarias, de casi 30 años, la estación Llancahue resulta apropiada para generar las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. Además, dada su condición de estación pluviográfica, posee antecedentes continuos de lluvias cada dos horas desde 1977, lo que proporciona información importante para el cálculo de los coeficientes de duración representativos del régimen de tormentas de la zona. Por otra parte, los coeficientes de frecuencia fueron obtenidos del análisis de frecuencia de la serie ampliada de precipitaciones máximas diarias de la misma estación.

Se obtuvieron los coeficientes de duración y frecuencia, y con ello 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. Ello, de acuerdo a la fórmula $P_t^T = K \times CD_t \times P_{24}^T$, propuesta por Varas y Sánchez en el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica de la DGA, donde P_t^T es la precipitación para la duración "t", con período de retorno "T", P_{24}^T es la precipitación para una duración de 24 horas, con período de retorno "T" años, CD_t Coeficiente de duración, para una duración "t" y K es el coeficiente de corrección para lluvia máxima medida entre 8 am y 8 pm respecto de las 24 horas más lluviosas de la tormenta, para el que se adoptado un valor de 1,1, las que se presentan en la tabla N° 12.

Tabla N° 12. Intensidades por duración y frecuencia (mm/hr) – Estación Llancahue

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

DURACIÓN [HR]	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	25	50	100
240	1,11	1,43	1,64	1,90	2,08	2,26

Fuente: LPT-UCT 2013.

Respecto a las precipitaciones máximas diarias, al realizar un análisis de frecuencia se obtiene un P máx de 137,8 mm, considerando una distribución probabilística Log-Pearson III. 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. En los meses de verano, también se registran precipitaciones, pero de magnitud muy inferior, llegando a un mínimo en los meses de enero y febrero, con promedio mensual cercano a 55 mm. La zona se caracteriza por presentar lluvias intensas. Sin embargo, cuando hay precipitaciones de menor intensidad, estas por lo general tienen una larga duración.

Para calcular las áreas de inundación posibles se debe trabajar con 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. Con la siguiente fórmula:

$$Sección = \frac{Q}{\frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}}$$

Donde Q es el caudal, n es el coeficiente de rugosidad de Manning, R es el radio hidráulico de la sección y S es la pendiente; con ello obtenemos la altura del tramo. Para obtener la altura de la lámina de agua, restamos el ancho medio del tramo.

De acuerdo a los antecedentes topográficos del área de estudio, la cota sobre la cual se producen desbordes en algunos sectores de la ribera del río Calle-Calle es aproximadamente 2,0 msnm, por lo que los antecedentes anteriores muestran que dicha condición se presentaría para períodos de retorno de unos 25 años en caso de no sobreponerse el efecto de viento, y de algo más de 10 años para el caso en que sí se presente dicho efecto, como se indica en la tabla N° 13.

En caso de coincidir el nivel máximo de la crecida con la situación de marea baja, no se producirían desbordes ni siquiera para el período de retorno de 100 años. El resultado final del estudio de crecidas y mareas se presenta en la tabla siguiente, donde además se incluyen los resultados pluviométricos.

Tabla N° 13. Períodos de retorno en años, precipitación, caudales y alturas para la Estación Llancahue

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PRECIPITACIÓN DIARIA	ESTACIÓN LLANCAHUE				
		CAUDAL MÁX. (M³/S)	ALTURA MÁX. CRECIDA (MSNM)	NIVEL (MSNM) MIN.	NIVEL (MSNM) MÁX.	NIVEL MÁX 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

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PRECIPITACIÓN DIARIA	ESTACIÓN LLANCAHUE				
		CAUDAL MÁX. (M ³ /S)	ALTURA MÁX. CRECIDA (MSNM)	NIVEL MIN. (MSNM)	NIVEL MÁX. (MSNM)	NIVEL MÁX. CON VIENTO.
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: LPT-UCT 2013.

Para efectos de la planificación sobre el territorio se debe considerar siempre el peor escenario; ello se refiere al nivel máximo con viento asociado; de acuerdo a lo planteado, en términos espaciales podemos indicar que en una tasa de retorno a 10 años habrían eventos que lleguen a una altura de 2 msnm, lo que significa que en el área urbana de Valdivia habrían 3.866,6 hectáreas con agua, en distribución de acuerdo a la figura N° 36; aquí se consideran los cuerpos de agua; dependiendo de su dinámica, se debe asumir el delta entre la superficie que normalmente ocupa el cuerpo de agua y la altitud de los 2 msnm. Ahora bien, a los 100 años de tasa de retorno la superficie aumentaría, sin embargo dado el detalle de la información disponible, se aproximó a 3 metros como peor escenario, y con ello habría una superficie de 698,1 ha. que se distribuyen de acuerdo a la figura N° 35. Se utilizan períodos de retorno de 10 y 100 años, ya que así se manifiesta notablemente el evento, dado que en una serie de tiempo de 20 años las diferencias a nivel espacial son imperceptibles.

En resumen en la tabla N° 14 se indican los rangos de altura asociada a la superficie ocupada de acuerdo a los períodos de retorno obtenidos.

Tabla N° 14. 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: LPT-UCT 2013.

En las figuras N° 39, 40, 41 y 42, podemos apreciar la diferencia en las superficies inundadas calculando los eventos a los 10 años y a los 100 años de tasas de retorno.

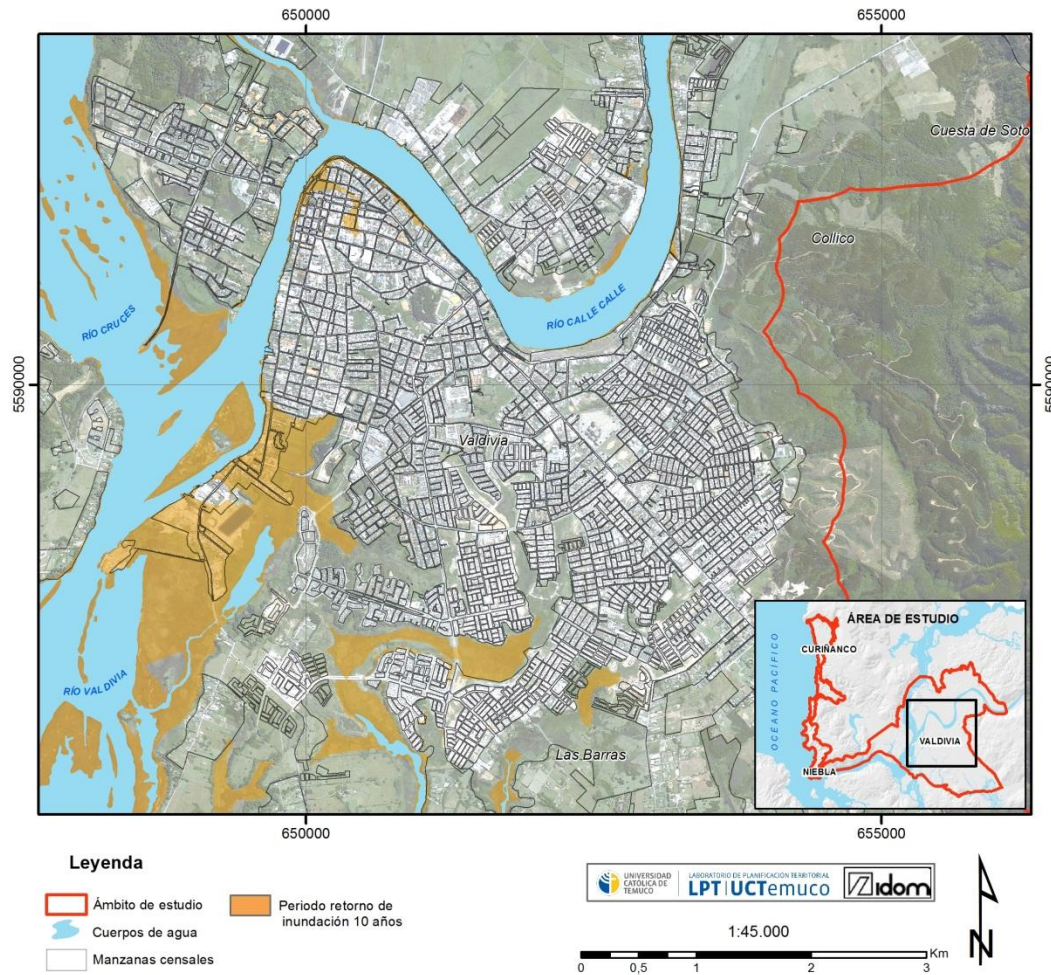


Figura N° 39. Área de inundación de acuerdo a los caudales máximos calculados a 10 años de tasa de retorno.
Fuente: Elaboración propia LPT-UCT 2014.

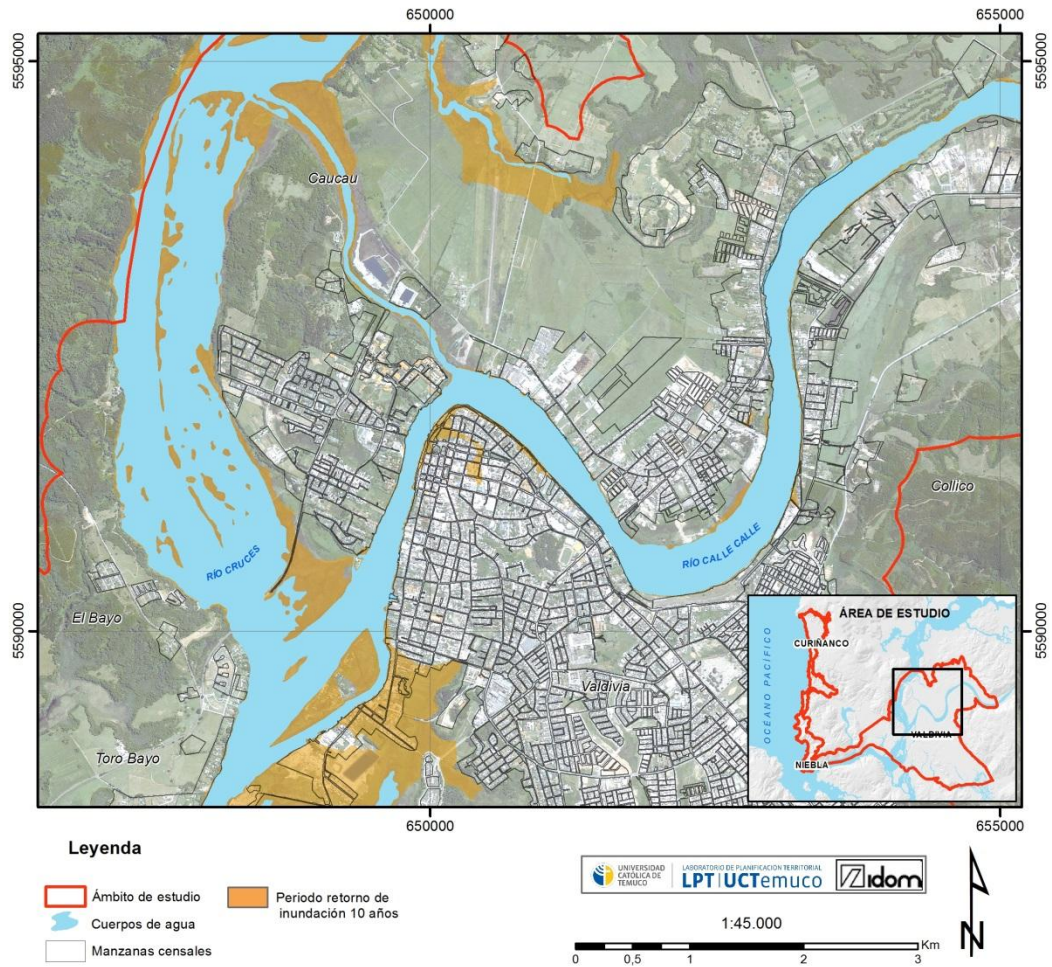


Figura N° 40. Zoom área de inundación de acuerdo a los caudales máximos calculados a 10 años de tasa de retorno. Fuente: Elaboración propia LPT-UCT 2014.

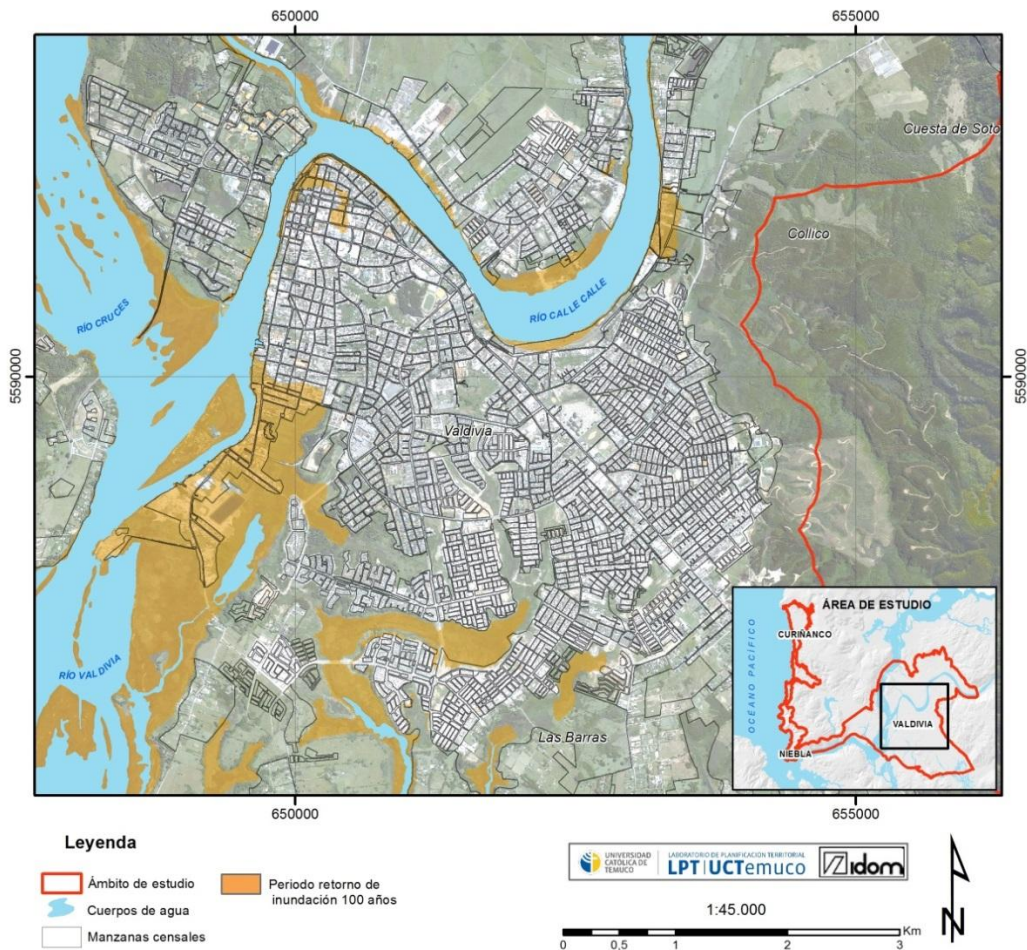


Figura N° 41. Comparación de las áreas de inundación de acuerdo a los caudales máximos calculados a 10 y 100 años de tasa de retorno. Fuente: Elaboración propia LPT-UCT 2014.

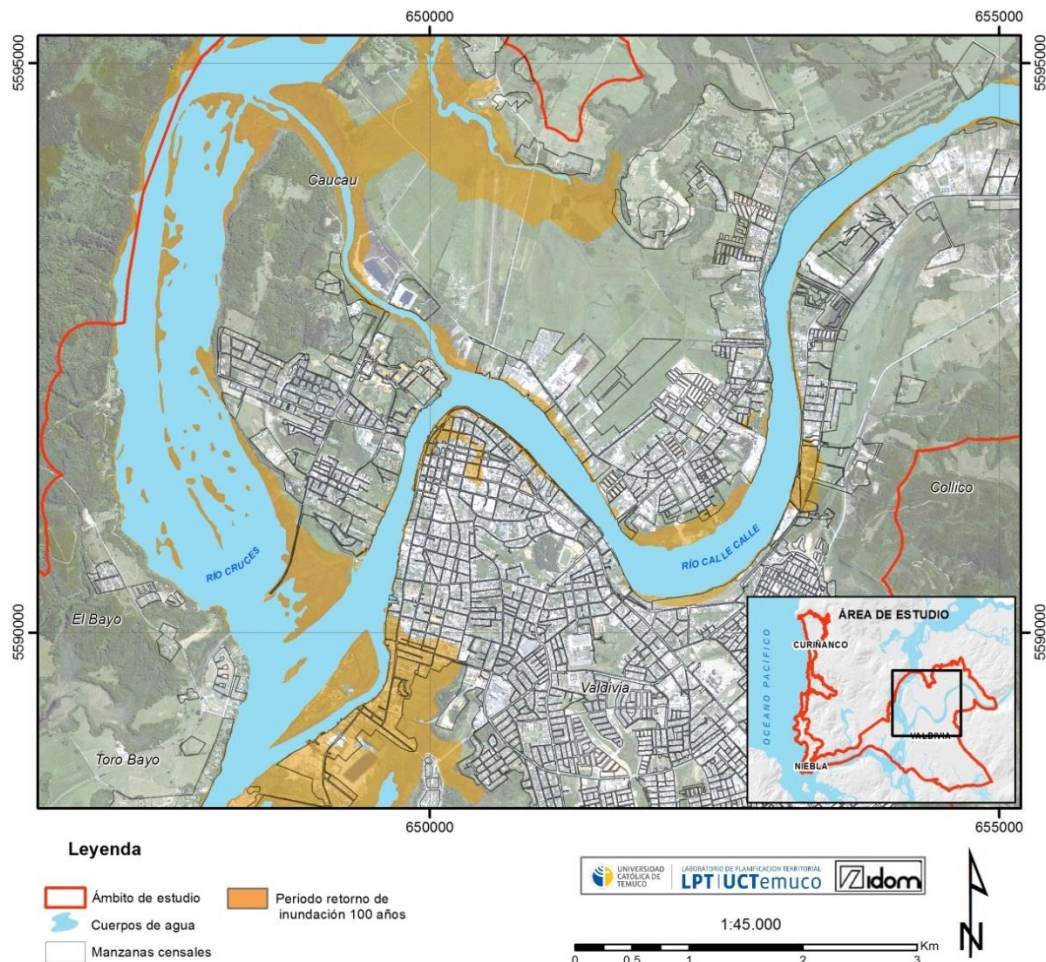


Figura N° 42. Comparación de las áreas de inundación de acuerdo a los caudales máximos calculados a 10 y 100 años de tasa de retorno. Fuente: Elaboración propia LPT-UCT 2014.

