



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

Anexos Informe Tarea 2

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

Equipo: Universidad Católica de Temuco

Índice:

1	Anexo 1. Metodología	2
2.1	Metodología de cambios en el nivel del mar	2
2	Anexo 2. Riesgos Geofísicos	6
2.1	Análisis histórico de eventos geofísicos.....	6
2.2	Caracterización geológica, sectores Valdivia y Niebla.....	16
3	Anexo 3. Riesgo Inundación Fluvial	19
3.1	Análisis histórico de inundación fluvial	19
3.2	Análisis de cuencas hidrográficas	27
4	Anexo 4. Peligros de desarrollo lento	33
4.1	Análisis de información secundaria de factores climáticos y cambios en el nivel del mar.	33
4.2	Estudio de cambio del nivel del mar.....	41
5	Anexo 5. Estado del arte de los humedales de Valdivia	47
6	Anexo 6. Entrevistas	53
7	Anexo 7. Recomendaciones ante restricciones de eventos naturales.....	57
8	Anexo 8. Bibliografía.....	65
9	Anexo 9. Tablas de Síntesis de Vulnerabilidad.....	70

1 Anexo 1. Metodología

Anexo 1.1 Metodología de cambios en el nivel del mar.

Método 1: Proyección del nivel del mar utilizando registros del mareógrafo de Corral y proyecciones globales de cambio de nivel del mar

Se ajustó la data del mareógrafo de Corral al modelo predictivo global HadCM3 ([Gordon et al., 2000](#); [Pope et al., 2000](#)) de aumento del nivel del mar. Esto permitió incluir tanto el efecto local, mediante la data del mareógrafo, como el efecto global, mediante proyecciones que consideran el cambio climático mundial (Figura 3).

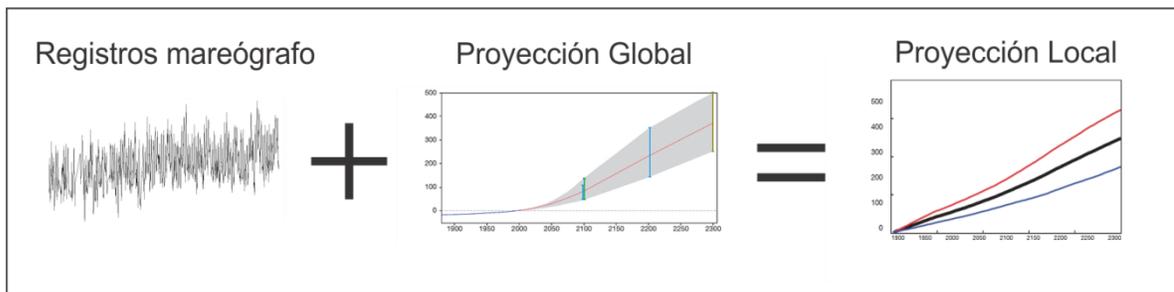


Figura 1. Esquema metodológico para la proyección del nivel del mar utilizando registros del mareógrafo de Corral y proyecciones globales de cambio de nivel del mar. Esta proyección considera las características locales (mareógrafo), y las proyecciones globales (cambio climático).

Este método consideró tres etapas consecutivas: i) Recopilación y análisis de la data del mareógrafo de Corral y obtención de los niveles del mar globales proyectados por el modelo HadCM3; ii) Ajuste de la tendencia obtenida del mareógrafo con dos escenarios de aumento global del nivel del mar. iii) Proyección, a escala anual, del cambio del nivel del mar entre los años 2014 y 2050 para la zona de Valdivia considerando los resultados de las dos etapas anteriores y dos escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (A2 y B2).

Recopilación y análisis de la data del mareógrafo de Corral y obtención de los niveles del mar globales proyectados por el modelo HadCM3

La bahía de Corral cuenta con un registro relativamente largo (respecto al resto del país) de datos del nivel del mar. Desde 1985, el SHOA ha mantenido funcionando un mareógrafo en el puerto de Corral. Aunque el registro presenta breves lagunas temporales, es lo suficientemente extenso para ser representativo, debido a que el registro supera el óptimo de 19 años, incluyendo la totalidad de los constituyentes armónicos de la marea. Debido a que el terremoto del 27 de febrero del 2010 generó movimientos corticales que afectaron a gran parte del centro-sur de Chile, este estudio sólo utilizó la data de mareógrafo registrada hasta el 2009. De este modo, se excluyeron datos que podrían estar afectados por los movimientos verticales del mareógrafo de Corral. Finalmente, mediante el software matemático MATLAB, se analizó el registro del mareógrafo obteniéndose la tendencia histórica.

Los datos de cambio de nivel del mar, a escala global, se obtuvieron desde el Capítulo 11 del Tercer informe del IPCC. Este documento contiene las proyecciones globales del cambio climático para el siglo XXI, considerando distintos escenarios de emisiones de CO₂ (IPCC, 2001; Figura 4).

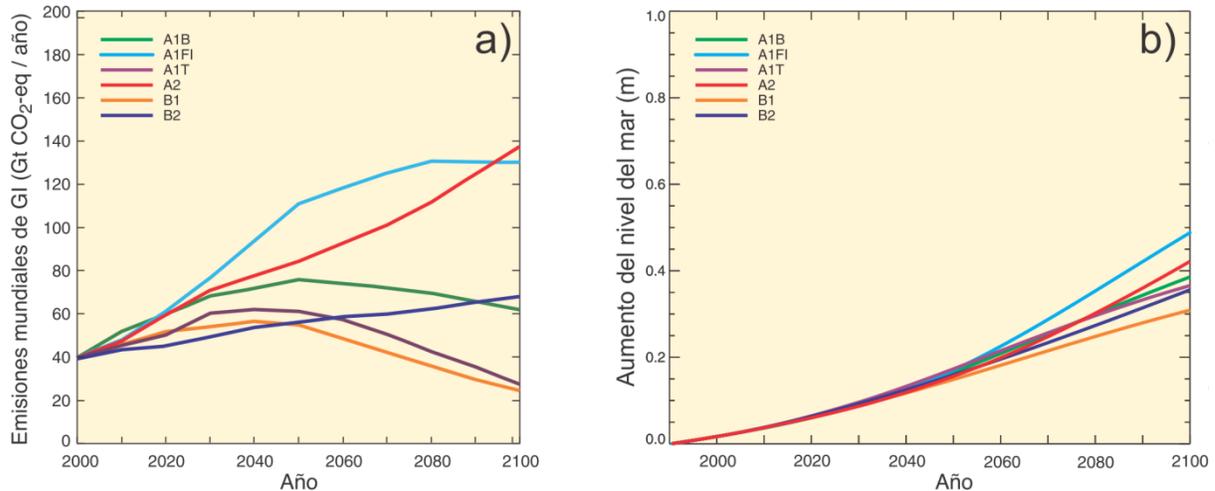


Figura 4. Proyecciones globales de las emisiones de CO₂ (a) y proyecciones del aumento del nivel del mar (b) para seis escenarios.

Ajuste de la tendencia del mareógrafo con los aumentos globales del nivel del mar

Considerando que el nivel global del mar aumentó a una tasa de 2.9 mm/año entre 1985 y 2004 (Kuo, 2006), un período que se traslapa con nuestro registro mareográfico (1985-2009), la proyección anual para la bahía de Corral se obtuvo mediante la siguiente expresión (modificada de Titus y Narayanan, 1996):

$$NM_{Localidad}(t) = NM_{Global}(t) + (\alpha - 0.29) * (t - 2014) \quad (1)$$

Donde $NM_{Localidad}(t)$ corresponde al cambio del nivel del mar para el año t en una localidad específica (cm); $NM_{Global}(t)$ es el aumento global del nivel del mar en el año t , en base al modelo predictivo global; α es la tasa de cambio relativo del nivel del mar obtenido del registro del mareógrafo.

Este ajuste permitió proyectar anualmente el cambio del nivel del mar para la zona de Valdivia, considerando tanto la variable local, mediante el registro mareográfico, como la global, mediante las proyecciones del IPCC.

3Proyección anual del cambio del nivel del mar entre los años 2014 y 2050 para la zona de Valdivia

Considerando los resultados obtenidos en las dos etapas anteriores y dos escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (A2 y B2), se obtuvo una proyección por cada escenario del cambio del nivel del mar para la zona de Valdivia.

Método 2: proyección del nivel del mar utilizando data geodésica gps y proyecciones de cambio de nivel del mar para la costa chilena

Una vez obtenidas las proyecciones de cambio de nivel del mar propuestas para la costa chilena y específicamente para la latitud de Valdivia (Universidad de Chile, 2006), se corrigieron con las tendencias tectónicas registradas por los GPS instalados a comienzos del presente siglo en la zona de Valdivia (Wang et al., 2007; Moreno et al., 2011; Figura 5).

Este método consideró tres etapas consecutivas: i) Obtención de las proyecciones propuestas para la costa a la latitud 40° S (zona de Valdivia) y recopilación y análisis de la data de estaciones de GPS instaladas en la región (NBLA y CALF). ii) Corrección de las proyecciones a la latitud 40° S con las tendencias obtenidas desde la data GPS. iii) Proyección anual del cambio del nivel del mar entre los años 2014 y 2050 para la zona de Valdivia considerando los resultados de las dos etapas anteriores y dos escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (A2 y B2).

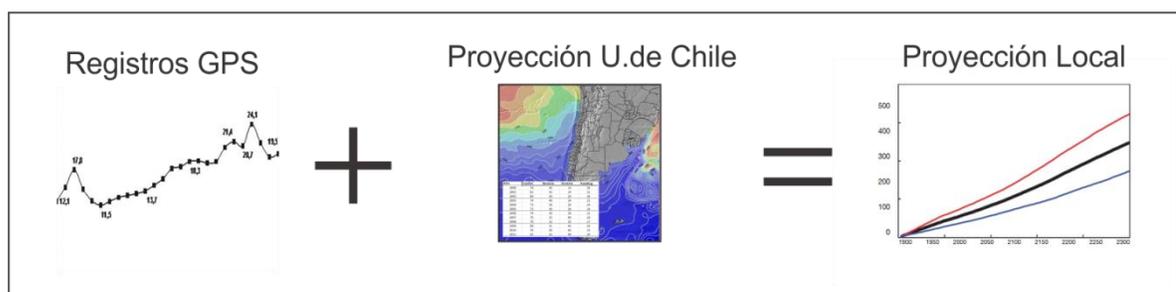


Figura 5. Esquema metodológico para la proyección del nivel del mar utilizando data GPS y proyecciones para la costa chilena. La proyección local del cambio del nivel del mar está compuesta por el cambio de nivel de la costa (GPS) y las proyecciones de cambio del nivel del mar para Chile (cambio climático).

Obtención de las proyecciones propuestas para la costa a la latitud 40° S (zona de Valdivia) y recopilación y análisis de la data de estaciones de GPS instaladas en la región

En el 2006 CONAMA solicitó al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias, Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile realizar una proyección climática para Chile hacia finales del siglo XXI. El objetivo principal del proyecto fue estimar los escenarios climáticos para diferentes regiones, asociados al cambio climático global resultante del incremento de los gases de efecto invernadero.

Adicionalmente, se propusieron estimaciones para los cambios en el nivel del mar en la costa chilena (Universidad de Chile, 2006). Las estimaciones se basaron en el modelo global HadCM3, previamente utilizado en el Tercer Informe del IPCC (IPCC, 2001). En el presente estudio se utilizaron las proyecciones de la Universidad de Chile (2006) de cambios de nivel del mar específicos para la costa de Chile a la latitud 40° S.

Respecto a la corrección de las proyecciones para la costa a 40° de latitud sur, se recopiló la información geodésica GPS publicada para la zona de Valdivia. Dos trabajos reportan registros continuos, por más de cuatro años, de los cambios en el nivel de la corteza, específicamente en la localidad de Niebla, estación GPS denominada NBLA (Wang et al., 2007) y en playa Curiñanco, denominada CALF (Moreno et al., 2011; Figura 6).

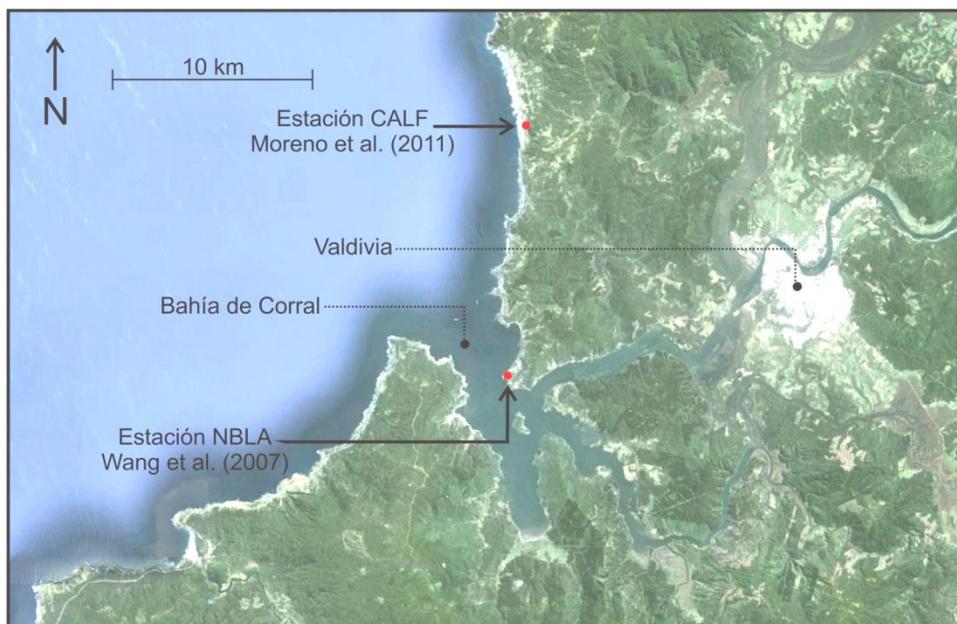


Figura 6. Localización de las estaciones geodésicas GPS disponibles para la zona de Valdivia (Wang et al., 2007; Moreno et al., 2011).

Corrección de las proyecciones a la latitud 40° S con las tendencias obtenidas desde la data GPS

Debido a que el modelo global HadCM3 no considera los movimientos verticales de la costa, es necesario corregirlos con registros geodésicos de GPS que incluyan el movimiento tectónico de la zona. De este modo, las proyecciones del cambio del nivel del mar para la costa chilena obtenidos de la etapa anterior, fueron corregidas mediante la superposición de los movimientos tectónicos registrados por las estaciones GPS disponibles.

Proyección anual del cambio del nivel del mar entre los años 2014 y 2050 para la zona de Valdivia.

Considerando los resultados obtenidos en las dos etapas anteriores y dos escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (A2 y B2), se obtuvo una proyección por cada escenario del cambio del nivel del mar para la zona de Valdivia.

Finalmente, respecto a los aspectos metodológicos generales del estudio, en el Anexo 1 se realiza una discusión metodológica donde se analizan los factores críticos de las metodologías utilizadas.

2. Anexo 2. Riesgo Geofísico

Anexo 2.1 Análisis histórico de eventos geofísicos

Terremoto-Tsunami

La comuna de Valdivia presenta una amplio historial asociado a catástrofes naturales, por su ubicación geográfica con influencia fluvioestuarina y su distribución de asentamiento urbanos ubicados en zonas altamente amenazadas frente a eventos naturales como procesos de remoción en masa, que definen las zonas de laderas inestables; así como inundaciones, asociadas principalmente a desborde de ríos, anegamiento permanente y estacional; e igualmente, a tsunamis, terremotos; adicionalmente se registra la ocurrencia de una gran tromba marina que data de 1881 y que afectó el centro de la ciudad.

Chile posee una extensa historia sísmica que data desde 1570, a través de registro realizado por los colonos españoles, estimado su magnitud en 8.3 en escala de Richter y reportando un efecto totalmente destructivo (TD). En toda su historia Chile ha reportado 110 terremotos de Mw 7.0, de los cuales 11 de ellos han afectado de manera directa al área de estudio, siendo posible reportar daños materiales y pérdida de vidas humanas (Tabla 1).

Tabla N° 1: Sismos superiores a 7.0 Mw ocurridos en el centro sur de Chile.

Fecha local	Hora local	Latitud	Longitud	Magnitud Ms	Magnitud Mw	Profundidad [km]	Efecto
08/02/1570	9:00	-36.800	-73.000	8.3	-	-	TD
16/12/1575	14:30	-39.800	-73.200	8.5	-	-	TD
24/12/1737	-	-39.800	-73.200	7.7	-	-	T
07/11/1837	8:00	-39.800	-73.200	8.0	-	-	TM
10-12-1920	0:25	-39.000	-73.000	7.4	-	-	-
21-05-1960	6:02	-37.500	-73.500	7.3	-	-	-
22-05-1960	15:11	-39.500	-74.500	8.5	9.5	-	TD
01-11-1960	4:45	-38.500	-75.100	7.4	-	55	-
13-03-1967	12:06	-40.120	-74.680	7.3	-	33	-
10-05-1975	10:27	-38.183	-73.232	7.7	-	6	-
27-02-2010	3:34	-36.290	-73.239	-	8.8	30	TD

(T:Tsunami - TM: Tsunami moderado - TD: Tsunami destructor y mayor)

Fuente: Servicio de Sismología de la Universidad de Chile, 2013.

La alta sismicidad que presenta el área se encuentra vinculada a la posición del país en el cinturón de Fuego del pacífico, zona que presenta un gran actividad sísmica y volcánica al estar situada sobre la placa sudamericana, en su borde occidental, donde convergen y generan zonas de subducción las placas de Nazca y Antártica, en tanto que la placa de Scotia se desliza horizontalmente respecto a la placa Sudamericana.

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

De los 11 sismos superiores 7.0 Mw que han afectado al sur de Chile, cinco de ellos han dejado consecuencias en la ciudad de Valdivia y sus alrededores, los ocurridos los años 1575, 1737, 1837, 1960 y 2010. El que generó mayores daños fue el ocurrido el 22 de mayo de 1960, con una magnitud de 9.5, liberó más energía que cualquier otro sismo registrado instrumentalmente en la historia de la sismología (KANAMORI, 1977). Tanto los sismos de 1537 como de 1960 produjeron Tsunamis (ROTHER, 1961), pero según LOMITZ (1970) el sismo de 1837 también produjo tsunami en la zona de Valdivia, de menor envergadura al igual que el de febrero del 2010. Para el tsunami de 1960, la altura de la ola ha sido estimada en 10 m. En resumen, la costa de Valdivia ha sufrido sismos importantes en 1575, 1737, 1837, 1960 y 2010.

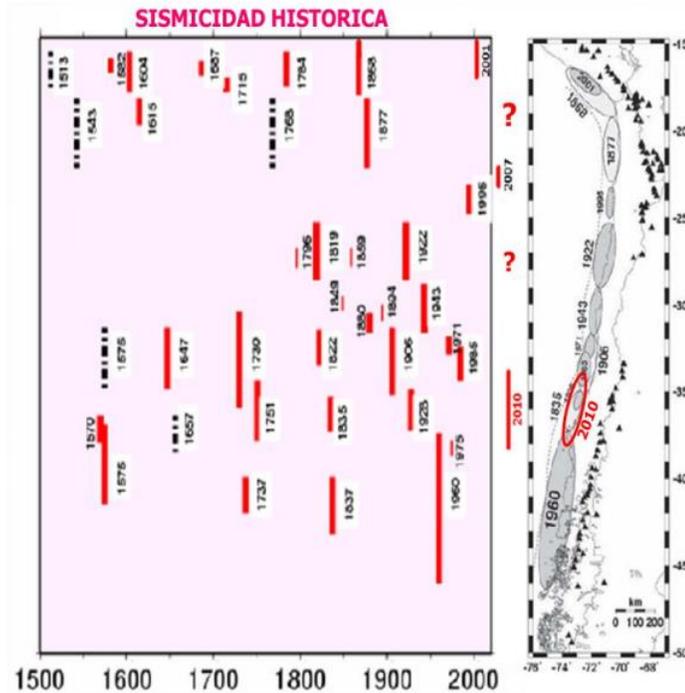


Figura 1. Grandes terremotos en Chile Fuente: Sismología U. de Chile <http://www.sismologia.cl/>

El 22 de Mayo de 1960, dos terremotos y un maremoto asolaron trece de las 25 provincias del país afectando más de 1000 kilómetros de extensión, siendo posible ver sus efectos desde Talca hasta la península de tai tao. En pocos minutos se perdieron decenas de vidas, arrasaron viviendas, reventaron los hornos, cañerías de agua potable y gas. Se interrumpieron las comunicaciones, se destruyeron las industrias, se inutilizaron los caminos y las vías férreas y por tanto la conectividad.

De acuerdo a relatos de lugareños que vivieron el terremoto de 1960, se desprende lo siguiente:

“Vivíamos en la Isla Teja y, como bien se sabe, era un apacible domingo donde después del almuerzo familiar, junto a un primo que estaba de visita decidimos comenzar una pichanga para lo cual debíamos localizar al resto de los jugadores en sus respectivas casas. Estábamos en esto cuando, junto a unos terribles ruidos subterráneos, la tierra comenzó a agitarse tan violentamente que era imposible correr, que era lo que hacíamos, hasta nuestras casas, como si realmente éstas fueran seguros albergues ante tamaño cataclismo” (Relato extraído de memorias de Valdivia 1960).

Los efectos del sismo de 1960 fueron muy severos en las riberas del río, por efecto de la subsidencia cósmica se observó el hundimiento de la ciudad en 2 metros, lo que favoreció la inundación de varios



sectores de la ciudad, como la avenida Arturo Prat, (costanera) donde en los adoquines del malecón se presentaban grietas y resaltes en la superficie, de acuerdo a Rojas 2010, se establece que la destrucción fue tan considerable en la costanera que solo se podía realizar un mínimo de tráfico peatonal y de mercancías.

Los barrios histórico de Valdivia, como son el sector centro, barrios bajos, isla teja, las animas, beneficencia y la riberas del río angachilla fueron gravemente afectado por los movimientos sísmicos, y posterior hundimiento debido a que sus suelos de fundación se caracterizan por ser antiguos humedales (centro) que fueron rellenados artificialmente y estar conformados por sedimentos naturales provenientes del río (arena, Grava, arcilla, etc), lo cual favoreció la amplificación sísmica del movimiento del suelo dadas las malas características que poseen los suelos de fundación.



Fotografías 2 y 3. Destrucción de viviendas por efecto del Terremoto 1960 en la ciudad de Valdivia. Fuente Diario Austral de Valdivia, Mayo 1960

La conectividad de la ciudad de vio interrumpida por efecto del mal estado de los puentes, los cuales fueron utilizados solo para el tránsito peatonal y vehículos livianos., pero aun así resistieron de buena manera los efectos del terremoto, las infraestructuras de instituciones como carabineros, cuerpo de bomberos y municipalidad resistieron los efectos del terremoto, sin embargo se vieron afectados por la inundación. En el puerto de Corral no se produjo casi destrucción por el terremoto sin embargo el cerro de corral se fracturo por efecto del fuerte movimiento sísmico.



Fotografías 4 y 5. Destrucción de viviendas por efecto del Terremoto 1960 en la ciudad de Valdivia.
Fuente Diario Austral de Valdivia, Mayo 1960



Fotografías 6 y 7. Destrucción de viviendas por efecto del Terremoto 1960 en la ciudad de Valdivia. Fuente Diario Austral de Valdivia, Mayo 1960

Por efecto del tsunami, en la ciudad de Valdivia no se percibieron mayores daños estructurales dado las barreras naturales que esta posee como son puerto corral, niebla, isla del rey e isla mancera los cuales recibieron los efectos de las olas, posterior inundación y socavación de estructuras. En tanto, las localidades costeras de la comuna de Valdivia como son ubicadas en los sectores de punta curiñanco, punta loncoyen y niebla, fueron totalmente destruidas, en esta última se observó el desprendimiento de terreno en el sector del faro, por efecto del terremoto y arrastre de sedimentos por el tsunami. También se produjeron grandes daños en el antiguo fuerte Niebla.

La altura promedio del tren de olas registradas (se evidenciaron tres series de olas) se estimó en 10 metros y se observó un recogimiento del mar de aproximadamente 30 metros desde la línea de costa, lo cual posteriormente se abalanzó sobre la franja litoral arrasando con toda la población de Corral Bajo, parte de Corral Alto, población La Aguada (parte baja), camino a Amargos, caleta Amargos, parte baja de Niebla y otras poblaciones que se encontraban construidas en terreno de menos de 10 metros de altura sobre el nivel medio del mar.

Además del aumento de las profundidades por el tsunami debe considerarse que ellas también aumentaron debido al hundimiento del terreno, tanto en Corral como en Valdivia. Lo que generó como consecuencia que el río Valdivia haya aumentado su anchura, en las zonas en que sus riberas son bajas y aumentando la presencia de humedales en la ciudad y cercanías a esta.

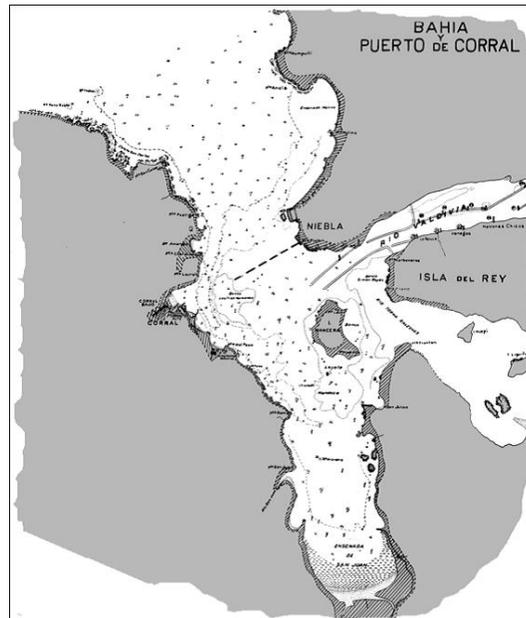


Figura 8. El esquema muestra las líneas de ingreso de tres de olas de tsunami en la bahía y puerto de Corral. Fuente Shoa 2002

Otro efecto que causó gran impacto en Valdivia fue el denominado Riñihuezo, el cual también había sido percibido durante el terremoto de 1575, donde por efecto de los fuertes movimientos sísmicos provocó el tres desprendimientos de tierra que “cubrieron” el rebalse natural del lago Riñihue, también llamado “Riñihuezo”, hacia el río San Pedro, lo que produjo, al desencadenarse el rebalse del lago y en dos meses la liberación controlada del agua hacia Valdivia de sedimentos hacia el mar afectando a los pueblos ubicados en la ribera del río San Pedro y los barrios bajos de la ciudad de Valdivia. Los ingenieros de ENDESA, Obras Públicas y CORFO, dirigidos por el ingeniero Raúl Sáez Sáez, debieron realizar la obra de ingeniería de emergencia más grande efectuada en Chile. En dos meses lograron abrir un canal de evacuación del lago, evitando la destrucción de una zona agrícola, ganadera e industrial que tenía alrededor de 100 mil habitantes, esta acción es lo llamado la “epopeya del Riñihue” o Riñihuezo.

