



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS
AMBIENTALES

GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES EN EL ÁREA URBANA DEL RÍO CHILLÁN

Habilitación presentada para optar al
título de

Ingeniero Ambiental



RODRIGO IGNACIO TRIPAILAF MARTÍ

CONCEPCION, Chile

2022

“Gestión del riesgo de inundación en el área urbana del río Chillán”

PROFESOR GUÍA: Dr. Octavio Rojas Vilches



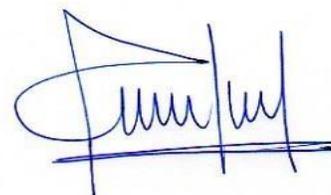
PROFESOR CO- GUÍA: Mg. Jorge Félez Bernal



PROFESOR COMISIÓN: Dra. Alejandra Sther Gesche



PROFESOR COMISIÓN: Dra. Carolina Arriagada Sickinger



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad: (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, agosto 2022

Por el desarrollo libre del espíritu

TABLA DE CONTENIDO	Página
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	viii
RESUMEN	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	7
3.1 Objetivos	7
3.1.1 Objetivo General	7
3.1.2 Objetivos Específicos	7
4. MARCO TEÓRICO	8
4.1. Riesgo	8
4.1.1 Definiciones de riesgos	8
4.1.2 Vulnerabilidad.....	9
4.1.3. Percepción	10
4.2. Inundaciones	11
4.3. Inundaciones en Chile.....	12
4.4. Percepción del riesgo de inundación.....	13
4.5. Gestión del riesgo de inundación	14
4.5.1 Medidas estructurales para la gestión del riesgo de inundación	16
4.5.2 Soluciones basadas en la Naturales para la gestión del riesgo de inundación	17
4.5.3 Medidas no estructurales para la gestión del riesgo de inundación	18
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
5.1 Área de estudio	19
5.2 Metodología en el área urbana del río Chillán.....	23
5.2.1 Objetivo 1: Determinar el riesgo y percepción por inundaciones a urbana del río Chillán	23

5.2.1.1 Riesgo de inundación	23
5.2.1.2 Percepción del riesgo de inundación.....	27
5.2.2 Objetivo 2: Contrastar los instrumentos y medidas de mitigación existentes con los niveles de peligro y riesgo identificados en el área.....	31
5.2.3 Objetivo 3: Establecer las barreras y limitantes para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza para la reducción del riesgo de inundaciones en el área urbana del río Chillán	34
6. RESULTADOS.....	36
6.1. Riesgo y Percepción de inundaciones.	36
6.1.1. Peligro	36
6.1.2. Vulnerabilidad.....	37
6.1.3. Riesgo	41
6.1.4. Percepción del riesgo de inundación.....	43
6.1.4.1 Encuesta	43
6.1.4.2 Percepción de los daños	47
6.1.4.3 Percepción del riesgo	49
6.1.4.4. Contraste de los niveles de riesgo con percepción	54
6.2. Contraste de instrumentos y medidas de mitigación con los niveles de peligro y riesgo identificados	55
6.3. Barreras y limitantes para la implementación de Soluciones basadas en la naturaleza en el área urbana del río Chillán	70
8.3.1. Encuesta a tomadores de decisión	70
7. Aporte a los Objetivos de Desarrollo Sostenible	76
8. CONCLUSIONES	77
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

ÍNDICE DE TABLAS	Página
Tabla 1. Tipos de Medidas estructurales para la gestión del riesgo de inundación	16
Tabla 2. Tipos de SbN para la gestión del riesgo de inundación.....	17
Tabla 3. Tipos de Medidas no estructurales para la gestión del riesgo de inundación.....	18
Tabla 4. Indicadores de vulnerabilidad, asociados al Censo del año 2017.	25
Tabla 5. Matriz de riesgo de inundación	26
Tabla 6. Secciones de la encuesta de percepción	27
Tabla 7. Encuestas realizadas en cada unidad de análisis.	31
Tabla 8. Registro de instrumentos y medidas existentes en el área urbana del río Chillán	33
Tabla 9. Secciones de la encuesta online a tomadores de decisión	34
Tabla 10. Listado de instituciones / organizaciones consideradas como actores claves.....	35
Tabla 11 Grupos etarios de los encuestados	45
Tabla 12. Nivel educacional de los encuestados	46
Tabla 13. Comparación de niveles de percepción del riesgo con años de residencia de los encuestados	50
Tabla 14. Resultados de la correlación del estadístico r de Pearson.....	51
Tabla 15. Cuadro resumen del contraste de instrumentos/medidas con los niveles de peligro y riesgo.....	69
Tabla 16. Sector al que pertenecen las instituciones/organizaciones encuestadas	70
Tabla 17. Indicadores usados para establecer las barreras para la implementación de SbN para la reducción del riesgo de inundación	74

ÍNDICE DE FIGURAS	Página
Figura 1. Enfoques para la Gestión del riesgo	15
Figura 2. Cartografía área de estudio.....	20
Figura 3. Registro de caudales máximos diarios en la estación fluviométrica río Chillán en camino a Confluencia.....	21
Figura 4. Unidades de análisis definidas para el área de estudio	29
Figura 5. Niveles de peligro asociados a un período de retorno de 100 años..	36
Figura 6. Niveles de vulnerabilidad según cada indicador	39
Figura 7. Niveles de vulnerabilidad total.....	40
Figura 8. Niveles de riesgo de inundación	42
Figura 9. Georreferencia de las encuestas aplicadas en el área de estudio	44
Figura 10. Georreferencia de los encuestados que declaran haber sufrido daños producto de inundaciones en su lugar de residencia junto con el promedio de años de residencia de cada unidad de análisis	48
Figura 11. Causas que considera más influyen para que una inundación por desborde de río sea más destructiva	49
Figura 12. Diagrama de dispersión para las variables años de residencia y percepción del riesgo	50
Figura 13. Valoración para cada unidad de análisis, sobre los tipos de impactos que se generarían en su lugar de residencia producto de inundaciones	51
Figura 14 Valoración promedio por unidades rurales y urbanas, sobre los tipos de impactos que se generarían en su lugar de residencia producto de inundaciones	52
Figura 15. Evaluación de los beneficios que generaría la implementación de la Canalización de un río, para reducir los efectos de las inundaciones	53
Figura 16. Contraste de niveles de riesgo y percepción.....	54
Figura 17. Área de aplicación del Plan Regional del Emergencia	55
Figura 18. Contraste de los niveles de peligro de inundación con la zonificación del PRICH.	57