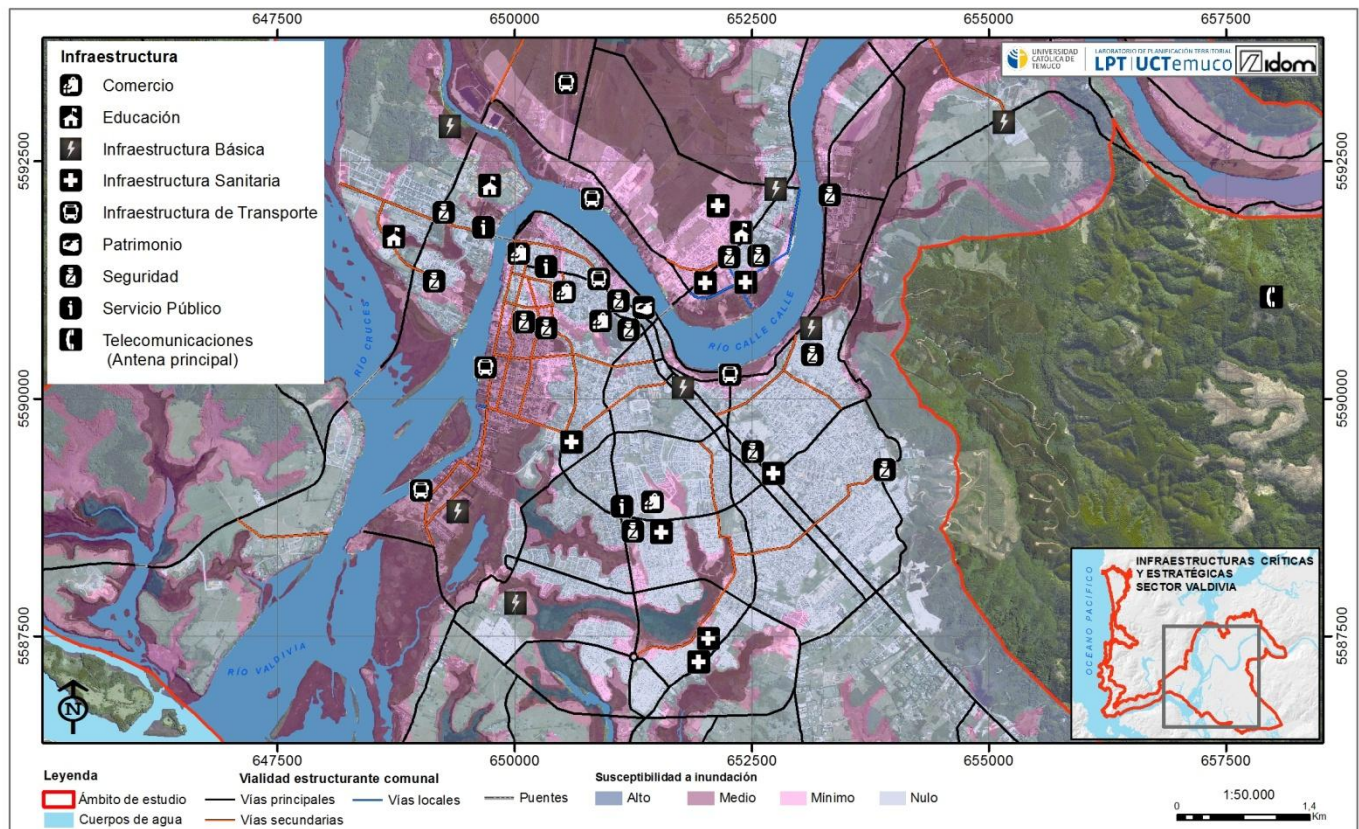
3.2.4 Vulnerabilidad por amenazas de inundación fluvial

3.2.4.1 Análisis de la Vulnerabilidad Funcional: Resiliencia

Se analizan las principales infraestructuras y protocolos que tienen un papel crítico antes los eventos de inundación y anegamiento. El análisis se desarrolla tanto sobre las infraestructuras que tienen un papel resiliente, como en cuanto a la vulnerabilidad de otras infraestructuras de relevancia, pero que no tienen un papel activo ante eventos de emergencia o catastróficos. Consideramos sistemas estructurales y no estructurales:

Sistemas Estructurales

Se realiza un análisis individualizado de las características y la vulnerabilidad material de cada una de las infraestructuras críticas, basado en un análisis específico de su antigüedad, altura o materialidad, y capacidad operativa, aparte de su localización en zona urbana afectada por susceptibilidad a inundación fluvial o anegamiento, tal como se refleja en la siguiente figura (Figura N° 43). Toda esta valoración se sistematiza finalmente en una tabla de síntesis. Este análisis se centra en las infraestructuras relevantes para este tipo de amenaza, por lo que no se repiten todas las infraestructuras ya analizadas para amenazas geofísicas.



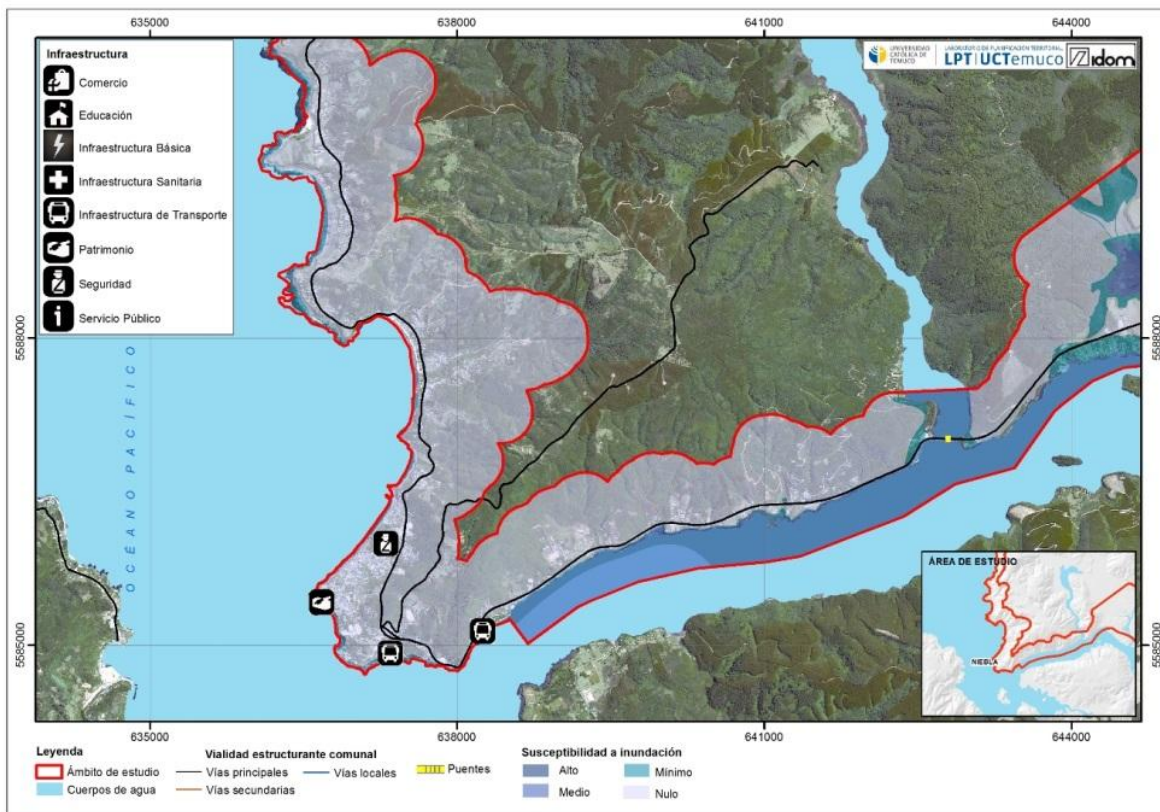


Figura N° 43. Espacialización de infraestructura crítica/estratégica ante eventos de inundación. Fuente: LPT-UCT 2014.

Sistemas de aguas de lluvia y defensas fluviales:

Frente a los eventos de inundación y anegamiento la principal infraestructura crítica es el sistema de aguas de lluvia de la ciudad. Para el análisis del mismo se consideró el Plan Maestro de Aguas de Lluvia 2010, que se encuentra actualmente en ejecución, así como Declaración de Impacto Ambiental (DIA) de la Modificación del Plan Regulador Comunal de Valdivia, 2012.

Valdivia como se ha expresado se encuentra enclavada geográficamente en un área que históricamente ocuparan principalmente humedales. Habiendo sido objeto de diversos rellenos y obras públicas en el tiempo, para drenar una gran parte de la actual superficie urbana, los efectos de los diversos terremotos se han añadido a lo anterior provocando hundimientos y levantamientos significativos en diversas zonas del área urbana. Por todo lo cual, la infraestructura de drenaje de aguas de lluvia es un elemento esencial para evitar anegamientos e inundaciones con alta recurrencia. Esta infraestructura es primordial en los sectores de cota más baja: Barrios Bajos, Collico y Las Ánimas. El conjunto de la ciudad cuenta con un sistema de colectores y sumideros para aguas lluvias, que se hace más denso y de mayor capacidad, a partir de los cálculos de anegamiento contenidos en el Plan Maestro, en los sectores citados, particularmente Barrios Bajos.

Las dos principales limitaciones de Valdivia para la evacuación de aguas lluvias son, por un lado, la baja cota de la ciudad, que en zonas como Barrios Bajos es de apenas 2 msnm, igual o más baja que la del río a la altura de la ciudad. Y por otro, la influencia de las mareas a través del estuario que se deja sentir en la ciudad; y que obliga a la disposición de compuertas que controlen su flujo (Fotografías N° 14 y 15).



Fotografías N° 14 y 15. Ecuador con Estación FFCC mirando hacia Simpson. Inundación Intersección Av. Pedro Montt con Av. Francia. Fuente: Declaración de Impacto Ambiental, Actualización Plan Regulador Comunal de Valdivia.

Hechas estas consideraciones, la descripción del funcionamiento del sistema en sus componentes esenciales es la siguiente:

En función de las determinaciones contenidas en el Plan Maestro de Aguas Lluvia, el sistema urbano de sumideros y colectores pluviales subterráneos se hace crítico en los barrios con cotas más bajas y una alta frecuencia de anegamiento, particularmente en la zona de los Barrios Bajos, donde los sumideros y colectores tienen una densidad y capacidad superior; pero están limitados por la baja cota y la escasa pendiente consiguiente para desaguar (Fotografías N° 16 y 17).



Fotografías N° 16 y 17. Inundación: Intersección Av. Pedro Montt con Av. Francia. Rubén Darío con Nueva San Luis mirando hacia Schneider. Fuente: Declaración de Impacto Ambiental, Actualización Plan Regulador Comunal de Valdivia, 2003

Todos estos colectores vierten a un sistema de canales superficiales ubicados en los principales esteros que bordean la ciudad por su parte Sur y Norte, así como en La Teja. Estos canales finalmente desaguan en los hualves, o directamente en los cursos de agua que partiendo de estos, desembocan en el Río Valdivia.

Sin embargo, como se ha dicho, en diversas áreas, dada la baja cota del colector enterrado, y la propia cota del agua contenida en la laguna o hualve a la que aquél finalmente desagua, existen problemas recurrentes de anegamiento. Es el caso del desagüe de los Barrios Bajos en el sector de Las Mulatas, del área de la Escuela Teniente Merino o de las zonas de Collico y Las Ánimas (Fotografía N° 18). En el caso crítico de Las Mulatas, en el estero Catrico, a este problema se suma la influencia mareal, con ascensos del nivel de las aguas que en este punto de la ciudad llegan en torno al metro de fluctuación.



Fotografía N° 18. Localización de balsa de alivio o rebalsamiento en Las Mulatas. Fuente: Google Earth, 2013.

Es por ello que en el estero Catrico se dispone un sistema de esclusas, a la altura del Camino de Guacamayo, que regula el flujo y la influencia de las mareas, permitiendo el desagüe de aguas arriba, y controlando la penetración de las aguas del estuario. Además, se ubica en Las Mulatas una laguna de alivio, que permite el embalsamiento de las aguas pluviales en las situaciones de desbordamiento del estero.

El funcionamiento del sistema de aguas de lluvia en sus elementos principales es el siguiente (Figura N° 44):



Figura N° 44. Esquema del Sistema de evacuación de aguas de lluvia. Fuente: LPT-UCT 2014, Google Earth.

El mejor diagnóstico del funcionamiento actual del sistema de aguas lluvias, se encuentra en la declaración de Impacto ambiental realizado para la actualización del plan regulador comunal. Este estudio manifiesta que las situaciones de anegamiento siguen produciéndose recurrentemente en las zonas de Barrios Bajos, Barrio de Estación, Teniente Merino, Collico y Las Ánimas. Refleja que las compuertas reguladoras de la influencia mareal no funcionan óptimamente, estando operativas sólo 3 de las cinco que regulan el flujo, y que los canales y hualves a menudo no están suficientemente limpios.

El estudio se remite a los proyectos contenidos en el Plan Maestro de Aguas de Lluvia en ejecución, que aportan una mayor capacidad a colectores y sumideros en los puntos críticos, así como una necesidad de mantener el espacio de acumulación de los hualves e incrementar su capacidad de embalsamiento a través de nuevos movimientos de tierras.

Cabe considerar además todo el sistema urbano de humedales, hualves, esteros, espacios verdes y pavimentos filtrantes, como infraestructura verde para el drenaje de aguas pluviales; por consiguiente, la proporción entre espacios verdes y espacios impermeabilizados, es un elemento resiliente clave para evitar anegamientos y debiesen ser conservados tanto en espacios urbanos y rurales, dado que son zonas que concentran una alta biodiversidad actuando como corredores biológicos y zonas de amortiguación a eventos naturales (Figura N° 45) y que además de acuerdo a lo que indica el IPCC 2007, presentan una alta sensibilidad frente a el cambio climático global.



Figura N° 45. Proporción entre espacios construidos (en blanco) y espacios libres (jardines, áreas verdes, etc., colores oscuros) que permiten la infiltración de las aguas. Los espacios en morado insertos en la ciudad corresponden con la infraestructura verde de resiliencia; además actúan como corredores biológicos y zonas de amortiguación. Fuente LPT-UCT 2014.

Infraestructuras de transporte:

Se analizan las principales infraestructuras de transporte susceptibles de verse afectadas por inundación o anegamiento. La Figura N° 41 contiene la exposición de la infraestructura crítica a las áreas expuestas a inundación en el centro de Valdivia. Dadas las características ya analizadas de los principales puentes, diseñados o reformados para soportar terremotos de alta intensidad, así como su alto gálibo, se ha considerado que disponen de una resistencia que no los hace vulnerables ante episodios de inundación.

En consecuencia, las infraestructuras de transporte vulnerables son las siguientes:

Red Vial

Acceso Norte por Aguirre Cerda por inundación puntual, y acceso Sur por Ramón Picarte, por inundación y anegamiento. Circunvalación Sur en los puntos de cruce con los Hualves, y la Costanera Arturo Prat en el entorno del puente Pedro de Valdivia – Casino (Figura N° 46).



Figura N° 46. Puntos de vulnerabilidad de la red vial ante eventos de anegamiento e inundación. Fuente: Google Earth. LPT-UCT 2014.

Estación de Bus y Aeródromo

Ambas se encuentran en áreas expuestas a situaciones principalmente de anegamiento. Aunque cuentan con infraestructura de evacuación de aguas de lluvia, para eventos extremos, según los agentes consultados, podría ser insuficiente. La Terminal de Buses se encuentra además junto a la costanera Arturo Prat (Figura N° 47).