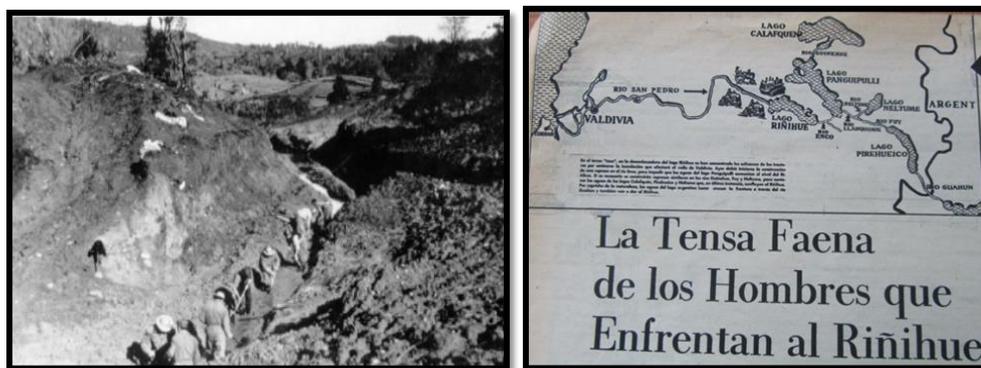


Figura 9. Epopeya del Riñihue, efecto del Terremoto 1960 en la ciudad de Valdivia. Fuente: Diario Austral de Valdivia, Mayo 1960



Figura 10. Destrucción muelle Schuster por efecto del terremoto 2010

El Terremoto y tsunami acontecido el 27 de febrero 2010, tuvo una 8,8 MW, el epicentro se ubicó frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura, cerca de 150 kilómetros al noroeste de Concepción y a 63 kilómetros al suroeste de Cauquenes, y a 30,1 kilómetros de profundidad bajo la corteza terrestre. El sismo tuvo una duración de 3 minutos 25 segundos, al menos en Santiago y en algunas zonas llegando a los 6 minutos, el terremoto del Maule afectó al centro y sur de Chile y en la ciudad de Valdivia fue registrado con una intensidad de VI en la escala modificada de Mercalli.

En Valdivia, los efectos inmediatos en una fueron pequeños daños en el puente Cayumapu, la destrucción de gran parte del muelle Schuster, grietas en la costanera y daños en un estacionamiento de vehículos ubicado en calle Arauco, donde se desprendió parte del techo de una propiedad vecina y también cayó parte de un muro de ladrillos.

Inestabilidad de Ladera

La ocurrencia de procesos de remoción en masa en la comuna de Valdivia deben su origen a la alta fragilidad que poseen su conformación geológica donde existe una predominancia de rocas de basamento metamórficas, esquistos y zonas de fracturación vertical, que se complementan con el uso que se le ha dado al terreno desde la fundación de Valdivia a partir del siglo XVI.

El sector las canteras en niebla, ha sido afectado innumerables veces por eventos de remoción en masa de diversa consideración debido a la alta intervención antrópica que ha tenido ese sector que ha acrecentado su nivel de inestabilidad, es así que a comienzo del siglo XVII en la época de colonización española se advierte al alta fragilidad de los cerros de niebla utilizados para la extracción de rocas, específicamente de la piedra cancagua para la construcción de las fortificaciones españolas como son: San Pedro de Alcántara, San Luis de Alba de Amargo (A), San Sebastián de la Cruz, el Castillo de la Pura y Limpia Concepción de Monforte de Lemus (B) fueron parte de los castillos construidos en el siglo XVII para garantizar la seguridad de Valdivia y proteger los intereses de la corona en el Pacífico Sur.



Figuras 11 y 12. Fortificaciones del siglo XVII construidas con piedra cancagua

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 la época del boom del oro en la comuna de mariquina a partir del siglo XVI, elaboración de espigones para beneficiar la navegabilidad del río y control de inundaciones entre 1922-1925, ensanchamiento de la ruta T 350, eventos sísmicos relevantes como son el terremoto y tsunami de 1960 y el terremoto del 2010 efectos de los cuales se tiene evidencia y la ocupación ilegal de terrenos para viviendas es que se han acrecentado el nivel de peligrosidad frente a inestabilidad de ladera (Tabla N° 2), siendo posible establecer la ocurrencia de deslizamientos traslacionales, flujos de detritos y caídas de rocas en el camino de Valdivia - Niebla observando la ocurrencia de 04 eventos durante el año 2013 (fig. 13).

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

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

23-11-2002	3 derrumbes camino niebla Valdivia. Sector agua del obispo. Sector las canteras.	Altas precipitaciones. Socavones en el terreno.	
------------	--	--	--

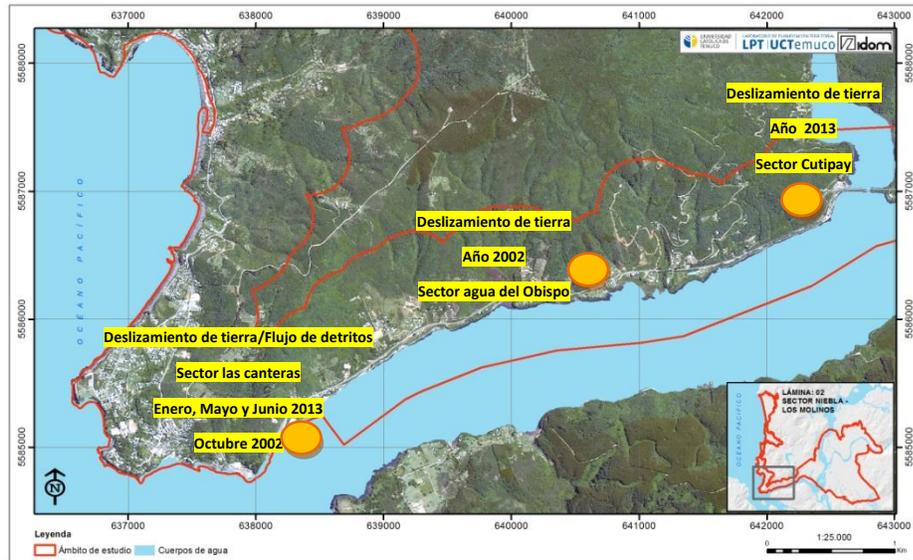


Figura 13. Zona de deslizamiento reciente en Niebla

Durante el año 2013, en la región de los Ríos, se reportaron 13 eventos de remoción en masa, de los cuales el 31% corresponden a las emergencias entre el camino Niebla.- Valdivia, los cuales tuvieron diversos daños y efectos en la población.

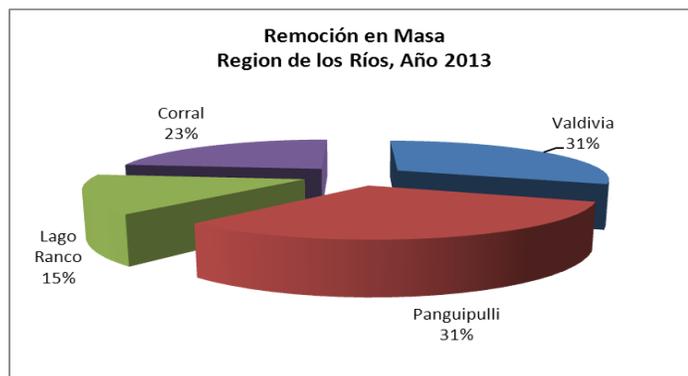


Figura 14. Zona de deslizamiento reciente en Niebla

El evento más representativo de los ultimo diez años en la comuna de Valdivia, fue el acontecido el 16 de enero del 2013, donde se observó un gran deslizamiento y caída de rocas que corto la conectividad de la ruta T350 que une Valdivia con niebla (figura 15 y 16). 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 Curifanco.



Figuras 15 y 16. Efectos deslizamiento y caída de rocas, 16 de enero 2013

Respecto a eventos más recientes, en el sector de Niebla–Curifanco se han registrado tres deslizamientos el último año (Enero, Mayo y Junio 2013), detonados por efecto de la pluviometría, alta pendiente y alta susceptibilidad de los componentes estructurales del talud, lo cual origina flujos de detritos en 27 de mayo y 02 de Julio en el sector de las canteras y cutipay respectivamente.

En el caso del mayor deslizamiento identificado en la zona, en el sector del muelle de Niebla, es clara la presencia de una falla subvertical que favorece el deslizamiento de los bloques de roca (Figura 17 y 18).



Figura N°17 y 18. Efectos deslizamiento y flujo de barro, 27 de mayo 2013

La alta inestabilidad de la ladera que posee este sector se caracteriza por la conformación geológica, asociada a rocas de basamento metamórfico, con un alto grado de fracturamiento y meteorización, que al entrar en contacto con precipitaciones con una larga duración e intensidad estas afectan la capacidad de retención de agua del suelo. Particularmente expuestos están los suelos con alto contenido de arcillas hidrófilas, los que luego de una lluvia se saturan siendo fácilmente movilizados por la acción

de la gravedad. En este caso se encuentran los suelos derivados de la descomposición del granito y de la alteración de algunos estratos de lutitas intercaladas en las rocas Terciarias.

Tabla N° 3: Eventos de remoción en masa acontecidos durante 2002-2013.

Inestabilidad	Tipos de inestabilidad	Características	Efectos	Sector afectado
Alta Inestabilidad	Deslizamiento traslacional	Rocas de basamento metamórfico	Erosión por efectos de los ríos Valdivia y tornagaleones	Muelle de niebla (Falla subvertical)
	Caída de rocas	Alto grado de fracturamiento Alto grado de meteorización Mayor a 40° de pendiente	Acción erosiva por el mar. Acción extractiva del material Desforestación Construcción de viviendas en laderas pronunciadas Excavaciones	
Media Inestabilidad	Deslizamiento traslacional	Laderas altas pendientes y medias Erosión de suelo residual Planos de esquistos y de fractura	Excavación de laderas de diverso usos Desforestación	
Baja Inestabilidad	Deslizamiento	Laderas de pendientes altas/muy altas Alto grado de fracturación	No existe evidencia de remoción en masa Predios forestales Abundante vegetación	



Figura 19. Sector de Niebla afectado por deslizamiento de tierra, mes de enero 2013

Anexo 2.2 Caracterización geológica, sectores Valdivia – Niebla

Sector ciudad de Valdivia

El sector de Valdivia presenta principalmente las siguientes unidades (Arenas *et al.*, 2002):

- Fluviales PIHf. Corresponden a depósitos fluviales y fluvio-estuarinos, *no consolidados*, que componen las terrazas más bajas de los actuales cauces de los ríos de la zona. El espesor de estos depósitos es variable, alcanzando hasta aproximadamente 30-35 m. Han desarrollado una capa de suelo de hasta 30 cm, parcial a totalmente saturada, que en algunos lugares permanece inundado. Están compuestos de gravas y arenas, gruesas, clastosoportadas, moderada a bien seleccionadas, con proporción variable de material fino (arenas, arcillas y limos) y materia orgánica. Presentan estratificación planar horizontal y, localmente, cruzada. En los sectores de los ríos Cruces y Calle- Calle se pueden observar estructuras de canales y barras. Los fragmentos presentan escasa a nula alteración, con excepción de óxidos de hierro como pátinas en algunos fragmentos, y corresponden a rocas volcánicas (basaltos y andesitas), intrusivas, metamórficas y cuarzo; estos últimos aumentan su participación cuando los cauces de los ríos que los transportan pasan a través de rocas del basamento metamórfico. Se incluyen en estos depósitos algunos abanicos aluviales y conos de deyección que, localmente, descienden de laderas abruptas de la Cordillera de la Costa. En el sector de *Las Animas en la ciudad de Valdivia el material presenta una granulometría más fina con arenas finas a gruesas, limos y arcillas*. En profundidad (12-13 m) se han detectado niveles limo-arcillosos con fragmentos de moluscos y un horizonte marino con abundantes crustáceos marinos y maderas arrastradas. Estos indicarían ambientes estuarinos, al menos desde la ciudad de Valdivia hacia la costa (Karzulovic, 1960; Doyel *et al.*, 1963; Illies, 1970). *En las riberas del río Cruces y en el sector de Valdivia, se encuentran depósitos de arenas finas, limos y arcillas con alto contenido de materia orgánica*, los que podrían representar ambientes de depositación lacustres y palustres. Debido a su escasa meteorización y al delgado espesor de su cobertura de suelo, se les ha asignado al período post-glacial, es decir, al lapso Pleistoceno Superior-Holoceno.
- Fluvio-estuarinos, Plfe (Pleistoceno Superior; Phillippi, 1887). Arenas, gravas, gravas finas arenosas, limos y arcillas, moderada a débilmente compactadas, que incluye a los estratos

conocidos localmente como cancagua. Presentan disposición subhorizontal conformando terrazas de topografía relativamente plana, con ondulación suave, y cortadas por numerosas quebradas que, en los alrededores de Pelchuquín, presentan dirección preferencial NNE. En la costa, forman terrazas de más de 30 m.s.n.m. y, a lo largo del sistema de ríos que confluyen en el río Valdivia, presentan una altura aproximada de 13 m.s.n.m. Su espesor puede variar entre 50 m, en el sector del río Cruces, y más de 80 m, en el área de Valdivia (Illies, 1970; Doyel et al., 1963). En el sector de Pishuinco (río Calle-Calle) estos materiales sobreyacen a los depósitos glaciofluviales de la Glaciación Santa María, relación que también se ha inferido en el subsuelo de la ciudad de Valdivia. Al norte de Pelchuquín, infrayacen a sedimentos glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue. Se ha propuesto definir estos depósitos como una formación (Wallner, comunicación escrita), que estaría compuesta por un miembro de componentes clásticos distales y otro de componentes clásticos proximales. Se presentan como depósitos sedimentarios, debido a su escasa compactación y a su comportamiento hidrogeológico con características de sedimento. Según el origen de los componentes principales estos depósitos se han dividido en dos asociaciones de sedimentos, que engranan lateralmente:

En el caso de Valdivia encontramos el tipo de asociación b. que corresponde a Arenas, gravas finas, arenas limo-arcillosas, limos y arcillas, moderada a débilmente consolidadas. Se observan en la costa y en el área de Pelchuquín-San José de La Mariquina, en los alrededores de Valdivia (Pino, 1987). Presentan estratificación horizontal y cruzada con intercalaciones de material grueso, tamaño grava y gravilla. Los fragmentos mayores son más bien redondeados, alcanzando 10 cm de diámetro, pero en su mayoría se trata de arenas, subangulares a subredondeadas. Los fragmentos, principalmente, corresponden a rocas volcánicas (basaltos y andesitas), rocas intrusivas, cuarzo, magnetita y pómez redondeadas y meteorizadas a arcillas. Localmente, aparecen niveles monocomposicionales, ya sea pumíceos o líticos, claramente volcánicos. En la fracción arena predominan fragmentos angulosos de andesita y basalto y cristales de feldespatos, magnetita, olivino, piroxeno, y, en menor proporción, cuarzo y hornblenda. Los fragmentos líticos se presentan relativamente frescos. En algunos sectores presentan óxidos de hierro y manganeso en forma de pátinas y rellenando intersticios en la matriz. Se observa mayor concentración de manganeso en niveles subhorizontales de aproximadamente 3-4 cm de espesor. Niveles de arcilla, arena fina y arcilla limosa se alternan hasta una profundidad aproximada de 30 m y, a mayor profundidad, niveles de granulometría más gruesa alternan con niveles de arenas, arcillas, limos y turbas. Para determinar la composición de los niveles arcillosos, se realizaron análisis de difracción de rayos X de muestras superficiales, los que mostraron la presencia de halloysita, caolinita y montmorillonita. Los abruptos cambios de facies laterales y verticales que caracterizan a estos depósitos, y la escasa información disponible, hacen difícil intentar establecer las dimensiones de las diferentes unidades que componen estos depósitos. A lo largo de la costa, en las localidades de Curiñanco, Niebla, Chanchán y Chaihuín, es posible encontrar depósitos litológicamente correlacionables con los descritos para la zona de Valdivia y río Cruces, de similar composición mineralógica, que presentan estratificación cruzada y buena a regular selección. En Niebla, y en otros sectores costeros, se observa estratificación cruzada de alto ángulo con orientación 81°/32° SE.

Sector camino Valdivia - Niebla.

El sector de camino Valdivia - Niebla presenta principalmente las siguientes unidades (Arenas *et al.*, 2002):

- Complejo Metamórfico Bahía Mansa, PzTrbm (Devónico-Triásico; Duhart *et al.*, 2001). Las rocas metamórficas expuestas en esta latitud de la Cordillera de la Costa, se incluyen dentro de la denominada Serie Occidental del Basamento Metamórfico (Aguirre *et al.*, 1972). Estas presentan un lajamiento característico otorgado por la foliación, el que dio origen, en los alrededores de

Valdivia, a la nombrada Formación Piedra Laja de Illies (1960, 1970). En consideración que se trata de rocas metamórficas, de diversos tipos y, en casos, *emplazadas tectónicamente, sin estratigrafía definida* y con sus relaciones estratigráficas originales completamente obliteradas, es que se ha considerado integrarlas en lo que se denominó el Complejo Metamórfico Bahía Mansa (CMBM). Las rocas del CMBM consisten de esquistos pelíticos a semipelíticos con menor cantidad de metarenisca, intercalaciones tectónicas de esquistos cloríticos de características geoquímicas semejantes a las de dorsales oceánicos normales (Díaz *et al.*, 1988; Crignola *et al.*, 1997) y escasos cuerpos de rocas ultramáficas tectónicamente emplazadas (Ojeda, 1976; Godoy y Kato, 1992). Se han verificado al menos dos episodios de sedimentación y similar número de eventos de deformación y metamorfismo (Duhart *et al.*, 2001). Las relaciones estratigráficas originales entre ellas están completamente destruidas y localmente se observan contactos miloníticos.

En el caso de camino Valdivia–Niebla encontramos el tipo de asociación PzTrbma que corresponde a Esquistos Pelíticos a Semipelíticos. En el área Valdivia, esta asociación litológica constituye la mayor parte del CMBM y los afloramientos presentan su mejor exposición en los acantilados costeros del área. En las áreas topográficamente bajas, está cubierta discordantemente por rocas terciarias de la Formación Santo Domingo. En la parte suroccidental del área Valdivia, está en contacto intrusivo con el granito Chaihuín. En los sectores de Corral, Morro Bonifacio y Punta Chungungo, está en contacto por falla con los esquistos máficos del CMBM. Está constituida de esquistos pelíticos a semipelíticos con intercalaciones menores de metareniscas, de color gris y aspecto lustroso, con foliación bien desarrollada según bandas cuarzo-micáceas y vetillas de cuarzo paralelas a la foliación principal (S2). Localmente constituyen esquistos filíticos de color gris oscuro enriquecidos en mica blanca y grafito.

- En la localidad de Niebla se encuentra emplazada en depósitos *Fluvio-estuarinos, Plife*, como se detalla en el apartado anterior, los cuales son los mismos depósitos ubicados en parte de la ciudad de Valdivia.

3 Anexo 3. Riesgo Inundación Fluvial

Anexo 3.1 Análisis histórico de eventos de inundación fluvial.

De acuerdo a la información recopilada, los eventos más recurrentes acontecidos en el área de estudio corresponden a inundación fluviales (70 eventos) (Rojas, 2002), desborde de río, y remoción en masa en el sector de Niebla; sin embargo eventos que presentan menor recurrencia, pero que generan un alto impacto en la comunidad y medio físico, son los terremotos y tsunamis, que ya han sido referidos.

Históricamente, los eventos de inundación, desbordes de cauce y anegamiento se han visto favorecidos por la geoformas que caracterizan a la ciudad de Valdivia, situada sobre terrazas fluviales que no superan los 20 metros de altura, presencia de humedales interconectados que se encuentran en diversas zonas de la ciudad, y llanuras de inundación que no sobrepasan los 2 metros, todo lo cual posibilita el ingreso del agua a la ciudad por efecto del desbordamiento de los cursos.

Los procesos hidrometeorológicos presentan una recurrencia anual, pero la intensidad y la evaluación de daños originados por los diferentes tipos de eventos difieren entre sí en función de determinadas variables.

De acuerdo a Rojas, 2002, las inundaciones en Valdivia se dividen en tres tipos, por efecto de las condiciones climáticas, por impactos de tsunami y por represamiento de aguas producto de la inestabilidad de ladera.

Tabla N° 1. Tipologías de inundaciones comuna de Valdivia

Tipología de inundación	Origen Inundaciones	Ejemplo
Por condiciones climáticas	Inundaciones generadas por aumento del caudal a consecuencia de intensas y prolongadas precipitaciones	Julio 1899 /Julio 192 Mayor 1949 /Julio 1960 (Rifihuazo) 3-5 junio 2000 Record de precipitaciones en 46 años (155,2mm/24h).
Por impactos de tsunamis	Inundaciones causadas por efectos de tsunami en la bahía de corral, que remontan al estuario y afectan la ribera del río Valdivia y sus tributarios	16 diciembre 1575 1837 -1935 22 de mayo 1960
Por represamiento de desagües lacustres.	Inundaciones asociadas a represamiento por remoción en masa de origen sísmico o artificial.	16 diciembre 1575 25-29 julio 1960

Dada las características estuarinas que posee Valdivia, se visualiza una clara relación entre las mareas de sicigia y las inundaciones por desborde de río en Valdivia, por tanto de los 70 eventos registrados en Valdivia, 42 de ellos ocurrieron en marea de sicigia, sin embargo otros factores a considerar en los desbordes se encuentra la magnitud de la marea, corrientes en el estuario y la influencia de caudales entrantes al sistema de ríos tributarios, consideran sin duda las características climáticas como son monto, intensidad y duración de precipitaciones, dirección y velocidad del viento y tipo de marea (sicigia, cuadratura).

De acuerdo a la información recopilada se establece que los mayores eventos de inundación histórica en la ciudad de Valdivia han ocurrido entre los meses de mayo a septiembre, presentando precipitaciones

promedio que superan los 80 mm/ 24 horas, donde superando esa cifra es donde se activa la emergencia y desarrollan los eventos.

En julio de 1899 la Avenida Arturo Prat sufriría los embates de la naturaleza al aumentar el nivel del río e inundar el área

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

- Sector Costanera de Valdivia (1),
- Sector Miraflores-las Mulatas (2),
- Borde Occidental isla Teja, ocupado en algunos sectores por ruinas del terremoto-tsunami de 1960 (3),
- Barrio Estación y Collico (4),
- Sector la Ánimas (ribera, inundación; interior, anegamiento) (5)-,
- Sector céntrico (6), y
- Barrios Bajos (7).

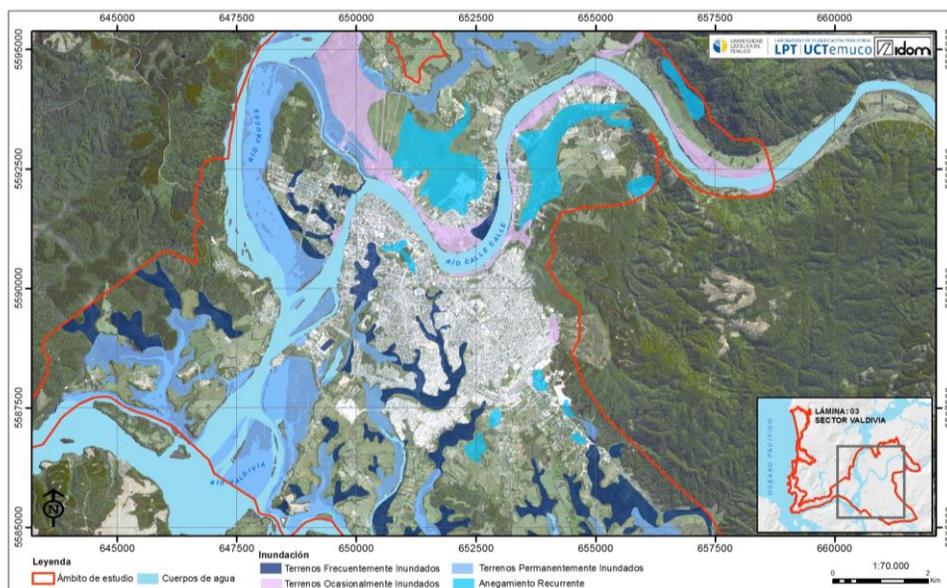


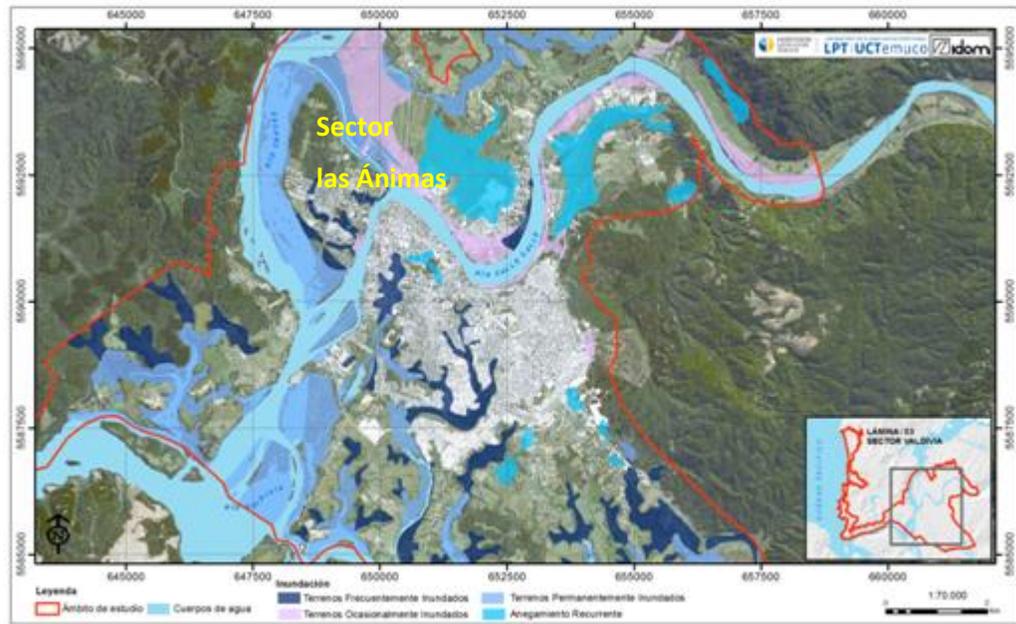
Figura 1. Puntos que presentan registros de inundación en el sector de Valdivia

Cada uno de los sectores recientemente enunciados poseen diferente comportamiento frente a las inundaciones dada las características geomorfológicas, topográficas, cercanía de cursos de agua y/o presencia de colectores de aguas lluvias, así como también nivel de infiltración del terreno y número de viviendas involucradas. Es así que el sector tradicional de Valdivia, denominado barrios Bajos, hasta el año 2011 presentaba inundaciones recurrentes en los periodos invernales, pero que posterior a la instalación del colector Catrico, colector Clemente escobar y colector Phillipi, se han disminuido radicalmente eventos de inundaciones, siendo las caso de inundaciones atribuibles a un colapso de colectores por falta de mantenimiento de estos (hojas, malezas, basuras).