Figura 19. Área de aplicación del Plan Comunal de Protección Civil – Chillán.....	59
Figura 20. Área de aplicación del Plan Comunal de Protección Civil – Chillán Viejo.....	61
Figura 21. Contraste de los niveles de peligro de inundación con la zonificación del PRCCH.....	63
Figura 22. Contraste de los niveles de riesgo de inundación con la zonificación del PRCHV	65
Figura 23. Contraste de los niveles de riesgo de inundación con las obras de Defensa Fluvial, en el sector el Emboque	67
Figura 24. Medidas de mitigación de inundación desarrolladas en el área urbana del río Chillán	71
Figura 25. Valoración de preguntas relacionadas al riesgo de inundación	72
Figura 26. Valoración de los tipos de beneficios obtenidos al implementar soluciones basadas en la naturaleza	73
Figura 27. Evaluación de los tipos de barreras por parte de las instituciones/organizaciones encuestadas	75
Figura 28. Importancia que deben en los próximos 50 años las siguientes medidas de mitigación para disminuir el riesgo de inundación.....	76



TESIS FINANCIADA MEDIANTE PROYECTO FONDECYT N° 1212032
“ESCENARIOS DE INUNDACIONES FLUVIALES EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO Y DE USO DE SUELO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL CENTRO-SUR DE CHILE: APORTES PARA UNA PLANIFICACIÓN URBANA SOSTENIBLE”

INVESTIGADOR RESPONSABLE DR. OCTAVIO ROJAS VILCHES



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer al profesor Dr. Octavio Rojas, por su confianza, compromiso y dedicación durante todo este proceso, aportando valiosos conocimientos para mi formación profesional y personal.

Agradezco también a los profesores M.sc Jorge Féléz, Dra. Alejandra Stehr y Dra. Carolina Arriagada quienes me brindaron su colaboración y consejos en el desarrollo de la investigación.

A mi familia, padres, hermano, abuelos, tíos, primos y amigos que siempre han estado presentes en cada paso de mi formación, acompañándome y motivándome en todo momento.

RESUMEN

Las inundaciones fluviales son uno de los desastres socionaturales más recurrentes y devastadores a nivel global; sus consecuencias más significativas ocurren en áreas urbanas, densamente pobladas y con presencia de activos económicos y sociales. El crecimiento demográfico mundial y el aumento de la urbanización son algunos factores que incrementan el riesgo de inundaciones en ciudades. Chile no está exento de esta problemática, lo que supondrá un gran desafío para los tomadores de decisiones. Mediante una metodología mixta, la presente investigación analiza las medidas de gestión de inundaciones en el área urbana del río Chillán y su relación con los niveles de peligro, riesgo y de percepción identificados; además de establecer las barreras y limitantes existentes para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Los resultados permitieron determinar las áreas con riesgo de inundación las cuales alcanzaron 777,5 ha, donde el 38% corresponde a zonas con niveles de riesgo alto. Además, se evidenció una percepción del riesgo en general con niveles medios y bajos (47,3% y 39,1% respectivamente), mientras que los niveles más altos correspondieron a sectores con un promedio de 20 años de residencia. Se obtuvo una valoración positiva de los beneficios que otorgaría implementar medidas de mitigación como las SbN. Del contraste de los instrumentos y medidas de mitigación con los niveles de peligro y riesgo identificados, se evidenció la existencia de áreas con niveles de peligro alto no incluidas como zonas de protección contra inundaciones en los instrumentos de planificación. Finalmente, se establecieron las barreras y limitantes que los tomadores de decisión consideran más importantes y que dificultan la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), las que correspondieron a la falta de información y conocimiento sobre estas medidas (Conocimiento) y la incertidumbre económica para su mantención a largo plazo (Económicas).

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones se consideran una de las catástrofes naturales más costosas debido a la gran variedad y al alcance de los daños, que van desde pérdidas directas a activos físicos y ambientales, incluidos pertenencias y vivienda, sistemas ecológicos y producción en todos los sectores económicos, hasta cuestiones relacionadas con la salud y la pérdida de vidas humanas. (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2004), un promedio anual de 196 millones de personas, en más de 90 países se encuentran expuestas a inundaciones catastróficas y se estima que en el período comprendido entre 1980 y 2000, unas 170.010 personas fallecieron por dicho peligro. “En entornos urbanos, estos eventos son más notorios por las consecuencias sociales y económicas que conllevan” (Franco, 2010).

La urbanización, característica definitoria del crecimiento demográfico mundial, contribuye al aumento del riesgo de inundaciones. Conforme la mayoría de la población mundial sea urbana, las inundaciones en ciudades significaran una proporción cada vez más importante del impacto total de las inundaciones. (Jha et al., 2012). Las poblaciones tras un periodo sin inundaciones suelen olvidar el riesgo que las rodea. Sí a lo anterior agregamos la falta de mantenimiento sobre las obras y cauces, la baja sostenibilidad de los programas de predicción, alerta y actuación frente a emergencias y la ausencia de proyectos de preparación para el posible fallo de las obras de protección; se encontrarán muchos de los factores que transforman la dinámica natural de los ríos en desastres con impactos sobre las personas, los bienes y la economía. (Sedano, 2012)

Por lo tanto, los impactos, tanto actuales como proyectados, imprimen un sentido de urgencia a la necesidad de hacer que el manejo del riesgo de inundaciones en asentamientos urbanos tenga alta prioridad en la agenda política y las políticas. (Jha et al., 2012).

Naciones Unidas a través de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIDR) (2009), indica que la gestión del riesgo se constituye en el enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales, abarcando la evaluación y el análisis del riesgo, al igual que la ejecución de estrategias y de acciones específicas para controlar, reducir y transferir el riesgo.

Según Jha et al., (2012) un enfoque integrado de la gestión del riesgo de inundaciones es una combinación de medidas de gestión del riesgo que, tomadas como un todo, pueden reducir exitosamente los riesgos de inundación. En ese sentido uno de los desafíos actuales para mitigar inundaciones, consiste en realizar actuaciones más integrales combinando medidas estructurales y no estructurales, mediante enfoques integrados de manejo de inundaciones (IFM en inglés), que permitan administrar las inundaciones y mantener condiciones en el sistema fluvial urbano, con la finalidad de minimizar el impacto en los diferentes componentes del sistema fluvial y en los servicios ecosistémicos asociados al cauce y su llanura de inundación. (Katyal y Petrisor, 2011; Farrugia et al., 2013 en Rojas et al., 2019).

Bajo esa mirada, Lara (2013) afirma que el manejo actual y la gestión prospectiva de las inundaciones necesitan de un análisis holístico del problema, resaltando que uno de los cimientos de este nuevo paradigma es la inclusión e involucramiento de la sociedad, especialmente de las partes interesadas y de los ciudadanos, tanto en los procesos de análisis y evaluación del riesgo como en las etapas de preparación, respuesta y recuperación frente a esta amenaza. Esta inclusión de la sociedad permite obtener sus conocimientos, sensibilidades, objetivos, requerimientos y propuestas de soluciones, que son fundamentales para ejecutar una estrategia integral que reduzca los efectos negativos que producen los desastres naturales y especialmente las inundaciones.

Sabemos que cada miembro de la sociedad tiene percepciones diferentes del riesgo y, que varios miembros y grupos de la comunidad presentan diferentes vulnerabilidades y capacidades que están determinadas por factores como la edad, el género, la clase social, el origen étnico, la religión, la capacidad económica, etc. (Lara, 2013).