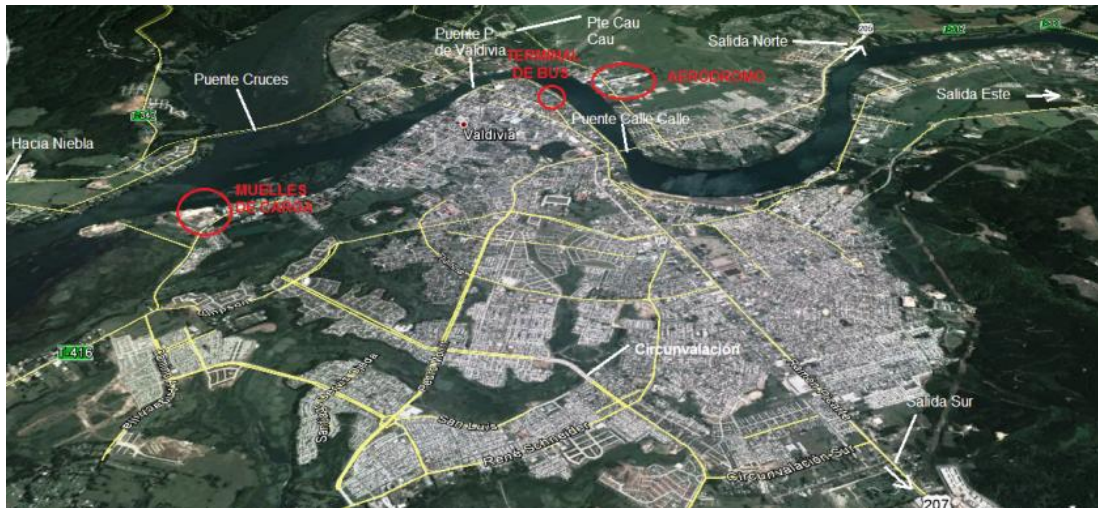
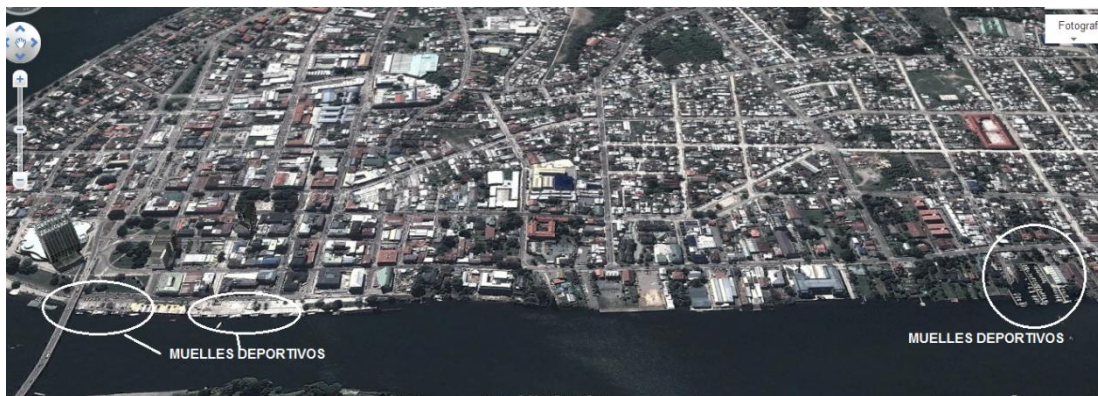
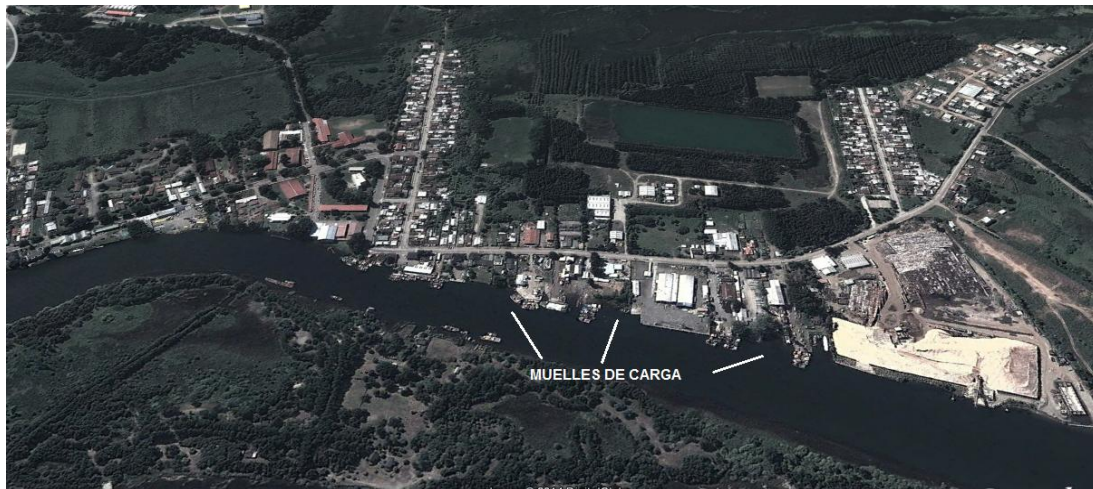


Figura N° 47. Aeródromo, Buses y Muelles de carga urbanos. Fuente: Google Earth. LPT-UCT 2014.

Muelles Fluviales

Los muelles fluviales de Valdivia, a la altura de la costanera, son principalmente para embarcaciones recreativas o turísticas, como el caso del Muelle Schuster. En el área de Las Mulatas hay muelles de carga de chips de madera con destino al puerto de Corral (Figuras N° 48 y 49).





Figuras N° 48 y 49. Muelles de carga urbanos de Valdivia. Área centro y Muelle de carga de Las Mulatas.
Fuente: LPT-UCT 2014.

Estos últimos muelles se encuentran singularmente expuestos a inundaciones para un periodo de retorno de 100 años.

Sedes de los principales servicios de emergencias, salud, y gobierno

Los principales servicios implicados en situaciones de emergencia se encuentran fuera de las zonas de inundación para los periodos de retorno de 10 y 100 años, y por tanto sus infraestructuras en líneas generales no sufrirían grandes daños ante estos eventos (Figura N° 50).



Figura N° 50. Localización de las principales infraestructuras de emergencia, seguridad y salud. Fuente: LPT-UCT 2014.

Infraestructura Eléctrica

La Subestación eléctrica de Valdivia está en un área no expuesta a inundaciones. Tanto los tendidos eléctricos como la mayor parte de los centros de transformación son aéreos. (Fotografía N° 19).



Fotografía N° 19. Instalación de un Centro de Transformación, Valdivia. Fuente: www.elnavegable.cl; 2014.

Otras infraestructuras. Suministro de Aguas, Aguas servidas y Depuración.

No están expuestas a riesgos severos de inundación y anegamiento (Figura N° 51).

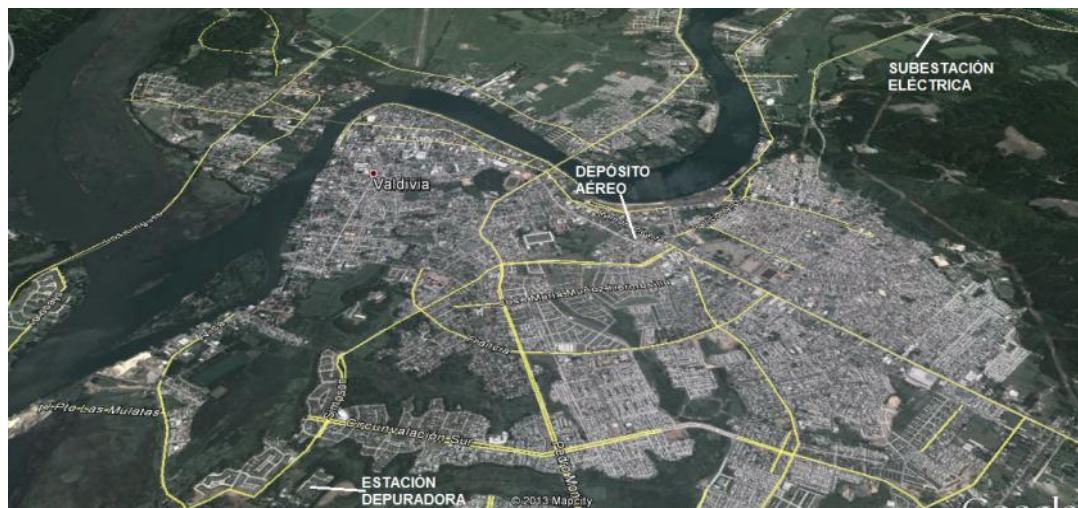


Figura N° 51. OTRAS INFRAESTRUCTURAS. Fuente: LPT-UCT 2014.

Patrimonio

Buena parte del patrimonio se encuentra en los Barrios bajos, en una zona susceptible a inundación, entre el que se encuentra el Torreón canelo, la Iglesia de San Francisco y algunas casa patrimoniales. Son por tanto elementos vulnerables (Fotografía N° 20).



Fotografía N° 20. Elementos patrimoniales en el área urbana. Torreón El Canelo, resto de la antigua fortificación que rodeaba la ciudad. Fuente: Elaboración propia LPT-UCT 2014.

Sistemas no estructurales

El análisis de los protocolos de emergencia se corresponde con el efectuado para amenazas de tipo geofísico.

Evaluación de la resiliencia y la vulnerabilidad funcional para la estimación de la vulnerabilidad humana, y de los impactos socioeconómicos

El análisis efectuado, en lo relativo a respuesta de las principales infraestructuras y servicios de emergencia ante un evento de inundación por un lado, así como la existencia de oficina de emergencias y planes de emergencias relativos, por otro, entran como variables para la consideración de la vulnerabilidad humana, entendida como riesgo de pérdida de vidas o de daños a las personas o la salud ante un evento de riesgo.

A modo de síntesis, se valora la respuesta de las principales infraestructuras críticas ante un evento de inundación en tres niveles: buena, media, y crítica. Igualmente se valora la capacidad de los cuerpos de emergencia y la existencia de información, protocolos, etc. Como conclusiones más relevantes, por consiguiente, podemos resumir (Tabla N° 15):

Tabla N° 15. Resumen de resiliencia y vulnerabilidad funcional ante eventos hidrometeorológicos.

INFRAESTRUCTURA		RESPUESTA
Respuesta de infraestructura de aguas de lluvia		MEDIA
Respuesta de infraestructura de transportes		MEDIA
Respuesta de infraestructura de telecomunicaciones		BUENA
Respuesta de infraestructura eléctrica		MEDIA
Respuesta de infraestructura de abastecimiento de aguas		BUENA
Respuesta de infraestructura de depuración de aguas		MEDIA
Respuesta de otras infraestructuras y servicios públicos	Edificios de seguridad	MEDIA
	Edificios de salud	BUENA
	Edificios de gobierno	MEDIA
Productos peligrosos o bencineras expuestos a situaciones de amenaza		NO
Las principales infraestructuras y servicios están ubicadas en zonas que las excluyen de riesgos de tipo hidrometeorológico, así como del riesgo de tsunami.		SÍ
Servicios y de protocolos de emergencias	Alerta Temprana.	SÍ
	Existencia de planes de emergencias a nivel municipal.	NO EXISTE UN PLAN FORMALIZADO
	Existencia de coordinación entre servicios de emergencia.	SÍ
	Grado de información de riesgos y protocolos de emergencia entre la población.	MEDIA
	Severidad y calidad de esta información.	MEDIA

Fuente: LPT-UCT 2013.

3.2.4.2 Análisis de la vulnerabilidad material.

Para el análisis de la vulnerabilidad material ante inundación y anegamiento, siguiendo la metodología expuesta, se consideran tres factores: materialidad de las edificaciones, antigüedad/estado de conservación, y altura.

La materialidad se agrupa en tres categorías (Figura N° 52):

- Edificios de materiales deleznable con déficit de servicios de saneamiento, agua y electricidad: Alta
- Estructuras de madera o ladrillo, o estructura metálica, con servicios básicos: Media
- Estructuras de estructura metálica o de hormigón, cerramiento de ladrillo, servicios de alta calidad: Baja

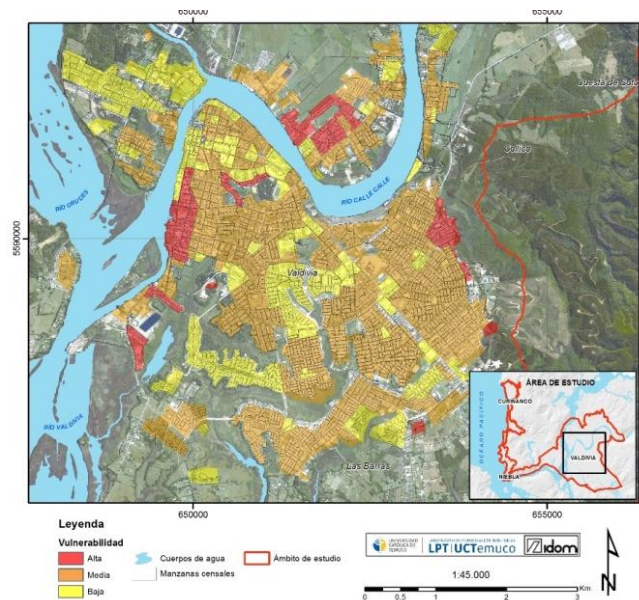


Figura N° 52. Materialidad, Valdivia. Fuente: LPT- UCT 2014.

La antigüedad y estado de conservación se agrupa en tres categorías:

- Edificios de más de 45 años o bajo nivel de conservación: Alta
- Edificios de entre 20 y 45 años y nivel de conservación medio: Media
- Edificios de menos de 20 años: Baja

La altura se agrupa en tres categorías:

- Edificios de menos de dos pisos: Alta
- Edificios de dos a cuatro pisos: Media
- Edificios de más de cuatro pisos: Baja

La ponderación y función consiguiente para estimar la vulnerabilidad es la siguiente: Vulnerabilidad material (0 a 1) = (0,4) x Materialidad + (0,3) x Antigüedad + (0,3) x Altura. Obteniéndose consiguientemente unos valores: alta, media, y baja (Figura N° 53).

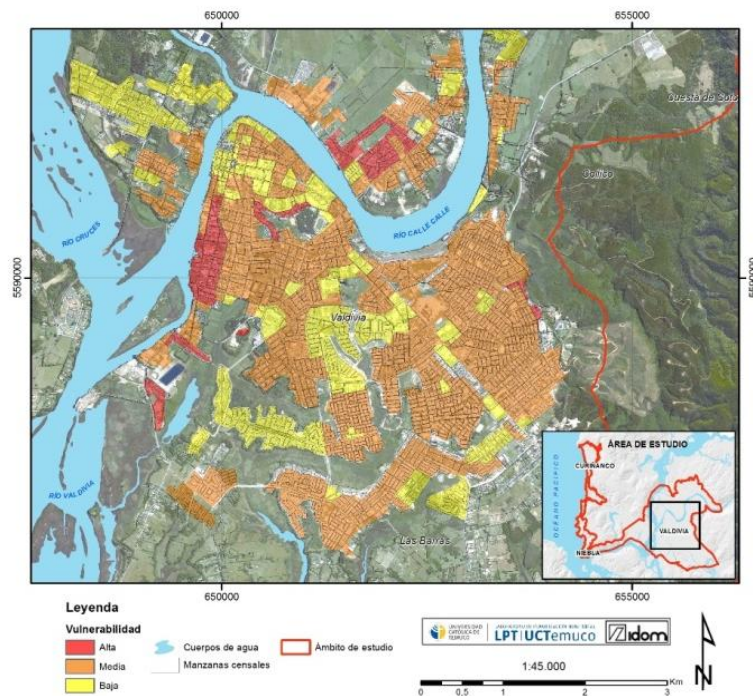


Figura N° 53. Vulnerabilidad material a inundación, Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014

Las áreas más vulnerables se corresponden con los campamentos y tomas, los barrios más antiguos del centro y con diversas áreas de Niebla. Zonas de intermedia y baja vulnerabilidad son los barrios residenciales de viviendas bajas del centro y sur de Valdivia e Isla Teja, y las zonas de edificios recientes del centro e Isla Teja, principalmente.

3.2.4.3 Análisis de la vulnerabilidad humana.

Para el análisis de la vulnerabilidad humana ante inundación, entendida como susceptibilidad a pérdida de vidas, número de heridos y población en condiciones de precariedad, y siguiendo la metodología expuesta, se consideran tres factores (PREDES 2010): la vulnerabilidad material de las edificaciones, el nivel socioeconómico vulnerable de la población (que incluye nivel sociocultural y precariedad de servicios básicos) y la densidad de población.

Para la vulnerabilidad material de las edificaciones, se consideran los tres niveles expuestos en el punto anterior. Esta variable contiene implícito el nivel de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) que las edificaciones tienen en función de su mejor o peor calidad, es decir: si disponen de suministro de agua, suministro eléctrico, o alcantarillado.

Para la vulnerabilidad socioeconómica, se consideraron el nivel sociocultural y la precariedad de servicios básicos a partir de datos del INE (2002), así como la identificación en terreno de los principales campamentos, tomas y asentamientos informales. Se identificaron dos categorías:

- Áreas vulnerables socioeconómicamente.
- Resto de áreas no identificadas por INE.

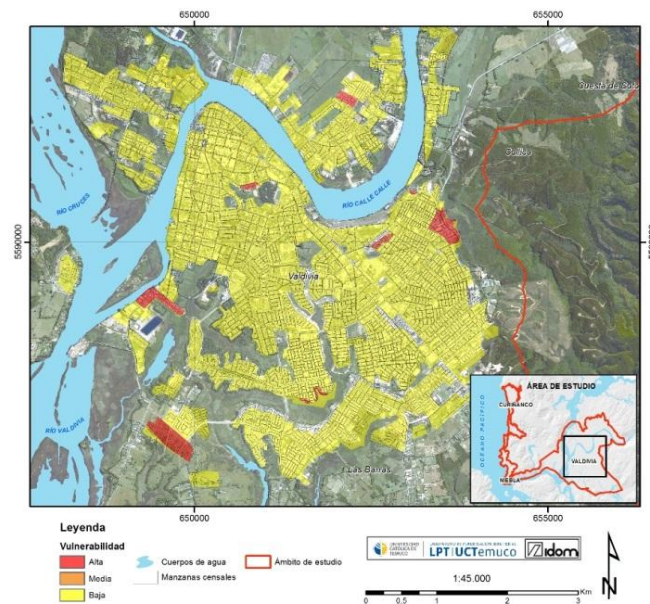


Figura N° 54. Campamentos y áreas socioeconómicamente vulnerables, Valdivia. Fuente: INE 2002, LPT-UCT 2014

Respecto a la densidad de la población, y a partir de los datos INE 2012 y de una relaboración y trabajo de precisión del propio equipo consultor, se establecen tres categorías:

- Densidad de población baja: menos de 50 hab./ha.
- Densidad de población media: entre 50 y 150 hab./ha.
- Densidad de población alta: más de 150 hab./ha.

Este dato, como se dijo para vulnerabilidad frente a sismo y remoción, no refleja aspectos relevantes, como la movilidad de la población o la existencia de población flotante. La carta síntesis es la siguiente (Figura N° 55).

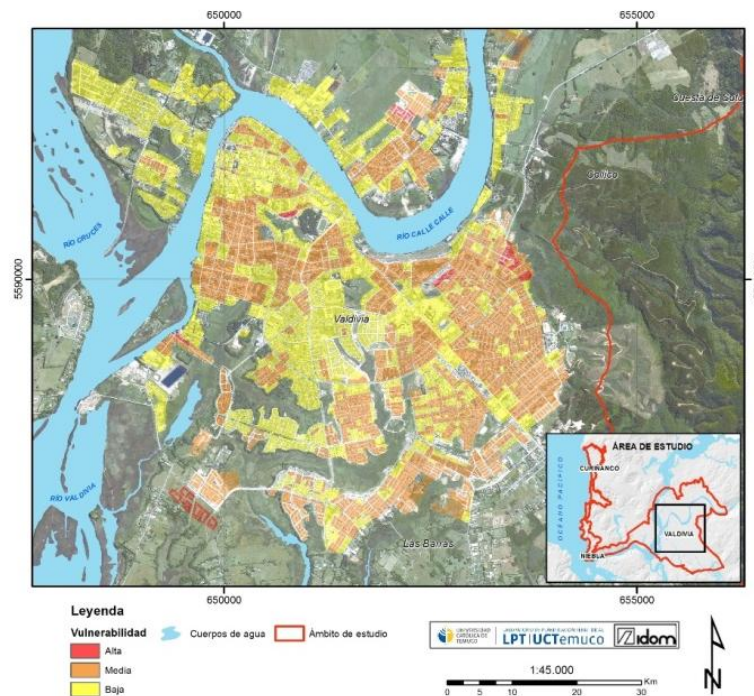


Figura N° 55. Vulnerabilidad humana a inundación, Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014

Consiguientemente, las áreas en que hay más población vulnerable se corresponden con los campamentos y tomas, y los barrios del centro y Barrios bajos donde la calidad de la edificación es menor, pero también con los barrios en torno a Avenida de Picarte y la salida Sur, donde la densidad de población es mayor. Igualmente, es coherente con la consideración de que la población con pobreza estructural (NBI), generalmente se asienta en zonas deprimidas.