Figuras 2 y 3. Efectos de colapso de colectores de aguas lluvias, sector Catrico, Valdivia. Fuente: Radio BíoBio reporte online, Canal ATV Valdivia

Las inundaciones en Valdivia poseen diversas fuentes de origen; en primer lugar, las asociadas al desborde de ríos en el sector costanera por efecto de una alza en las precipitaciones y la duración de estas; el anegamiento permanente y estacional asociados a las zonas de humedales y terrenos con una baja permeabilidad, ambos vestigios del reciente hundimiento del terreno por efecto del terremoto de 1960.



Un ejemplo es lo que ha ocurrido históricamente en los barrios tradicionales como son el sector de las Ánimas, donde el río calle Calle se desborda y hasta el día de hoy existen zonas de anegamiento en el interior dado que el terreno no es capaz de absorber el agua acumulada por efecto de las precipitaciones; en las calles centricas se visualizan anegamientos, por efecto del pavimento que evita que el agua pueda infiltrarse; y el colapso de los colectores de aguas lluvias, que se desbordan por efecto de un inadecuado mantenimiento (hojas, desechos que provocan el estancamiento de los colectores) generando daños en

bienes públicos y privados como es lo acontecido en el barrio beneficencia con el colector catrico que en el ultimo evento afecto a mas de 30 familias del barrio beneficencia, que sumado a las acumulacion de precipitaciobes 77 mm/24 horas y a la alta marea del río provocaron el colapo de este.

Una de las carateristicas que posee valdivia es la presencia de humedales en la ciudad los cuales como se ha comentado anteriormente han aumentado su superficie por efecto de eventos extremos como son terremotos y tsunamis desde su fundación, sin embargo por efecto de la ocupacion de la ciudad desde la colonización, han sido rellenando artificialmente estos espacios, haciendolos mucho mas suceptibles a sufrir anegamientos en la plantas bajas de los edificios públicos y privados, por lo cual por muchos años se estuvo drenando el agua acumulada en los subterrneos con bombas de agua en el periodo invernal.

Como se observa en la fig.xxx visualiza en la imagen comparativa del centro de la ciudad de valdivia año 1794-2013 donde se encontraba un extenso humedal y actual paleohumedal el cual ha sido rellenado artificialmente (cubriéndose la depresión natural o hualve con una mezcla heterogénea de limo, arena)y donde se encuentra el comercio de valdivia sin duda el esfuerzo en las obras de ingenieria para reutilizar esos espacios es alto, es necesario es destacar la alta fragilidad que presentan estos espacios y por ende justifica la mayor amplitud sismica que presenta el centro de valdivia y el anegamiento de las plantas bajas que han afectado a las instalaciones del Casino de juegos de Valdivia, supermercado unimarc, el mall plaza Los Ríos,entre otros.



Figuras 5 y 6. Presencia de humedal rellenado artificialmente, sector centro

Desde el terremoto de 1960, a raíz del hundimiento de terreno que varios sectores de la ciudad se encuentran expuesto a inundaciones y anegamientos, como son los lugareños de calle philippi, entre el tramo de yerbas buenas con cochrane, debido a que este tramo encuentra mas bajo que la altura del colector lo que genera un colapso de este. Por tanto, el sector de los barrios bajos de Valdivia hasta el año 2011 presentaba una alta recurrencia de eventos de inundacion, asociada a la baja cota que presenta en comparación a otros sectores de la ciudad; siendo uno de los sectores mas afectados por el desborde del río.

De acuerdo a la base de datos entregada por la Oficina Nacional de emergencia, oficina regional Valdivia, es posible precisar que existe una disminucón de las inundaciones en barrios históricos, que confirma el funcionamiento de los colectores de aguas lluvias.

Tabla N°2: Emergencias acontecidas desde el año 2011

Año	Evento	Fecha	Afectados	Damnificados	Viv. C/daño menor
2011	22 viviendas afectadas por anegamiento causados por desborde de estero catrico.	09-08-2011	88		22
	25 viviendas afectadas (no especifica cantidad de personas) (8 Eventos)	Ago-11			25
2012	Calle anegada	27-06-2012			
2013	Inundación Pobl. Alto Guacamayo	10-08-2013	12		

Fuente: ONEMI 2013

Actualmente la ciudad de Valdivia cuenta con un Plan Maestro de Aguas Lluvia vigente realizado el año 2002 por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), en el que se detallan los colectores maestros de la ciudad. Este se ha ejecutado de forma paulatina, permitiendo por ejemplo evitar las inundaciones del sector de Barrios Bajos gracias a la construcción del colector Phillipi. A esto se le añade la red de colectores secundarios desarrollada por Serviu para dar una adecuada solución a la totalidad de la ciudad. No obstante se cuenta con la identificación de las obras necesarias para mitigar los efectos de las lluvias sin considerar aun los sectores de Las Ánimas y Las Mulatas – Miraflores, afectados por inundaciones recurrentes.

Dichas afirmaciones son son cotejadas con relatos de lugareños principalmente de los barrios bajos, los cuales coinciden en que la instacion de la red de colectores de aguas lluvias en los barrios bajos constituyen una herramienta real para la disminucion de inundaciones y anegamientos en Valdivia:

*“La concreción de este colector era uno de los proyectos más esperados en Valdivia, ya que como es sabido, todos los años los vecinos de sectores como **Barrios Bajos, Pedro Montt, Beneficencia y Baquedano** debían convivir con inundaciones producto del mal escurrimiento de las aguas lluvias en invierno. No obstante, con esta obra (construcción de colector catrico) serán aproximadamente 25 mil personas las que se verán beneficiadas, y el tema de los anegamientos será sólo un mal recuerdo” Heidi Machmar, 2011 en periódico en línea soyvaldivia.cl*

“Para Valdivia es una obra muy importante ya que solucionamos el problema de las inundaciones en los barrios bajos, que desde los años 60 afectaba a la comunidad. Antes pensábamos que nunca podríamos salir del barro y el agua. Hoy ha aumentado la plusvalía de las viviendas, aunque se han ido renovando las casas. Antes teníamos muchas medias aguas y hoy hay casitas bien formadas. La importancia de esta obra es enorme, me siento orgulloso porque fui presidente de este concejo desde sus inicios”.Manuel Sánchez Gatica Presidente de la Junta Vecinos N°2 de Beneficencia.

Teresa Airiol Junta de vecinos n°4 Barrios Bajos en relación a la instalación del colector catrico indica: “Los colectores de aguas lluvias, terminaron con las inundaciones, porque en el invierno las calles parecían verdaderos ríos y con eso ya se terminaron las inundaciones. Cuando llegué a vivir al sector yo tenía 14 años y me recuerdo lo que era vivir en aquella época en los Barrios Bajos, muchas inundaciones por todos lados; no podíamos salir a comprar porque quedábamos aislados”

A continuacion se visualizan los efectos de las inundaciones durante el periodo invernal del 2011, antes de la instalacion del colector catrico.



Figuras 7, 8, 9 y 10. Anegamiento en barrios bajos en invierno 2011

Trombas Marinas, o vértice

A raíz de los efectos del cambio climático global, se ha observado un aumento de fenómenos climáticos de tipo tormenta en el centro-sur de Chile; las tormentas del año 2010 afectaron a las ciudades de Lirquen, Hornopirén y Ancud, entre otras, originando importantes daños y a bienes y población.



Figura 11 y 12. Efectos de tromba marina en la ciudad de Ancud, abril 2013

En la Historia de Valdivia existe el registro de la ocurrencia de la tromba marina que hizo ingreso por el río Calle Calle, afectando al centro de la ciudad; este evento ocurrió el 26 de abril de 1881 a las 15:50 horas; la descripción de lo ocurrido, por parte de un testigo histórico, es la siguiente:

“El 26 de abril tuvimos después de un temporal con granizo de tamaño extraordinario, un tornado fuerte (...) El camino del tornado casi [no] alcanzó el ancho de una cuadra, pero en este camino no dejó nada intacto. En nuestra cervecería se cayeron dos edificios, y techos de los demás quedaron muy deteriorados; en el centro sufrieron casi todos los edificios de la Plaza y de la calle Arauco. El edificio de la Intendencia fue trasladado cinco metros de sus fundamentos y después completamente transformado en ruinas (...) De la Iglesia, la torre fue destornillada y puesta en la plaza, sin dañarse el reloj ni la campana. La iglesia sufrió tanto daño que a partir de hoy la están demoliendo.” (Relato días después de la tromba marina, por Karl Andwanter a Rudolph Amando Philippi).



Figura 13. Efectos de Tromba Marina 1881 en el centro de Valdivia.

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°3), 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° 28) se encuentran los terrenos inundados ocasionalmente, terrazas bajas afectadas por aumento en el nivel de caudal, como son los casos del sector “Las Animas” y “Collico”. Por otro lado, se encuentran zonas frecuentemente inundadas, relacionadas con 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° 3. 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.
	Relieves muy planos o con depresiones.
Terrenos permanentement e inundados.	Terrenos inundados después del terremoto de 1960.

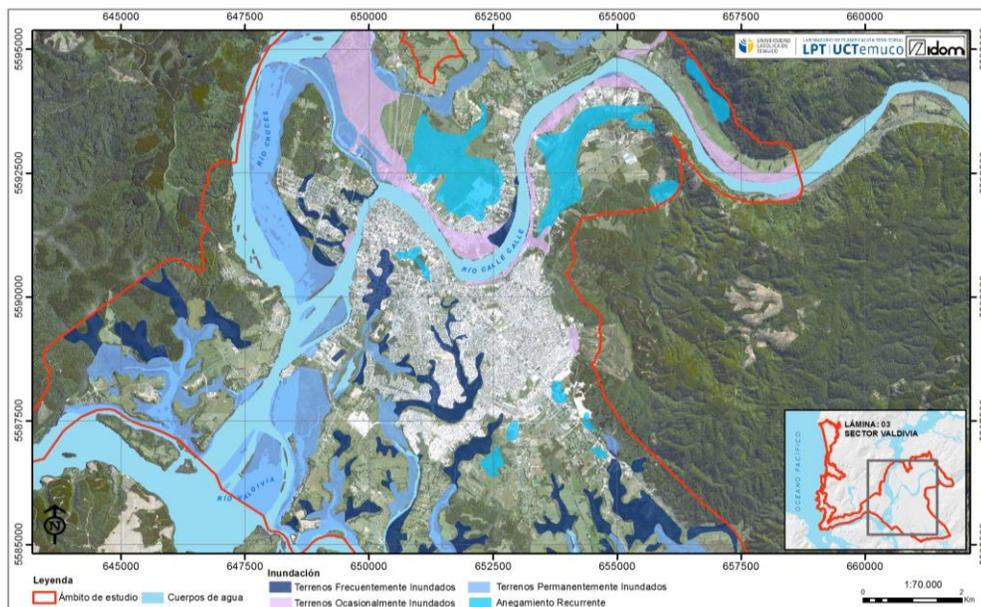


Figura 14. Inundación Valdivia. Fuente: Arenas et al., 2002 Edición: elaboración propia LPT-UCT 2013

Anexo 3.2 Estudio de análisis de cuencas hidrográficas

De acuerdo a ello podemos indicar que en la Región de Los Ríos, debido a la acción erosiva de los glaciares, existe un gran número de ríos y lagos. Esta red se compone de alrededor de 7.500 km lineales de ríos y esteros, de los cuales 396 presentan longitudes mayores a los 1.000 m, destacando entre ellos los sistemas hidrográficos de los ríos Valdivia, Bueno, San Pedro, Pahue, Calle Calle y el Cumleufú. La región también se caracteriza por presentar un número importante de lagos y lagunas, las cuales cubren alrededor de 1.000 km² de extensión, siendo los más importantes el Calafquén, Panquipulli, Riñihue, Ranco, Maihue y Puyehue (Subdere 2008/agendalocal21).

El régimen de estos ríos es de tipo pluvial, cuya escorrentía proviene de cerros menores y contrafuertes costeros localizados por debajo de la línea de las nieves, exceptuando algunos tributarios del río Bueno que presentan un régimen mixto pluvial-nival.

Las principales cuencas hidrográficas de la región son la del Río Valdivia y Río Bueno.

- Río Valdivia: Nace en el lago Lacar, Argentina, donde recibe el nombre de Río Huahún. Al atravesar la frontera, generando el paso del mismo nombre, llega al lago Pirihueico en territorio chileno. La cuenca del río Valdivia se conforma por los lagos Calafquén, Panguipulli, Pirihueico y Riñihue (Subiabre & Rojas, 1994).
- Río Bueno: Presenta un recorrido de 130 km en dirección Este-Oeste, está conformado por el río del mismo nombre y sus lagos tributarios son: Lago Ranco, Puyehue y Rupanco; siendo los dos primeros parte del área de estudio, cubriendo una superficie de 41% del total de la cuenca (Subiabre & Rojas, 1994).

El área de estudio se encuentra inserta en la cuenca del río Valdivia, que está a su vez, constituida por las cuencas del río Calle-calle que llega por el oriente a la ciudad de Valdivia y el río Cruces que llega por el norte, al respecto, la que presenta mayor superficie de bosque nativo es la cuenca del río Calle-calle, lo que significa que tiene mayor interceptación e infiltración de los eventos de lluvia, en tanto que la cuenca del río Cruces tiene mayor superficie de coberturas de baja estructura vegetal, correspondiente a praderas y matorrales, asociado a un matriz agrícola-ganadero, lo que permite inferir que existe una mayor escorrentía en eventos de lluvia, pero a su vez, éste último tiene mayor superficie de humedales, como se puede apreciar en la tabla N° 4, teniendo una dinámica de caudal más lento y de área de acumulación de agua, dada esta característica es que existe allí un área declarada RAMSAR de protección, esto indica que esta cuenca tiene mayor capacidad de retención de agua.

Tabla N° 4. Uso de suelo para las subcuencas del río Valdivia.

USO/COBERTURA DE SUELO	CUENCA RÍO VALDIVIA			
	RÍO CALLE CALLE		RÍO CRUCES	
	Sup. (ha)	Sup. (%)	Sup. (ha)	Sup. (%)
Áreas desprovistas de vegetación	13.742	2,5	2,9	0
Plantaciones	47.185,3	8,6	66.260,9	20,6
Bosque Nativo	301.895,1	54,8	102.204,7	31,8
Bosque Mixto	3.946,8	0,7	3.362,0	1,0
Ciudades-Pueblos-Zonas Industriales	1.345,9	0,2	1.452,2	0,5
Cuerpos de agua	40.648,5	7,4	1.410,4	0,4

Humedales	738,1	0,1	7.128,4	2,2
Nieves y glaciares	3.468,5	0,6	0	0
Praderas y matorrales	133.567,2	24,3	128.979,5	40,2
Terrenos agrícolas	4.058	0,7	10.197,2	3,2
TOTAL	550.595,4	100,0	320.998,3	100,0

En el caso de la cuenca del río Valdivia se observa en la tabla N° 5 que la subcuenca del río Calle Calle presenta una mayor variedad climática con respecto a la subcuenca del río Cruces, sin embargo, la respuesta hidrológica de la cuenca, en ambas es moderada. Respecto al río Cruces, esta presenta notablemente una condicionante menor a procesos de inundación, menor potencial hidroeléctrico, potencialidad en cuanto a proyectos que requieran de regadío, etc.

Tabla N° 5 Parámetros morfométricos subcuencas del río Valdivia.

CUENCA	SUBCUENCA	ÁREA (KM ²)	HORTON (RF)	GRAVELIUS (KC)		TIPO	CURVA HIPSOMÉTRICA	MÍN.	MÁX.	MED.	DENSIDAD DRENAJE
Río Valdivia	Río Calle-calle	5.679,90	0,31	Ligerament e achatada	2,37	Oblonga	Convexa	3	2.417	574,6	0,47
	Río Cruces	3.364,70	0,32	Ligerament e achatada	2,06	Oblonga	Convexa	1	1.070	203,8	1,44

En el caso de la cuenca del río Valdivia, se analizaron dos subcuencas: río Cruces y río Calle Calle. Ambas cuencas demostraron una normalidad en el comportamiento de las precipitaciones, excepto para el año 2007, en que se observó un año seco, lo anterior, responde a la cantidad de caudal generado por los ríos, los cuales se vieron disminuidos para ese año. Al respecto, en los últimos tres años se observó una disminución de los máximos caudales en los meses más lluviosos, situación que puede explicarse por condiciones de normalidad después de un año seco o por razones antrópicas (figuras N° xx y xx). En el caso de la alimentación hídrica que recibe la cuenca del río Cruces, es específicamente pluvial, a diferencia de las otras cuencas, que presentan un régimen tanto pluvial como nival.

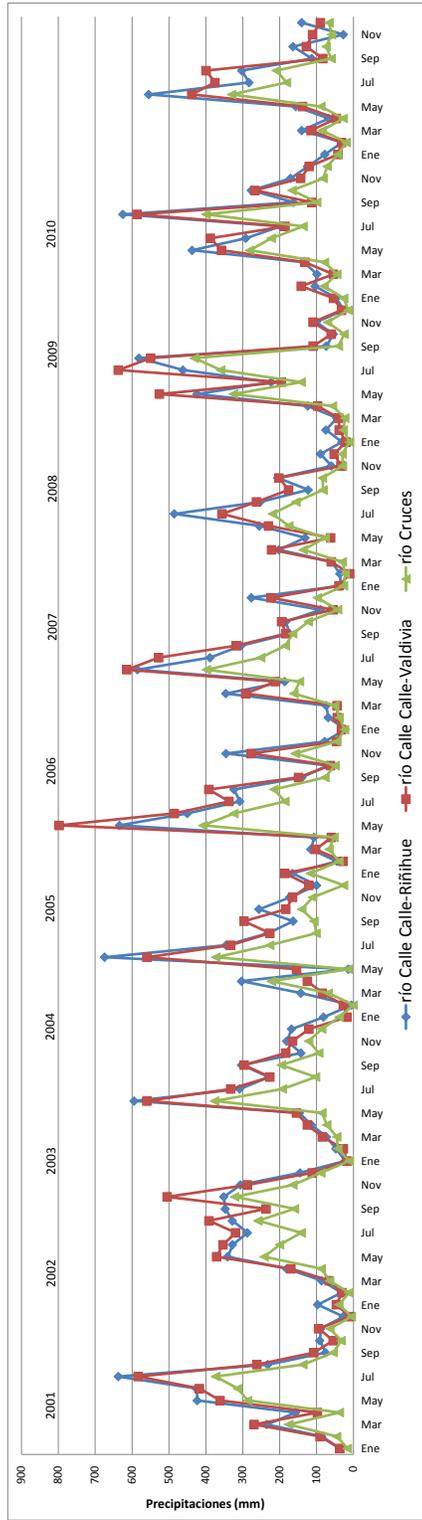


Figura 15. Precipitaciones promedio mensual período 2001 a 2011. Subcuencas río Cruces y Calle-Calle. Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por DGA-MOP.a.

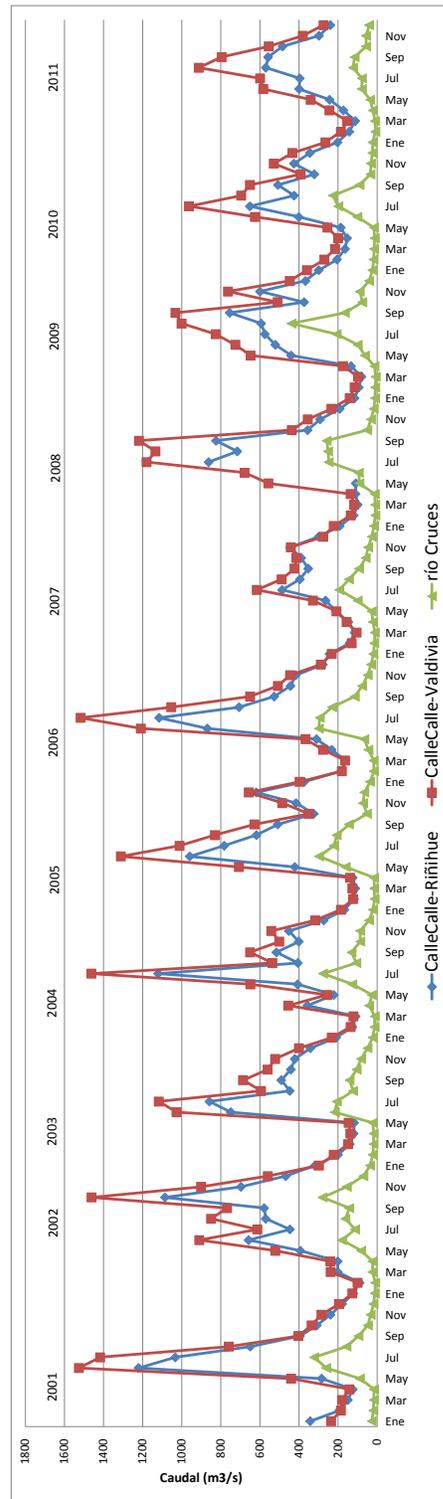


Figura 16. Caudales promedio mensual período 2001 a 2011. Estaciones fluviométricas ubicadas a la altura de Valdivia y desembocadura del lago Riñihue para la subcuenca del río Calle-Calle, y a la altura de Rucaco en la subcuenca del río Cruces. Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por DGA-MOP.

Para el caso del río Cruces, existe una relación directamente proporcional entre el comportamiento de las precipitaciones y la respuesta en los caudales (figura N°xx). Es importante señalar la variación que existe entre la concentración de precipitaciones sobre la media a partir del año 2008, situación que responde a veranos más secos e inviernos con alta intensidad de precipitación lo cual se manifiesta en la respuesta del caudal sobre este tipo de evento.

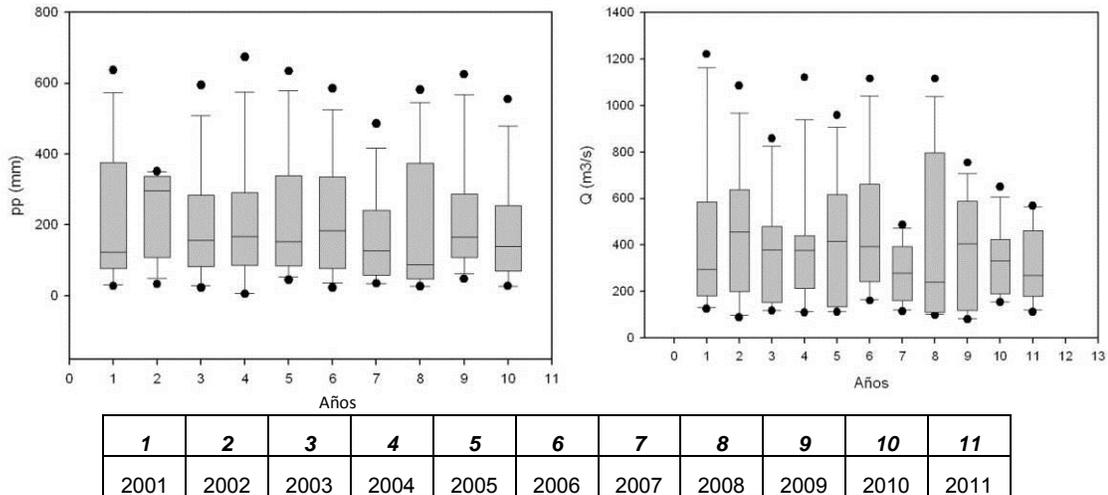


Figura 17. Gráficos de caja de precipitaciones y caudal para un período de 2001 y 2011, en la subcuenca del río Cruces. Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por DGA-MOP

Para el caso del río Calle-Calle (figura 18), también existe una relación entre el comportamiento de las precipitaciones y la respuesta en los caudales, observándose que los meses donde existen los mayores máximos de precipitación corresponden a los máximos de caudales.