De acuerdo con el estudio de Glaus et al. (2020), la percepción del riesgo de inundaciones no solo explica si los actores implementan o no medidas de gestión del riesgo de inundaciones, sino también su identificación afecta el diseño específico de las carteras de gestión del riesgo de inundaciones. Por lo tanto, la percepción de un alto riesgo de inundaciones puede ayudar a lograr la diversificación hacia diferentes estrategias y medidas combinadas de gestión del riesgo de inundaciones. Donde las medidas no estructurales, como la planificación y la restauración ecológica de ríos, sean complemento de las medidas de infraestructura.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las condiciones geográficas chilenas hacen del país un escenario donde permanentemente se dejan sentir las denominadas amenazas naturales, poniendo a prueba de manera casi constante la capacidad de la sociedad chilena para levantarse luego de cada evento y de mejorar sus formas de ocupación del espacio. El predominio de un esquema de funcionamiento basado casi exclusivamente en la rentabilidad y muy poco en los riesgos de localización, permite que una buena parte de nuestros asentamientos e instalaciones presenten niveles de vulnerabilidad importantes frente a ciertas amenazas naturales. (Camus et al., 2016).

Los Instrumentos de Planificación Territorial, que en su elaboración exigen estudios fundados de riesgo, los que, dependiendo de la peligrosidad de determinados agentes naturales, deben proponer zonas no edificables o áreas de riesgo. Sin embargo, la realidad demuestra un conjunto de dificultades que no han permitido implementar de forma adecuada el factor riesgo en la planificación territorial de Chile. Principalmente destaca la falta de voluntad, recursos y personal capacitado, capaz de solicitar y revisar estudios adecuados para la escala urbana. La consecuencia es que hoy existen numerosos asentamientos humanos expuestos a un conjunto de peligros potenciales. (Lagos & Henríquez, 2010).

Para el área urbana del río Chillán, en el estudio Fundado de Riesgos del MINVU (2019), que tenía por objetivo identificar y delimitar los riesgos que han de ser incorporados en la “Actualización del Plan Regulador Intercomunal de Chillán y Chillán Viejo- PRICH”, define que las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento corresponden al principal riesgo de la intercomuna, situación explicada principalmente por las características climáticas de precipitaciones anuales, sumado a los rasgos geomorfológicos de las comunas, situación que dificulta el escurrimiento natural provocando la inundación por desborde de cauces o la inundación por anegamiento.

Uno de los eventos más caóticos sucedió el año 2006, donde se produjo una precipitación extrema que afectó fuertemente la zona centro sur del país, la cual originó graves inundaciones, anegamientos y desbordes de cauces. Este episodio, que llevó a las autoridades a declarar “Zona de Catástrofe” a la región, afectó a la población más vulnerable, registrándose numerosas pérdidas de vidas humanas y grandes costos económicos en viviendas e infraestructura. (Henríquez,2009).

En ese sentido, para poder analizar el peligro de inundación fluvial asociado al río Chillán y su inclusión en los instrumentos de planificación territorial, Valdebenito (2018) realizó un análisis mediante modelamiento hidráulico, en el área urbana de la intercomuna Chillán-Chillán Viejo, donde se evidenció la existencia de áreas inundables en zonas que no están incluidas dentro de las áreas especiales de protección y de riesgo en el Plan Regulador Intercomunal Chillán-Chillán Viejo (PRICH), elaborado el año 2007, que define zonas de riesgo de inundación mediante el método de análisis geomorfológico, generando una ausencia de modelación hidráulica de crecidas en el instrumento citado.

En términos numéricos, en el área de estudio se determinó una superficie de 584.6 ha abarcadas por las Zonas de Protección de Drenaje (ZPD) definidas por el PRICH. En contraste la superficie comprendida por la extensión de una inundación con período de retorno de 100 años fue de 1132 ha, correspondiendo a un 94% más de superficie que las ZPD; más aún, las áreas con un nivel de peligro alto de una inundación de período de retorno de 100 años alcanzan las 682 ha, abarcando un 17% más que las ZPD del plano regulador, por lo tanto, se evidencia una subestimación del nivel de peligrosidad considerando un período de retorno de 100 años. Mientras que para un período de retorno de 50 años la extensión modelada fue de un total de 1014 hectáreas, sobrepasando la extensión de las ZPD en un 73% (Valdebenito, 2018).

Respecto de los servicios ante emergencias, se detecta que el Plan Comunal de Protección Civil y Emergencias para la comuna de Chillán vigente entre 2012 y 2016 no se ha actualizado y que el Comité de Emergencias no se encuentra operativo. Se reporta que la información que recaba la Dirección de Inspección Municipal no es sistematizada ni integrada en la gestión municipal. Estas situaciones dan cuenta, nuevamente, de un trabajo inorgánico en una materia cuya competencia no está claramente definida. (Dirección de Medioambiente, Aseo y Ornato; Dirección de Obras; Dirección de Inspección Municipal). Por lo que el Municipio debe exhibir un mayor involucramiento en esta área, evitando la ejecución de acciones aisladas e incrementando la coordinación al interior de la organización edilicia. (Acuña et al., 2019).

Con base en estos antecedentes se hace necesario analizar los instrumentos y medidas de mitigación del riesgo de inundaciones que se han implementado, para determinar si son acordes a los niveles de peligro y riesgo existentes en el área urbana del río Chillán, permitiendo obtener un diagnóstico de la situación actual en el área de estudio y de cual debería ser la situación futura, tendiente a desarrollar iniciativas orientadas hacia una gestión integrada del riesgo de inundaciones, como lo son la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza para la reducción del riesgo por inundaciones fluviales.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Las medidas implementadas para la gestión del riesgo de inundaciones en el área urbana del río Chillán, se diseñan según los diferentes niveles de peligro y riesgo de inundación existentes?

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivos General

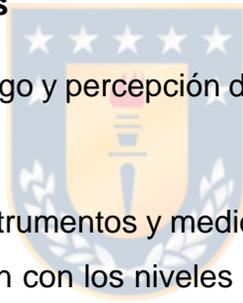
Analizar las medidas de gestión del riesgo de inundaciones en el área urbana del río Chillán.

3.1.2. Objetivos Específicos

3.1.2.1. Determinar el riesgo y percepción de inundaciones en el área urbana del río Chillán.

3.1.2.2. Contrastar los instrumentos y medidas de mitigación existentes en el área urbana del río Chillán con los niveles de peligro y riesgo de inundación identificados.

3.1.2.3. Establecer las barreras y limitantes para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para la reducción del riesgo de inundaciones en el área urbana del río Chillán.



4. MARCO TEÓRICO

4.1. Riesgo

Existen diversas visiones acerca de la categoría riesgo. Entre las más extendidas se encuentra aquella que parte de la idea de que las sociedades se tornan riesgosas a partir que sus estructuras (sociales y materiales) se encuentran localizadas en zonas con una alta presencia de amenazas. (Mansilla, 2000)

4.1.1. Definiciones de Riesgo

En un marco conceptual general, se dice que se está en riesgo si existen: una amenaza y determinadas condiciones de vulnerabilidad, tal que:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad.