3.3 Peligros de desarrollo lento

3.3.1 Factores climáticos y cambios en el nivel del mar

Análisis de información secundaria de factores climáticos y cambios en el nivel del mar

El análisis de la información secundaria se detalla en el Anexo N° 4.1. A nivel de información secundaria en cuanto a la temperatura se establece que para las ciudades de Temuco, Osorno, Valdivia y Puerto Montt, existe una variabilidad interanual de temperaturas extremas, que no muestra una tendencia clara en el tiempo, sin embargo se presenta una ligera disminución de las temperaturas mínimas (CCG-IEMA 2012). Al respecto, en Valdivia se muestra una tendencia al aumento leve en comparación a otras ciudades en cuanto a las temperaturas máximas y una disminución de las temperaturas mínimas. Por otra parte, el comportamiento de las precipitaciones en la ciudad de Valdivia muestra una variabilidad que tiende a una disminución en el tiempo, al respecto González-Reyes & Muñoz (2013), realiza un estudio del comportamiento de las precipitaciones en un período de 150 años (1853-2005), y establece que los promedios anuales de las precipitaciones han ido decayendo en el tiempo, y han mostrado una alta variabilidad. Esto se demuestra en el análisis de la estación ubicada en Valdivia, que señala mediante un análisis de estadística descriptiva de 20 años, una tendencia

desde el año 2000 hacia una amplia distribución de las precipitaciones mensuales, es decir, años más extremos entre los períodos estivales e invernales, como se observa en la figura N° 56, con épocas estivales mucho más amplias desde el año 2000.

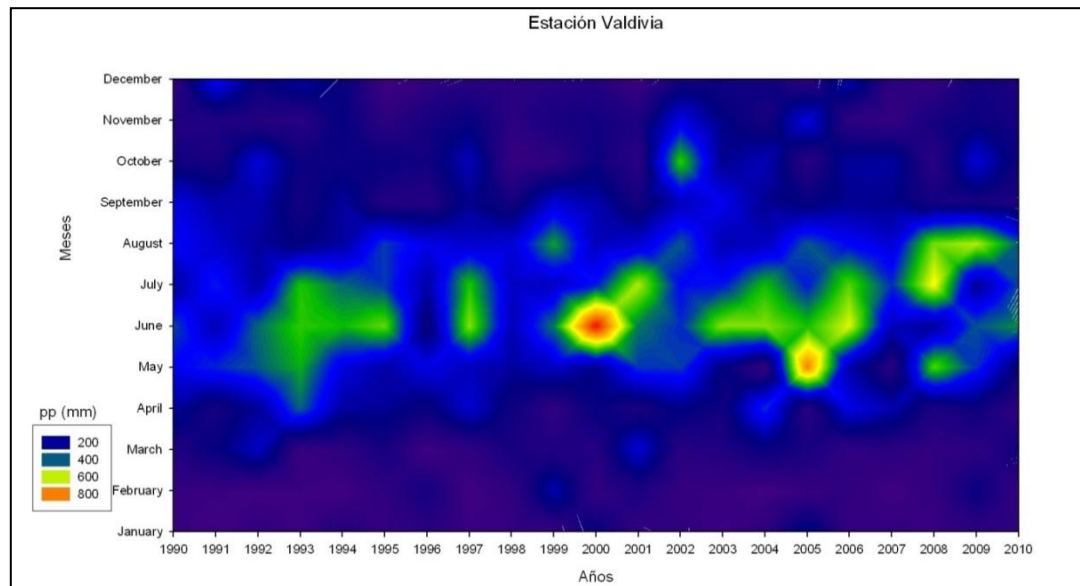


Figura N° 56. Gráficos de distribución de precipitaciones de 20 años entre los años 1990 (1) y 2010 (21). Estación Valdivia, Región de Los Ríos. Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por DGA-MOP

Finalmente, el análisis señala una tendencia de aumento de las temperaturas y una disminución en las precipitaciones, que no obstante en comparación a otras ciudades no es significativo. Sin embargo, en cuanto a las precipitaciones, estas producen fenómenos de concentración sobre todo en los meses de junio a agosto; esto afecta directamente a las inundaciones fluviales, ya detalladas en el análisis de amenazas por inundación fluvial.

En cuanto a los cambios en el nivel del mar a escala mundial, está aumentando sostenidamente (Church & White, 2011; NOAA, 2013). Entre 1870 y 2005 el nivel promedio del mar aumentó en 19.5 cm (Church & White, 2006) y entre 1950 y 2009 el nivel aumentó a una tasa de 1.7 mm/año según los mareógrafos. La tasa es aún más alta si se consideran mediciones altimétricas satelitales, alcanzando los 2.9 mm/año entre 1985 y 2004 (Kuo, 2006), y 3.3 mm/año entre 1993 y 2009 (Nicholls & Cazenave, 2010).

Por otro lado, se realizó un análisis a través de la información de los distritos agroclimáticos a nivel regional, como se observa en la figura N° 57; para el área de estudio corresponden los distritos 10-2 y 10-3, para los cuales la tabla N° 16 indica que son los que presentan el menor número de heladas a nivel regional (5 y 6 respectivamente), que se extienden en los meses de junio, julio y agosto, esto dado principalmente por la influencia costera. Por otro lado, no presenta ningún mes seco en su totalidad.

Tabla N°16: Identificación y caracterización de las heladas, meses secos y humedad de la Región de Los Ríos

Distrito	Período libre de heladas días	Suma térmica anual días grados	Horas de frío N° de horas	Déficit Hídrico anual mm	Número de meses secos N°	Número de meses húmedos N°	Índice de humedad invernal	Índice de humedad estival	Fecha de primera helada	Fecha de última helada	Número de heladas N°
10 - 1	255	852	1.908	120	0	7	12,7	0,7	20-may	07-sep	11
10 - 2	310	778	1.589	54	0	9	16,1	0,8	15-jun	12-ago	5
10 - 3	295	820	1.634	72	0	9	15,3	0,8	09-jun	18-ago	6
10 - 4	209	964	2.349	178	1	7	10,8	0,5	27-abr	30-sep	20
10 - 5	202	799	2.604	161	1	7	9,5	0,6	23-abr	04-Oct	22
10 - 6	213	706	2.625	47	0	9	13,4	0,9	29-abr	28-sep	20
10 - 7	112	384	4.424	0	0	12	20,7	2	15-mar	12-nov	54
10 - 8	31	237	5.926	0	0	12	58,2	2,3	17-feb	09-dic	111
10 - 9	216	503	2.943	11	0	11	20	1,7	03-may	24-sep	19
10 - 10	280	752	1.903	37	0	10	17,6	0,9	01-jun	26-ago	8
10 - 11	262	730	2.176	35	0	10	15,5	1	22-may	05-sep	11
10 - 12	249	843	2.148	125	0	8	13,2	0,6	14-may	13-sep	12
10 - 13	308	676	1.790	42	0	9	16,9	0,8	15-jun	12-ago	5
10 - 14	257	519	2.381	0	0	12	17,3	1,4	21-may	06-sep	11
10 - 15	173	708	3.045	153	0	7	9,5	0,6	09-abr	18-Oct	33

Fuente: Elaboración propia en base a Fuente: Diagnóstico del Riego y Drenaje en la Décima Región (Comisión Nacional de Riego 2003).

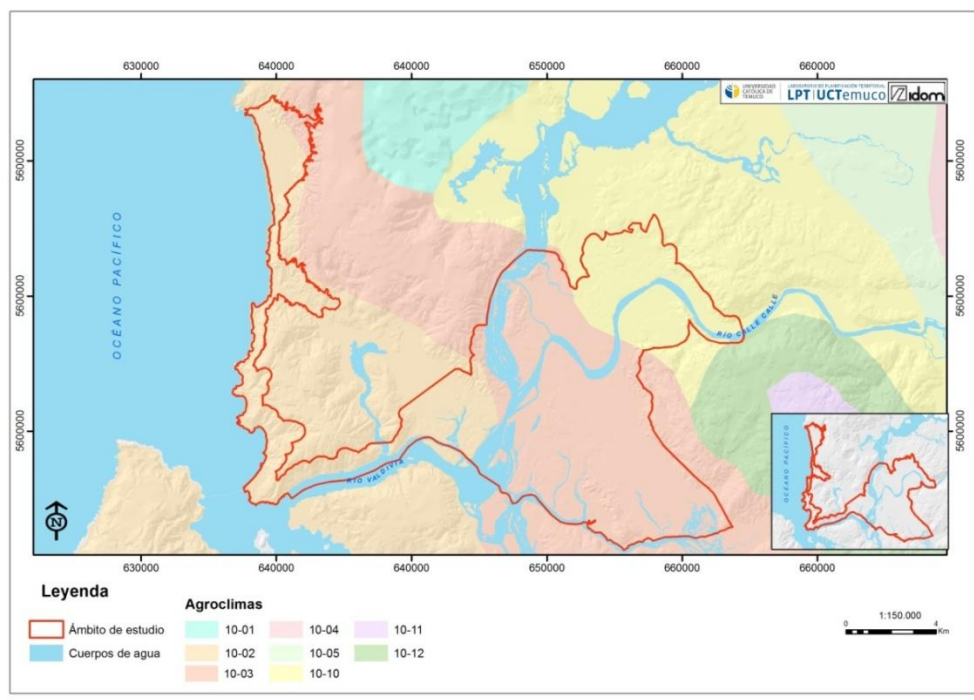


Figura N° 57. Distritos agroclimáticos para el área de estudio (Valdivia y Niebla-Curiñanco). Fuente: Diagnóstico del Riego y Drenaje en la Décima Región (Comisión Nacional de Riego 2003), edición LPT-UCT 2014.

Análisis de uso de suelo y peligros de desarrollo lento

Para el área de estudio y según lo analizado, se detecta una disminución en el nivel del mar y ausencia de olas de calor (las oscilaciones térmicas son menores por su cercanía a la costa), sin embargo y como se refleja en la carta "Mapa de efectos de multiamenazas e impactos socioeconómicos asociados al cambio climático", puede aumentar la probabilidad de incendios principalmente de tipo forestal, a causa de la cercanía a localidades. Al respecto, a nivel regional existe una tasa de cambio anual de plantaciones de 5,45%, asociado al desarrollo del sector forestal, específicamente en el norte de la región (Plan Regional de Ordenamiento Territorial de la Región de Los Ríos, en ejecución), lo que aumenta la masa crítica para la generación de incendios locales. En la figura N° 58, se observa que esta masa de plantaciones se concentran en el sector Este de la ciudad de Valdivia, cercano a espacios urbanos principalmente de características residenciales.

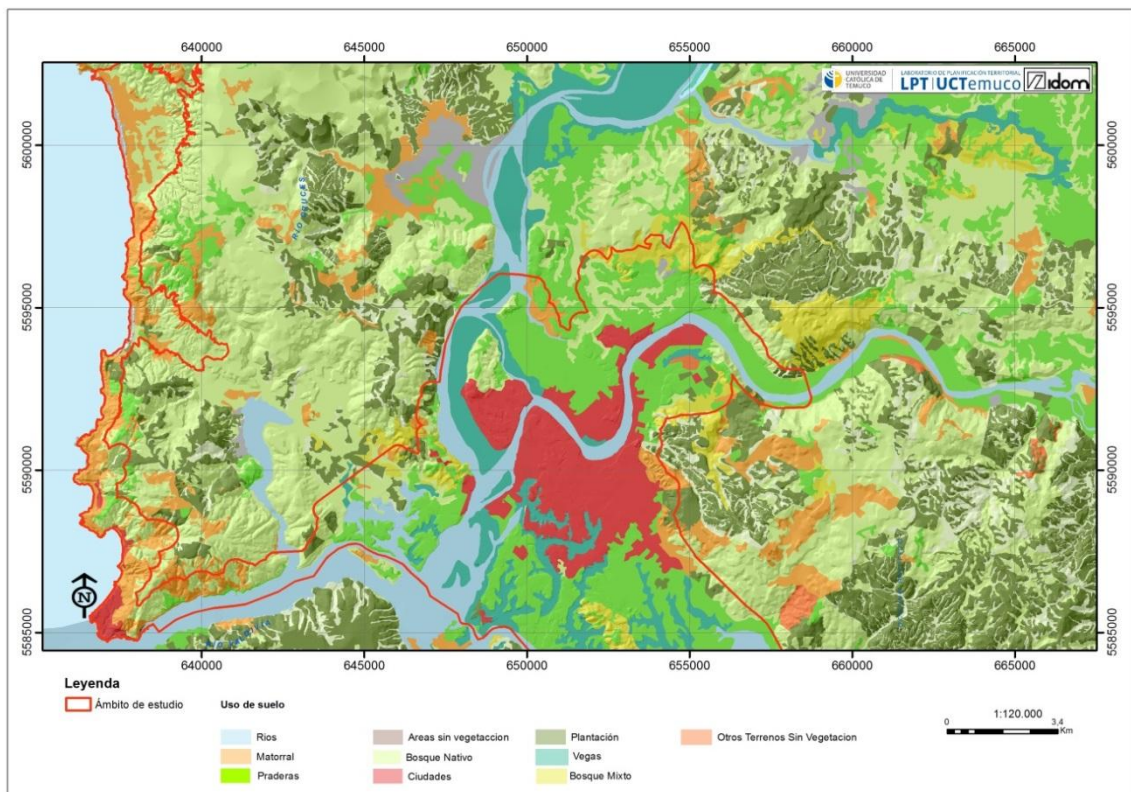


Figura N° 58. Uso actual de suelo para área de estudio ciudad de Valdivia y camino Niebla-Curiñanco. Fuente: Catastro de uso de suelo 2007, edición LPT-UCT 2014.

Modelos de escenarios 2030 y 2050 para la ciudad de Valdivia

Se llevó a cabo el escalamiento (downscaling) de los resultados de los escenarios A2 y B2 del IPCC (generados a partir del modelo HadCM3), que son los únicos disponibles para Sudamérica. Dicho escalamiento fue realizado con el Generador de Escenarios (Scenario generation) del programa SDSM 4.2, para las variables de temperatura y precipitaciones que se detallan a continuación.

Para la variable de temperatura anual (promedio diario), se muestran los resultados obtenidos en la estación de la UACH, en la cual se realizó el proceso de escalamiento. En la figura N° 59, se muestran las tendencias de las series promedio (valor medio de las 20 series generadas) de temperatura para los Escenarios A2 y B2 (Tabla N° 17), para el período 1961-2050 (puntos azules y rojos respectivamente). De las líneas de tendencia, tanto para el Escenario A2 como el B2, se aprecia un leve aumento en las temperaturas promedio diarias.

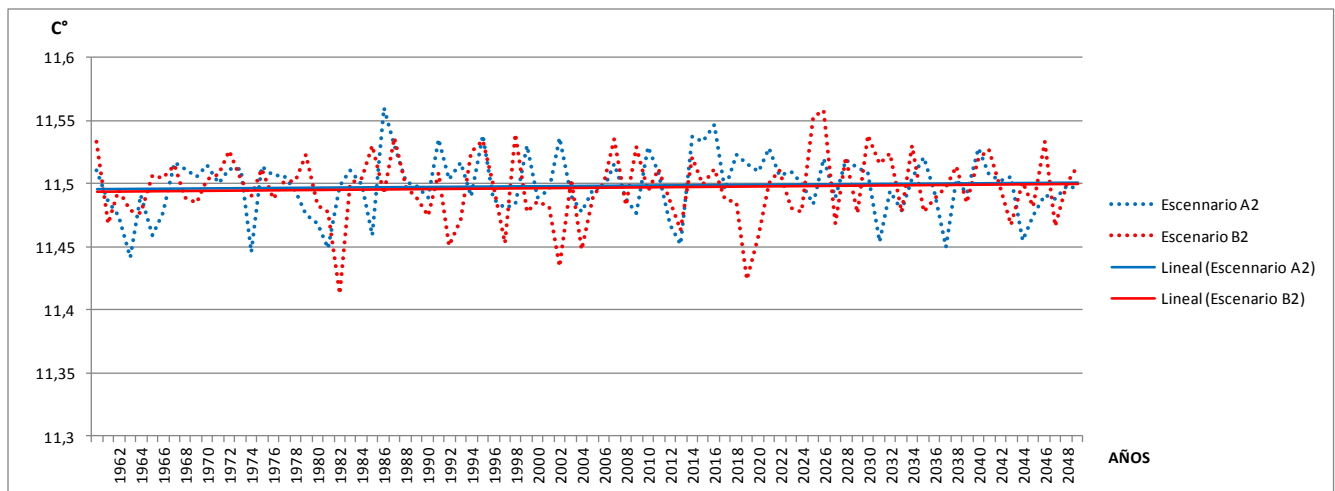


Figura N° 59. Temperatura Media Anual Escenarios A2 y B2 Estación UACH. Fuente: LPT-UCT 2013.

Tabla N° 17. Temperaturas Anuales Diarias Promedio Generadas Escenarios A2 y B2, Estación UACH

TEMPERATURA °C			
ESCENARIO A2		ESCENARIO B2	
Período (2014-2030)	Período (2031-2050)	Período (2014-2030)	Período (2031-2050)
11,51°	11,51°	11,49°	11,50°

Fuente: LPT-UCT 2013.

Para la variable de precipitación anual (promedio diario), se muestran los resultados obtenidos en la estación de la UACH, en la cual se realizó el proceso de escalamiento. En la figura N° 60, se muestran las tendencias de las series promedio (valor medio de las 20 series generadas) de precipitaciones para los Escenarios A2 y B2 para

el período 1961-2050 (puntos azules y rojos respectivamente). De las líneas de tendencia, tanto para el Escenario A2 como el B2, se aprecia disminución en las precipitaciones promedio diarias (Tabla N° 18).