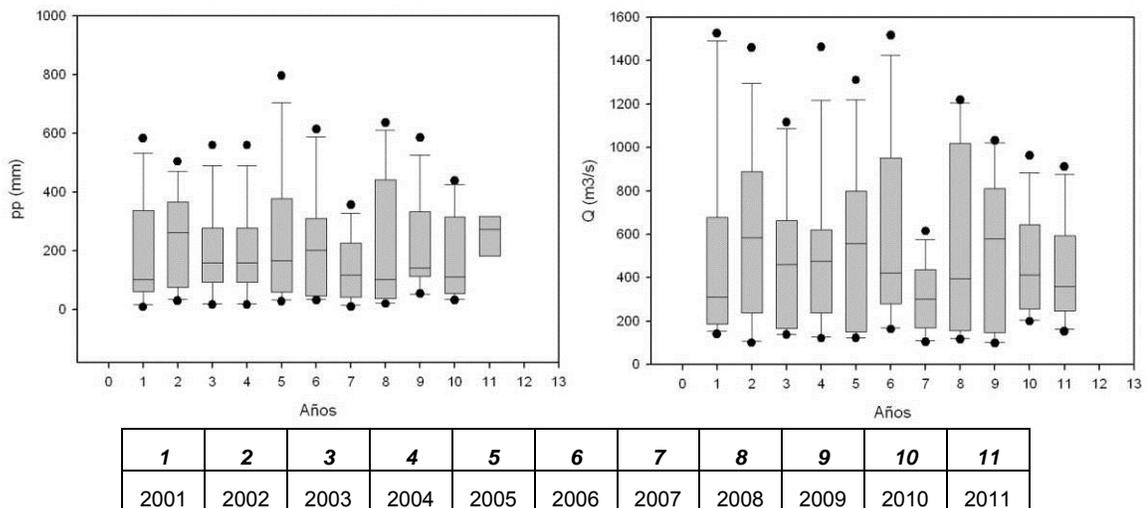


Figura 18. Gráficos de caja de precipitaciones y caudal para un período de 2001 y 2011, en la subcuenca del río Calle-Calle. Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por DGA-MOP

Se realizó, además, un análisis comparativo del comportamiento hidrológico entre el período entre las subcuencas río Cruces, Calle Calle constituyentes de la cuenca río Valdivia.

La subcuenca del río Cruces presenta un bajo caudal con respecto a su régimen pluvial tal como lo demuestra la figura 19, además se observa una respuesta inmediata del caudal con respecto a sus máximos mensuales. Esta situación implica que, si existiera una intervención en su sección más alta de la cuenca, tendría un impacto rápido en sus secciones más bajas. Es importante señalar que la baja alimentación pluviométrica implica considerar un manejo controlado de las actividades que requieran de agua de los cursos fluviales y que se desarrollen en esta subcuenca.

La subcuenca del río Calle Calle nace en la Cordillera de Los Andes, se observa en la figura 19, que la respuesta a los máximos mensuales de precipitaciones es más lenta, lo que implica que una intervención en su sección más alta impacta de manera más lenta a sus secciones más bajas. Lo mismo se observa en la figura 20, que corresponde a la estación fluviométrica y pluviométrica que se ubica en la ciudad de Valdivia, sección de cierre de la cuenca, en la cual se observa el aumento marginal del caudal y la aumento, también marginal, de las precipitaciones.

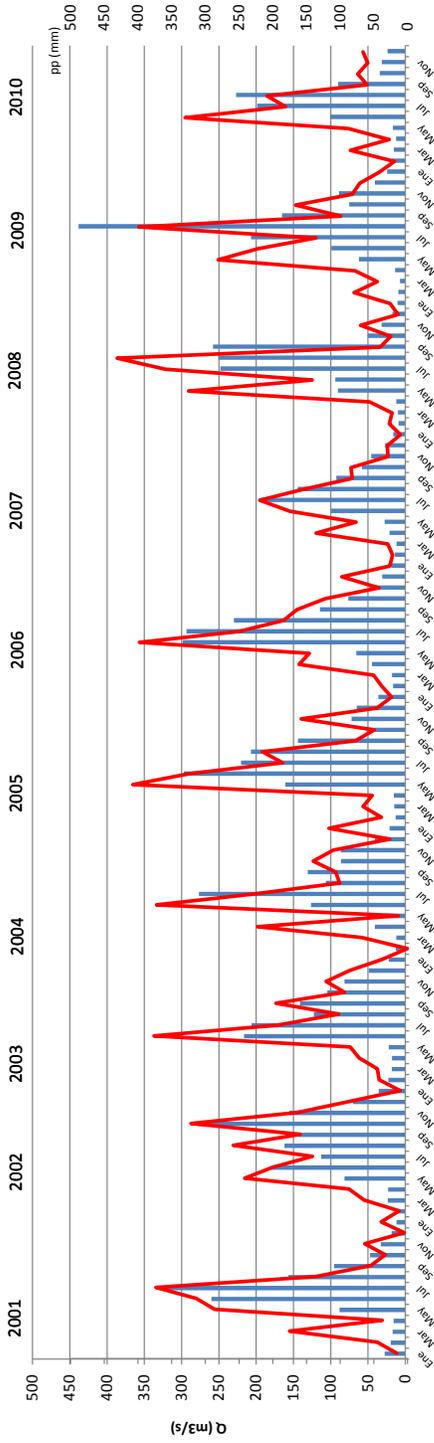


Figura 19. Gráfico de precipitaciones y caudal de la subcuenca del río Cruces en un periodo de 2001 a 2010. Precipitaciones, — Caudal. Fuente: Elaboración propia.

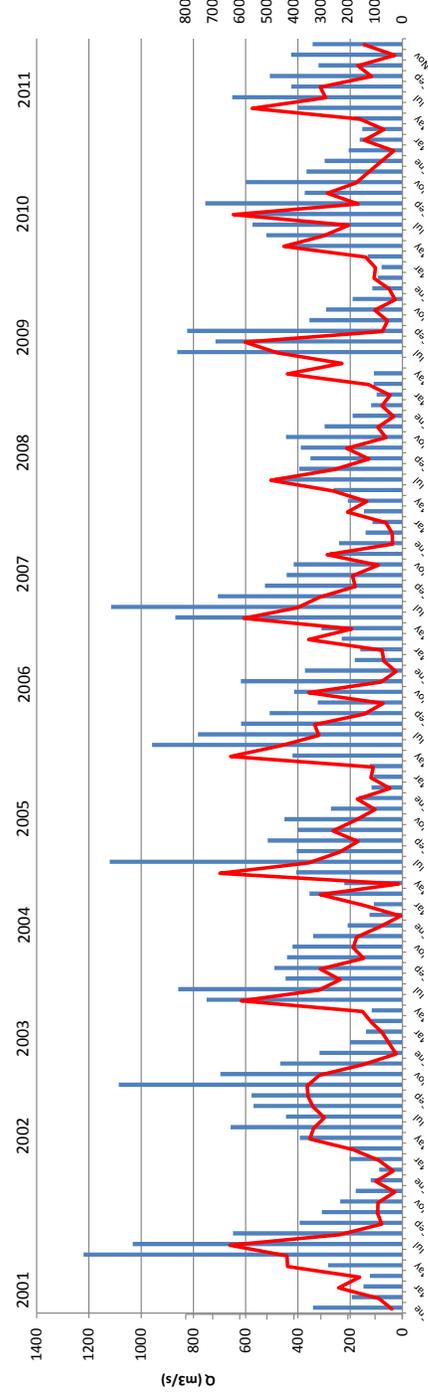


Figura 20. Gráfico de precipitaciones y caudal de la subcuenca del río Calle-Calle estación ubicada en la desembocadura del lago Rihühue, en un periodo de 2001 a 2010. Precipitaciones, — Caudal. Fuente: Elaboración propia.

4 Anexo 4. Peligros de Desarrollo lento

Anexo 4.1 Análisis de información secundaria de factores climáticos y cambios en el nivel del mar.

Análisis de información secundario de factores climáticos

Se realizó una revisión de los principales informes de cambio climático a nivel mundial (WMO, IPCC y NOAA). Los gráficos de la Figura 1 muestran, para el periodo 1961-2010, las anomalías o diferencias de las temperaturas (Estas variaciones se muestran como series de tiempo de media móvil de 11 años) extremas (mínimas y máximas) de cada año respecto al promedio de un periodo normal (El periodo normal considerado por la Dirección Meteorológica de Chile para este análisis corresponde a 1961-1990) de temperaturas, para ciudades de Temuco, Osorno, Valdivia y Puerto Montt, las cuales, aparte de la variabilidad interanual no muestra una tendencia clara en el tiempo, salvo una ligera disminución de las temperaturas mínimas (CCG-IEMA 2012).

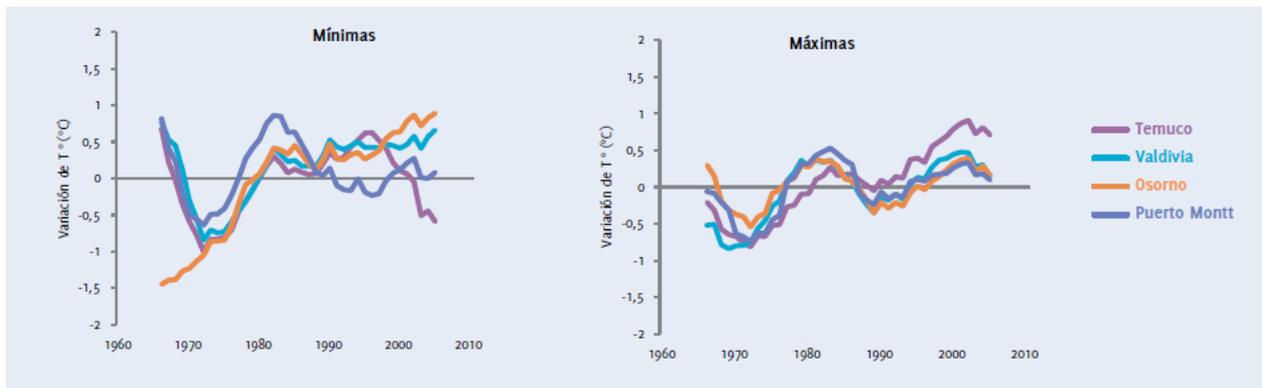


Figura 1. Gráfico de temperaturas máximas y mínimas para la zona sur de Chile. Fuente: CCG-IEMA 2012

Por otra parte, el comportamiento de la precipitación de las estaciones con más larga data, desde principios del Siglo XX, está graficado en la Figura 2. La media móvil de 11 años muestra una disminución de las precipitaciones en todas ellas; sin embargo, el comportamiento inter década (i.e. periodos de tiempo variables en el orden de las decenas de años), revela periodos de disminuciones y aumentos de la precipitación (CCG-IEMA 2012).

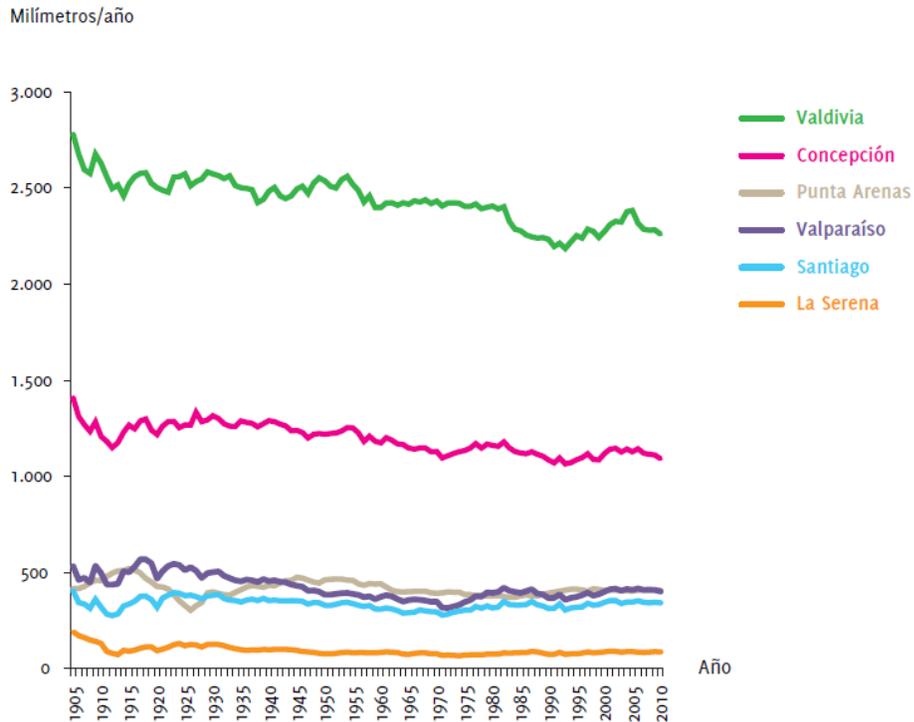


Figura 2. Comportamiento de precipitaciones. Fuente: CCG-IEMA 2012

Para el caso de Valdivia en específico 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 e las precipitaciones han ido decayendo en el tiempo. La figura 3, muestra el promedio anual de cada periodo que ha sido representado por líneas discontinuas. La franja gris representa el rango intercuartil (Q3 - Q1), donde años sobre el percentil 75 (Q3) o bajo el percentil 25 (Q1) han sido representados por barras verticales sobre la línea de tiempo en el periodo continuo de registros de la estación de Valdivia. Las barras de colores negro y gris, representan años húmedos y secos, respectivamente. El decrecimiento de las precipitaciones ha sido significativo entre 1901 – 2005 ($P < 0,01$). Se ha aplicado un ajuste cúbico (Spline) de 15 años para resaltar la baja frecuencia contenida en la serie de precipitación.

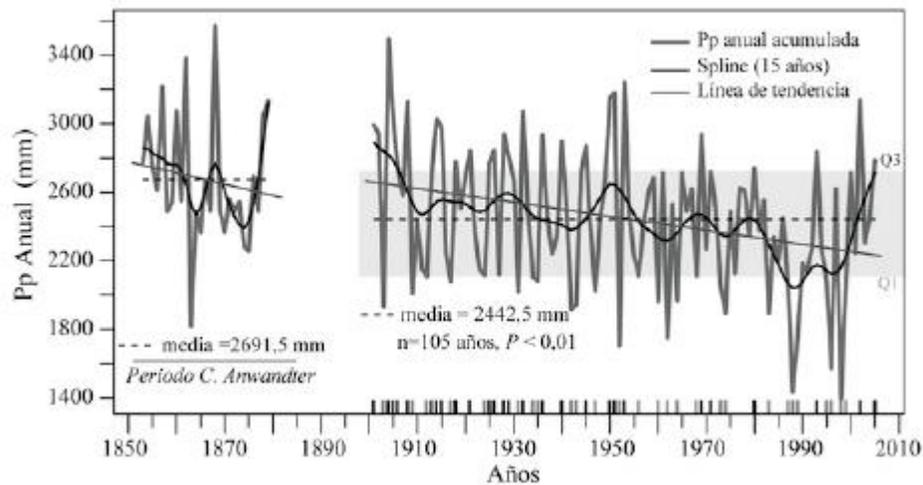


Figura 3. Serie temporal de precipitación anual acumulada en el período Anwandter (1853 - 1879), y del registro continuo de la estación de Valdivia (1901-2005)

González-Reyes & Muñoz (2013) además establecen en su estudio que existe un decrecimiento significativo en la precipitación anual; la estación de otoño y los meses de abril y septiembre han sido identificados entre 1901 – 2005, sugiriendo una extensión de las condiciones estivales y una mayor concentración de la precipitación en invierno.

Lo anterior se confirma en los resultados de diagnóstico generados en el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) de Los Ríos (en ejecución), en el cual el LPT-UCT realizó un análisis pluviométrico a nivel regional considerando estadística descriptiva en una serie de 20 años para 5 estaciones de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Los Ríos (DGA/MOP). La figura 4, que muestra el análisis de la estación ubicada en Valdivia, señala una tendencia desde el año 2000 hacia una amplia distribución de las precipitaciones mensuales en 20 años, es decir años más extremos entre los períodos estivales e invernales, como se observa en la figura N°32, con épocas estivales mucho más amplias desde el año 2000. En cuanto a la distribución mensual, en los 20 años analizados se puede observar que el período más lluvioso se concentra entre los meses de mayo, junio, julio y agosto.

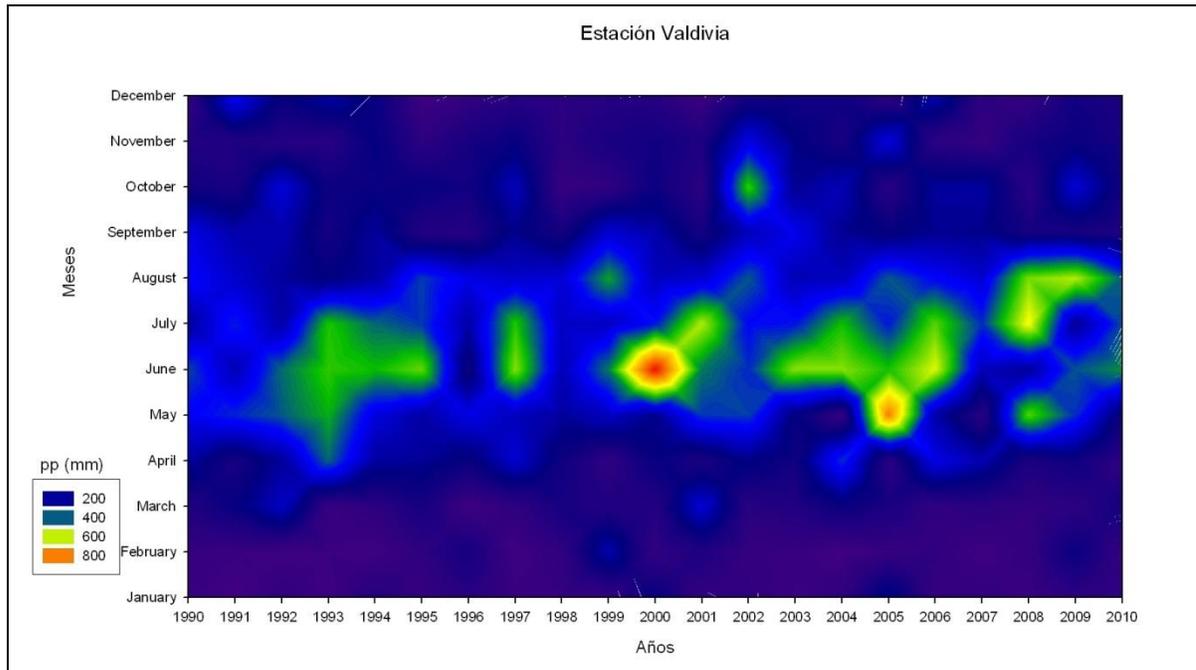


Figura 4. Gráficos de distribución de precipitaciones de 20 años entre los años 1990 (1) y 2010 (21). Estación Valdivia, Región de Los Ríos. Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por DGA-MOP

Análisis de información secundaria de Escenarios de cambio en precipitaciones y temperatura

El incremento de temperatura está provocando cambios en el planeta: aumento del nivel del mar y del derretimiento de los hielos; incremento en la frecuencia de olas de calor y en las precipitaciones en algunas regiones y drástica disminución en otras. Existe una alta probabilidad de que estos fenómenos provoquen impactos y alteraciones en la biodiversidad, como desaparición de especies, disminución de suelos destinados a cultivos, escasez de recursos hídricos y, eventualmente, desplazamiento de poblaciones ubicadas en zonas con riesgo de inundación debido al crecimiento del nivel del mar. A nivel global, la temperatura superficial del aire muestra un aumento casi generalizado de alrededor de 0,8 °C en el período comprendido entre la Revolución Industrial y el año 2005 (IPCC, 2007).

De acuerdo al Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático para Chile (CEPAL, 2012), el cambio climático potencialmente puede afectar un gran número de sectores productivos en el país, entre ellos las obras de infraestructura. Las proyecciones para Chile indican dos cambios fundamentales: una baja en las precipitaciones y un alza en las temperaturas. Dependiendo del escenario de emisiones de gases de efecto invernadero considerado, se proyecta que los mayores aumentos sean del orden de 2 a 4° C, asociándose estos mayores aumentos a la zona central de Chile, y siendo más marcados en la zona del valle central y la zona cordillerana. A modo de ejemplo, La Figura 5 muestra la proyección de temperatura considerada por el estudio de CEPAL (2012). En la figura se observan proyecciones estimadas para un periodo temprano (2010-2040), un periodo de mitad de siglo (2040-2070), y uno tardío (2070-2100), para el escenario de emisiones A2 (MOP, 2012).

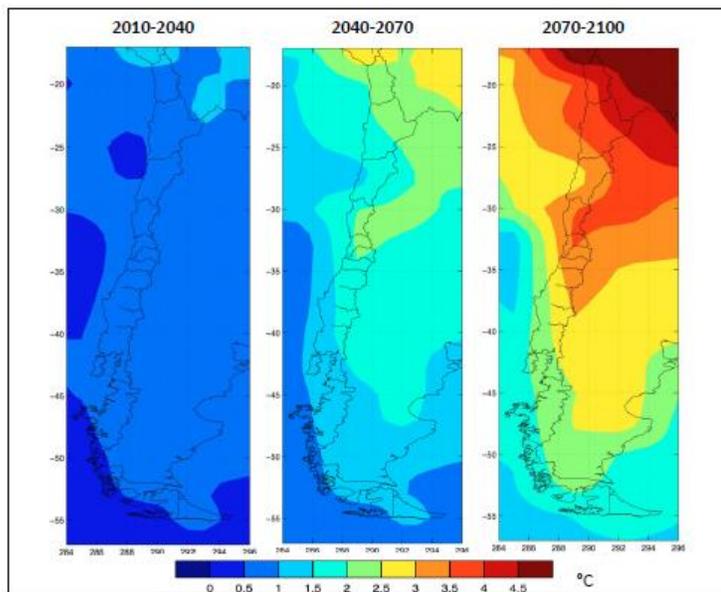


Figura 5. Proyecciones de temperatura en el escenario A2, cambio en grados Celsius sobre base histórica. Fuente: CEPAL (2012)

Estas proyecciones son coincidentes con las tendencias observadas por Falvey y Garreaud (2009), quienes detectaron un alza en las temperaturas medias monitoreadas por diversas estaciones meteorológicas durante las últimas 4 décadas, siendo la *zona cordillerana* y el *valle central* las zonas de aumento más marcado.

La probabilidad de *sequías futuras* fue evaluada en el estudio CEPAL (2012). Tomando como definición de evento de sequía aquel periodo de 2 años seguidos en que las precipitaciones caen por debajo del percentil 20, se evaluó el número de eventos proyectado por varios modelos bajo un escenario de cambio climático, para periodos futuros de 30 años (temprano, medio y tardío). Para la *zona centro* y *centro-norte* del país, la tendencia general proyectada fue de un alza en el número probable de eventos de sequía, identificándose incluso zonas de sequía permanente hacia fines de siglo (MOP, 2012).

Análisis de información secundaria en cambios en el nivel del mar

Por otro lado, a escala mundial el nivel del mar está aumentando sostenidamente (Church & White, 2011; NOAA, 2013), y Valdivia no está excluida de los efectos que genera este fenómeno. 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).

Este aumento se debe a un incremento del volumen de los océanos, debido tanto a variaciones en la densidad como en la masa total del agua contenida en las cuencas oceánicas. La variación responde principalmente a la expansión termal que están experimentando los océanos; los que al irse calentando se expanden proporcionalmente (Albritton, 2001). Un factor secundario es el balance de masa de los hielos continentales, cuando el aporte de la precipitación es menor que su fusión. En una menor

proporción, las variaciones son también determinadas por los balances hídricos de las aguas dulces continentales.

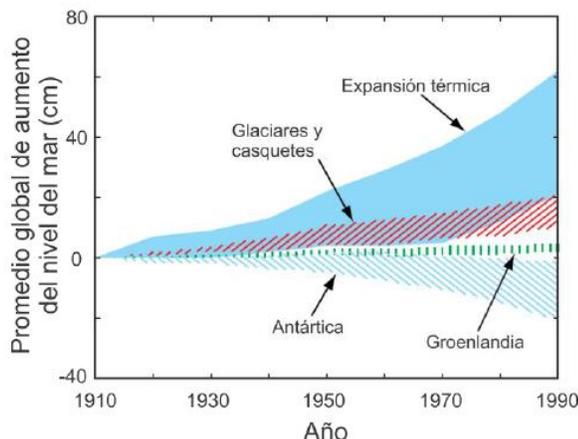


Figura 6. Factores involucrados en los cambios del nivel del mar y sus efectos sobre el aumento del nivel del mar observado (Modificado de Gregory, 2006)

Estudios recientes demuestran que el nivel del mar seguirá aumentando durante este siglo (Gregory, 2006; NRCNA, 2010; NOAA, 2013). En el 2007 el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) proyectó que durante el siglo XXI el nivel del mar aumentará entre 18 y 59 cm. Proyecciones más recientes del US National Council indican que el nivel del mar aumentará entre 56 y 200 cm (NRCNA, 2010).

Según MOP 2012, el análisis de la información mareográfica disponible a nivel nacional, no permite concluir respecto de la existencia de tendencias de aumento del nivel del mar en las costas de Chile (Contreras et al., 2011). A lo largo de Chile existen variaciones tanto en el sentido de aumento como de la disminución, siendo estas variaciones en general pequeñas frente a los movimientos co-sísmicos que Chile experimenta luego de cada terremoto (ver por ejemplo Vargas *et al.*, 2011). Por consiguiente, a partir de las observaciones empíricas disponibles en la actualidad no se ha detectado sobre las costas de Chile una influencia significativa del Cambio Climático en las variaciones locales del nivel medio del mar. Sin embargo, desde el punto de vista del clima de oleaje, sí parecieran existir tendencias al aumento de alturas de oleaje significativo y mayor frecuencia de los eventos de marejada (Molina et al., 2012). Esto sin embargo debiera confirmarse a través de análisis más acabados usando información de campo y en base a modelación numérica. También podrían existir algunos cambios en el periodo y la dirección del oleaje.