Riesgo es, por tanto, una relación dinámica de la amenaza y la vulnerabilidad, que sucede con el tiempo y la intervención humana, cuyos niveles se relacionan con el desarrollo de una sociedad y la capacidad que ésta tiene de modificar los factores que más inciden en él. (Franco, 2010).

El riesgo representa un potencial destructivo que se cierne sobre la sociedad amenazando con materializarse en desastres de distintas magnitudes, poniendo en peligro la vida y la propia estabilidad y desarrollo de la sociedad. (Mansilla, 2000). Es, por lo tanto, un problema de localización o selección de sitio de emplazamiento. En este sentido, el riesgo es el resultado de la interacción entre la dinámica del medio ambiente natural y el medio ambiente construido. (Ferrando, 2003)

El riesgo se ha intentado dimensionar, para efectos de la gestión, como las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales que pueden ocurrir en un lugar y en un tiempo determinado. Sin embargo, el riesgo no ha sido conceptuado de forma integral, sino de manera fragmentada, de acuerdo con el enfoque de cada disciplina involucrada en su valoración. Para estimar el riesgo desde un punto de vista multidisciplinar, es necesario tener en cuenta no solamente el daño físico esperado, las víctimas o pérdidas económicas equivalentes, sino también factores sociales organizacionales e institucionales, relacionados con el desarrollo de las comunidades. (Cardona, 2003).

4.1.2. Vulnerabilidad

En el informe “Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIDR)” (2009) se define la Vulnerabilidad como las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. La vulnerabilidad en otras palabras es la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños en caso de que un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico se manifieste. (Cardona, 2003).

La vulnerabilidad es un factor esencial para realizar el análisis de riesgo, dado que implica el análisis de los efectos de los elementos y/o componentes que importan para el funcionamiento de la sociedad. (SUBDERE, 2011). Sin embargo, dado que en muchos casos no es posible intervenir la amenaza, para reducir el riesgo una alternativa es modificar las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos. (Cardona, 2003).

Ferrando (2003) menciona que, para reducir la vulnerabilidad se puede actuar reduciendo el nivel de exposición, es decir, evitando dentro de lo posible las localizaciones en sectores que son frecuente o potencialmente afectables por una amenaza dada. Esta es la razón por la cual con mucha frecuencia se hace énfasis en el estudio de la vulnerabilidad y en la necesidad de reducirla mediante medidas de prevención-mitigación, sin embargo, lo que realmente se intenta de esta manera es la reducción del riesgo. (Cardona, 2003).

4.1.3. Percepción

La percepción es un factor relevante en el estudio de los riesgos. En ese sentido, la percepción del riesgo se comprende como el conjunto de aspectos individuales y colectivos (cognitivos, afectivos, socioculturales, políticos, entre otros), que interactúan en el proceso de interpretación de un peligro potencial y la asignación de significados al entorno. (Ojeda & López, 2017).

Según Cid et al. (2012) esto puede observarse en el caso de la percepción del riesgo ante fenómenos tanto de origen natural como antrópico, a partir del cual los individuos poseen una idea incompleta o vaga de los fenómenos y tienen la tendencia a subestimar el riesgo a causa de la aversión natural a ellos. Las informaciones son recibidas desde el mundo real y son percibidas en función de un proceso sociocultural en el que intervienen tanto los valores del individuo, su personalidad, sus experiencias pasadas, su grado de exposición al riesgo; como su nivel social, económico y cultural. (Chardon, 1997). En ese contexto, diversos estudios hacen hincapié en estos últimos años a considerar la percepción del riesgo como una construcción social. (Cid et al., 2012).

4.2. Inundaciones

Las inundaciones son el desastre natural más destructivo en consecuencias económicas y número de víctimas. Desde el año 2000 al 2006, los desastres relacionados con la acción del agua produjeron más de 290.000 víctimas, afectaron a más de 1,500 millones de personas y costaron más de 422.000 millones de dólares. (Escuder et al., 2010).

En términos simples, Ferrando (2006) explica que una inundación corresponde a una masa de agua que se sale de su cauce y se dispone temporalmente fuera de él. Los factores desencadenantes de inundaciones fluviales en Chile pueden estar relacionados con diversas causas tales como: precipitaciones persistentes, lluvias intensas de corta duración, fusión de nieve y hielo, descarga de aguas represadas por glaciares, procesos de remoción en masa, rotura de embalses e infraestructura hidráulica y crecidas asociadas a erupciones volcánicas. (Rojas et al., 2014)

Las mayores consecuencias de las inundaciones, se dan en áreas urbanas donde habita la mayor parte de la población y tienen relación no solo con desbordes de ríos, sino que también con erosión fluvial y caídas de taludes laterales, corte de accesos viales y terrenos de cultivo que pueden encontrarse en sectores adyacentes, incrementando la vulnerabilidad. (Gómez de Travesedo, 2009 en Orellana, 2016). En ese sentido, Jha et al., (2012) explica que los impactos de las inundaciones urbanas también son más particulares, debido a la mayor concentración de pobladores y activos, de tal manera que las inundaciones en estos ambientes con frecuencia tienen consecuencias más serias para la sociedad, al causar daños y trastornos que van más allá del nivel de las aguas.

Los efectos y problemas generados se ven incrementados en la medida que se ha desarrollado la urbanización y se han manifestado los patrones económicos adoptados en las ciudades, incrementado el riesgo y aumentando las vulnerabilidades, principalmente en las periferias en donde se desarrolla la expansión de las ciudades, muchas veces no regulada por lo que hay carencia de sistemas de drenaje y saneamiento. (Orellana, 2016). Defenderse contra futuras inundaciones requerirá entonces de enfoques más robustos en la gestión de inundaciones, que puedan enfrentar una mayor incertidumbre o ser adaptables a un mayor rango de escenarios futuros. (Jha et al., 2012).

4.3. Inundaciones en Chile

En la mayoría de los países latinoamericanos, las inundaciones de acuerdo con los efectos producidos generan un gran problema socioeconómico que compromete la sustentabilidad local y regional, debido a la gran concentración de población y asentamientos de las zonas afectadas, además de una carencia de una completa incorporación de la gestión de riesgo y, la planificación y ordenamiento urbano tampoco se encuentran abordando el tema. (Aragón-Durand, 2014 en Orellana, 2016).

Según Rojas (2015), las características geográficas del territorio chileno continental: variedad climática zonal, relieves montañosos, cambios ambientales, derivados principalmente de la gran presión de uso antropogénico durante las últimas dos décadas y el poblamiento de las llanuras fluviales, hacen de Chile un país vulnerable a la ocurrencia de inundaciones fluviales. A su vez las cuencas hidrográficas, en el caso de Chile Central, son afectadas por disturbios recurrentes como lo son las precipitaciones extremas, propias del clima mediterráneo, que normalmente ocasionan importantes inundaciones, anegamientos y deslizamientos. (Henríquez, 2009).