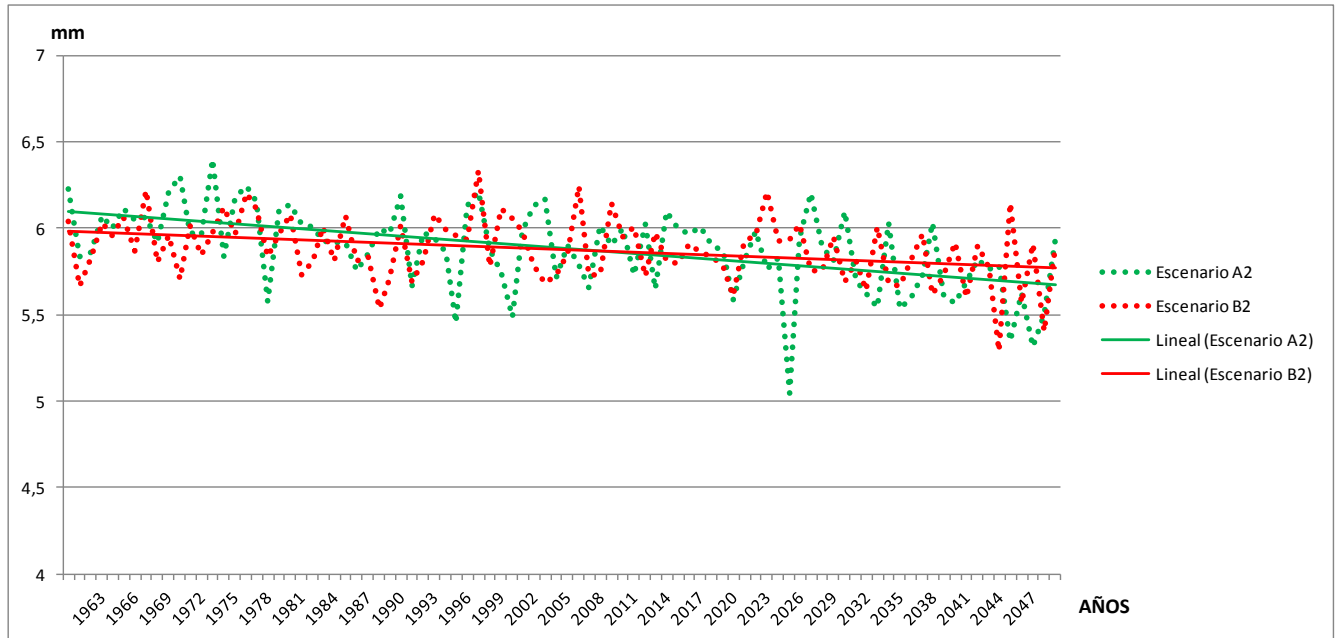


Figura N° 60. Precipitación Media Anual Escenarios A2 y B2 Estación UACH. Fuente: LPT-UCT 2013.

Tabla N° 18. Precipitación Anuales Diarias Promedio Generadas Escenarios A2 y B2, Estación UACH

PRECIPITACIONES			
ESCENARIO A2		ESCENARIO B2	
Período (2014-2030)	Período (2031-2050)	Período (2014-2030)	Período (2031-2050)
5,8mm	5,6mm	5,8mm	5,7mm

Fuente: LPT-UCT 2013.

En cuanto al cambio en el nivel del mar (el análisis se detalla en el Anexo N° 4.2), en el estudio realizado en la Tarea 2, contrariamente a lo esperado considerando el aumento global del nivel del mar, los resultados indican que el mar ha bajado en la zona de Valdivia durante la primera mitad de este siglo. Mediante dos metodologías distintas las proyecciones indican que al el año 2030 el mar estará entre 6 y 8 cm más abajo que el nivel actual. Hacia mediados de siglo, alrededor del 2050, la disminución alcanzará entre 13 y 17 cm. Esta tendencia de disminución del nivel del mar en la zona de Valdivia, aparentemente contradictoria con la tendencia global, es explicada por el tectonismo inter-sísmico al que está sometida la región. Así lo demuestran los registros continuos de los GPS, que evidencian que la costa de Valdivia se está levantando. De acuerdo a la teoría del

rebote elástico asociado al ciclo sísmico (Savage, 1983), la corteza continental acumula tensión a medida que las placas convergen en la zona de subducción. Esta acumulación genera deformación cortical haciéndose evidente principalmente en los sectores costeros. Debido al terremoto gigante (Giant Earthquake) de 1960, la corteza en la zona de Valdivia liberó la tensión acumulada deformándose su superficie. En esa ocasión la región se hundió alrededor de 2 metros (Plafker & Savage, 1970). Con posterioridad al terremoto, en la actual fase inter-sísmica, la corteza comienza a deformarse de manera inversa a medida que vuelve a acumular tensión, en este caso, levantándose. Este levantamiento sería el principal responsable de la caída del nivel del mar registrado por el mareógrafo de Corral. Condición que debería mantenerse por las siguientes décadas o siglos hasta la ocurrencia del próximo terremoto.

De este modo, la tectónica sería el principal controlador del nivel del mar en la zona de Valdivia, superando a cualquier otro tipo de variable, como por ejemplo las asociadas al cambio climático. Las observaciones corresponden a las variaciones, a escala de centímetros, generadas durante el actual período inter-sísmico; sin embargo, cambios mucho más drásticos, a escala de metros, se generarían en caso de ocurrir un terremoto de gran magnitud en la región. Este fenómeno produciría un drástico hundimiento co-sísmico que podría hacer subir el nivel del mar en metros en cuestión de minutos. De esta forma, todas las proyecciones consideradas en el estudio asumieron la continuidad del actual período inter-sísmico sin la ocurrencia de un sismo antes del 2050. En otras palabras, se considera que el levantamiento tectónico observado continuará a una tasa constante. Sin embargo, debido a que la ciencia aun no es capaz de predecir los terremotos, siempre es necesario considerar la posibilidad de que ocurra un sismo en la zona de Valdivia. En ese caso, las proyecciones del nivel del mar en Valdivia quedarían invalidadas. Por otro lado, se establece que aumentarían las marejadas a nivel Nacional y que serán menos intensas en el sur del país, sin embargo la amortiguación del efecto estaría dada principalmente por este descenso en el nivel del mar (mayor detalle de este análisis se encuentra en el Anexo 4.1).

3.3.2 Impactos socioeconómicos vinculados a peligros de desarrollo lento

La evaluación de los impactos socioeconómicos se basó en los resultados obtenidos en el apartado anterior, frente a los bajos efectos producto de los peligros de desarrollo lento (olas de calor, sequías, heladas y cambios en el nivel del mar) y a la información cualitativa detectada en comunicación con actores estratégicos locales. En este sentido, se trabajó principalmente a partir de las estrategias desarrolladas y los sectores de vulnerabilidad considerados en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2012), en el sentido en que afectan al área urbana de Valdivia: sectores silvoagropecuario, ecosistemas, salud, infraestructura, recurso hídrico, ciudades, turismo.

3.3.2.1 Cambios en el nivel del mar

Impactos económicos

El principal elemento temático relativo a este aspecto considerado en el PNACC es la infraestructura portuaria. La infraestructura expuesta que podría ser afectada es la de Niebla: ésta sirve a diversas embarcaciones deportivas y pesqueras de pequeño calado, así como a la barcaza que da acceso a la ciudad de Corral (Figura N° 61).



Figura N° 61. Zona portuaria de Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014

Dada la escasa variación de los niveles de mar (-3,9mm al año) y al análisis que para dos escenarios de Cambio Climático se ha arrojado, y el estado actual de las instalaciones, los impactos se pueden considerar nulos. De igual manera, la ubicación en el interior de la bahía y la existencia de espigones la protegen frente a episodios de marejada. En el mismo sentido, las carreteras y resto de infraestructura vial no se verán sensiblemente afectadas, considerando estas predicciones.

3.3.2.2 Sequía y ola de calor. Descenso en las precipitaciones

Este es sin duda el peligro que puede tener unas afecciones más claras sobre la población de Valdivia. Se analizaron los impactos económico-materiales, y sociales-humanos.

Impactos económicos

Aparecen vinculados a diversos aspectos considerados por el PNACC, como los siguientes:

Incendios

En primer lugar, la sequía y el aumento de temperaturas pueden derivar en mayor riesgo de incendios. En ese sentido cabe evaluar a nivel de infraestructuras y recursos tres aspectos: tipo y calidad de los bosques próximos a Valdivia, calidad de las infraestructuras y servicios contra incendios forestales, y nivel de mantenimiento de la materia orgánica susceptible de provocar incendios (Fotografía N° 21).



Fotografía N° 21. Torre de Vigilancia, Parque Oncol. Fuente: LPT-UCT 2014.

La mayoría de los bosques próximos a la ciudad en su zona Este son plantaciones forestales, con un nivel medio de susceptibilidad a sufrir incendios.

Estos bosques disponen de torres de vigilancia y servicios de conservación y control de incendios de tipo privado, gestionado por las empresas propietarias. Además, en caso de incendio forestal, intervienen los cuerpos de bomberos voluntarios, con sede en Valdivia.

Se practican labores de poda y limpieza en los cuatro primeros años de plantación. A partir de este momento, la generación de materia orgánica o pie de bosque es escasa (Figura N° 62).

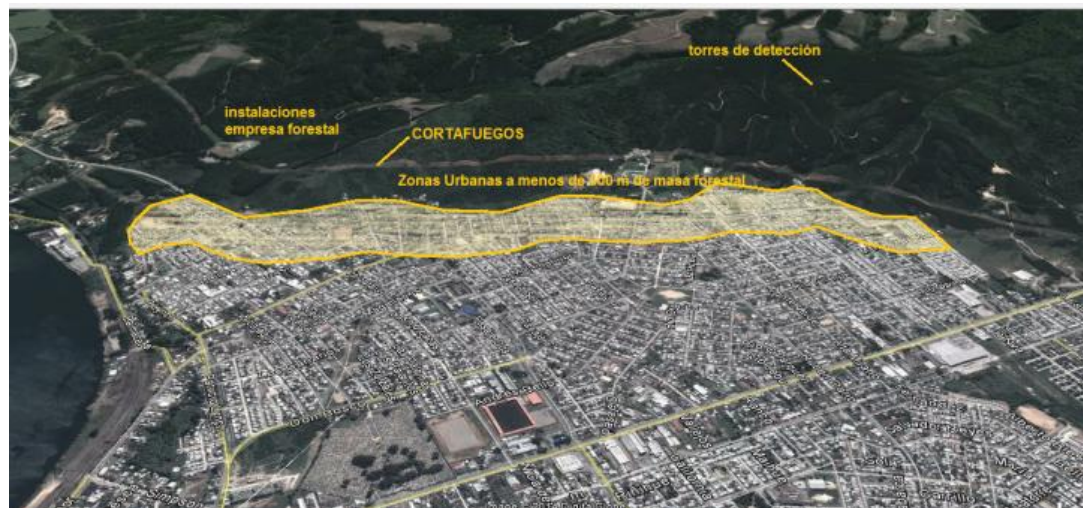


Figura N° 62. Área Este de Valdivia. Buffer de 500 m que muestra la zona urbana más próxima a las plantaciones forestales. La línea de alta tensión ejerce de cortafuegos. Fuente: LPT-UCT 2014.

Las áreas más próximas a zonas forestales son los barrios del sector Este, y los sectores residenciales de Isla Teja, en este caso próximos a bosque nativo. Esta situación genera una alta potencialidad a sufrir pérdidas económicas o humanas, no cuantificables en el marco de este estudio.

Suministro de agua potable

En lo relativo a las afecciones a la salud, podemos considerar en primer lugar la infraestructura de suministro de agua potable. Los sistemas actuales de captación, abastecimiento y distribución se describieron en el apartado de vulnerabilidad funcional, en infraestructura de suministro de agua potable.

Las actuales captaciones de agua, gestionadas por Aguas Décima, son:

- Planta de Tratamiento de Llancahue: ubicada a la salida sur de la ciudad, se abastece de agua desde el estero "Llancahue", ubicado en una cuenca hidrográfica protegida. El origen del agua es totalmente pluvial, por lo que en época de estiaje su capacidad no permite satisfacer la demanda de agua de la población (Fotografía N° 22).
- Planta de Tratamiento Cuesta de Soto: Este sistema capta el agua desde la ribera sur del río Calle Calle, aproximadamente a unos 8 km al oriente de la ciudad, mediante una cañería de acero de 700 mm de diámetro que se comunica con una sentina.



Fotografía N°22. Planta de Tratamiento de Llancahue. Fuente: Aguas Décima.

Dada la existencia de dos alternativas, el sistema de suministro urbano se ha considerado en principio confiable ante posibles déficits hídricos futuros vinculados con los escenarios considerados. Respecto a las áreas de Niebla y Curiñanco, dependen de sistemas de captación y suministro de Agua Potable Rural, por lo que presentan una mayor vulnerabilidad a los previstos descensos en el nivel de precipitaciones.

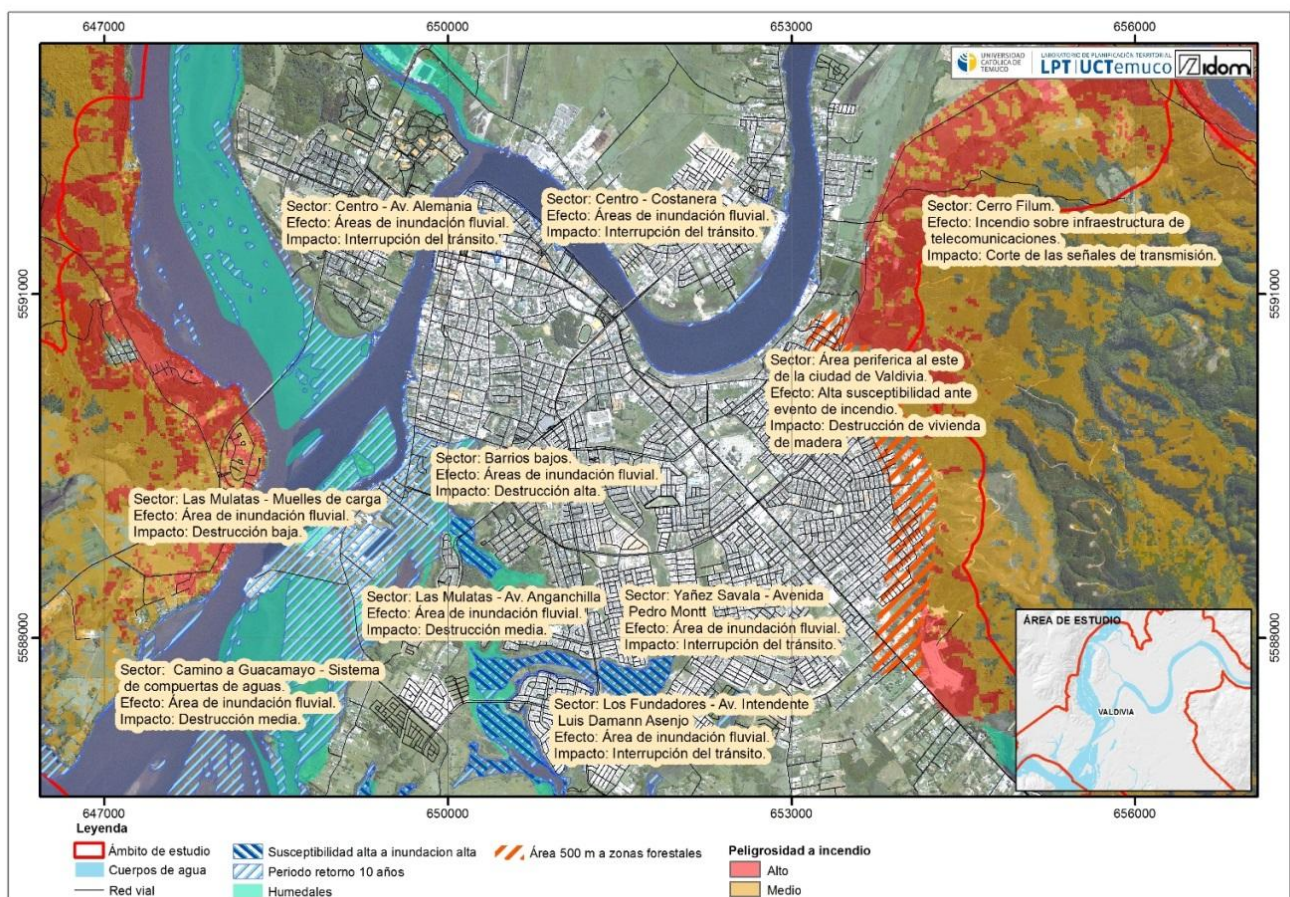
Por la información recabada por los agentes consultados, el suministro empieza ya a mostrarse afectado como insuficiente a la fecha, habiendo tenido que disponerse en ocasiones puntuales servicios de suministro a través de camiones cisternas a algunas de estas poblaciones rurales. La situación de descenso de precipitaciones proyectada obligará a importantes inversiones en nuevos suministros de agua potable rural.

Vulnerabilidad humana

En lo relativo a problemas de salud vinculados a la ola de calor no se detecta según Servicio Salud registros de pacientes por golpes de calor a las instalaciones públicas.

Respecto al riesgo de incendios son vulnerables las áreas pobladas más próximas a sectores forestales ya descritas, incluyendo la población dispersa ubicada en áreas rurales de Niebla y Curiñanco, así como en la carretera Valdivia – Niebla.