Según MOP 2012, para los años 2010-2040 en Chile aparece una tendencia media de aumento del nivel del mar entre 2 y 3 mm/año, mientras que para el horizonte 2040-2070 se presentan aumentos 2,8 y 4 mm/año. En relación a los escenarios futuros de climas de oleaje medio mensual, que son importantes para la operación portuaria, el estudio de la CEPAL (2011) indica que la tendencia general en la costa del Pacífico de América del Sur es al aumento (Figura 7). En el extremo sur de Chile, con un aumento importante que puede llegar a 1 cm/año. En las costas norte y centro-sur de Chile, estas variaciones serían menores, del orden de 2 a 3 mm/año.

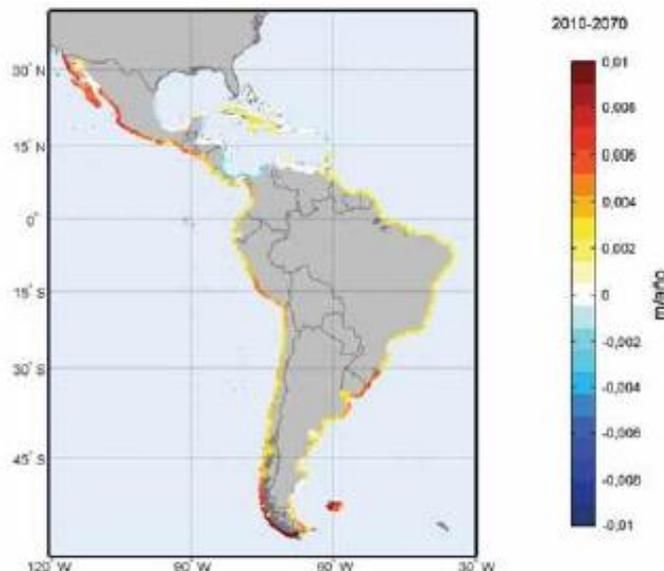


Figura 7. Tendencia media para el aumento de altura de ola significativa media mensual en el periodo 2010-2070 en metros por año. Fuente: Cepal (2011)

Específicamente para la ciudad de Valdivia, se pueden apuntar las siguientes consideraciones. La ciudad de Valdivia se localiza sobre un complejo y dinámico sistema hídrico estuarino en el que convergen ríos de gran caudal y mareas semi-diurnas. Esta condición determina que la ciudad esté expuesta permanentemente al riesgo de anegamiento e inundación, especialmente en los llamados “Barrios bajos”. Por esta razón es necesario conocer cómo se comportará en el futuro el nivel del mar.

Además de considerar este escenario global de aumento del nivel del mar, es necesario tener en cuenta las variables particulares que afectan el nivel relativo a escala local. Es el caso de la zona de Valdivia, donde la variable tectónica ha sido históricamente significativa en los cambios relativos del nivel del mar. La costa de la región se encuentra sometida a recurrentes y repentinos cambios de nivel de origen tectónico, como el ocurrido en 1960; que hundió a la ciudad alrededor de 2 m en cuestión de minutos (Plafker & Savage, 1970). Este fenómeno es sin duda uno de los principales controladores del nivel del mar en la zona de Valdivia.

En cuanto a los análisis preliminares del estudio, se ha proyectado el nivel del mar utilizando registros del mareógrafo de Corral y proyecciones globales de cambio de nivel del mar. La bahía de Corral cuenta con un registro relativamente largo (respecto al resto del país) de datos del nivel del mar. Desde 1985, el SHOA ha mantenido funcionando un mareógrafo en el puerto de Corral. Aunque el registro presenta breves lagunas temporales, es lo suficientemente extenso para ser representativo. Esto debido a que el registro supera el óptimo de 19 años, lo que incluye la totalidad de los constituyentes armónicos de la marea. Debido a que el terremoto del 27 de febrero del 2010 generó movimientos corticales que afectaron a gran parte del centro-sur de Chile, este estudio sólo utiliza la data de mareógrafo registrada hasta el 2009. De este modo, se pretende excluir data que podría estar afectada por los movimientos verticales del mareógrafo de Corral asociado a este evento. Mediante el software matemático MATLAB, se analizó el registro del mareógrafo entregando los siguientes resultados.

En el 2006 CONAMA solicitó al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias, Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile realizar una proyección climática para Chile hacia finales del siglo

XXI. El objetivo principal del proyecto fue estimar los escenarios climáticos para diferentes regiones de Chile, asociados al cambio climático global resultante del incremento de los gases de efecto invernadero. Adicionalmente se propusieron estimaciones para los cambios en el nivel del mar en la costa chilena (Universidad de Chile, 2006). Las estimaciones se basaron en el modelo global HadCM3, previamente utilizado en el Tercer Informe del IPCC (Gregory, 2006).

En ese estudio se utilizaron las proyecciones de la Universidad de Chile (2006) de cambios de nivel del mar específicos para la costa de Chile a la latitud 40° (Tabla N°1).

Tablas N° 1 y 2. Proyecciones de aumento del nivel del mar específicos para la costa de Chile durante el siglo XXI (Universidad de Chile, 2006). Las estimaciones, basadas en los escenarios A2 (arriba) y B2 (abajo) del IPCC, se muestran para las diferentes latitudes del país. Se resalta la utilizada para la zona de Valdivia.

Tabla 1.1 Estimaciones aumento nivel del mar para la costa de Chile. Escenario A2

LATITUD SUR	AÑO										
	1990	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
20	0.0	2.6	3.9	5.9	8.2	10.2	13.1	16.4	19.7	23.6	27.6
25	0.0	2.5	3.8	5.6	7.8	9.7	12.5	15.6	18.8	22.5	26.3
30	0.0	2.0	3.0	4.5	6.3	7.8	10.0	12.5	15.0	18.0	21.0
35	0.0	1.9	2.8	4.2	5.9	7.3	9.4	11.7	14.1	16.9	19.7
40	0.0	1.9	2.8	4.2	5.9	7.3	9.4	11.7	14.1	16.9	19.7
45	0.0	2.0	3.0	4.5	6.3	7.8	10.0	12.5	15.0	18.0	21.0
50	0.0	2.0	3.0	4.5	6.3	7.8	10.0	12.5	15.0	18.0	21.0
55	0.0	1.8	2.6	3.9	5.5	6.8	8.8	10.9	13.1	15.8	18.4
60	0.0	1.5	2.3	3.4	4.7	5.8	7.5	9.4	11.3	13.5	15.8

Tabla 1.2 Estimaciones aumento nivel del mar para la costa de Chile. Escenario B2

LATITUD SUR	AÑO										
	1990	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
20	0	2.6	3.9	5.9	7.9	9.8	12.5	15.4	18.0	20.7	23.6
25	0.0	2.5	3.8	5.6	7.5	9.4	11.9	14.7	17.2	19.7	22.5
30	0.0	2.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.5	11.8	13.8	15.8	18.0
35	0.0	1.9	2.8	4.2	5.6	7.0	8.9	11.0	12.9	14.8	16.9
40	0.0	1.9	2.8	4.2	5.6	7.0	8.9	11.0	12.9	14.8	16.9
45	0.0	2.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.5	11.8	13.8	15.8	18.0
50	0.0	2.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.5	11.8	13.8	15.8	18.0
55	0.0	1.8	2.6	3.9	5.3	6.6	8.3	10.3	12.0	13.8	15.8
60	0.0	1.5	2.3	3.4	4.5	5.6	7.1	8.8	10.3	11.8	13.5

Anexo 4.2 Estudio de cambio del nivel del mar

Proyección del nivel del mar utilizando registros del mareógrafo de Corral y proyecciones globales de cambio de nivel del mar

Contrariamente a lo esperado, en base a las tendencias globales de aumento sostenido del nivel del mar (+2.9 mm/año), el mar en la zona de Valdivia está bajando. Se obtuvo una tendencia negativa (-3.9 mm/año). Es decir, el nivel del mar relativo en la bahía de Corral disminuye a una tasa de ~4 mm por año (Figura 1).

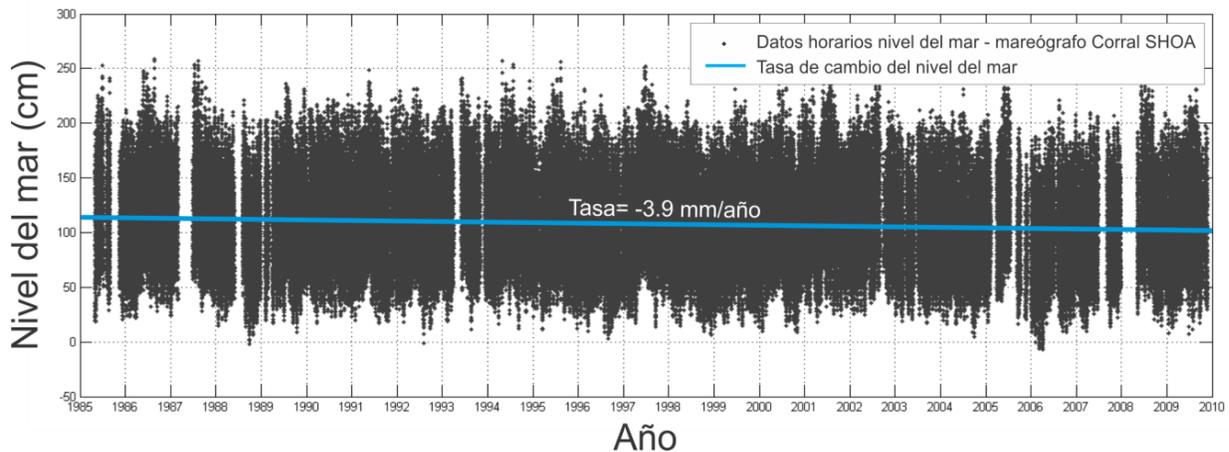


Figura 1. Nivel del mar registrado por el mareógrafo de Corral entre 1985 y 2009. Los puntos representan datos horarios del nivel del mar. La línea azul muestra el ajuste lineal de los datos y su pendiente representa la tasa de cambio (-3.9 mm/año)

La proyección de los cambios globales del nivel del mar, a escala anual, comenzando en el 2014 se muestra en la Tabla 1 (IPCC, 2001). Se observa un aumento progresivo del nivel del mar durante la primera mitad del siglo XXI.

Considerando la tendencia del mareógrafo de Corral y las proyecciones globales (Tabla 1), se resuelve la fórmula (1) para cada año, obteniendo la proyección anual de cambio del nivel del mar para la zona de Valdivia, considerando los escenarios A2 y B2 (Tabla 1 y Figura 8).

De acuerdo a nuestros resultados obtenidos con el método 1, y considerando el escenario A2, el nivel del mar en la zona de Valdivia bajará 6.88 cm entre el 2014 y el 2030 y 13.63 cm hacia el 2050. Utilizando el escenario B2, la variación es levemente menor, disminuyendo en 6.23 cm hacia el 2030 y en 13.33 cm hacia el 2050.

Tabla N°1. Proyecciones anuales de cambio del nivel del mar global para el período 2014-2050, considerando dos escenarios del IPCC (A2 y B2). Δ NM: variación acumulativa, respecto al 2014, del nivel del mar en centímetros.

ESCENARIO A2				ESCENARIO B2							
Año	Δ NM	Año	Δ NM	Año	Δ NM	Año	Δ NM				
2014	0.00	2027	2.88	2040	7.15	2014	0.00	2027	3.70	2040	7.75
2015	0.25	2028	3.28	2041	7.55	2015	0.25	2028	4.03	2041	8.15
2016	0.50	2029	3.67	2042	7.85	2016	0.50	2029	4.35	2042	8.45
2017	0.76	2030	4.00	2043	8.25	2017	0.74	2030	4.65	2043	8.85
2018	1.01	2031	4.27	2044	8.65	2018	0.98	2031	4.92	2044	9.25
2019	1.24	2032	4.51	2045	9.05	2019	1.23	2032	5.17	2045	9.55
2020	1.45	2033	4.73	2046	9.35	2020	1.50	2033	5.45	2046	9.85
2021	1.62	2034	4.97	2047	9.75	2021	1.79	2034	5.65	2047	10.15
2022	1.76	2035	5.25	2048	10.15	2022	2.09	2035	5.95	2048	10.55
2023	1.90	2036	5.55	2049	10.45	2023	2.41	2036	6.25	2049	10.85
2024	2.06	2037	5.95	2050	10.85	2024	2.73	2037	6.65	2050	11.15
2025	2.25	2038	6.35			2025	3.05	2038	7.05		
2026	2.53	2039	6.75			2026	3.37	2039	7.35		

Tabla 2. Proyecciones anuales de cambio del nivel del mar en la zona de Valdivia para el período 2014-2050 considerando los dos escenarios del IPCC (A2 y B2). Δ NM: variación acumulativa, respecto al 2014, del nivel del mar en centímetros.

ESCENARIO A2			ESCENARIO B2		
Año	Δ NM	Año	Δ NM	Año	Δ NM
2014	0	2027	-5.96	2040	-10.53
2015	-0.43	2028	-6.24	2041	-10.81
2016	-0.86	2029	-6.53	2042	-11.19
2017	-1.28	2030	-6.88	2043	-11.47
2018	-1.71	2031	-7.29	2044	-11.75
2019	-2.16	2032	-7.73	2045	-12.03
2020	-2.63	2033	-8.19	2046	-12.41
2021	-3.14	2034	-8.63	2047	-12.69
2022	-3.68	2035	-9.03	2048	-12.97
2023	-4.22	2036	-9.41	2049	-13.35
2024	-4.74	2037	-9.69	2050	-13.63
2025	-5.23	2038	-9.97		
2026	-5.63	2039	-10.25		

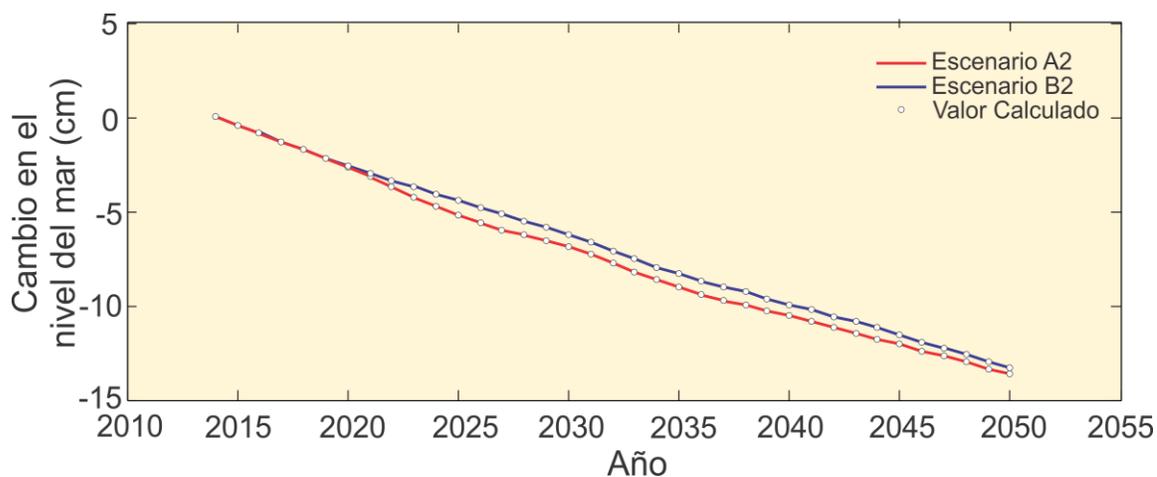


Figura 2. Proyecciones anuales de cambio del nivel del mar para la zona de Valdivia, considerando los dos escenarios del IPCC (A2 y B2), para el período 2014-2050. Los puntos blancos indican los valores anuales calculados mediante el método 1. La curva roja muestra la proyección en base al escenario A2, mientras que la azul se basa en el B2.

Proyección del nivel del mar utilizando data geodésica GPS y proyecciones de cambio de nivel del mar para la costa chilena

Las proyecciones de cambios de nivel del mar específicos para la costa chilena (Universidad de Chile, 2006) se muestran en la Tabla 3.

Tabla N° 3. Proyecciones del aumento del nivel del mar específicos para la costa de Chile durante el siglo XXI (Universidad de Chile, 2006). Las estimaciones, basadas en los escenarios A2 y B2 del IPCC, se muestran para las diferentes latitudes del país. Se resalta la utilizada para la zona de Valdivia.

ESCENARIO A2

LATITUD SUR	AÑO										
	1990	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
20	0	2.6	3.9	5.9	8.2	10.2	13.1	16.4	19.7	23.6	27.6
25	0.0	2.5	3.8	5.6	7.8	9.7	12.5	15.6	18.8	22.5	26.3
30	0.0	2.0	3.0	4.5	6.3	7.8	10.0	12.5	15.0	18.0	21.0
35	0.0	1.9	2.8	4.2	5.9	7.3	9.4	11.7	14.1	16.9	19.7
40	0.0	1.9	2.8	4.2	5.9	7.3	9.4	11.7	14.1	16.9	19.7
45	0.0	2.0	3.0	4.5	6.3	7.8	10.0	12.5	15.0	18.0	21.0
50	0.0	2.0	3.0	4.5	6.3	7.8	10.0	12.5	15.0	18.0	21.0
55	0.0	1.8	2.6	3.9	5.5	6.8	8.8	10.9	13.1	15.8	18.4
60	0.0	1.5	2.3	3.4	4.7	5.8	7.5	9.4	11.3	13.5	15.8

Tabla N° 3 (Continuación). Proyecciones del aumento del nivel del mar específicos para la costa de Chile durante el siglo XXI (Universidad de Chile, 2006).

ESCENARIO B2

LATITUD SUR	AÑO										
	1990	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
20	0	2.6	3.9	5.9	7.9	9.8	12.5	15.4	18.0	20.7	23.6
25	0.0	2.5	3.8	5.6	7.5	9.4	11.9	14.7	17.2	19.7	22.5
30	0.0	2.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.5	11.8	13.8	15.8	18.0
35	0.0	1.9	2.8	4.2	5.6	7.0	8.9	11.0	12.9	14.8	16.9
40	0.0	1.9	2.8	4.2	5.6	7.0	8.9	11.0	12.9	14.8	16.9
45	0.0	2.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.5	11.8	13.8	15.8	18.0
50	0.0	2.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.5	11.8	13.8	15.8	18.0
55	0.0	1.8	2.6	3.9	5.3	6.6	8.3	10.3	12.0	13.8	15.8
60	0.0	1.5	2.3	3.4	4.5	5.6	7.1	8.8	10.3	11.8	13.5

Ambas proyecciones muestran un aumento significativo y sostenido del nivel del mar. Las basadas en el escenario A2 indican que a la latitud de Valdivia el nivel del mar (sin considerar los cambios tectónicos locales) aumentará en 4.2 cm hacia el 2030 y en 7.3 cm hacia el 2050. Si se considera el escenario B2 el nivel aumentará en 4.2 y 7.0 cm hacia los años 2030 y 2050, respectivamente. En relación a los movimientos verticales de la costa asociados al tectonismo regional, la Tabla N° 4 muestra la data geodésica de GPS publicada para la región.

Tabla N° 4. Desplazamientos de la costa observados por estaciones geodésicas GPS en la zona de Valdivia (Wang et al., 2007; Moreno et al., 2011). Las tasas de cambio se muestran en mm/año para determinados períodos de medición en años. Ve: velocidad hacia el Este; Vn: velocidad hacia el norte; Vu: velocidad hacia arriba (up). Se resaltan las velocidades verticales utilizadas en nuestras proyecciones.

Estación	Lon.	Lat.	Ve	Vn	Vu	Período Medición
CALF	-73.388	-39.754	17.67	22.4	8.67	4.05
NBLA	-73.402	-39.87	13.8	3.89	3.18	5.48

Las dos estaciones GPS, CALF y NBLA, se levantan a una velocidad de 8.67 y 3.18 cm por año, respectivamente. Estos valores sugieren que la zona de Valdivia se levanta tectónicamente a una tasa promedio de 5.9 mm/año.

La superposición de las proyecciones del aumento del nivel del mar para la latitud 40° S en la costa chilena con la tendencia de levantamiento observados por los GPSs se presentan para cada escenario (A2 y B2) en la Tabla 5 y Figura 3.

Tabla 5. Proyecciones anuales de cambio del nivel del mar en la zona de Valdivia para el período 2014-2050, de acuerdo a los dos escenarios del IPCC (A2 y B2). ΔNM : variación acumulativa, respecto al 2014, del nivel del mar en centímetros.

ESCENARIO A2

Año	ΔNM	Año	ΔNM	Año	ΔNM
2014	0.00	2027	-6.21	2040	-11.76
2015	-0.50	2028	-6.65	2041	-12.20
2016	-1.02	2029	-7.09	2042	-12.65
2017	-1.52	2030	-7.53	2043	-13.12
2018	-2.01	2031	-7.96	2044	-13.58
2019	-2.52	2032	-8.39	2045	-14.04
2020	-3.00	2033	-8.81	2046	-14.51
2021	-3.48	2034	-9.23	2047	-14.96
2022	-3.94	2035	-9.64	2048	-15.41
2023	-4.41	2036	-10.06	2049	-15.86
2024	-4.87	2037	-10.48	2050	-16.29
2025	-5.31	2038	-10.89		
2026	-5.77	2039	-11.33		

ESCENARIO B2

Año	ΔNM	Año	ΔNM	Año	ΔNM
2014	0.00	2027	-6.19	2040	-12.06
2015	-0.50	2028	-6.63	2041	-12.51
2016	-1.02	2029	-7.08	2042	-12.97
2017	-1.52	2030	-7.53	2043	-13.43
2018	-2.01	2031	-7.98	2044	-13.89
2019	-2.52	2032	-8.43	2045	-14.35
2020	-3.00	2033	-8.89	2046	-14.81
2021	-3.47	2034	-9.34	2047	-15.26
2022	-3.94	2035	-9.79	2048	-15.71
2023	-4.40	2036	-10.25	2049	-16.16
2024	-4.85	2037	-10.70	2050	-16.59
2025	-5.30	2038	-11.15		
2026	-5.75	2039	-11.61		

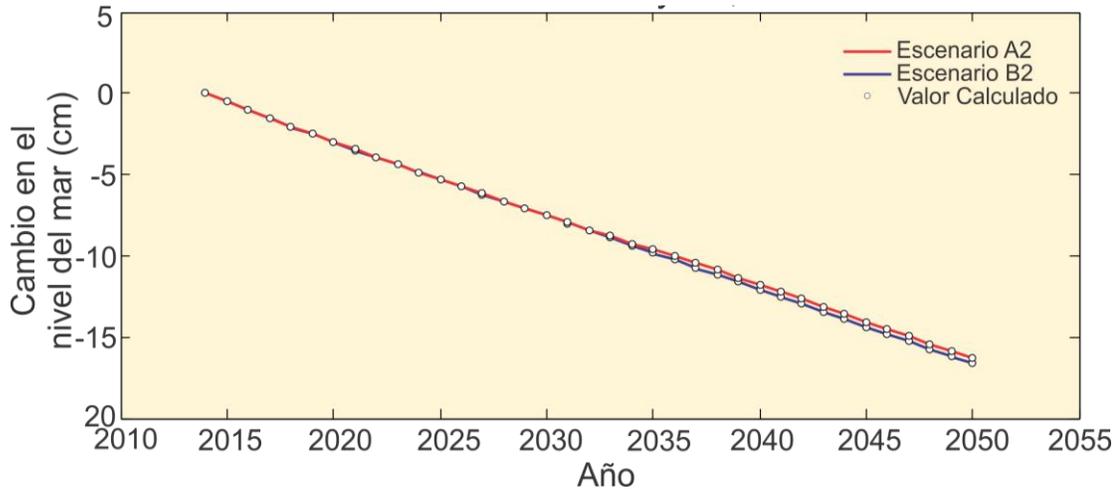


Figura 3. Proyecciones anuales de cambio del nivel del mar para la zona de Valdivia, considerando los dos escenarios del IPCC (A2 y B2), para el período 2014-2050. Los puntos blancos indican los valores anuales calculados mediante el método 2. La curva roja muestra la proyección en base al escenario A2 mientras que la azul está basada en el B2.

De acuerdo a nuestros resultados mediante el método 2, y considerando el escenario A2, el nivel del mar en la zona de Valdivia bajará 7.53 cm entre el 2014 y el 2030, y 16.29 cm hacia el 2050. Utilizando el escenario B2, los resultados son similares, bajando en 7.53 cm hacia el 2030 y en 16.59 cm hacia el 2050.

5 Anexo 5. Estado del arte de los humedales de Valdivia

Los humedales son sistemas complejos de múltiples componentes espaciales y variadas funciones, con roles ecosistémicos que han sido extensamente documentados. Se ha logrado estimar que proveen hasta el 40% del valor de todos los servicios ecosistémicos del mundo, a pesar de que cubren solo el 1,5% de la superficie del planeta (Zedler, 2003). Por estos motivos los humedales son posicionados como uno de 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). A estos servicios también se suma el soporte que brinda a actividades humanas como recreación, caza, pesca, observación de vida silvestre, fuente de plantas medicinales para culturas ancestrales y potenciales beneficios económicos en comunidades rurales, entre muchos otros (Hauenstein *et al.* 2002). Sin embargo, a pesar de su gran valor, los humedales son territorios caracterizados por su alta fragilidad, vulnerabilidad y valor ecológico-ambiental, producto de ser un espacio de interface entre la atmósfera, litósfera e hidrósfera, en la cual existen condiciones dinámicas de equilibrio (Belisario et al. 2010). La condición de vulnerabilidad y fragilidad de estos ambientes se ha visto incrementada en el tiempo, dada la creciente presión antrópica a la que son sometidos estos sectores, lo que ha generado significativos procesos de degradación ambiental (Shang y Bai, 2012) y en muchas ocasiones también socio cultural, siendo en la actualidad uno de los ecosistemas más degradados y amenazados a nivel mundial (Janssen *et al.* 2005, Jogo & Hassan 2010).