La recurrencia histórica de inundaciones fluviales en Chile contiene un registro de 227 eventos ocurridos entre el período 1574-2012; el 71% de estas se asocian a eventos pluviales por precipitación frontal y convectiva, un 12% a procesos nivoglaciales; un 10% a procesos volcánicos y la menor proporción de crecidas fluviales de carácter catastrófico se vinculan a deslizamientos e intervenciones antrópicas. Los efectos ambientales de las inundaciones acaecidas en Chile se traducen en costos millonarios para el Estado y en un deterioro de la calidad y nivel de vida de la población. El efecto más común corresponde a daños en la vivienda. (Rojas et al., 2014).

4.4. Percepción del riesgo de inundación

En los últimos años, la percepción de riesgo se ha convertido en un tema importante para los tomadores de decisión relacionados con la gestión de riesgos, en la medida que su conocimiento dirige el desarrollo de estrategias de mitigación eficaces y eficientes. El estudio de la percepción del riesgo involucra un examen de conciencia de las personas, en base a sus emociones y comportamiento con respecto a las amenazas. (Cid et al., 2012).

Por otra parte, se considera que la percepción de riesgos ambientales y específicamente la percepción del riesgo de inundación, es el resultado de las experiencias previas que proporcionan a los individuos esquemas cognitivos para definir, entender y enfrentar el riesgo. (Weber, Hair & Fowler, 2000 en Navarro et al., 2016). Otro aspecto cercano al de la experiencia, es el de la proximidad o exposición a la amenaza, ya que algunos estudios muestran que las personas que viven en zonas de riesgo de inundación, entre más cercano esté su domicilio a un río, la percepción del riesgo será más elevada. (Navarro et al., 2016).

Según Ribas et al., (2010) se ha podido constatar como el nivel de implicación social que cada ciudadano tiene en relación con la gestión de su territorio repercute directamente en su percepción y valoración de las diversas problemáticas de riesgo existentes y las formas de gestión más idóneas para hacerles frente. Según estos elementos, el grado de implicancia de las personas estará determinado por si se encuentra expuesta y no expuesta a la amenaza de inundación (Navarro et al., 2016). Si esta implicación individual es menor, entonces se tiende a desear soluciones que no impongan deberes, obligaciones o responsabilidades individuales. Por el contrario, cuanto mayor sea esta implicación más capaz seremos como sociedad de plantear una gestión integral del riesgo de inundaciones que incluya un aprendizaje social. (Ribas et al., 2010).

4.5. Gestión del riesgo de inundación

La Gestión del Riesgo es un proceso planificado, concertado, participativo e integral de reducción de las condiciones de riesgo de desastres de una comunidad, una región o un país. Implica la complementariedad de capacidades y recursos locales, regionales y nacionales y está íntimamente ligada a la búsqueda del desarrollo sostenible. (Chuquisengo, 2011 en PNUD Chile, 2012).

En la figura 1 se presentan diferentes enfoques de la gestión del riesgo, donde dentro de estos 3 tipos de gestión las principales medidas que se utilizan para cumplir con sus objetivos corresponden a la prevención, mitigación y preparación, desarrollándose particular o conjuntamente en los tipos de gestión. (Orellana, 2016).

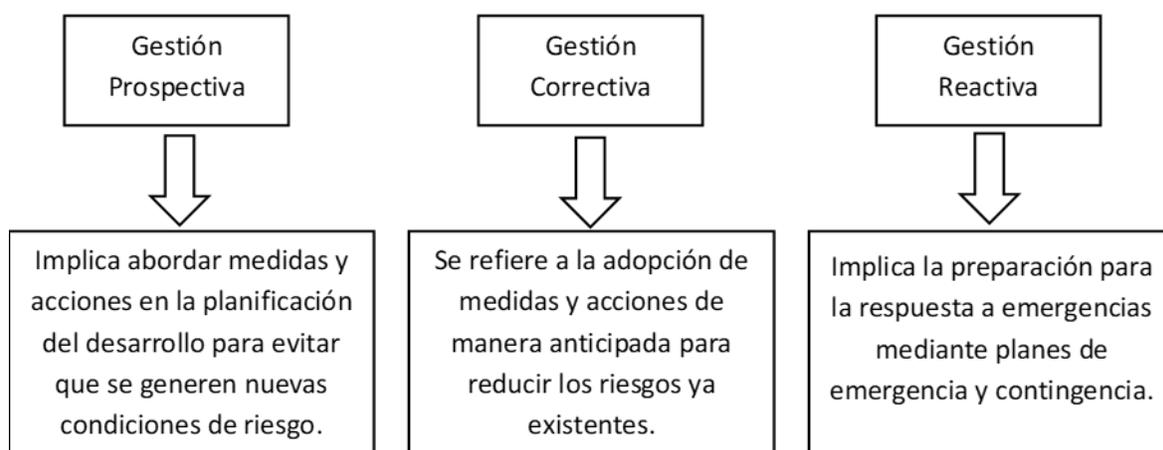


Figura 1: Enfoques para la Gestión del riesgo.

Fuente: Elaboración en base a Chuquisengo, 2011 en PNUD Chile, 2012.

Lavell, (2001) indica que la Gestión de Riesgo se refiere a un proceso social complejo, por medio del cual un grupo humano o individuo toman conciencia del riesgo que enfrenta, lo analiza y lo entiende, considera las opciones y prioridades en términos de su reducción, considera los recursos disponibles para enfrentarlo, diseña las estrategias e instrumentos necesarios para enfrentarlo, negocia su aplicación y toma la decisión de hacerlo. En ese sentido, las acciones para reducir el riesgo de inundaciones deben llevarse a cabo a través de un proceso participativo que involucre a todos los actores que tienen interés en la gestión de las inundaciones, incluyendo a las personas en situación de riesgo o directamente afectadas por las inundaciones. (Jha et al., 2012).

Tradicionalmente las medidas de protección contra las inundaciones se basan en el conocimiento acumulado entorno a los eventos catastróficos pasados (Schanze, 2006 en Lara, 2013). En términos generales, los tomadores de decisiones tratan de reducir los riesgos y potenciales daños para las personas, el patrimonio cultural y la actividad económica mediante diferentes actuaciones. (Rojas et al., 2019).

Un enfoque integrado de la Gestión del riesgo de inundaciones es una combinación de medidas de gestión del riesgo que, tomadas como un todo, pueden reducir exitosamente los riesgos de inundación en ciudades. (Jha et al., 2012).

4.5.1. Medidas estructurales para la gestión del riesgo de inundación.

Las medidas estructurales abarcan desde estructuras de ingeniería dura como las defensas contra inundaciones y canales de drenaje, hasta medidas complementarias o alternativas más naturales y sostenibles, como los humedales y amortiguadores naturales. Las soluciones estructurales también pueden tener un costo inicial alto, a veces su presencia puede inducir a la falta de proactividad y su fracaso puede resultar en mayores impactos si las estructuras fallan o si su capacidad es rebasada. (Jha et al., 2012). En la tabla 1 se muestran algunos ejemplos de medidas.

Tabla 1: Tipos de Medidas estructurales para la gestión del riesgo de inundación.