La información de efectos de multiamenazas e impactos socioeconómicos asociados a cambio climático se sintetiza y sistematiza en las siguientes figuras (Figura N° 63):



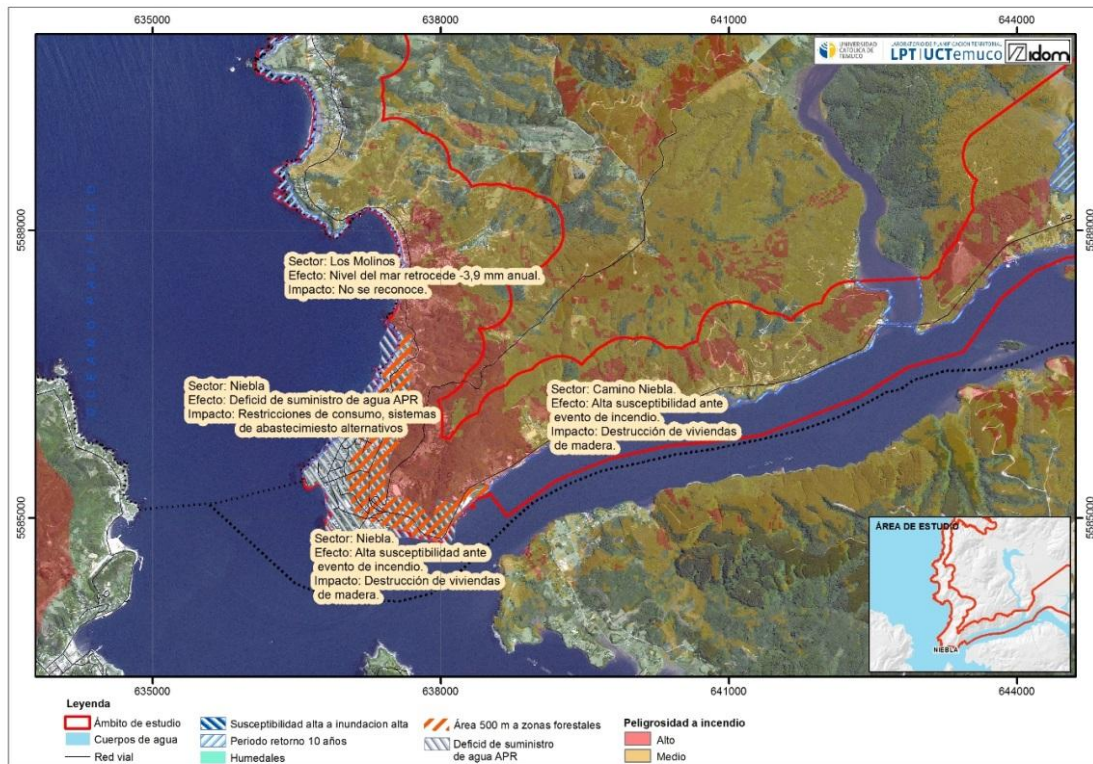


Figura N° 63. Carta de efectos de multiamenazas e impactos socioeconómicos asociados a cambio climático. Áreas de Valdivia centro, y Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014.

4 Cálculo de Peligrosidad y Riesgo

4.1 Riesgo ante Eventos Geofísicos. Terremoto y Remoción en masa

4.1.1 Riesgo Material y Humano

El riesgo se define como una función de la amenaza y la vulnerabilidad, relacionado con la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno.

$$R = \text{Probabilidad} \times (\text{Intensidad de evento}, \text{Vulnerabilidad})$$

Se considera, para cada uno de los escenarios determinados, escenario más probable y peor escenario, una determinada magnitud del evento. Para la estimación del riesgo material ante sismo, la medida de intensidad será la aceleración horizontal esperada vinculada a cada zona geológica de la ciudad, combinada con la magnitud del evento.

Para estimar los escenarios probables de eventos sísmicos, consideraremos el estudio “Microzonificación sísmica de la ciudad de Valdivia. Etapa 1: determinación del peligro uniforme y caracterización dinámica de los suelos empleando la técnica de la razón espectral de Nakamura” (1) de D. Andrés Alvarado Coello, profesor

patrocinante Dr. Ingeniero Galo Valdebenito, que define en su apartado “Obtención del terremoto característico de la zona utilizando métodos probabilísticos” y “Definición del peligro sísmico uniforme para la ciudad de Valdivia. Aplicación de leyes de atenuación al terremoto característico” unos eventos de una magnitud e intensidad esperadas para periodos de recurrencia dados. Asociada a la sismicidad interplaca, hay un 90.8% de probabilidad de que ocurra al menos un evento de magnitud mayor a $M_s=7.0$, considerando una vida útil estructural de 50 años.

Para una vida útil de $T=50$ años, se espera para la ciudad de Valdivia:

- Un terremoto interplaca de intensidad $M_s=8.0$, con una probabilidad de ocurrencia de un 90.8%
- Un terremoto intraplaca de intensidad $M_s=8.2$, con una probabilidad de ocurrencia de un 28.7%

En “Definición del peligro sísmico uniforme para la ciudad de Valdivia. Aplicación de leyes de atenuación al terremoto característico”, se plantea, a partir de las leyes de atenuación para aceleración horizontal máxima (PGA), las fórmulas propuestas por Saragoni *et al* (2004) para sismos interplaca.

Considerando las magnitudes asociadas a las distintas probabilidades de ocurrencia determinadas, evaluando para una profundidad promedio de sismos interplaca igual a 30 km (Saragoni *et al*, 2004), y fijando una distancia epicentral de 90 km según el análisis probabilístico del documento, se obtienen las intensidades y aceleraciones máximas horizontales esperadas, asociadas a las distintas probabilidades de ocurrencia mostradas en la tabla siguiente (Tabla N° 19)

Tabla N° 19. Intensidades y máximas aceleraciones horizontales esperadas en la ciudad de Valdivia. Valores asociados a distintas magnitudes y probabilidades de ocurrencia. Fuente, Tesis Citada (1)

Magnitud M_s	Probabilidad de ocurrencia asociada	Intensidad esperada (MM)	Aceleración horizontal máxima esperada (g)	
			Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)	Roca y suelo duro (1500 m/s $> V_s > 360$ m/s)
8,0	90,8 %	7,5	0,14	0,31
8,4	67,1 %	8,0	0,24	0,52
8,5	59,1 %	8,2	0,27	0,59
8,7	43,0 %	8,4	0,35	0,65

A partir del método de la razón espectral de Nakamura, el autor obtiene, mediante medición in-situ, la siguiente carta de microzonificación de Isoperiodos (Figura N° 64):

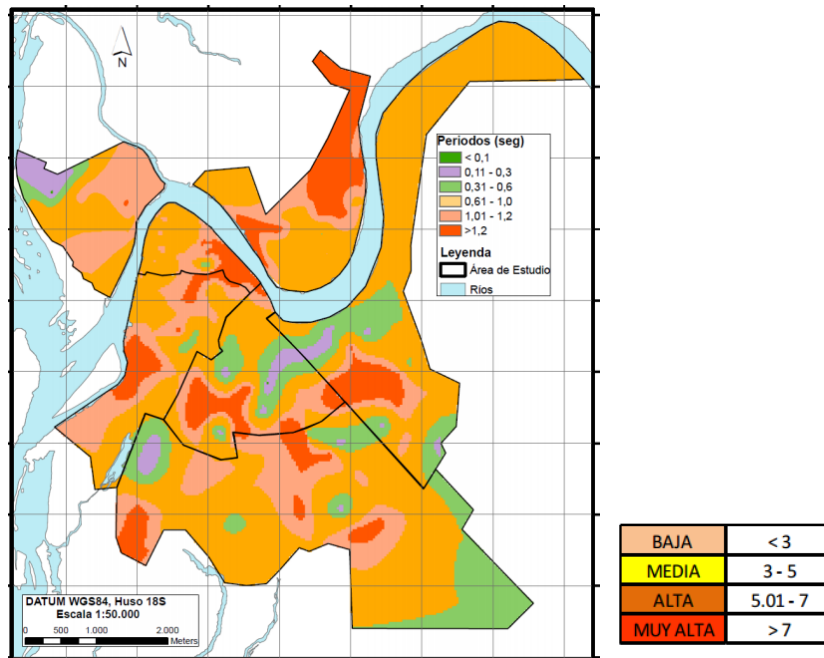


Figura N° 64. Mapa de isoperiodos del suelo. Valdivia. Tabla de amplificación dinámica. Fuente, D. Andrés Alvarado Coello, (2013).

A partir de esta información, y en función de la cartografía levantada respecto a vulnerabilidad material a sismo, y de la cartografía de amplificación vinculada con efectos de sitio, obtenemos el mapa de Riesgo sísmico que superpone la vulnerabilidad a la ampliación por efectos de sitio Figura (N° 65, 66 y 67):

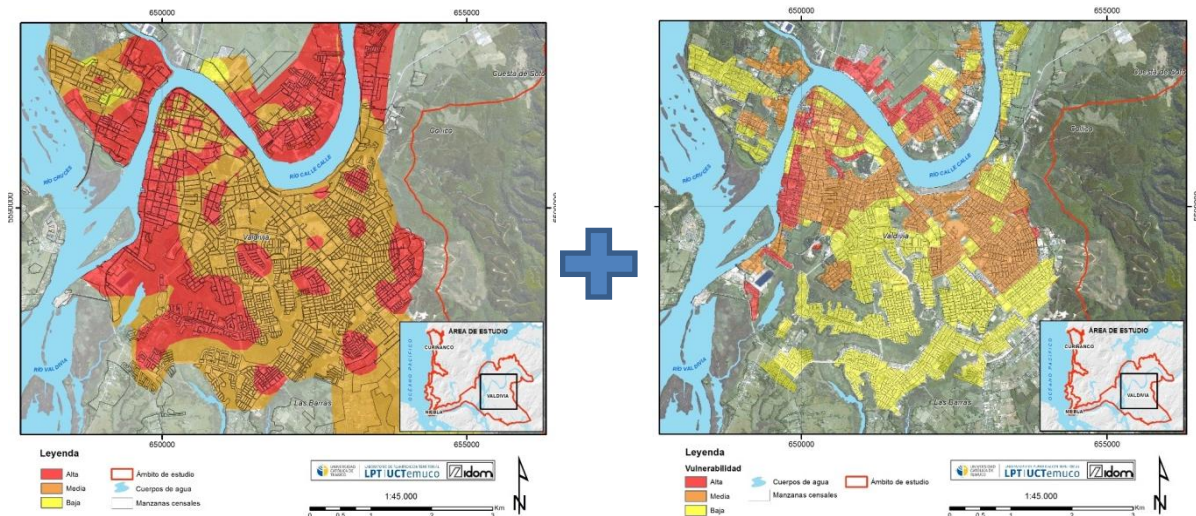


Figura N° 65 y 66. Mapa de amplificación dinámica por efecto de sitio (Tesis D. Andrés Alvarado Coello y elaboración propia) y mapa de vulnerabilidad física a terremoto. Fuente: LPT-UCT 2014.

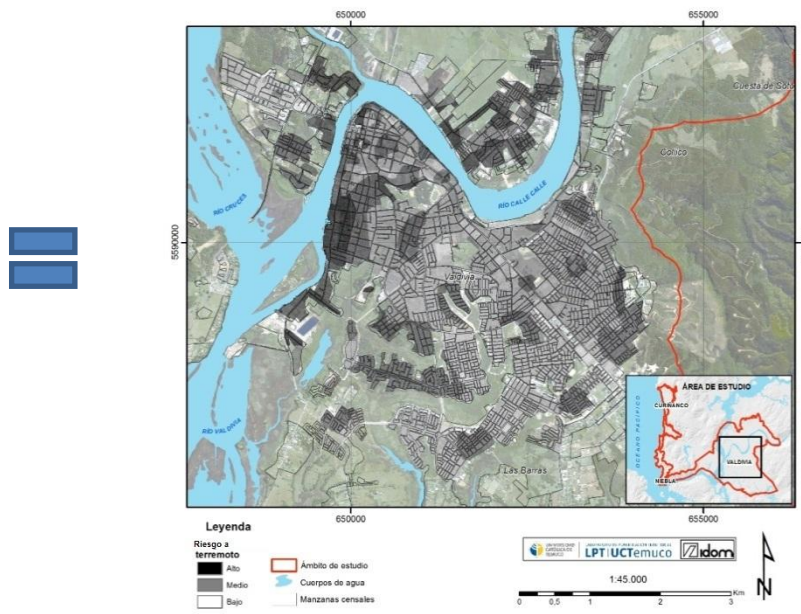


Figura N° 67. Carta de riesgo por terremotos. Fuente: LPT-UCT 2014.

Ahora, al asociar los dos eventos probabilísticos considerados, las funciones o índices de daños vincularán la peligrosidad (vulnerabilidad + efecto de sitio) con la intensidad del evento, con el fin de obtener unos niveles de daño para cada categoría de intensidad considerada

En función de la tabla N° 24, el terremoto interplaca de intensidad $M_s=8.0$ (más esperado) tendría una intensidad esperada MM de 7,5. Mientras que el terremoto intraplaca de intensidad $M_w=8.2$ (menos esperado) tendría una intensidad esperada M_w de 7,9.

Para vincular ambas magnitudes, se consideraron los informes del Consejo de Tecnología Aplicada ATC-13 y ATC-25 financiados por Federal Emergency Management Agency (FEMA) para evaluar los efectos de Daño por Terremoto en función de Datos, para California. Los que establecen unos daños para unos niveles de intensidad determinados, en función de las siguientes tablas (Figura N° 68):

Tabla 5.3. Escala de daño global por sismo (GNDT, 1990)

Grado de daño	Descripción cualitativa	Índice de daño global
A	Ningún daño o daño despreciable	0 %
B	Daño leve	10 %
C	Daño medio	25 %
D	Daño grave	50 %
E	Daño muy grave	75 %
F	Destrucción total	100 %

Tabla 5.9. Forma general de las MPD propuesta por ATC-13(1985)

Estado de Daño	Rango Factor Daño (%)	Factor Centra Daño(%)	Probabilidad de daño en porcentaje Para c/IMM y estado de daño							
			VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1-Sin Daño	0	0.0	0.1							
2-Mínimo	0 – 1	0.5	27.0	2.2						
3-Ligero	1- 10	5.0	72.9	89.3	32.2	3.0				
4-Moderado	10 – 30	20.0		8.5	66.9	68.1	19.9	3.9	0.1	
5-Pesado	30 – 60	45.0			0.9	28.9	74.2	57.8	12.4	
6-Mayor	60 – 100	80.0					5.9	38.3	84.3	
7 Destrucción	100	100.0								3.2

Figura N° 68. Grados de pérdida y vínculo entre daño y pérdida. Informe ATC-13.

Para estimar las funciones de vulnerabilidad, se consideraron diferentes metodologías, como la desarrollada por el Centro de Prevención de Desastres de Perú (PREDES 2012). En esta metodología, la evaluación del índice de vulnerabilidad se fundamenta en la calificación de los grados de vulnerabilidad y el peso de cada uno de los parámetros considerado, definida a partir de opiniones de expertos. Para valorar estadísticamente el peso de cada variable y los diferentes aportes, se utilizan fórmulas de ponderación estadística. La operación que se utilizó en este proceso en la metodología mencionada fue el Promedio Ponderado Difuso, que se expresa de la siguiente forma:

$$IV = \frac{\sum_{i=1}^{11} K_i W_i}{\sum_{i=1}^{11} W_i} \quad (1)$$

Donde IV es el índice de vulnerabilidad sísmica de la edificación para cada tipo de estructura, i es el valor del grado de vulnerabilidad de la edificación en el parámetro i . El valor W_i es el peso del parámetro con respecto a los otros parámetros que influyen en la vulnerabilidad, y es la forma de relacionarlos entre sí.

Las funciones de vulnerabilidad consideradas a partir de las obtenidas por la metodología mencionada, y el nivel de daño esperado, se representan en la siguiente figura (figura N° 69).

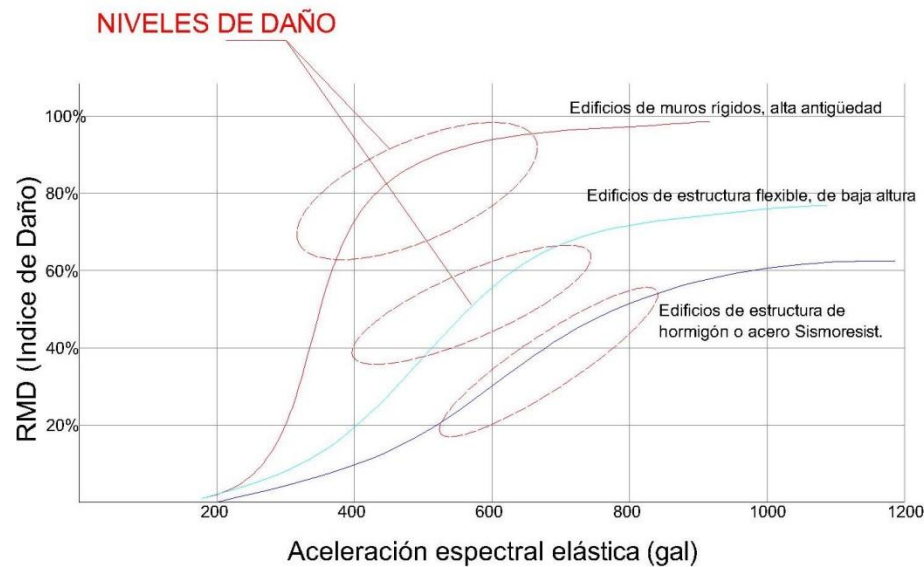


Figura N° 69. Funciones de vulnerabilidad para distintos casos de edificaciones. Fuente: PREDES y LPT-UCT 2014.

En el caso de Valdivia, en función de lo anterior, aplicando álgebra de mapas para cada nivel de daño esperado, resulta lo siguiente (Tabla N° 20):

Tabla N° 20. Daños en función de al riesgo

Riesgo	Intensidad	7,5	7,9	>8
Bajo		Mínimo	Ligero	---
Medio		Ligero	Moderado	---
Alto		Moderado	Pesado	---

Fuente: LPT-UCT 2013.

De la zonificación desarrollada (Tabla N° 21) obtenemos los siguientes valores superficiales para cada zona urbana en función al riesgo:

Tabla N° 21. Superficie de riesgo por terremoto

Riesgo de terremoto	Superficie urbana
Alto	513,78 ha
Medio	619,48 ha
Bajo	1404,1 ha

Fuente: LPT-UCT 2013.