En este contexto, los humedales urbanos y periurbanos aparecen como sistemas particulares de conservación, definidos así por su ubicación en zonas de transición entre el ámbito urbano y el rural o dentro de los límites de la ciudad, poblaciones u otras conurbaciones (RAMSAR, 2008; 2012). Su especial interés radica en la gama de servicios adicionales que ofrece a la población en términos de bienestar y confort de la ciudad, destacando la purificación de aguas servidas y el aire, el brindar un valor estético a la ciudad, actuar como reguladores microclimáticos, reducir el ruido, drenar las aguas lluvias y ofrecer espacios recreacionales (Kush et al., 2008; Smith y Romero, 2009).

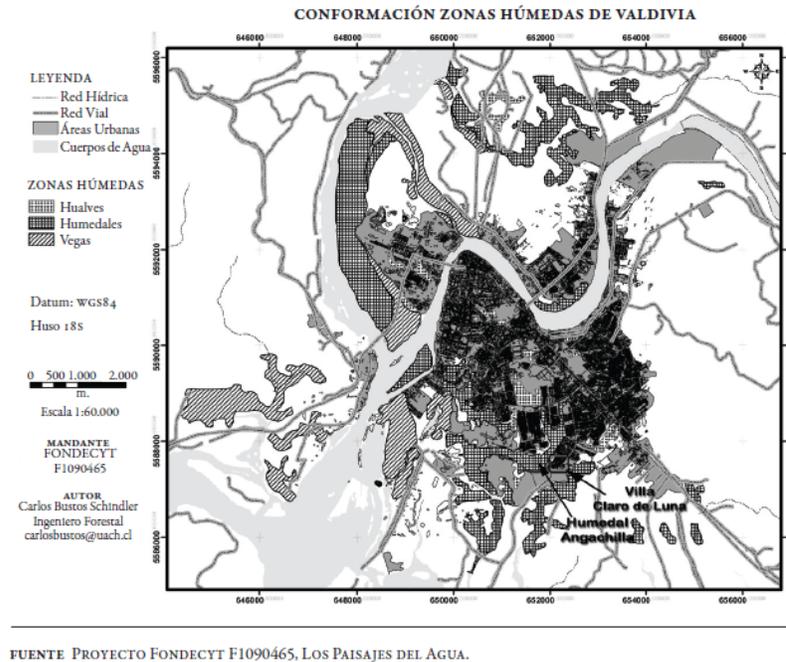


Figura 1. Distribución de humedales urbanos en Valdivia. Fuente: Proyecto FONDECYT “Los Paisajes del Agua”

En Chile, desde la década del cincuenta las zonas urbanas han experimentado una fuerte expansión, en principio debido a la concentración de la población en grandes ciudades o zonas metropolitanas producto del desarrollo industrializado y luego, a mediados de los setenta, la economía comienza una restructuración productiva, en el marco de la globalización del mercado, y en consecuencia un cambio en los patrones de distribución de la población (Atienza y Aroca, 2012). Actualmente, más del 87% de la población del país reside en ámbitos urbanos (INE, 2005).

Lo humedales ocupan el 2,6% de la superficie del territorio continental, y de estos sólo el 0,5% está incluido en áreas protegidas reglamentariamente. La Región de Los Ríos, con 136.678,7 ha anegadas temporal o permanentemente, es la cuarta región del país con presencia de humedales, con predominio del tipo escorrentía y humedales de infiltración (Ministerio de Medio Ambiente, 2006; 2011). En Valdivia, del total del área urbana comunal, aproximadamente el 16% corresponde a zonas húmedas (Rubilar, 2002).

La ciudad de Valdivia se desarrolla sobre una terraza fluvial-palustre, a una altura promedio de 9 m sobre el nivel del río, formada mayoritariamente por sedimentos alóctonos (arenisca de origen volcánico o “cancagua”, ceniza volcánica y coquinas retransportadas) (Pino, 2003). Estos sedimentos se depositaron en el período interglacial previo a la última glaciación conocida como Llanquihue (Heusser, 1974; Pino, 2003). La geomorfología de la ciudad presenta terrazas de corte y relleno, con alturas variables, y disectada en la zona sur por algunos cursos de agua que generan pequeños valles locales con características de humedal, que podrían dar cuenta de antiguos paleocauces. También se reconocen otras unidades como las llanuras de relleno antropogénico, la llanura fluvial o planicie de inundación en alturas inferiores a los 5 metros sobre el río Valdivia y con pendientes menores al 5% (Rojas, 2010).

Las características geológicas y geomorfológicas del área, sumado al dinamismo de la zona de costa sometida a periodos de hundimiento e ingreso más profundo del mar, permitieron la aparición de

humedales en la zonas de depresión del territorio y el desarrollo de asentamientos humanos (Rubilar, 2002; Rojas, 2003).

En efecto, Valdivia fue emplazado sobre un terreno cruzado por lagunas de tamaño considerable (Guarda, 1998), designadas en principio como hualves, que con el tiempo fueron rellenadas artificialmente, y sometidas a obras de drenaje y encauzamiento a partir de 1846 para el desarrollo urbano de la ciudad (Möller, 2008). El terremoto de 1960 provocó el hundimiento del terreno valdiviano y el levantamiento de la costa en el sector norte, lo que afectó fuertemente la extensión del sistema de humedales. Por años estos humedales se han ido rellenando, natural y artificialmente, lo que ha llevado a una homogenización de ambientes, predominando los sistemas de tipo palustre (Möller, 2008).

Debido al valor ecológico, social y cultural de los humedales de Valdivia, se declaró Santuario de la Naturaleza un tramo correspondiente al río Cruces, con una superficie de 4.877 ha (D.S. 2.734/81) y que podría ser considerado un humedal periurbano por su cercanía al extremo norte de la ciudad, aun cuando se prolonga mayoritariamente sobre un entorno rural. Un mes después a la declaración de santuario se le asignó la categoría como sitio de importancia internacional (Sitio RAMSAR), siendo el primero del país en recibir dicho reconocimiento (Fundación Fennedy, 2013). Por otro lado, este humedal se puede clasificar como ribereño y palustre con influencia estuarina, en base a la clasificación de la convención RAMSAR.

Muñoz-Pedrero y Quintana (2010) reconocen tres ecosistemas diferentes al interior del santuario: hualves, pantanos y bañados. Los primeros están referidos a los bosques pantanosos inundados en las estaciones de lluvia; los pantanos están caracterizados por zonas con vegetación palustre del tipo totora, juncos, batros y carrizos. Respecto a los bañados aparecen dos tipos, aquellos de poca profundidad con plantas acuáticas enraizadas, siendo el hábitat más rico en diversidad de aves; y los de mayor profundidad, que presentan vegetación flotante no enraizada, en ambos casos con mucho sedimento en el sustrato.

Al respecto, cabe recordar el hecho ocurrido el año 2004 con la empresa CELCO y las descargas ilegales de residuos líquidos, lo que coincidió con la disminución del luchecillo (*Egeria densa*) y la muerte de cientos de ejemplares de Cisnes de Cuello Negro en el Santuario Carlos Anwandter (CONAMA-UACH, 2005). Esta acción evidencia la exposición de estos sistemas a la alteración de la calidad de sus aguas, lo que ha sido documentado por diversos autores a través de muestras directas de agua o sedimentos (Mulsow y Grandjean, 2006; Palma-Fleming, 2013). Debido a este incidente el sitio ingresó al listado Montreux, donde se registran los humedales que pueden producir o hubieran producido modificaciones de sus condiciones ecológicas.

En cuanto a los elementos naturales, sólo en el caso del santuario se han identificado 80 especies de plantas, distribuidas en 63 géneros, 39 familias y 3 clases. De estas, 54 son nativas y 26 introducidas. Antes del 2004 destacaba la presencia predominante del luchecillo (*Egeria densa*), siguiéndole en abundancia la totora (*Scirpus californicus*), el junco (*Juncus procerus*), la onograria (*Ludwigia peploides*) y la flor de Loto (*Nymphaea alba*), lo que permitió las condiciones ideales para el desarrollo de una de las mayores poblaciones de Cisne de Cuello Negro (*Cygnus melancoryphus*), hasta antes del 2004, la Tagua Chica (*Fulica leucoptera*), la tagüita (*Gallinula melanops*), la Garza Grande (*Casmerodius albus*), la Garza Cuca (*Ardea cocoi*), la Bandurria (*Theristicus melanops*), el Cormorán Yeco (*Phalacrocorax brasilianus*), entre otras, ya que se han registrado 119 especies de aves que dependen directa o indirectamente de este humedal o de espacios aledaños. También se han identificado 8 especies de anfibios, categorizados en estados de conservación, como la Rana Grande Chilena (*Caudiverbera caudiverbera*), la ranita de Darwin (*Rhinoderma darwini*) y dos endémicos (*Eupsophus vertebralis* y *Calyptocephalella gayi*). El santuario también constituye refugio para mamíferos como el Coipo (*Myocastor coypus*), Huillín (*Lontra provocax*), y en ocasiones para lobo marino (*Otaria flavescens*) (CONAF, 2013; Ramírez et al, 1991).

No obstante, Valdivia no tan solo destaca por el humedal del santuario, sino también por una red de humedales urbanos generados por pequeños valles locales, que podrían dar cuenta de antiguos

paleocauces (Rojas, 2010). Así, en la ciudad de Valdivia se observan territorios húmedos representados en los conceptos de Humedal, Hualve y Vega. En general estas tres tipologías se desarrollan en sectores de pendiente nula o casi nula (menor de 5°) y en rangos de altura que fluctúan entre los 0 y los 15 msnm. A partir de la intersección del río Valdivia con el río Cutipay, la topografía del sector cambia, definiéndose por su forma fuertemente ondulada, carente de sectores planos, por lo que no se observan áreas húmedas salvo el cauce de los ríos mencionados

Los humedales urbanos tienen una superficie igual o superior al Santuario Carlos Anwandter del río Cruces, y contienen una mayor diversidad biótica florística (137 especies versus 80) (Rubilar, 2002). Su relevancia radica en el hecho que no son unidades aisladas, sino que constituyen un sistema ecológico metapoblacional interconectado, con características de corredor de especies. Por ello, no bajan de categoría de importancia por su menor tamaño (Municipalidad de Valdivia, 2011).

Para Rubilar (2002), de acuerdo a características hidrogeológicas de los humedales del área urbana de Valdivia, pueden distinguirse tres grandes grupos:

- a) Los ubicados en las riberas de los ríos que forman al estuario, definido como medio y superior, de carácter fluvio-pluvial con influencia marina.
- b) Los interiores o de sitios anegadizos en depresión de la terraza de canchagua, de carácter pluvial.
- c) En el borde occidental de la formación de piedra laja, en el límite noreste de la ciudad también de carácter freático-fluvial. Esta se forma por acumulación de agua en valles, provenientes de esteros que bajan del cordón serrano.

Los humedales urbanos y periurbanos identificados en la ciudad de Valdivia corresponden a:

Tabla Nº 1. Humedales urbanos.

<i>La ribera norte del río Calle-Calle, desde el sector Lourdes hasta el puente Calle-Calle en las Ánimas.</i>	<i>Humedal río Calle- Calle.</i>
<i>Ambas riberas del río Cau-Cau, en toda su extensión.</i>	<i>Humedal Río Cau- Cau.</i>
<i>Ambas riberas del río Cruces, desde la entrada sur al Santuario de la Naturaleza, hasta el puente Cruces.</i>	<i>Humedal río Cruces.</i>
<i>Ambas riberas del río Valdivia, desde el islote Haverbeck y el extremo sur de la Isla Teja, hasta la desembocadura del estero Estancilla y parte de la Isla Guacamayo.</i>	<i>Humedal río Valdivia.</i>
<i>El interior de la Isla Teja, en sentido perpendicular al río Valdivia, entre calle Los Pelúes y Los Robles.</i>	<i>Humedal Santa Rita.</i>
<i>Restos de un supuesto brazo del río Calle-Calle, al oeste de la ciudad, desde calle Bueras hasta el puente del Camino a Toro Bayo, incluyendo la quebrada de Huachocopihue-Pedro Montt.</i>	<i>Humedal Miraflores.</i>
<i>La red formada por resto del estero Catrico, distribuida en la central de la ciudad, desde Villa del Rey hasta más al sur de la población Valdivia</i>	<i>Humedal Catrico.</i>

<i>en construcción.</i>	
<i>Restos del estero Angachilla, desde población Libertad hasta el límite sur- este de la zona urbana.</i>	<i>Humedal Angachilla.</i>
<i>Ribera sur del estero Estancilla, al oeste de la zona urbana, incluyendo algunas intrusiones hacia el río Valdivia.</i>	<i>Humedal Estancilla.</i>

Fuente: Rubilar, 2002

En general, los humedales ribereños se caracterizan por presentar en su plano una cubierta vegetal baja, principalmente pastos y matorral arbustivo, con presencia de arborización en sus bordes aguas arriba del humedal. El entorno de dichos humedales corresponde normalmente a áreas de cultivos agrícolas de hábitat disperso. Por su parte, los humedales interiores se caracterizan por la presencia de pastos y matorral arbustivo con importante vegetación arbórea en sus bordes. El entorno de estos humedales corresponde a viviendas y vialidad, que limitan directamente con el humedal (Municipalidad de Valdivia, 2011) (Figura 2).

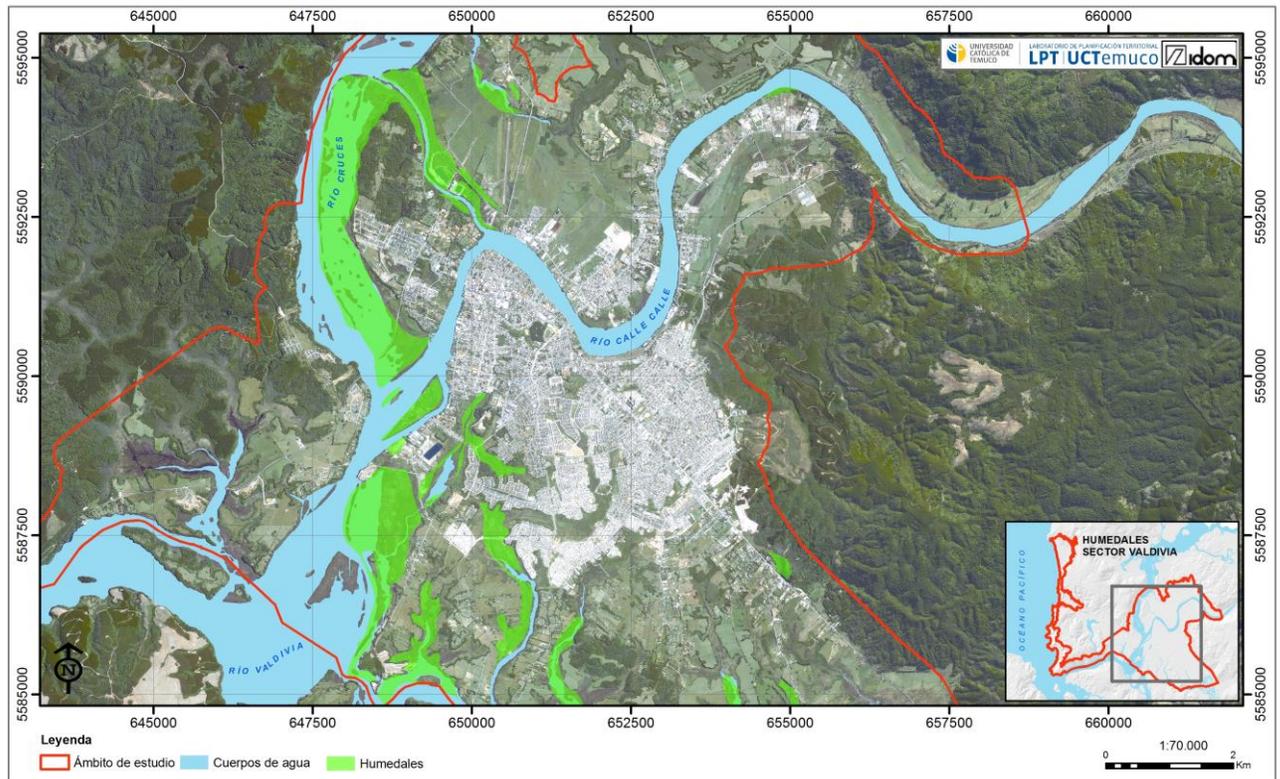


Figura 2. Humedales, sector Valdivia. Fuente: SERNAGEOMIN, 2002

A pesar de la importancia de los humedales urbanos o cercanos a la ciudad, tales como los presentes en Valdivia, éstos están constantemente expuestos a presiones antrópicas, especialmente por la expansión de las fronteras urbanas (Pauchard et al., 2005). Desde siglos es que las áreas de humedales de la ciudad de Valdivia se han ido rellenando formando terrazas y llanuras antropogénicas, como es el caso

del núcleo urbano tradicional de la ciudad (Weischet, 1960; Rojas, 2000). Actualmente se estima que los rellenos artificiales se incrementan anualmente 5 ha como mínimo y en la mayoría de los casos sobre el borde los humedales (Rojas, 2010). Esta situación no tan sólo constituye una amenaza sobre el estado ecológico de los humedales sino sobre la población por la inestabilidad sísmica que presentan, lo que ha sido demostrado por los desastres de los terremotos de 1960 y 2010 (Rojas 2000, 2010).

Durante el periodo 1992-2007 se identificó un incremento sustancial de los límites urbanos de Valdivia, en especial hacia las zonas sur y sur oriente de la ciudad, con un aumento de un 172% y 516.6% respectivamente, lo que ha significado una reducción de las áreas de humedales para el mismo periodo (Osorio, 2009). Este incremento constituye el principal motor de cambio de las condiciones de los humedales urbanos de Valdivia, ya que puede afectar en varios aspectos la hidrología de los humedales, incrementando la turbidez, el aporte de nutrientes, la presencia de metales pesados o contaminantes orgánicos, al tiempo que aumenta la Demanda Biológica de Oxígeno en directo detrimento de la calidad de las aguas. A esto se suman los efectos colaterales del aumento de la población, como el incremento de microbasurales en zonas periurbanas o quebradas, daño sobre la fauna silvestre por la presencia de animales domésticos, compactación del suelo y presencia de especies exóticas, vertimientos líquidos, entre otros (Paredes, 2010; Smith y Romero, 2009; Pauchard et al, 2006).

A pesar de la importancia de estos ecosistemas y le necesidad de contar con información respecto a su condición, existe una carencia de investigación sobre la condición de estos espacios, salvo en el caso del Santuario Carlos Anwandter, donde se vio incrementada a raíz del episodio del 2004. A pesar de este escenario, existen iniciativas locales lideradas principalmente por organizaciones de bases comunitarias destinadas al manejo y conservación de los humedales ubicados al interior del manto urbano (Skewes et al., 2012; ONG Biósfera, 2011; Paredes, 2010) y en particular para la recuperación del santuario del río Cruces (CONAF, 2006).

6 Anexo 6. Entrevistas

Tabla N° 1. Entrevista al Geógrafo Carlos Rojas

Nombre	Carlos Rojas Hopp
Profesión u oficio	Geógrafo, Magíster en Ciencias con mención en Recursos Hídricos
Dirección	Campus Sector Isla Teja
Institución	Universidad Austral de Chile
Experiencia	Geomorfología y Riesgos Naturales

La reunión con el entrevistado se realizó el día 18/12/13, en dependencias de la universidad Austral de Chile campus Isla teja.

La reunión agendada tenía por finalidad conversar y validar información de bases en temáticas de riesgos naturales, con el fin de delimitar de manera acabada los sitios de inundación histórica previamente identificados por el equipo LPT-UCtemuco.

Dentro de las principales conclusiones y acuerdo obtenido con el Mag. Carlos Rojas, se enuncian las siguientes:

- Se indica el alto valor que poseen los humedales como contenedores y amortiguadores de anegamientos.
- Se corrobora que el sector de los barrios bajos, las ánimas y Miraflores-las mulatas de manera recurrente se vieron afectadas por inundaciones por desborde cauce y anegamiento.
- Se indica la alta importancia de relevar el humedal ubicado en el centro de la ciudad y que actualmente se encuentra rellenado artificialmente, donde también se encuentran insertos locales comerciales.
- Se indica que edificios emblemáticos de la ciudad posterior al terremoto y tsunami de 1960 deben ser drenadas con bomba de agua.
- Se corrobora que en el sector de las canteras se extraía material parental para la construcción de fortificaciones españolas y para la construcción de espigones.

Tabla N° 2. Entrevista a la arquitecto Virginia Vázquez

Nombre	Dr. Virginia Vázquez
Profesión u oficio	Arquitecto
Dirección	Campus Sector Isla Teja
Institución	Universidad Austral de Chile
Experiencia	Ciudad y Riesgos Naturales

La reunión con el entrevistado se realizó el día 10/01/14, en dependencias de la Universidad Austral de Chile Campus Isla Teja.

La reunión agendada tenía por finalidad conversar y validar información de bases en temáticas de vulnerabilidad de la infraestructura de la comuna de Valdivia, con la finalidad de identificar ciertos aspectos asociadas a la amenaza histórica y comportamiento de las estructuras frente a eventos extremos y recurrente como son terremotos e inundaciones respectivamente, los sitios que presentan vulnerabilidad estructural, social y funcional fueron realizadas previamente identificados por el equipo LPT-UCtemuco.

Dentro de las principales conclusiones y acuerdos obtenido con la Dra. Vázquez se enuncian las siguientes:

- Se establecen la importancia de incorporar los sitios que considera el diagnostico de patrimonio cultural de la Región de los Ríos, dado que esta base de datos posee las principales características de las infraestructura (tipo de construcción, año, materialidad, entre otras).
- Se consulta sobre su conocimiento frente a los eventos sísmicos e inundaciones en Valdivia, donde básicamente se validaron sectores inundados en Valdivia.
- Se consulta como se realizó el estudio de microzonificación de resistencia sísmica en la ciudad de Valdivia, estudio que es dirigido por el Dr. Galo Valdevenito.
- Se entregan nombres claves para contactar en el área histórica e ingenieril.
- Se validan infraestructuras importantes y se indican otras no que habían sido consideradas.

Tabla N° 3. Entrevista a Ricardo Almonacid profesional ONEMI

Nombre	Ricardo Almonacid
Profesión u oficio	Profesional ONEMI /Bombero
Dirección	Caupolicán 139, Valdivia
Institución	Oficina Nacional de Emergencia
Experiencia	Emergencias, protección civil y riesgos Naturales

La reunión con el entrevistado se realizó el día 03/01/14, en dependencias de la Oficina Nacional de emergencia.

La reunión agendada tenía por finalidad conversar y validar información de bases en temáticas de riesgos naturales y emergencias de la región de los ríos y comuna de Valdivia, con la finalidad de identificar ciertos aspectos asociadas a la amenaza histórica y comportamiento de las instituciones vinculas a los riesgos naturales frente a eventos extremos y recurrente como son terremotos e inundaciones respectivamente, los sitio que presentan amenazas realizadas previamente identificados por el equipo LPT-UCTemuco.

Dentro de las principales conclusiones y acuerdos obtenido con la el Sr. Almonacid.se enuncian las siguientes:

- Se validan sitios que han tenido amenazas históricas.
- La ONEMI comparte información asociada a registros históricos de amenazas a nivel regional desde el año 2011-2013, que vincula a las instituciones involucradas en la emergencia.
- La ONEMI indica que ellos no poseen mayores antecedentes de eventos en época anterior al 2007, dado que es pertenecen a datos que se encuentran en la región de los lagos.
- Se indica la reconversión que ha tenido la institución desde el terremoto del 2010, donde la Onemi regional de Valdivia fue la primera dirección en instaurar los turnos 24/7, situación que vio incrementada el número de profesional técnico de emergencia.
- Se indica que los Profesionales de ONEMI están Trabajando en conjunto con instituciones públicas y privadas en la preparación frente a emergencias realizando capacitaciones en establecimientos educaciones fomentando el autocuidado y el fortalecimiento de los planes de emergencia.
- Se establece que la ONEMI posee una estrecha relación con los organismos vinculados a la emergencia, los cuales se articulan en caso de la ocurrencia de un evento.
- Se conversa sobre los eventos de remoción en masa ocurridos en el sector de las



canteras en Niebla.

7 Anexo 7. Recomendaciones ante restricciones de eventos naturales

Se realizó un análisis integrado, a través de una agregación de todos los análisis elaborados de inundación, sismicidad, remoción en masa, etc., estableciéndose distintas categorías según la intensidad de cada uno de estos tipos de eventos.

Tabla N°1. Matriz de categorización de tipos de amenazas frente a la expansión urbana.

N°	Categorías	Tipo de amenaza	Situación actual	Recomendación o estrategia	OBSERVACIONES
1	Restricción absoluta (Amenaza sísmica + Inundación o deslizamiento)	Inundación histórica por Tsunami	Zonas construidas	¿Erradicación?	
			Zonas no construidas	No edificables	
		Frecuencia de Inundación (10 años) y sismicidad (alta y muy alta)	Zonas construidas	¿Erradicación?	
			Zonas no construidas	No edificables	
		Deslizamientos pendientes >35°	Zonas construidas	¿Erradicación?	
			Zonas no construidas	No edificables	
2	Restricción Muy Fuerte	Susceptibilidad máxima de inundación	Construida	Mitigación	
			No construida	No edificable	
		Sismicidad (alta y muy alta)	Construida	Protocolos de emergencia	
			No construida	No edificable o con medidas extraordinarias	
		Deslizamientos pendientes 15° - 35°	Zonas construidas	¿Erradicación?	
			Zonas no construidas	No edificables	
Flujos: Zona de amortiguación	Zonas construidas	¿Erradicación?			
	Zonas no construidas	No edificable o con medidas extraordinarias			
3	Restricción Fuerte	Sismicidad (media)	Construida	Protocolos de emergencia	
			No construida	Edificable o con medidas extraordinarias (estructurales y funcionales)	
4	Restricción Media o Baja	Anegamiento	Construida	Mitigación (pavimento, drenajes, etc)	
			No construida	Zona esponja (no edificable)	
5	Restricción débil o sin restricción	Amenaza débil o inexistente de inundación, sismicidad o deslizamiento	Construida	Densificación	Ubicación preferente de los edificios destinados a servicios y equipamientos sociales o de emergencia
			No construida	Edificables sin limitaciones	

En la figura N°1 se observa la categoría de restricción absoluta, la cual considera áreas de inundación de recurrencia de diez años más las áreas de alta respuesta sísmica y de inestabilidad de laderas considerando principalmente laderas de más de 35° de pendiente. Se señala en esta misma figura, que la mayor parte de la superficie que concentra esta categoría es la ciudad de Valdivia, se señalan específicamente para estas los sectores de las Mulatas y sectores de las Ánimas e Isla Tejas pero áreas asociadas específicamente a las riberas del río Calle-Calle (figura N°2).