Tipo de Medida	Objetivo	Ejemplos
Estructuras de retención	Su misión consiste en retener el agua para evitar inundaciones asociadas a grandes descargas, que pueden producir importantes daños e incluso el fallo de la propia estructura de retención o de otras estructuras existentes aguas abajo.	<ul style="list-style-type: none"> • Presas (de gravedad, arco, de contrafuertes, etc.) • Estanques de retención • Estanques de detención • Estructuras subterráneas de retención
Estructuras de protección	Estas estructuras protegen la zona urbana de forma directa, evitando la entrada del agua en la ciudad, o bien forzando al flujo a discurrir por un determinado lugar. Estas estructuras aportan protección frente inundaciones fluviales y marítimas.	<ul style="list-style-type: none"> • Diques • Muros • Encauzamientos • Ensanchamientos de sección del cauce

Fuente: Elaboración en base a (Escuder et al., 2010).

4.5.2. Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para la gestión del riesgo de inundación.

La Red Española de Ciudades por el Clima, (2019) define a las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), como un concepto que engloban las acciones que se apoyan en los ecosistemas, y los servicios que estos proveen, para responder a diversos desafíos de la sociedad como el cambio climático o el riesgo de desastres, incluyendo una serie de enfoques diferentes como las infraestructuras verdes y azules. Las infraestructuras verdes pueden definirse, como una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad y de otros elementos ambientales, diseñada y gestionada para proporcionar múltiples servicios ecosistémicos. Con la capacidad de constituirse como una medida de adaptación, para reducir la vulnerabilidad y con ello el riesgo de los centros urbanos frente a amenazas climáticas (Patagua et al., 2021). En la tabla 2, se presenta una forma de clasificación de la infraestructura verde consideradas como SbN.

Tabla 2: Tipos de SbN para la gestión del riesgo de inundación.

Tipo de medida	Objetivo	Ejemplos
Sistemas naturales	Ecosistemas naturales actúan como infraestructura por medio de su manejo y planificación.	<ul style="list-style-type: none"> • Bosques • Humedales urbanos • Ríos y planicies de inundación
Sistemas Construidos	Sistemas diseñados que utilizan elementos o procesos naturales que actúan como infraestructura.	<ul style="list-style-type: none"> • Drenaje sostenible • Humedales construidos
Híbridas o Integradas	Ecosistemas naturales actúan en conjunto con sistemas de ingeniería.	<ul style="list-style-type: none"> • Embalse / Reservorios de agua + protección de bosques y humedales • Restauración de ecosistemas

Fuente: Elaboración en base a (Patagua et al., 2019).

4.5.3. Medidas no estructurales para la gestión del riesgo de inundación

Las medidas no estructurales están fundamentalmente vinculadas con instrumentos de planificación y ordenamiento territorial de carácter urbano, hidrológico y de gestión de cuencas (Rojas et al., 2019). En muchas medidas no estructurales, el desafío se encuentra en la necesidad de involucrar la participación y el acuerdo de las partes interesadas y sus instituciones. (Jha et al., 2012). Las medidas no estructurales buscan la reducción de la vulnerabilidad de la población en riesgo a partir del planeamiento y la gestión llevados a cabo antes, durante y después de la catástrofe. (Escuder et al., 2010). En la tabla 3 se muestran algunos ejemplos de medidas.

Tabla 3: Tipos de Medidas no estructurales para la gestión del riesgo de inundación.

Tipo de medida	Objetivo	Ejemplos
Políticas y Planeamiento urbano	Evitar la construcción de instalaciones y asentamientos en zonas inundables.	<ul style="list-style-type: none"> • Normativas que limiten los usos de suelo en zonas de elevado riesgo de inundación
Predicción de inundaciones	Estimación de la ocurrencia de un evento futuro empleando el conocimiento del medio ambiente y la recopilación de datos.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de peligro y riesgo de inundación
Comunicación	Entrega de información a la población sobre procedimientos de actuación durante un evento de inundación.	<ul style="list-style-type: none"> • Charlas informativas • Radio, televisión, redes sociales, etc.
Movilización	Incluyen las acciones llevadas a cabo por fuerzas de seguridad y servicios de emergencia para la reducción de las consecuencias.	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuación preventiva • Evacuación forzosa • Barreras temporales
Coordinación	Comunicación entre diferentes organizaciones y agentes relevantes en la gestión del riesgo de inundación.	<ul style="list-style-type: none"> • Planes de emergencia • Planes de gestión del riesgo

Fuente: Elaboración en base a (Escuder et al., 2010).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la cuenca hidrográfica del río Chillán, en la región de Ñuble, el cual se extiende desde los Nevados de Chillán, hasta el Valle Central, con una longitud aproximada de 105 km, desembocando sus aguas al río Ñuble. (Figueroa et al., 2007). Según Niemeyer (1980) el río Chillán tiene por afluentes varios esteros que corren paralelos a su cauce y se le van juntando en su larga trayectoria a través del Valle Central los esteros Peladillas, Las Toscas, Cadacada, Quilma, el río Boyén, etc. Administrativamente pertenece a la región de Ñuble, y a nivel comunal comprende la mayor parte de los municipios de Chillán, Chillán Viejo, Pinto y Coihueco y una pequeña porción de la comuna de San Ignacio. (Henríquez, 2009).

Antes de su desembocadura, posee un sistema urbano asociado a una conurbación: la Intercomuna Chillán-Chillán Viejo. La Intercomuna, con el fin regular el desarrollo físico y de orientar el proceso de desarrollo urbano, está dividida según el Plan Regulador Intercomunal Chillán – Chillán Viejo, en adelante PRICH, en las macro áreas: Área Urbana Intercomunal, Área Rural Intercomunal y Áreas Especiales, de Protección y de Riesgo, Intercomunales. (Valdebenito, 2018). La investigación se centra en los límites del área urbana intercomunal que corresponde a los territorios comprendidos en la zona urbana y rurales, en las riberas norte y sur del río Chillán como se aprecia en la figura 2.