Del análisis de superficie construida versus superficie libre por zona urbana, obtenemos un promedio de 42% de superficie ocupada respecto al total de superficie urbana (Figura N° 70):

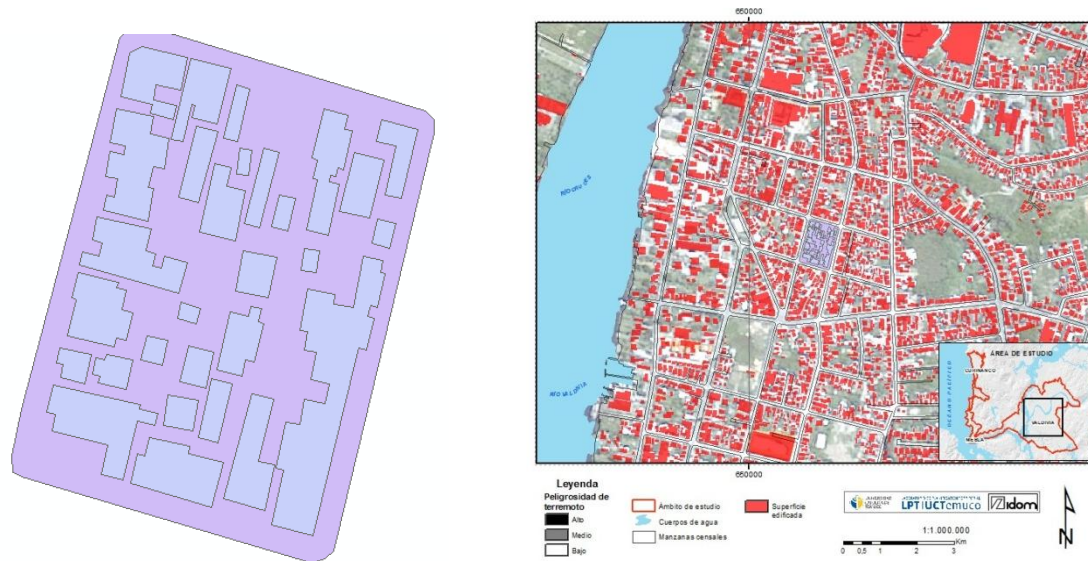


Figura N° 70. Manzana promedio para cálculo de superficie ocupada. Fuente: LPT-UCT 2014.

Con respecto a la superficie afecta a la peligrosidad por terremoto se observa lo siguiente (Tabla N° 22):

Tabla N° 22. Superficie por riesgo de terremoto

Riesgo por terremoto	Superficie urbana	Superficie manzana	Superficie construida (x2,5)
Alto	513,78 ha	215.46	538.65
Medio	619,48 ha	260	650
Bajo	1404,1 ha	589	1180

Fuente: LPT-UCT 2013.

Para estimar el valor de reposición asignamos a cada categoría de materialidad identificada, un tipo de calidad constructiva de los reconocidos por el MINVU (Tabla N° 23):

Tabla N° 23. Correspondencia entre Clase constructiva y Calidad según MINVU, y niveles de materialidad del estudio.

Clase constructiva	Calidad de edificación	Correspondencia con niveles de materialidad del estudio
CLASE A: Construcción con estructura soportante de acero. Entrepisos de perfiles de acero o losas de hormigón armado.	1 SUPERIOR	ALTA
CLASE B: Construcciones con estructura soportante	2 BUENA	ALTA

Clase constructiva	Calidad de edificación	Correspondencia con niveles de materialidad del estudio
de hormigón armado, o con estructura de mixta de acero con hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado.		
CLASE C: Construcciones con muros soportantes de albañilería de ladrillo confinado entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado, o entramados de madera.	2 BUENA	ALTA
CLASE D: Construcciones con muros soportantes de albañilería de bloques o de piedra, confinados entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado, o entramados de madera.	3 CORRIENTE	MEDIA
CLASE E: Construcciones con estructura soportante de madera. Paneles de madera, de fibrocemento, de yeso-cortón o similar, incluidas las tabiquerías de Adobe. Entrepisos de madera.	4 REGULAR	MEDIA
CLASE F: Construcciones de Adobe, tierra-cemento u otros materiales livianos aglomerados con cemento. Entrepisos de madera.	4 REGULAR	MEDIA
CLASE G: Construcciones prefabricadas con estructura metálica. Paneles de madera prefabricados de hormigón, yeso-cortón o similares.	5. INFERIOR	BAJA
CLASE H: Construcciones prefabricadas de madera. Paneles de madera, yeso-cortón, fibrocemento, o similares.	5 INFERIOR	BAJA
CLASE I: Construcciones de placas o paneles prefabricados. Paneles de hormigón liviano, fibrocemento, o paneles de poliestireno entre malla de acero para recibir mortero proyectado.	6 DEFICIENTE	BAJA

Fuente: LPT-UCT 2013.

Considerando los valores de construcción, por ejemplo del Servicio de Impuestos Internos (Tabla N° 24).

Tabla N° 24. Valores del SII (\$) del 2009

CLASE	CALIDAD / m ²				
	1	2	3	4	5
A	485.000	336.000	215.250	130.000	65.000
B	529.000	378.000	294.000	185.000	95.000
C	485.000	336.000	215.250	130.000	65.000
E	353.000	241.500	168.000	85.000	30.000
F	187.500	115.500	84.000	45.000	20.000
G	353.000	241.500	168.000	85.000	30.000

K	-	-	-	-	-
---	---	---	---	---	---

Finalmente, se asimilaron las categorías de materialidad, con unos valores promedio a partir de las categorías MINVU y los valores del SII (Tabla N° 25).

Tabla N° 25. Costos de construcción (\$)

Niveles de materialidad	Costo de reposición asimilados
Alta	370.000
Media	110.000
Baja	30.000

Fuente: LPT-UCT 2013.

Ahora bien, si se asignan unos valores de depreciación en función de la antigüedad estimada, a partir de la depreciación por Antigüedad y Estado de Conservación de Fitto y Corvini se obtiene lo siguiente (Tabla N° 26):

Tabla N° 26. Depreciación

Niveles de materialidad	Costo de reposición asimilados	Antigüedad	Depreciación	Costo de reposición
Alta	370.000	0-20	15 %	314.500
Media	110.000	20-45	38 %	68.200
Baja	30.000	+ de 45	75 %	7.500

Fuente: LPT-UCT 2013.

A raíz, de todos los antecedentes anteriores, se calcularon las pérdidas e impactos económicos esperados para cada escenario; cabe señalar que las pérdidas estimadas en infraestructuras críticas, están consideradas dentro de las pérdidas económicas globales de las edificaciones e infraestructuras:

Para un **terremoto interplaca de intensidad Mw=8.0**, con una probabilidad de ocurrencia de un 90.8%, se obtendría (Tabla N° 27):

Tabla N° 27. Costo Total

Riesgo	Intensidad	7,5	Daño esperado	Superficie construida (x2,5)	Costo de reposición	Costo Total (\$)
Bajo	Mínimo	7%	1180	314.500	116.746.000.000	
Medio	Ligero	20%	650	68.200	88.660.000.000	
Alto	Moderado	40%	538,65	7.500	35.400.000.000	
Total					364.164.000.000	

Fuente: LPT-UCT 2013.

En conclusión, las pérdidas esperadas serían:

- Parque inmobiliario, costo de reposición: (\$)364.164.000.000
- Daños en infraestructura de los puentes.
- Daños leves en infraestructura de transporte: estación de bus, aeródromo, muelles.
- Cortes en la carretera a Niebla.
- Daños leves a medios en principales edificios de seguridad, hospitalarios, de gobierno.
- Daños en infraestructura eléctrica (redes de Suministro)
- Daños leves en conducción de agua y alcantarillado
- Costos derivados de interrupción de actividades y tráfico
- Costos de realojamiento, manutención, alimentos y medicamentos
- Heridos: 200 a 600
- Muertes: de 0 a 10 por 1.000.000 de habitantes

Para un **terremoto intraplaca de intensidad Mw=8.2** con una probabilidad de ocurrencia de un 28.7%, se obtendría (Tabla N° 28).

Tabla N° 28. Costo Total

Riesgo	Intensidad	7,5	Daño esperado	Superficie construida (x2,5)	Costo de reposición	Costo Total
Bajo	Mínimo		10%	1180	314.500	169.201.000.000
Medio	Ligero		40%	650	68.200	177.320.000.000
Alto	Moderado		70%	538,65	7.500	61.950.000.000
Total						576.085.000.000

Fuente: LPT-UCT 2013.

En conclusión, las pérdidas esperadas serían:

- Parque inmobiliario, costo de reposición: \$ 576.085.000.000
- Colapso de alguno de los puentes.
- Daños moderados en infraestructura de transporte: estación de bus, aeródromo, muelles.
- Cortes en la carretera a Niebla y Curiñanco.
- Daños medios en principales edificios de seguridad, hospitalarios, de gobierno.
- Daños en infraestructura eléctrica (redes de Suministro)

- Daños en conducción de agua y alcantarillado
- Costos severos derivados de interrupción de actividades y tráfico
- Costos de realojamiento, manutención, alimentos y medicamentos
- Heridos: 1000 a 10.000
- Muertes: de 0 a 30 por 1.000.000 de habitantes

Riesgo por Remoción en masa. Pérdidas económicas esperadas:

Para eventos acumulados en un periodo de 50 años (Figura N° 71), pérdidas esperadas (Tabla N° 29):

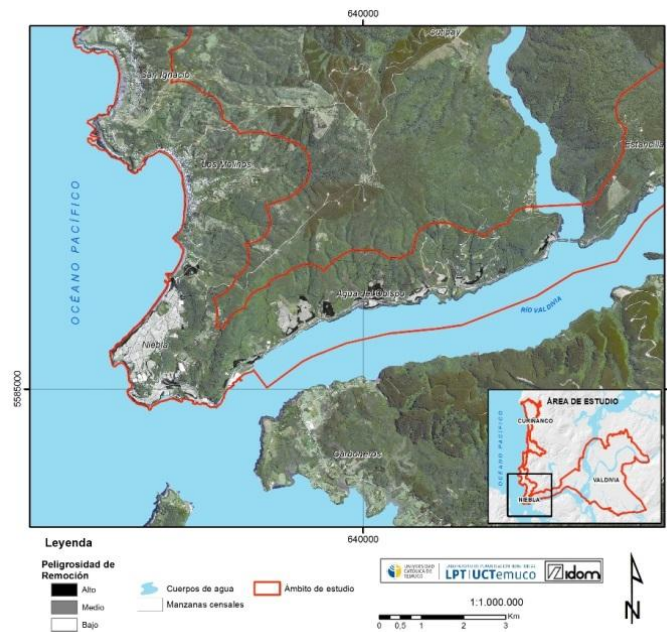


Figura N° 71. Riesgo por remoción en masa, Niebla. Fuente: LPT-UCT 2014

Tabla N° 29. Costo Total. Elaboración propia.

Riesgo	Intensidad	7,5	Daño esperado	Superficie construida (x2,	Costo de reposición	Costo Total
Baja		Mínimo	0%	500	200.000	0
Media		Ligero	40%	21	68.200	6.800.000.000
Alta		Moderado	70%	1,5	7.500	180.000.000
Total						6.980.000.000

Fuente: LPT-UCT 2013.

En conclusión, las pérdidas esperadas serían:

- Parque inmobiliario, costo de reposición: \$ 6.980.000.000
- Corte de la carretera a Niebla.
- Posibles pérdidas humanas

4.2 Riesgo ante inundación fluvial

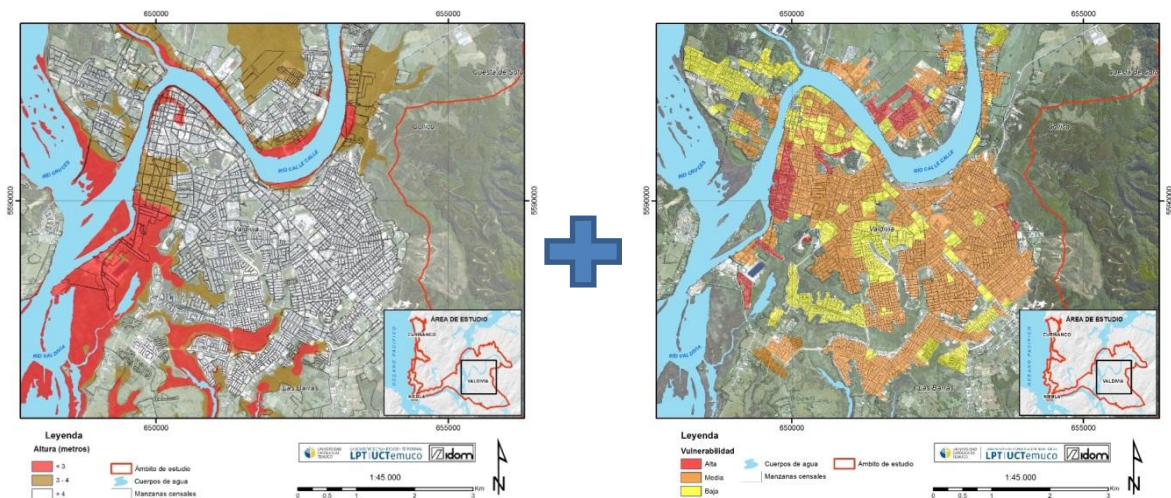
4.2.1 Riesgo Material y Humano

Consideramos la función de riesgo anteriormente descrita para amenazas geofísicas:

$$R = \text{Probabilidad} \times (\text{Intensidad de evento}, \text{Vulnerabilidad})$$

Se considera, para cada uno de los escenarios determinados, escenario más probable y peor escenario, periodos de retorno de 10 y 100 años, unas determinadas magnitudes del evento. Para la estimación del riesgo material ante inundación, la medida de intensidad será la altura de inundación.

A partir de esta información, y en función de la cartografía levantada respecto a vulnerabilidad material a inundación, y de la cartografía de altura de inundación, obtenemos el mapa de riesgo a inundación para cada uno de los periodos de retorno (Figuras N° 72, 73 y 74):



Figuras N° 72 y 73. Mapa de altura de inundación para periodo de retorno de 100 años y mapa de vulnerabilidad física a inundación. Fuente: LPT-UCT 2014.

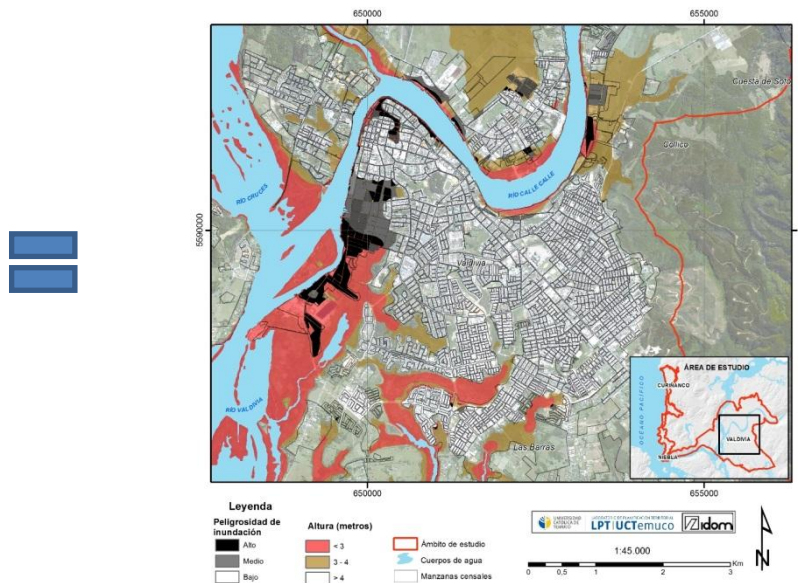


Figura N° 74. Carta de riesgo a inundación por niveles: alto, medio, y bajo. Fuente: LPT-UCT 2014.

En la Figura N° 74, se grafica la altura de inundación: las zonas en rojo tienen una altura de 1 a 2 m, y la zona marrón menos de 1 m.

Para los dos eventos probabilísticos considerados, las funciones o índices de daños vinculan la amenaza (en el contexto de la probabilidad de ocurrencia expresada espacialmente) con la vulnerabilidad, con el fin de obtener niveles de daño.

Para la definición del grado de severidad de la inundación pueden distinguirse tres niveles:

- Severidad Baja. En caso en los que no se prevean daños estructurales en edificios ni en cimentación.
- Severidad Media. En casos de inundación en los que pueden producirse importantes daños estructurales, pero no se espera una destrucción total del área.
- Severidad Alta. Zonas devastadas por la inundación.

Según Graham (2005), el grado de severidad del escenario de inundación (S_v) se obtiene en función del caudal máximo alcanzado por la avenida en el lugar de estudio (Q_{max}) en comparación con el caudal medio del río (Q_{med}) y el ancho alcanzado por la inundación (wdf).

El parámetro DV (define los tres niveles de severidad a considerar (baja, media y alta), donde DV es:

$$DV = \frac{Q_{m\acute{a}x} - Q_{med}}{b}$$

Se establece un nivel de severidad baja para valores de DV inferiores a $4.6 \text{ m}^2/\text{s}$, y severidad media para valores superiores. El nivel de severidad alta sólo es aplicable a zonas situadas en las proximidades de presas, embalses, etc.

Para este caso: severidad baja para periodo de retorno de 10 años, y media para periodo de 100 años, variando en función de la vulnerabilidad (Figura N° 75).

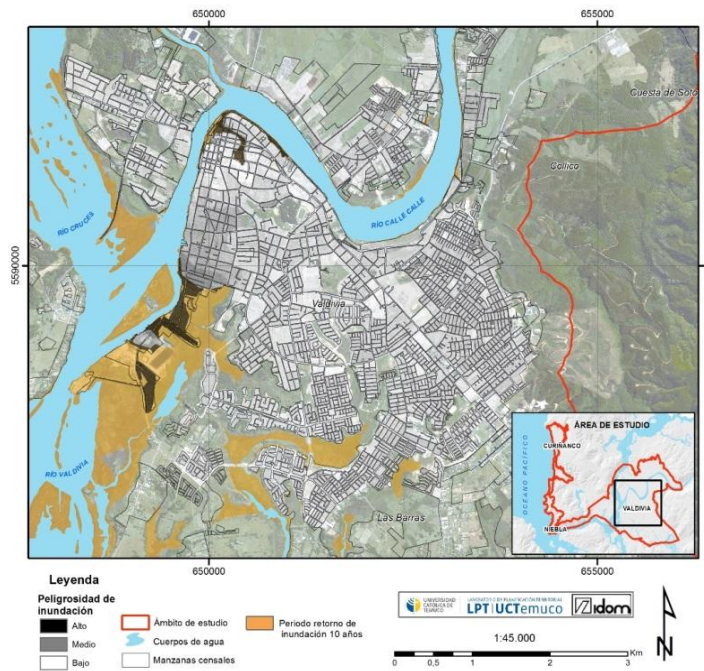


Figura N° 75. Carta de riesgo de inundación fluvial (Periodo de retorno de 10 años). Fuente: LPT-UCT 2014.

Para estimar las funciones de vulnerabilidad, se consideraron diferentes metodologías, como la desarrollada por el Centro de Prevención de Desastres de Perú (PREDES 2012). En esta metodología se obtienen valores esperados de daños a partir de métodos estadísticos aplicados a consultas a expertos, tal como se explicó en la vulnerabilidad a terremoto.

Las funciones de vulnerabilidad consideradas a partir de las obtenidas por la metodología mencionada, y el nivel de daño esperado, se representan en la siguiente figura (figura N° 76).