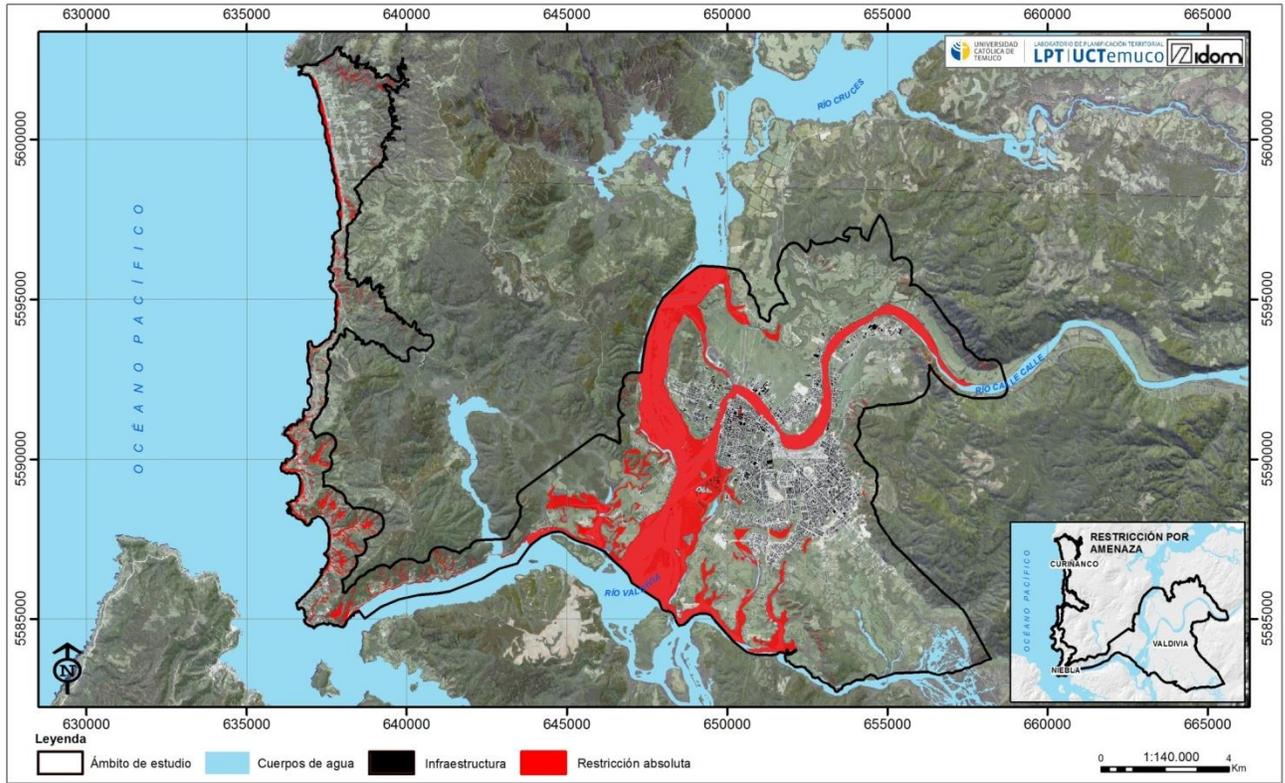


Figura N° 1. Carta de áreas de restricción absoluta. Fuente: LPT-UCT 2014

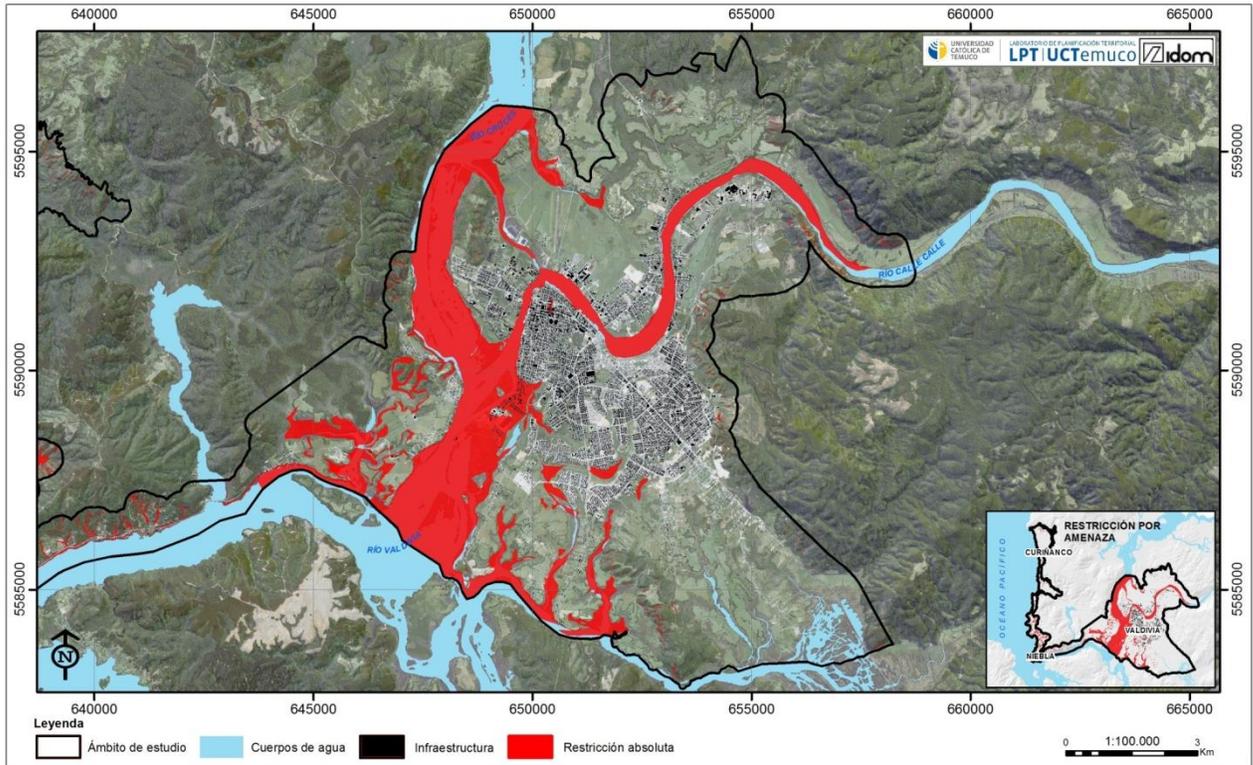


Figura N° 2. Carta de áreas de restricción absoluta, Ciudad de Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014

En la figura N°3 se observa que existe restricción absoluta principalmente por deslizamientos y flujos, en las áreas señaladas en rojo, lo cual se ve validado por los registros señalados en este informe en el acápite de análisis histórico

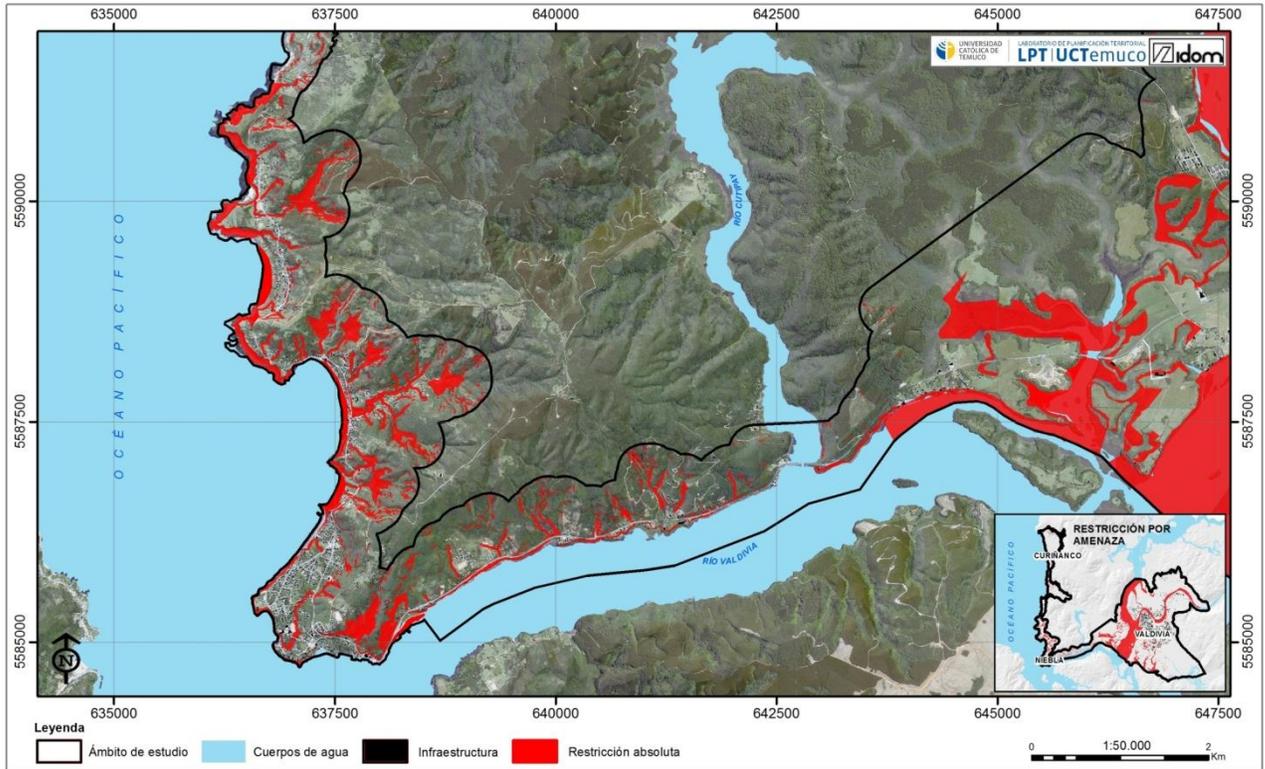


Figura N° 3. Carta de áreas de restricción absoluta, Camino Valdivia - Curiñanco. Fuente: LPT-UCT 2014

En cuanto a restricciones fuertes, en el contexto de riesgo, se observa que gran parte de la superficie es abarcada por esta restricción, la cual incluye, la fragilidad del territorio frente a eventos de inundación, sismicidad y se consideran las pendientes entre 15° a 35° (Figura N°4).

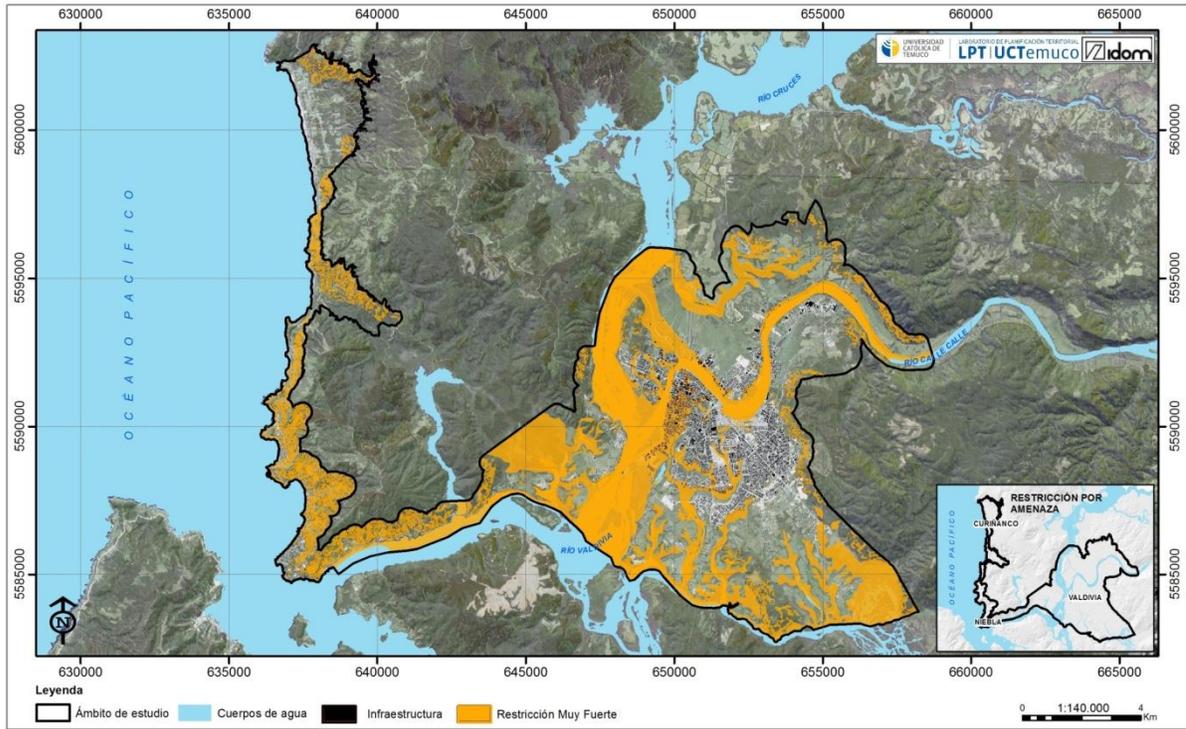


Figura N° 4. Carta de áreas de restricción muy fuerte, Camino Valdivia - Curiñanco. Fuente: LPT-UCT

En el caso de la restricción fuerte, esta se encuentra principalmente en la ciudad de Valdivia, esto porque gran superficie que cubre esta categoría se asocia a la respuesta sísmica, es decir estos suelos poco cohesionados producto de un patrón geológico asociado a depósitos recientes (figura N°5).

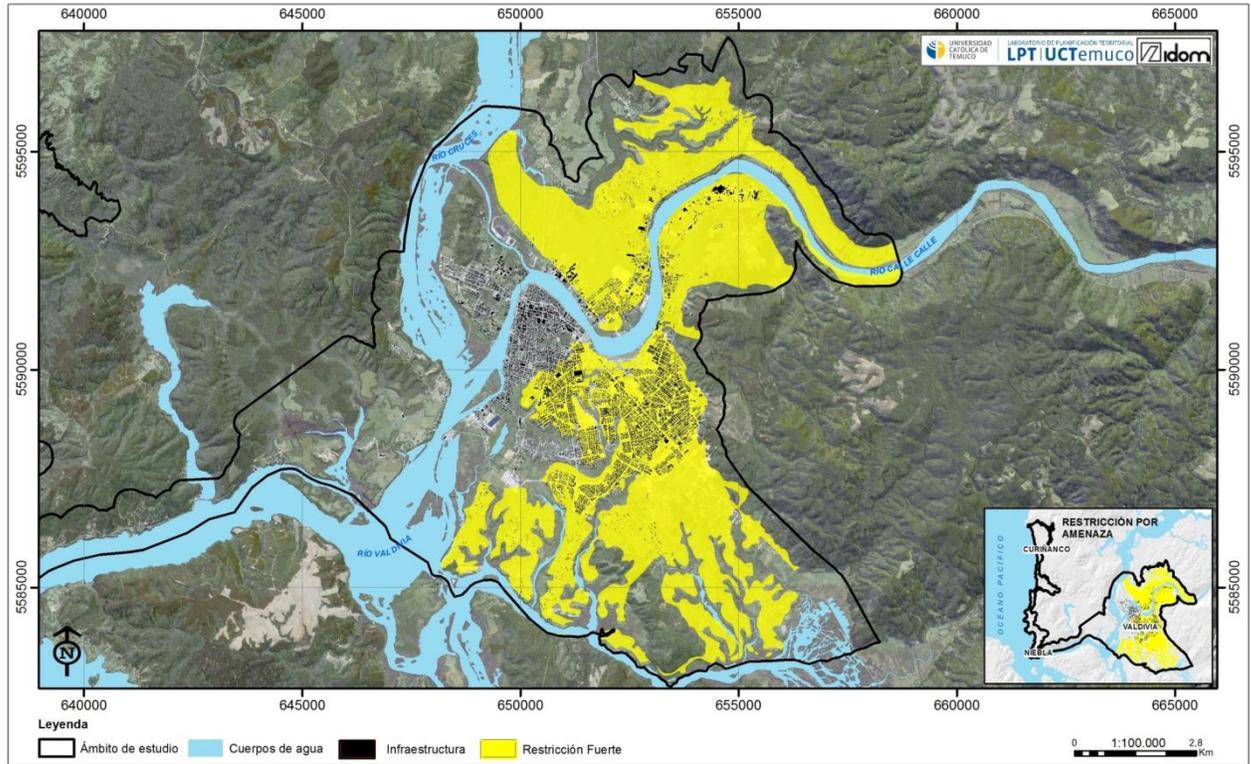


Figura N° 5. Carta de áreas de restricción fuerte, ciudad de Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014

En el caso de la categoría de restricción media a baja, también cubre una mayor superficie en la ciudad de Valdivia, ya que se asocia a las áreas susceptibles de presentar anegamientos. Se clasifica en esta categoría, ya que este tipo de proceso a pesar de presentarse con mayor frecuencia no genera mayores daños ni genera pérdidas humanas en esta localidad.

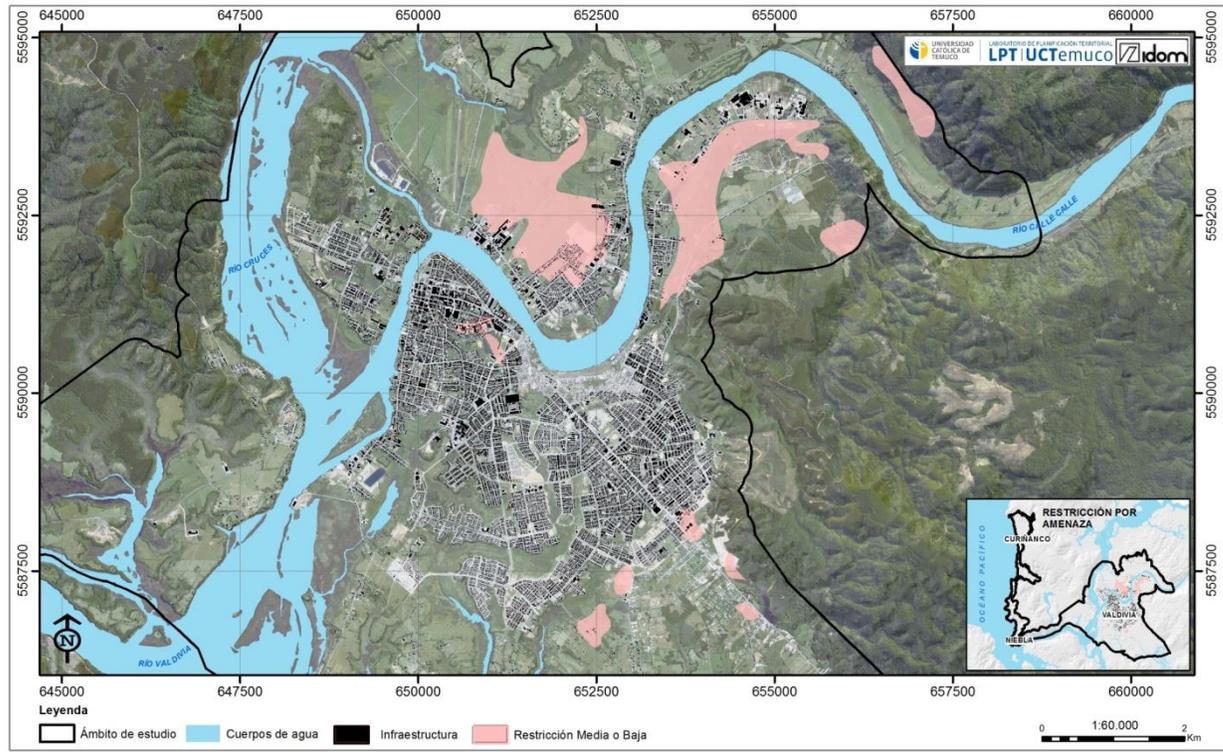


Figura N° 6. Carta de áreas de restricción media a baja, ciudad de Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014

Finalmente en la figura N°7, se muestra la síntesis de las áreas anteriormente descritas, en ella es importante observar las áreas que no presentan restricción por amenaza natural, se observa que el sector de Isla Teja, presenta la mayor superficie sin restricción.

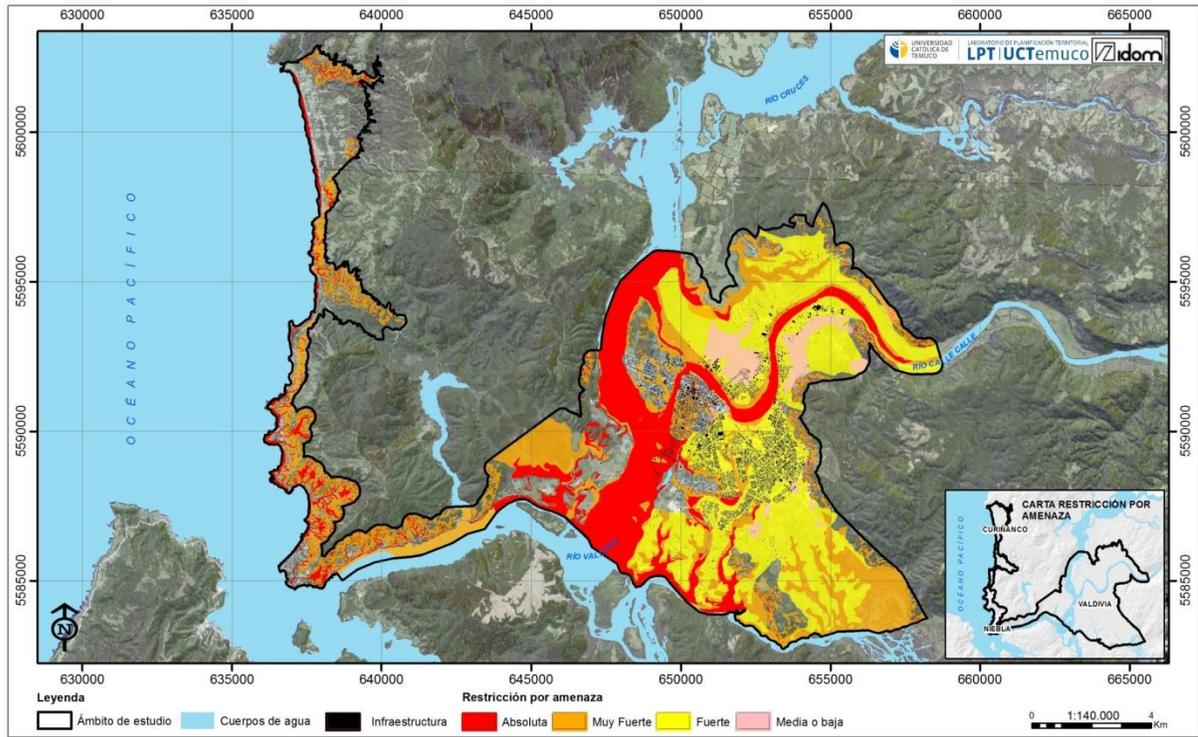


Figura N° 7. Carta síntesis de áreas de restricción media a baja, ciudad de Valdivia. Fuente: LPT-UCT 2014.

Anexo 8. Bibliografía

- Albritton R. 2001. Technical Summary, Box 2: What causes sea level to change? In: IPCC TAR WG1-2001.
- Alvarado Coello, A. 2013. "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". Tesis Doctoral. Universidad Austral de Chile, Valdivia
- Arenas M.; Jara, C.; Milovic, J.; Pérez, Y.; Troncoso, R.; Behlau, J.; Hanisch J.; Helms. 2002. Geología para el Ordenamiento Territorial: área Valdivia, Región de Los Lagos., F. 71 p., 6 mapas escala 1:100.000 y 1 mapa escala 1:25.000.
- Atienza M. & Aroca P. Concentración y crecimiento en Chile: una relación negativa ignorada. EURE, 38(114): 257-277.
- Ayala-Carcedo & Olcina C. 2002. Riesgos Naturales. Editorial Ariel. España. 1512 páginas.
- Barton J. 2009. Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. Revista Geográfica Norte Grande, 43: 5-30.
- Barriandos, M. & Pomes, 1993. J. L'aigua a Mataró. Inundacions i recursos hídrics (Segles XVIII-XX). Mataró: Caixa d'Estalvis Laietana,
- Biosfera ONG. 2011. Proyecto Reservas Naturales Urbanas de Valdivia. Iniciativa financiada por el Fondo de Protección Ambiental del ministerio de Medio Ambiente. Disponible en: <<http://rnuvaldivia.wordpress.com/>>
- CEPAL. 2012. La economía del cambio climático en Chile. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile. 367 pp.
- Church, J. & N. White. 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. Geophysical Research Letters 33: L01602. doi:10.1029/2005GL024826. L01602.
- Church, J. & N. White. 2011. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. Surv. Geophys. 32:585-602.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2006. Plan Integral de Gestión Ambiental del Humedal de Río Cruces. Ministerio de Agricultura. Disponible en: <http://www.conaf.cl/cms/editorweb/rio_cruces/PIGA_resumen.pdf>
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), [UACH] Universidad Austral de Chile. 2005. Estudio sobre origen de mortalidad y disminución poblacional de aves acuáticas en el santuario de la naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de Valdivia. Disponible en: <http://www.sinia.cl/1292/articles-31665_segundoinformeCisnes.pdf>
- Constanza R.; Arge R.; De Groot R.; Farber S.; Grasso M.; Hannon K.; Naeem S.; O'Neill R.; Paruelo J.; Raskin R.; Sutton P.; Van Den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387: 253-260.
- Diario austral de Valdivia. 1960. Edificación de Valdivia convertida en ruinas. 30 Mayo 1960.
- El Navegable 2013. Alcalde Sabat pidió celeridad al gobierno ante los riesgos en canteras de la comuna. 17 de enero 2013. Link: <http://www.elnavegable.cl/noticia/sociedad/alcalde-sabat-pidio-celeridad-al-gobierno-ante-los-riesgos-en-canteras-de-la-comuna>.