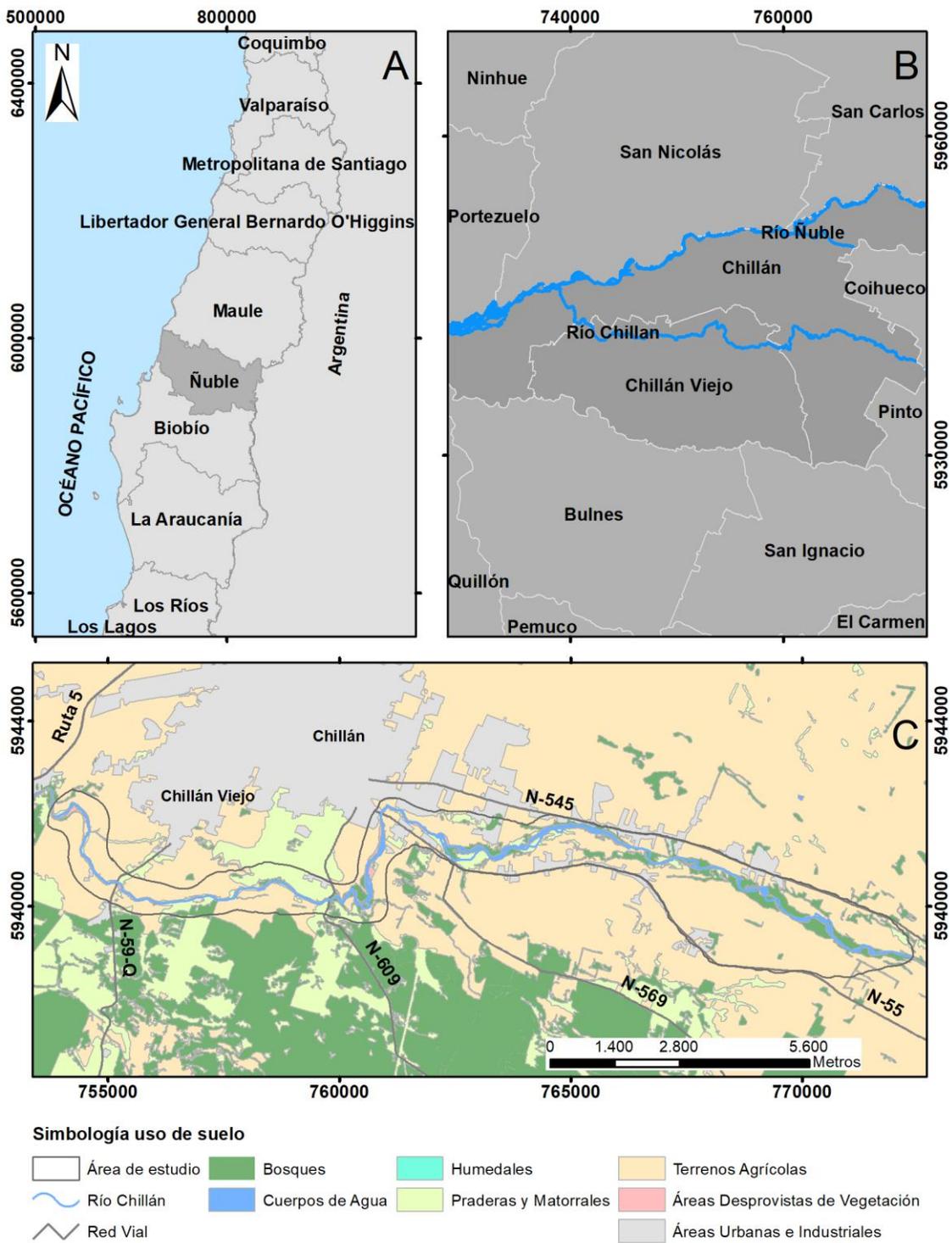


Figura 2: Cartografía área de estudio, correspondiente a la zona urbana del río Chillán, Región de Ñuble, Chile.
Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las distintas categorías de usos de suelo identificadas en la cuenca del río Chillán se puede determinar entre los más predominantes el uso de matorral y pastizal y, posteriormente el uso de bosque nativo y terrenos agrícolas. Los usos urbanos y plantaciones forestales si bien no destacan por su extensión, si lo hacen respecto al gran crecimiento que han experimentado los últimos años. (Henríquez, 2009).

El río Chillán tiene un caudal promedio de 22,9 m³/s en su desembocadura en río Ñuble (Debels et al. 2005, en Figueroa et al., 2007). Según los datos del Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia (CR²), para la estación fluviométrica Río Chillán en Camino a Confluencia, algunos de los caudales máximos registrado son en el mes de Julio del año 2006 alcanzan los 650 m³/s y en el mes de Julio de 2001 los 632 m³/s. En la figura 3 se grafican los caudales máximos para un periodo de consulta de datos de 30 años (1989-2019), donde se identifican 7 crecidas sobre 400 m³/s.

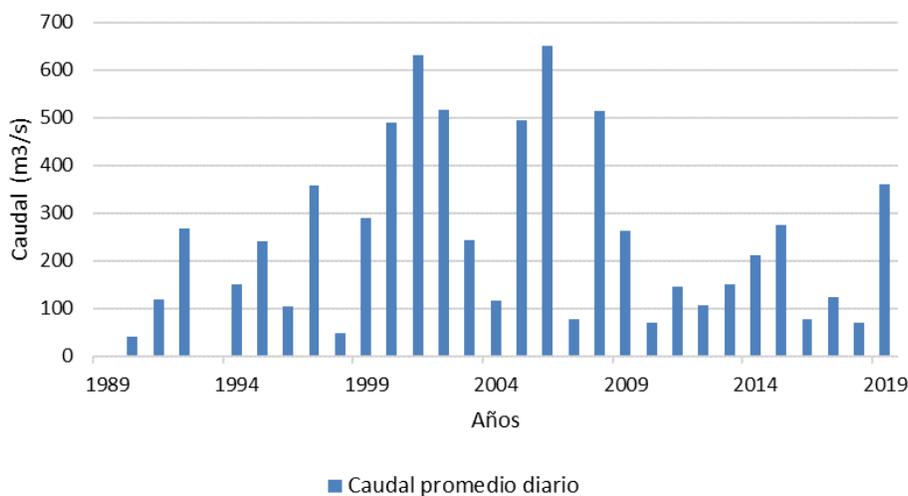


Figura 3: Registro de caudales máximos diarios en la estación fluviométrica río Chillán en camino a Confluencia (Código BNA: 08117005-3), para un periodo de 30 años desde 1989-2019

Fuente: Elaboración en base a los datos del Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia. (CR²).

El clima es templado mesotermal, mediterráneo subhúmedo. Se caracteriza por presentar temperaturas variables con máximas medias en verano en torno a los 28°C y mínimas medias del orden de los 4,4°C en el mes de julio. Los registros de precipitación anuales indican un promedio alrededor de 1.000 mm, con una marcada estacionalidad, concentrándose las lluvias entre abril y octubre, siendo junio el mes más lluvioso. (PLADECO, 2011).

La Comuna de Chillán, capital de la Región de Ñuble, está enclava sobre una estructura tectónica de fines del período terciario, en la parte del valle longitudinal que se identifica con el llano central. La comuna de Chillán abarca una superficie de 511,2 km², tiene una población cercana a los 200 mil habitantes. La cual en un 91,4% corresponde a población urbana y un 8,6% corresponde a población rural. (Municipalidad de Chillán, 2021).

Por su parte, Chillán Viejo tiene una superficie de 191,8 km² y se caracteriza por tener una topografía llana, con la excepción de los faldeos de la Cordillera de la Costa ubicados al oeste del llano central. En términos de distribución de la población, un 85% habita en la zona urbana (localidad de Chillán Viejo), mientras un 15% reside en el área rural. (PLADECO, 2011).