Figura N° 76. Funciones de vulnerabilidad a inundación para distintos casos de edificaciones. Fuente: PREDES y LPT-UCT 2014.

Para el caso de Valdivia, en función de lo anterior, se presenta lo siguiente (Tabla N° 30):

Tabla N° 30. Severidad y Daños en función del riesgo

Riesgo	Periodo de Retorno	de 10	100
Bajo		Baja (Daños 5%)	Media (Daños 30%)
Medio		Baja (Daños 15%)	Media (Daños 40%)
Alto		Media (Daños 40%)	Alta (Daños 70%)

Fuente: LPT-UCT 2013.

De la zonificación desarrollada (N° 31) obtenemos los siguientes valores superficiales para cada zona urbana en función del riesgo:

Tabla N° 31. Superficie de riesgo por inundación fluvial

Riesgo de Inundación fluvial	Superficie urbana
Alto	123,75 ha
Medio	550,60 ha
Bajo	670,53 ha

Fuente: LPT-UCT 2013.

Del análisis de superficie construida versus superficie libre por zona urbana, obtenemos un promedio de 42% de superficie ocupada respecto al total de superficie urbana (Tabla N° 32):

Tabla N° 32. Superficie construida en riesgo por inundación fluvial

Riesgo de inundación fluvial	Superficie urbana	Superficie manzana (ha)	Superficie construida (ha) (x2,5)
Alto	123,75 ha	52	130
Medio	550,60 ha	231	577
Bajo	670,53 ha	281	703

Fuente: LPT-UCT 2013.

Asimilamos para nuestras categorías de materialidad, unos valores promedio a partir de las categorías MINVU y los valores del SII (Tabla N° 33).

Tabla N° 33. Costos de construcción (\$)

Niveles de materialidad	Costo de reposición asimilados
Alta	370.000
Media	110.000
Baja	30.000

Fuente: LPT-UCT 2013.

Asignamos unos valores de depreciación en función de la antigüedad estimada, a partir de la depreciación por Antigüedad y Estado de Conservación de Fitto y Corvini, obtenemos (Tabla N° 34):

Tabla N° 34. Depreciación

Niveles de materialidad	Costo de reposición asimilados	Antigüedad	Depreciación	Costo de reposición (\$)
Alta	370.000	0-20	15 %	314.500
Media	110.000	20-45	38 %	68.200
Baja	30.000	+ de45	75 %	7500

Fuente: LPT-UCT 2013.

Se está en condiciones de considerar las pérdidas e impactos económicos esperados para cada escenario; cabe señalar que las pérdidas estimadas en infraestructuras críticas, están consideradas dentro de las pérdidas económicas globales de las edificaciones e infraestructuras.

Para un **periodo de retorno de 10 años** (Tabla N°35):

Tabla N° 35. Costo Total.

Riesgo	Retorno 10	Severidad	Daño esperado	Superficie construida (x2,5)	Costo de reposición	Costo Total (\$)
Bajo		Baja	5%	703	314.500	111.093.500.000
Medio		Baja	15%	577	68.200	59.027.100.000
Alto		Media	40%	130	7.500	3.900.000.000
Total						174.020.600.000

Fuente: LPT-UCT 2013

En conclusión, las pérdidas esperadas serían:

- Parque inmobiliario, costo de reposición: \$ 174.020.600.000.
- Daños en infraestructura viaria.
- Daños leves en infraestructura de transporte: estación de bus, aeródromo, muelles.
- Cortes en carreteras de acceso norte y sur.
- Daños en infraestructura eléctrica (redes de Suministro)
- Daños leves en conducción de agua y alcantarillado
- Costos derivados de interrupción de actividades y tráfico
- Costos de realojamiento, mantenimiento, alimentos y medicamentos
- Heridos: 50 a 150
- Muertes: de 0 a 5 por 1.000.000 de habitantes

Para un periodo de retorno de 100 años (Tabla N° 36, Figura N° 77):

Tabla N° 36. Costo Total.

Riesgo	Intensidad 7,5	Daño esperado	Superficie construida (x2,5)	Costo de reposición	Costo Total
Bajo	Media	30%	538,65	314.500	507.603.000.000
Medio	Media	40%	650	68.200	177.320.000.000
Alto	Alta	70%	1180	7.500	61.950.000.000
Total					746.873.000.000

Fuente: LPT-UCT 2013.

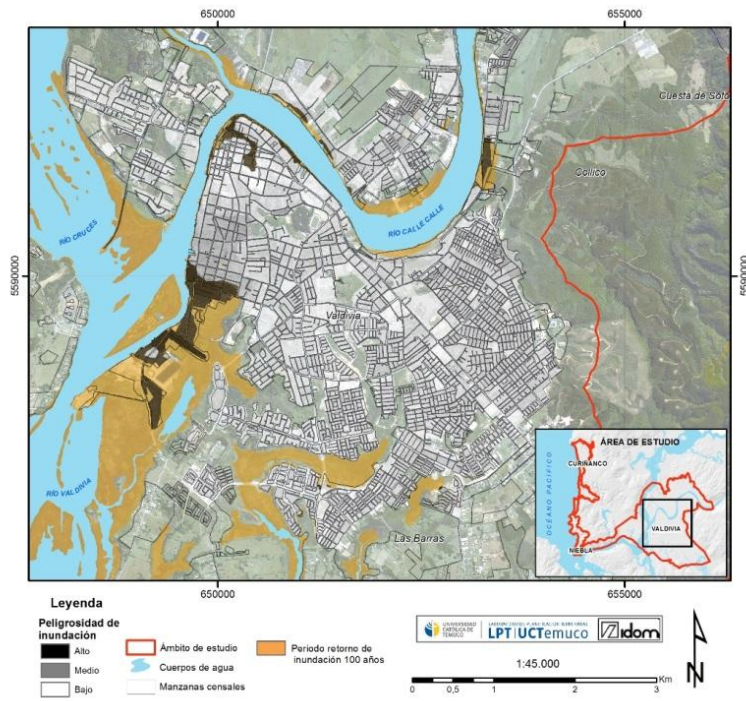


Figura N° 77. Carta de riesgo de inundación fluvial (Período de retorno de 100 años). Fuente LPT-UCT 2013.

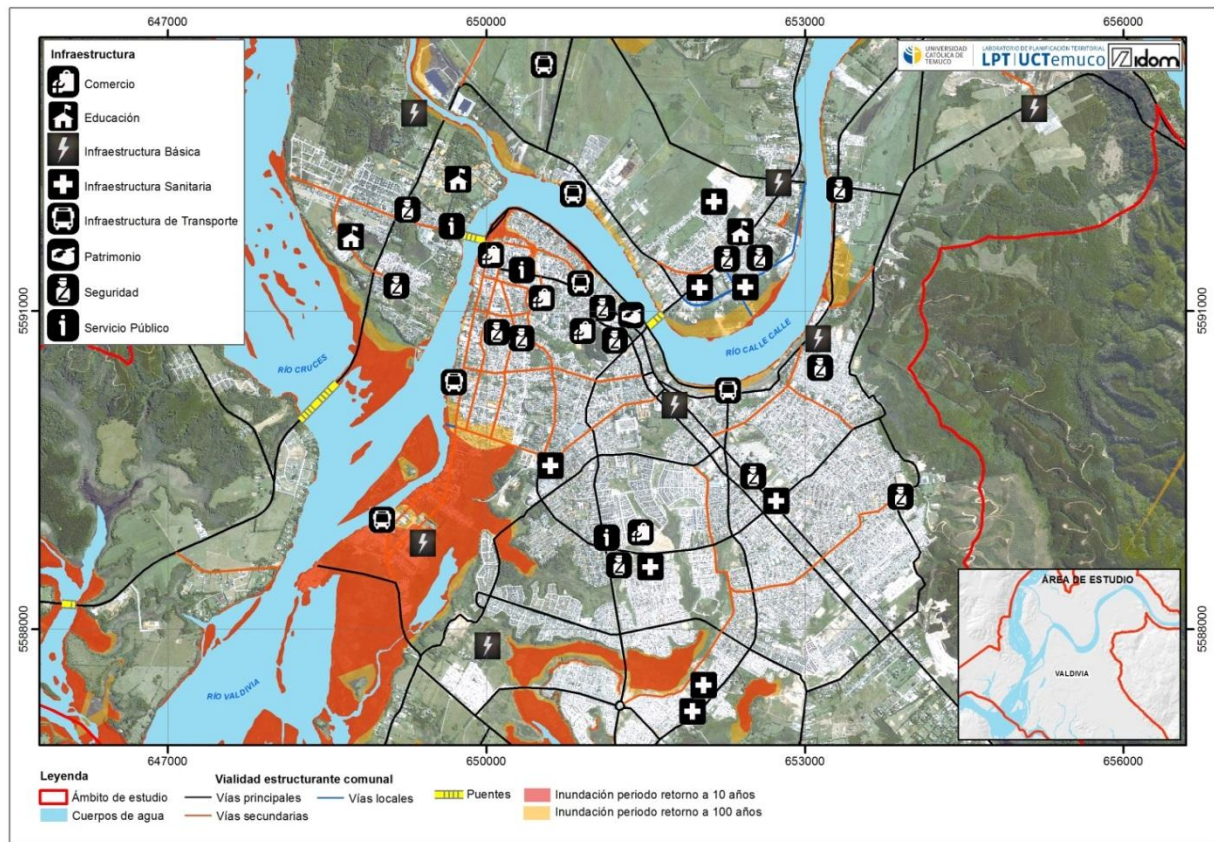


Figura N° 78. Localización de infraestructuras críticas frente a riesgo de inundación fluvial (Periodo de retorno de 100 años). Fuente LPT-UCT 2014

En conclusión, las pérdidas esperadas serían:

- Parque inmobiliario, costo de reposición: \$ 746.873.000.000.
- Daños en infraestructura viaria.
- Daños en infraestructura de transporte: estación de bus, aeródromo, muelles.
- Cortes en la carretera a Niebla y Curiñanco.
- Daños en infraestructura eléctrica (redes de Suministro).
- Daños en conducción de agua y alcantarillado.
- Costos severos derivados de interrupción de actividades y tráfico.
- Costos de realojamiento, manutención, alimentos y medicamentos.
- Heridos: 1000 a 10.000.
- Muertes: de 0 a 10 por 1.000.000 de habitantes.

5 Conclusiones

5.1 Relativas a amenazas físicas

El área de estudio se encuentra sujeta a distintos eventos físicos que condicionan el crecimiento urbano. Los eventos físicos que se manifiestan en Valdivia y alrededores son tanto hidrometeorológicos como geofísicos.

Como amenazas hidrometeorológicas, las inundaciones son las que presentan una mayor frecuencia. Los sectores principalmente afectados son “Barrios Bajos” ubicados al suroeste de la ciudad de Valdivia, junto con “Collico” y “Las Ánimas”, coincidiendo con los registros históricos. Esto se ha intensificado por un aumento en la concentración de las precipitaciones en los meses de junio, julio y agosto.

Por otro lado, en cuanto a los peligros de desarrollo lento, no existen mayores variabilidades en cuanto a las disminuciones promedio de las precipitaciones y aumento en las temperaturas promedios para los escenarios A2 y B2 al 2030 y 2050. También se observa una disminución del nivel del mar de -3,9mm anuales, y para los escenarios A2 -6,88cm al 2030 y -13,63cm al 2050; para el escenario B2 se espera -6,23cm al 2030 y -13,33cm al 2050 (modelo CC + tectónica). Además, se registra, desde el punto de vista del oleaje, tendencias al aumento de su altura asociadas a localidades que se encuentran con una influencia directa del mar, como es el caso de Curiñanco y Niebla; menor sin embargo en comparación a otras localidades costeras.

Respecto a los eventos geofísicos, estos se producen en manifestaciones complejas y poco frecuentes, pero que en el caso de la localidad de Valdivia han sido generadores de los peores desastres reconocidos a nivel mundial, como fue el terremoto y posterior tsunami de 1960. En este caso, el emplazamiento de la ciudad sobre suelos de alta inestabilidad geológica y áreas que sufrieron procesos de hundimiento en 1960, favorece el incremento de la intensidad sísmica, principalmente en los sectores ya afectados entonces, como “Barrios Bajos” y “Las Ánimas”.

Por otro lado, la constitución geológica de origen metamórfico y altas pendientes (sobre 35°), generan un territorio de alta inestabilidad a procesos de remoción en masa, específicamente en el camino que une Valdivia y Niebla, lo que sumado a la intensa dinámica tectónica aumenta la probabilidad de este tipo de procesos; esto está validado por la recurrente ocurrencia de eventos según los registros históricos.

5.2 Relativas a vulnerabilidad

La mayor vulnerabilidad material se localiza en sectores de Barrios bajos, Centro y Las Mulatas, por ser en general edificaciones antiguas de baja materialidad y de más de dos pisos. La vulnerabilidad humana se localiza principalmente en Las Ánimas y los campamentos informales, así como los barrios al sur y este, por concentrar alta cantidad de población y un nivel socioeconómico medio y bajo. Esto cobra importancia ante un evento sísmico de gran magnitud, por el emplazamiento de estas zonas urbanas en suelos de baja calidad. Sin embargo, desde el punto de vista de la construcción, Valdivia presenta en general edificaciones con buena respuesta, por disponer de estructuras flexibles y de baja altura. Respecto a inundaciones, la materialidad de varias de estas áreas es baja, lo que las hace susceptibles a daños, como ocurre por ejemplo en Barrios bajos y La Animas.

Por otro lado, la vulnerabilidad funcional es alta principalmente para terremotos. El principal elemento de vulnerabilidad funcional ante un evento sísmico en este caso es la accesibilidad, en concreto la vial, ya que la ciudad se encuentra críticamente comunicada por puentes, que en caso de sufrir un colapso, dejarían aisladas

amplias áreas, como el centro de Valdivia, y Niebla por su lado Norte. Respecto a la preparación para emergencias, existen planes por parte de ONEMI y Municipio, pero presentan una baja difusión local, tanto respecto a inundación como a terremoto; manifestándose además niveles de descoordinación entre los cuerpos implicados en las situaciones mencionadas. Sin embargo, existen avances recientes, a raíz del 2010, respecto a una mejor coordinación futura para el trabajo conjunto.

En cuanto a vulnerabilidad por procesos de remoción en masa, está directamente relacionada con la precariedad y la informalidad de las viviendas que se localizan en sectores de inestabilidad de laderas en todo el camino Valdivia - Niebla.

5.3 Relativas a riesgo

En cuanto a la evaluación del mayor riesgo, este se concentra en los daños que generaría un terremoto de alta intensidad, principalmente porque los sectores de mayor vulnerabilidad material y humana se dan en los suelos de más baja calidad para construcción, como en el caso de Las Mulatas, Miraflores, Las Ánimas; hecho dado principalmente por la baja calidad de la construcción, y en los sectores del centro, principalmente por emplazarse en lugares de antiguos rellenos. En el caso de Barrios bajos, el sector está emplazado en terrenos de baja calidad y también dispone de edificaciones de mediana calidad.

El riesgo por inundación se encuentra asociado principalmente por la cercanía a cursos de agua con alta probabilidad de ser afectados por crecidas, y se repite el que las zonas más afectadas por un eventual evento de este tipo serían Las Mulatas, Barrios bajos y Las Ánimas.

En cuanto al riesgo por procesos de remoción en masa, se encuentra condicionado principalmente por el efecto que generan los deslizamientos, activados por la progresiva ocupación informal de viviendas dispersas en el camino Valdivia - Niebla.

5.4 Relativas a recomendaciones y mitigación del riesgo

- 1.- En cuanto a los resultados que ha arrojado este estudio, se considera que podrían incluirse en el actual PRC en aprobación, ya que este instrumento es esencial de cara a generar restricciones o consideraciones de edificación y de gravamen del suelo, especialmente en lo que se refiere a la actividad residencial y de equipamiento.
- 2.- Es esencial la consideración de los sistemas de resiliencia ante este tipo de eventos. En el caso de Valdivia, ciudad muy vulnerable en este sentido, tanto las infraestructuras construidas para la canalización de aguas de lluvia, como el sistema natural de humedales de la ciudad tienen un papel estructural central en la amortiguación de los efectos de grandes episodios, especialmente de inundación fluvial. Y será de vital importancia velar por el correcto mantenimiento de los sistemas de flujos superficiales y subterráneos ante este tipo de situaciones críticas.
- 3.- Se realizó un “Mapa de efectos de multiamenazas e impactos socioeconómicos asociados a cambio climático”, el cual es un insumo o “mapa de navegación” a considerar para establecer los ejes de expansión urbana futura en posteriores estudios, así como en la Tarea III del presente estudio.
- 4.- En cuanto a las amenazas geofísicas, se recomienda profundizar en estudios tales como: estudios geotécnicos, estudios de microzonificación sísmica (considerar tesis citada de la UACH), estudios de

geomecánica de suelos en los sectores de inestabilidad de laderas y quebradas señaladas en este informe, y de balance hídrico de cuencas a nivel regional (específicamente cuencas de los ríos Cruces y Calle-Calle).

5.- En la zona costera (carreteras de Valdivia a Niebla y a Curiñanco), de cara a mitigar los impactos de la inestabilidad de ladera, se recomienda el desarrollo de procesos de restauración de taludes, principalmente con gramíneas, mirtáceas y con la reintroducción progresiva del bosque nativo; dado el comprobado nivel de eficacia de estas especies en la contención de taludes, así como la revalorización del recurso paisajístico que iría aparejada a este tipo de intervenciones.

6.- Se recomienda relevar el rol de la infraestructura verde y humedales presentes en Valdivia, favoreciendo las conexiones territoriales, incentivando la conservación de la biodiversidad y la preservación de espacios naturales, lo que contribuye a la mitigación de futuros eventos como inundaciones y terremotos. Además, contribuye al reforzamiento del atractivo del territorio por su valor como espacio libre, recreativo, de ocio y de formación para la población, y en su dimensión paisajística. La relevancia de los sistemas naturales de humedales se detalla en un estado del arte en el Anexo N° 5 de este informe, y en cuanto a las recomendaciones se elaboran en el informe de la Tarea III, específicamente en el punto 3.3.3.

7.- Se realiza además un análisis en el cual se incorporan recomendaciones de zonificación, estableciendo restricciones a la expansión urbana según los eventos naturales que se producen en la ciudad de Valdivia. Esto se detalla en el Anexo N°6.