Falvey M. & Garreaud R. 2009: Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the SE Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *J. Geophys. Res.*, 114, D04102, doi:10.1029/2008JD010519.

Fundación Kennedy. 2013. Sitios Ramsar en Chile. Lista actualizada. Disponible en: <http://www.fundacionkennedy.cl/noticias2011/noticia_04_%2828-03-2011%29.htm>

Gobierno Regional de Los Ríos (GORE). En ejecución. Plan Regional de Ordenamiento Territorial de Los Ríos.

Gonzalez-Reyes A. & Muñoz A. 2013. Cambios en la precipitación de la ciudad de Valdivia (Chile) durante los últimos 150 años. *BOSQUE* 34(2): 191-200.

Gordon et al., 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*; Feb2000, Vol. 16 Issue 2/3, p147

Gregory J. 2006. Changes in sea level. Talk, CGAM and Hadley Centre, UK.

Guarda G. 1998. Nueva Historia de Valdivia. Ediciones Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Hauenstein E.; Gonzalez M.; Peña-Cortés F.; Muñoz-Pedrero A. 2002. Clasificación y caracterización de la flora y vegetación de los humedales de la costa de Toltén (IX región, Chile). *Gayana Botánica*, 59(2): 91-104.

Hegerl, A. 2007. Understanding and Attributing Climate Change, in IPCC AR4 WG1 2007, Chapter 9.

Heusser C. 1974. Vegetation and climate of the southern Chilean lake district during and since the last interglaciation. *Quaternary Research*, 4 (3): 290-315.

Historia de Valdivia. 2009. Tromba marina 1881. 8 de mayo 2009. Link: <http://historiadevaldivia.blogspot.com/2009/05/tromba-marina-de-1881.html>

IPCC. 2007 (Intergovernmental Panel for Climate Change). Cambio climático 2007 informe de síntesis. ISBN: 92-9169-413-4

IPCC. 2000 (Intergovernmental Panel for Climate Change). Escenarios de emisiones. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. ISBN: 92-9169-413-4

Janssen R.; Goosen H.; Verhoeven M.; Verhoeven J.; Omtzigt A.; Maltby E. 2005. Decision support for integrated wetland management. *Environmental Modelling & Software* 20: 215-229.

Jogo W.; Hassan R. 2010. Balancing the use of wetlands for economic well-being and ecological security: The case of the Limpopo wetland in southern Africa. *Ecological Economics*, 69: 1569-1579.

Jonkman S.N.; Bockarjova M. and ... [et al.] (2008) Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. In: *Ecological economics : the transdisciplinary journal of the International Society for Ecological Economics* , 66 (2008)1 pp. 77-90.

Kanamori H. 1977. The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.* 82 (20): 2981–2876. Link descarga: 1977JGR....82.2981K. doi:10.1029/JB082i020p02981

Kuo C.Y. 2006. Determination and Characterization of 20th Century Global Sea Level Rise. Ohio State University Report No. 478.

Kusch A.; Cárcamo J.; Gómez H. 2008. Aves Acuáticas en el humedal urbano de Tres Puentes, Punta Arenas (53° S), Chile Austral. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 36(2): 45-51

Lomnitz C.1970. Major earthquakes and tsunamis Chile during the period 1535 to 1955. *Geologische rundschaue* 59:938-960.

Mardones M. & Vidal C. 2001. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. EURE (Santiago) [online]. Vol.27, n.81, pp. 97-122. ISSN 0250-7161.

Ministerio de Educación. 1981. D.S. 2734 que declara Santuario de la Naturaleza la zona húmeda de los alrededores de la ciudad de Valdivia. Disponible en: < <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=265358>>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2006. Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica. Informe Final. Estudio elaborado por el Centro de Ecología Aplicada. Santiago.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2011. Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Estudio elaborado por el Centro de Ecología Aplicada. Santiago.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). 2012. Enfoque metodológico para evaluar la adaptación al cambio climático en la infraestructura pública del MOP. 87 pp.

Möler P. 2008. Caracterización y estado de conservación de un humedal urbano en la ciudad de Valdivia, Sur de Chile. *Gestión Ambiental*, 15:53-65.

Moreno M.; Melnick D.; Rosenau M.; Bolte J.; Klotz J.; Echtler H.; Baez J.; Bataille K.; Chen J.; Bevis M.; Hase, H.; Oncken O. 2011. Heterogeneous plate locking in the South-Central Chile subduction zone: Building up the next great earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 305, 3-4, 413-424.

Mulsow S., Grandjean M. 2006. Incompatibility of sulphate compounds and soluble bicarbonate salts in the Rio Cruces waters: an answer to the disappearance of *Egeria densa* and black-necked swans in a RAMSAR sanctuary. *Ethics in science and environmental politics*. 5-11.

Municipalidad de Valdivia. 2011. Actualización Plan de Desarrollo Comunal de Valdivia, 2011-2014. Capítulo 1. Parte B: Diagnóstico Sectorial. Estudio elaborado por Consistorial Consultores.

Muñoz-Pedrerros A. & Quintana J. 2010. Evaluación de fauna silvestre para uso ecoturístico en humedales del río Cruces, sitio RAMSAR de Chile. *Interciencia*, 35(10): 730-738.

Nicholls, R. & Cazenave A. 2010. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science Magazine* 328 (5985): 1517–1520.

NOAA 2013 (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2013 update to data originally published in: NOAA. 2001. Sea level variations of the United States 1854–1999. NOAA Technical Report NOS CO-OPS 36.

NRCNA, 2010 (National Research Council of the National Academies). *Sea Level Rise and the Coastal Environment. Advancing the Science of Climate Change*. Washington, D.C.: The National Academies Press. p. 245. ISBN 978-0-309-14588-6.

Olcina .C & Ayala-Carcedo 2007. Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación. IGME, España-280 páginas.

Oporto R. 2006. Estudio de fenómenos de remoción en masa sector niebla-san ignacio comuna de Valdivia xª Región. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmficio.61e/doc/bmficio.61e.pdf>.

Orosio C. Impacto del crecimiento urbano en el medio ambiente del humedal de Valdivia 1992-2007. Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica de Chile

Palma-Fleming H., Foitzick M., Palma-Larrea X., Quiroz-Reyes E. 2013. The Fate of α -Pinene in Sediments of a Wetland Polluted by Bleached Pulp Mill Effluent: Is It a New Clue on the "Carlos Anwandter" Nature Sanctuary Wetland Case, Valdivia, South of Chile?. *Water, Air and Soil Pollution*, 24(10): 1-11.

Paredes D. 2010. Determinación de amenazas en humedales urbanos: Estudio de tres Humedales de Valdivia, Chile. Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile.

Pauchar A.; Aguayo M.; Peña M.; Urrutia R. 2006. Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biological Conservation*, 127 (3): 272-281.

Peña-Cortés F.; Gutiérrez P.; Rebolledo G.; Escalona M.; Hauenstein E., Bertrán C.; Schlatter R.; Tapia J. 2006. Determinación del nivel de antropización de humedales como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del lago Budi, IX Región de La Araucanía, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 36: 75-91.

Pino M. 2003. Last Interglacial volcanic sediments at the coast of Valdivia, South of Chile. *Sediment* 2003. *Terra Nostra Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung* 03/3: 52-53. Wilhelmshaven, Germany.

Pope et al., 2000. The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model—HadAM3. *Clim. Dynam.* 16, 123–146. 10

Radio Bio Bio on line. 2013. Derrumbe mantiene cortada la ruta que une Valdivia y niebla. <http://www.biobiochile.cl/2013/06/02/derrumbe-mantiene-cortada-ruta-t-350-que-une-valdivia-y-niebla.shtml>

Ramírez C.; San Martín C.; Medina R.; Contreras D. 1991. Estudio de la flora hidrófila del santuario de la naturaleza “ Río cruces” (Valdivia, Chile). *Gayana Botánica*, 48 (1-4): 67-80.

Rahmstorf S. 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315, 368-370.

Revista Ercilla 1960. La ciudad sumergida. 1960. Santiago. Chile 17 de Junio 1960.

Revista Ercilla. 1960. Dolor y luto de Chile.1960.- Santiago. Chile. 25 de Mayo 1960.

Revista Ercilla. La epopeya del Riñihue.1960 Santiago de Chile.15 de Junio 1960.

Rojas C. 2010. Valdivia 1960: Entre Aguas y Escombros. Ediciones universidad Austral de Chile.

Rojas C. 2002. Genesis y manifestaciones de las inundaciones en el sur de Chile. El caso de la comuna de Valdivia durante el siglo XX.

Rojas C. 2002. zonificación y evaluación de áreas de amenazas de inundación en la ciudad de Valdivia. Tesis para optar al grado de Magister en ciencias mención en recursos hídricos. Escuela de Graduador. Facultad de ciencias. Universidad Austral de Chile. 246 pp.

Rojas, C. 2000. Los riesgos naturales en la ciudad de Valdivia, Chile. Importancia de los factores físicos en la evaluación de la vulnerabilidad. Seminario Taller Internacional La ciudad intermedia sustentable. 20-22 de septiembre, Universidad Nacional de Piura, Perú.

RAMSAR. 2008. Humedales y Urbanización. Resolución X. 27 de la décima conferencia

RAMSAR. 2012. Principios para la planificación y el manejo de los humedales urbanos y periurbanos. Resolución XI. 11 de la undécima conferencia.

Rubilar, H. 2002. Estudios de los humedales urbanos de la ciudad de Valdivia. Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile.

Shang E. & Bai. W. 2012. A review on the studies of wetland vulnerability assessment. *Wetland Science*, 10(3): 378-384.

Sismología Universidad de Chile. 2013. Registro de sismos y terremotos con magnitud superior a 7.0. Revisado 25 de noviembre 2013. Link: www.sismologia.cl.

- Skewes J.; Rehbein R.; Mancilla C. 2012. Ciudadanía y sustentabilidad ambiental en la ciudad: la recuperación del humedal Angachilla y la organización local en la Villa Claro de Luna, Valdivia, Chile. EURE, 38 (113): 127-145.
- Smith P. & Romero H. 2009. Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. Revista de Geografía Norte Grande, 43: 81-93.
- Titus J. & Narayanan V. 1996: The risk of sea level rise, Climatic Change, 33, 151-212.
- Titus J. E.; Anderson D.; Cahoon S.; Gill R. Thielier.; Williams J. 2009. Coastal sensitivity to sea-level rise: A focus on the Mid-Atlantic region. U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research.
- Universidad de Chile, 2006. Estudio de Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XXI. Encargado y Financiado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)
- Vellinga P., 2009. Exploring high-end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands. International Scientific Assessment carried out at the request of the Delta Committee (KNMI).
- Wang, E.; Hu, Y.; Bevis, M.; Kendrick, E.; Smalle, R.; Barriga, R.; Lauría, E., 2007, Crustal motion in the zone of the 1960 Chile earthquake: Detangling earthquake-cycle deformation and forearc-sliver translation G-Cubed, Vol. 8.
- WBGU, 2006 (German Advisory Council on Global Change). The Future Oceans - Warming Up, Rising High, Turning Sour. WBGU, Berlin.
- Weischet, W. 1960. Contribución al estudio de las transformaciones geográficas de la parte septentrional del sur de Chile por efecto del sismo del 22 de mayo de 1960. Anales de la facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 17: 95-128
- Zedler J. 2003. Wetlands at your service: reducing impacts of agriculture at the watershed scale. Front Ecol Environ 1(2):65-72.

Anexo 9. Tablas de Síntesis de Vulnerabilidad

AMENAZA SISMICA: PORCENTAJES POR NIVELES PARA ÁREAS URBANAS CONSTRUIDAS

EXPOSICIÓN SISMICA						
	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	TOTAL
VALDIVIA: PORCENTAJE SOBRE TOTAL DE ÁREAS CONSTRUIDAS	18%	11%	56%	15%	0%	100%
VALDIVIA: SUPERFICIE CONSTRUÍDA EN HA	354,6	206,3	1092,2	299,3	8	1960,4

VULNERABILIDAD MATERIAL				
	ALTA	MEDIA	BAJA	TOTAL
VALDIVIA: PORCENTAJE SOBRE TOTAL DE ÁREAS CONSTRUIDAS	9%	66%	25%	100%
VALDIVIA: SUPERFICIE CONSTRUÍDA EN HA	180,5	1284,9	495	1960,4

VULNERABILIDAD HUMANA						
	MUY ALTA (>600 PERSONAS POR HA)	ALTA (401-600 PERSONAS POR HA)	MEDIA (201-400 PERSONAS POR HA)	BAJA (101-200 PERSONAS POR HA)	MUY BAJA (0-100 PERSONAS POR HA)	TOTAL
VALDIVIA: PORCENTAJE SOBRE TOTAL DE ÁREAS CONSTRUIDAS	0%	0%	8%	20%	72%	100%
VALDIVIA: SUPERFICIE CONSTRUÍDA EN HA	0,6	8,5	147,5	390,4	1413,4	1960,4

AMENAZA SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIÓN FLUVIAL. PORCENTAJES POR NIVELES PARA ÁREAS URBANAS CONSTRUIDAS

SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN					
	ALTA	MEDIA	BAJA	NULA	TOTAL
VALDIVIA: PORCENTAJE SOBRE TOTAL DE ÁREAS CONSTRUIDAS	0%	12%	14%	74%	100%
VALDIVIA: SUPERFICIE CONSTRUÍDA EN HA	5,6	231	274	1449,8	1960,4

VULNERABILIDAD MATERIAL			
ALTA	MEDIA	BAJA	TOTAL
1%	55%	44%	100%
18	1087	855,4	1960,4

VULNERABILIDAD HUMANA INUNDACIÓN			
ALTA	MEDIA	BAJA	TOTAL
1%	29%	70%	100%
13,3	567	1380,1	1960,4

TABLA DE SÍNTESIS DE VULNERABILIDAD DE INFRAESTRUCTURA CRÍTICA

INFRAESTRUCTURAS	AMENAZA GEOFÍSICA			AMENAZA HIDROMETEOROLÓGICA			OBSERVACIONES	COSTE DE REPOSICIÓN en \$
	EXPOSICIÓN	VULNERABILIDAD MATERIAL	RIESGO	EXPOSICIÓN	VULNERABILIDAD MATERIAL	RIESGO		
DE TRANSPORTE								
PUENTE PEDRO DE VALDIVIA	ALTA	BAJA	MEDIO	ALTA	BAJA	BAJO	El mayor riesgo correspondería con un sismo de alta intensidad	No evaluado
PUENTE CALLE CALLE	ALTA	BAJA	MEDIO	ALTA	BAJA	BAJO	El mayor riesgo correspondería con un sismo de alta intensidad	No evaluado
PUENTE CRUCES	ALTA	BAJA	MEDIO	ALTA	BAJA	BAJO	El mayor riesgo correspondería con un sismo de alta intensidad	No evaluado
AVENIDA PEDRO AGUIRRE CERDÁ	ALTA	BAJA	MEDIO	MEDIA	BAJA	MEDIO	La avenida presenta susceptibilidad a fenómenos de anegamiento por lluvias	No evaluado
AVENIDA COSTANERA A. PRAT	ALTA	BAJA	MEDIO	ALTA	BAJA	MEDIO	La Costanera tiene diversos puntos conflictivos. Por inundación en la zona del casino. Por terremoto frente al muelle Schuster	No evaluado
CIRCUNVALACIÓN SUR	MEDIA	BAJA	BAJO	MEDIA	BAJA	BAJO	La C. S. tiene un punto conflictivo por inundación donde cruza con el humedal Krammer	No evaluado
AVENIDA RAMÓN PICARTE	BAJA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	No está expuesta a riesgos	No evaluado
CARRETERA VALDIVIA-NIEBLA-CURIÑANCO	ALTA	MEDIA	ALTO	BAJA	BAJA	BAJO	Presenta una alta vulnerabilidad y consecuentemente un alto riesgo frente a remoción en masa en diversos puntos principalmente entre valdivia y Niebla. Ya que además carece de obras de	No evaluado
TERMINAL DE BUSES	MEDIA	MEDIA	MEDIO	MEDIA	BAJA	BAJO	La terminal de bus se encuentra en una zona potencialmente inundable y podría además verse afectada por un evento sísmico	No evaluado
AERÓDROMO LAS MARÍAS	MEDIA	BAJA	BAJO	MEDIA	BAJA	BAJO	El área del Aérodromo podría verse afectado por anegamientos en periodos de lluvias intensas; sin embargo dispone de infraestructuras de evacuación de aguas de lluvia	No evaluado
MUELLE SCHUSTER	ALTA	BAJA	MEDIO	ALTA	BAJA	MEDIO	Se trata de infraestructuras que debido a su alta exposición a inundación y a sismo, tienen un riesgo medio, pese a la calidad de sus estructuras	No evaluado
MUELLE LAS MULATAS	ALTA	BAJA	MEDIO	ALTA	BAJA	MEDIO	Se trata de infraestructuras que debido a su alta exposición a inundación y a sismo, tienen un riesgo medio, pese a la calidad de sus estructuras	No evaluado
EMBARCADERO DE NIEBLA	MEDIA	BAJA	BAJO	MEDIA	BAJA	MEDIO	Podría verse afectada por marejadas, tsunamis o efectos de sismo	No evaluado
DE COMUNICACIONES								
ANTENAS DE TELEFONÍA URBANAS	VARIAS	MEDIA	MEDIO	VARIAS	BAJA	BAJO	La mayor vulnerabilidad de estas estructuras tiene que ver con su respuesta ante un evento sísmico	No evaluado
ANTENAS Y REPETIDORES FILUM	BAJA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	Se encuentran ubicadas en un área con baja exposición a amenazas naturales	No evaluado
SEDES DE LOS PRINCIPALES SERVICIOS DE SEGURIDAD								
CARABINEROS, C/ BEAUCHEF	MEDIA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	Dispone de estructuras sismorresistentes y está escasamente expuesto	600.000.000 a 700.000.000
CARABINEROS, NIEBLA	BAJA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	Dispone de estructuras sismorresistentes y está escasamente expuesto	120.000.000
BOMBEROS, C/ ALEMANIA	MEDIA	MEDIA	MEDIO	BAJA	MEDIA	BAJO	Edificio antiguo, condiciona una vulnerabilidad material media ante sismo	100.000.000

INFRAESTRUCTURAS	AMENAZA GEOFÍSICA			AMENAZA HIDROMETEOROLÓGICA			OBSERVACIONES	COSTE DE REPOSICIÓN en \$
	EXPOSICIÓN	VULNERABILIDAD MATERIAL	RIESGO	EXPOSICIÓN	VULNERABILIDAD MATERIAL	RIESGO		
SEDES DE LOS PRINCIPALES SERVICIOS DE GOBIERNO								
MUNICIPALIDAD	MEDIA	BAJA	BAJO	MEDIA	BAJA	BAJO	En general tanto la ubicación como la estructura material del edificio son adecuadas	1.700.000.000
GOBIERNO REGIONAL / INTENDENCIA	MEDIA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	En general tanto la ubicación como la estructura material del edificio son adecuadas	850.000.000
SEDE DE PRINCIPALES EDIFICIOS DE SALUD								
HOSPITAL REGIONAL	MEDIA	BAJA	MEDIO	BAJA	BAJA	BAJO	En general tanto la ubicación como la estructura material del edificio son adecuadas, aunque existen edificios antiguos en el complejo	22.500.000.000
CLÍNICA ALEMANA VALDIVIA	ALTA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	En general tanto la ubicación como la estructura material del edificio son adecuadas	7.600.000.000
CENTRO DE SALUD LAS ÁNIMAS	ALTA	BAJA	MEDIO	BAJA	BAJA	BAJO	Sin observaciones relevantes	400.000.000
INFRAESTRUCTURAS								
SISTEMA DE AGUAS DE LLUVIA	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	Con la aplicación del reciente Plan Maestro de aguas lluvia, proporciona una respuesta instantánea adecuada, aunque es previsible la persistencia de problemas a largo plazo	No evaluado
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	MEDIA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	Bien ubicada al no estar expuesta a amenazas	No evaluado
TENDIDO ELÉCTRICO	VARIAS	MEDIA	ALTO	VARIAS	BAJA	MEDIO	El tendido aéreo es vulnerable a eventos sísmicos	No evaluado
DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLES, BENCINERAS	VARIAS	BAJA	BAJO	VARIAS	BAJA	BAJO	Se hallan regulados por reglamento específico frente a situaciones de emergencia	No evaluado
DEPÓSITOS DE GAS LICUADO	VARIAS	BAJA	BAJO	VARIAS	BAJA	BAJO	Se hallan regulados por reglamento específico frente a situaciones de emergencia	No evaluado
DEPURADORA DE AGUAS SERVIDAS	MEDIA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	Ubicada en sitio no expuesto a inundación	No evaluado
DEPÓSITO AÉREO R. PICARTE	MEDIA	MEDIA	MEDIO	BAJA	BAJA	BAJO	Infraestructura con riesgo medio ante eventos sísmicos	No evaluado
PRINCIPALES CENTROS EDUCATIVOS Y ESCOLARES								
UNIVERSIDAD AUSTRAL LA TEJA	MEDIA-ALTA	BAJA	MEDIO	BAJA	BAJA	BAJO	Pese a que algunos edificios de la universidad son antiguos y de una altura relevante, hay que considerar que las estructuras se han de asimilar en general con una buena respuesta frente a sismos	20.000.000.000 a 40.000.000.000
UNIVERSIDAD AUSTRAL MIRAFLORES	ALTA	BAJA	MEDIO	ALTA	BAJA	MEDIO	El campus se encuentra ubicado en una zona con alta vulnerabilidad a inundación y terremoto, lo que podría causar daños medios a las edificaciones	3.360.000.000
UNIVERSIDAD SAN SEBASTIÁN	ALTA	BAJA	MEDIO	ALTA	BAJA	MEDIO	El campus se encuentra ubicado en una zona con alta vulnerabilidad a inundación y terremoto, lo que podría causar daños medios a las edificaciones	2.700.000.000
ESCUELA LAS ÁNIMAS	ALTA	MEDIA	MEDIO	BAJA	BAJA	BAJO	Podría sufrir daños ante un evento sísmico fuerte	600.000.000
LICEO SANTA MARÍA	MEDIA	MEDIA	MEDIO	BAJA	BAJA	BAJO	Podría sufrir daños ante un evento sísmico fuerte	1.125.000.000
ESCUELA EL BOSQUE	ALTA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	Edificio recientemente reformado	1.000.000.000

INFRAESTRUCTURAS	AMENAZA GEOFÍSICA			AMENAZA HIDROMETEOROLÓGICA			OBSERVACIONES	COSTE DE REPOSICIÓN en \$
	EXPOSICIÓN	VULNERABILIDAD MATERIAL	RIESGO	EXPOSICIÓN	VULNERABILIDAD MATERIAL	RIESGO		
PATRIMONIO								
ZONA GENERAL PEDRO LAGOS	ALTA	MEDIA	ALTO	ALTA	MEDIA	ALTO	Edificios antiguos y con estructuras relativamente frágiles	No evaluado
TORREONES PICARTE Y CANELO	ALTA	MEDIA	ALTO	ALTA	MEDIA	ALTO	Estructuras teóricamente frágiles, aunque han resistido diversos eventos históricos	No evaluado
CASAS PATRIMONIALES ISLA TEJA	ALTA	MEDIA	ALTO	MEDIA	MEDIA	MEDIO	Estructuras teóricamente frágiles, aunque han resistido diversos eventos históricos	No evaluado
CONVENTO SAN FRANCISCO	MEDIA-ALTA	MEDIA	MEDIO	MEDIA	MEDIA	MEDIO	Estructuras teóricamente frágiles, aunque han resistido diversos eventos históricos	No evaluado
FUERTE DE NIEBLA	BAJA	BAJA	BAJO	BAJA	BAJA	BAJO	Ubicado en área no expuesta	No evaluado
NOTAS:								
* LA VULNERABILIDAD MATERIAL DE CADA INFRAESTRUCTURA SE EVALUÓ CONSIDERANDO COMO VARIABLES: LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL, LA ANTIGÜEDAD Y LA ALTURA, ASÍ COMO LAS OPINIONES DE AGENTES CLAVES CONSULTADOS								
* LA EVALUACIÓN DE LOS COSTES DE REPOSICIÓN SE HIZO A LOS PRINCIPALES EDIFICIOS, Y DEBE CONSIDERARSE ESTIMATIVA. NO SE EVALUARON INFRAESTRUCTURAS COMO CALLES O CARRETERAS, TENDIDOS ELÉCTRICOS, U OTRAS INFRAESTRUCTURAS BÁSICAS. EL COSTE FRENTE A EVENTOS DE ESTAS INFRAESTRUCTURAS SÍ ESTÁ CONTENIDO EN EL ESTUDIO, APARTADO DE CÁLCULO DEL RIESGO, CONSIDERADO DENTRO DEL TOTAL EVALUADO PARA CADA ESCENARIO CONTENIDO EN EL CÁLCULO ECONÓMICO DE PÉRDIDAS ESPERADAS								
* NO SE EVALUÓ IGUALMENTE A LOS BIENES DE TIPO PATRIMONIAL, DADA LA COMPLEJIDAD DE UNA CONSIDERACIÓN DE ESTE TIPO								
* LA VULNERABILIDAD HUMANA SE CUANTIFICA EN LA TABLA ADJUNTA SOBRE PORCENTAJES DE VULNERABILIDAD FRENTE AL TOTAL DE SUPERFICIE URBANA CONSTRUÍDA								