En el caso urbano, representado por las ciudades de Chillán y Chillán Viejo y el sector periurbano ubicado entre Chillán y Pinto, se puede afirmar que ha sido una cobertura con un crecimiento constante en el tiempo y probablemente siga esa tendencia. Es importante destacar que el crecimiento urbano se encuentra asociado a la disponibilidad de equipamientos, comercio y servicios que ofrece la ciudad de Chillán y que presenta un carácter fuertemente fragmentado debido al despliegue importante de parcelas de agrado, condominios cerrados y loteos unifamiliares en el espacio periurbano. (Henríquez, 2009).

5.2. Metodología

5.2.1. Objetivo 1: Determinar el riesgo y percepción de inundaciones.

5.2.1.1. Riesgo de inundación

Para determinar el riesgo por inundación en el área urbana del río Chillán. Se consideraron los niveles de peligro y los niveles de vulnerabilidad, según la siguiente ecuación de riesgo. (Arenas et al., 2010).

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Los niveles de peligro se obtuvieron de la investigación de Valdebenito (2018), que consistió en un análisis hidrológico donde se ajustaron valores máximos anuales de caudal a distintas distribuciones de probabilidad y de un análisis hidráulico, en el cual se realizó modelamiento hidráulico para distintos períodos de retorno, que permitió obtener el análisis de peligro de inundación respectivo, en función de la siguiente formula:

$$\text{Peligro} = \text{Velocidad} * \text{Profundidad}$$

Obteniendo como resultado zonas de peligro para crecidas asociadas a un período de retorno de 100 años, validándolas con la información recogida mediante un análisis de cotas históricas de inundaciones en terreno. El análisis de vulnerabilidad, como parte de la evaluación espacial del riesgo, se realizó mediante información extraída del Censo 2017, a nivel de manzana urbana y entidad rural, obtenida del sitio web del Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

El cálculo de la vulnerabilidad fue realizado mediante la integración de seis indicadores, donde tres se asocian a exposición (edades de la población, densidad de población, densidad de vivienda), y tres se asocian a vulnerabilidad física

(materialidad de los muros exteriores, viviendas precarias, índice de materialidad de la vivienda).

Los indicadores fueron clasificados en tres categorías (tabla 4), definidas en función de la resistencia al flujo y de sus porcentajes de representatividad. Mediante un índice ponderado de vulnerabilidad por indicador, que asigna una puntuación a cada categoría, se determinó el puntaje para cada manzana/entidad según cada indicador y posteriormente el nivel de vulnerabilidad asociado a cada indicador. Los puntajes resultantes de los indicadores como de la vulnerabilidad total fueron sometidos a un proceso de reclasificación, a partir de la media aritmética y de la desviación estándar de los datos, con el objeto de crear tres niveles de vulnerabilidad: alto (3), medio (2), bajo (1).

La integración de los indicadores, para el cálculo de la vulnerabilidad total, se realizó considerando las ponderaciones establecidas en el estudio de Rojas et al., 2017, para los indicadores de exposición, mientras que para los indicadores de vulnerabilidad física, las ponderaciones se distribuyeron en función de su importancia frente a la resistencia al flujo, donde la más importante fue la materialidad de los muros exteriores, luego las viviendas precarias y finalmente el índice de materialidad de la vivienda.

Los datos fueron automatizados, mediante algebra de mapas en la plataforma ArcGIS, para la obtención de cartografía, utilizando la siguiente formula:

$$VT = (F1 \times W1) + (F2 \times W2) + \dots + (Fn \times Wn)$$

donde F representa cada factor del puntaje de vulnerabilidad reclasificado y W es el porcentaje relativo a la ponderación. (Rojas et al., 2017).

Tabla 4: Indicadores de vulnerabilidad, asociados a base de datos del Censo del año 2017.

Factor	Indicador	Ponderación (%)	Categorías	Puntaje	Nivel
Exposición (F1)	Edades de la población (0-5 años; 65 y más años).	0,17	1 - 7 %	1	1
			8 - 24 %	4	2
			25 - 100 %	6	3
Exposición (F2)	Densidad de población (hab./ha).	0,23	0,31 - 21,95	1	1
			21,96 - 145,75	4	2
			145,76 - 238,49	6	3
Exposición (F3)	Densidad de viviendas (viv. /ha).	0,14	0,22 - 7,48	1	1
			7,49 - 46,43	4	2
			46,44 - 72,03	6	3
Vulnerabilidad Física (F4)	Materialidad de los muros exteriores.	0,23	Hormigón armado	1	1
			Albañilería	4	2
			Adobe, lata, cartón, plástico, tabiquería de madera	6	3
Vulnerabilidad Física (F5)	Viviendas precarias (mediagua, conventillo o vivienda tradicional indígena).	0,13	1 - 3 %	1	1
			4 - 9 %	4	2
			10 - 100 %	6	3
Vulnerabilidad Física (F6)	Índice de materialidad de la vivienda.	0,10	Aceptable	1	1
			Recuperable	4	2
			Irrecuperable	6	3

Fuente: Elaboración en base a (Rojas et al., 2017).

La obtención del riesgo de inundación se realizó mediante la integración de los niveles de peligro para un periodo de retorno de 100 años del análisis de Valdebenito (2018), junto con los niveles de vulnerabilidad total calculados previamente. Los datos fueron ingresados mediante álgebra de mapas utilizando la plataforma ArcGIS y de acuerdo con los criterios establecidos por (Martínez et al., 2012) (tabla 5), obteniéndose tres niveles de riesgo: alto, medio y bajo con puntajes desde 1 a 9, donde el rango de riesgo está determinado por: Bajo (1-2), Medio (3-4), Alto (6-9).

Tabla 5: Matriz de riesgo de inundación.

X		Peligro		
Vulnerabilidad	Nivel	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
	Bajo (1)	B 1 X 1 = 1	B 1 X 2 = 1	M 1 X 3 = 3
	Medio (2)	B 2 X 1 = 2	M 2 X 2 = 4	A 2 X 3 = 6
	Alto (3)	M 3 X 1 = 3	A 3 X 2 = 6	A 3 X 3 = 9

Fuente: Extraído de (Martínez et al., 2012).

Alcances y Limitaciones

Con respecto a los datos del Censo 2017, para el cálculo de la vulnerabilidad, solo se consideraron las unidades rurales que se encontraban íntegramente en el sector delimitado en el área de estudio, por lo tanto, la proporción de la población puede verse afectada en función de esa limitación. Para el indicador de población se trabajó con el total de población de la unidad; pero se llevó a densidad de población producto que había unidades muy extensas. Para la densidad de vivienda se consideró el total de viviendas a través del conteo de vivienda realizado a través de Google Earth Pro. (Imagen año 2021).

5.2.1.2. Percepción del riesgo de inundación

5.2.1.2.1. Diseño del instrumento

La encuesta se elaboró para ser respondida por los habitantes de los sectores urbanos y rurales de las comunas de Chillán y Chillán Viejo, que vivan en las cercanías del río Chillán. Con la condición que fueran personas mayores de 30 años, para asegurarse que tuvieran algún conocimiento de una de las últimas inundaciones ocurridas en el sector el año 2006.

La encuesta se estructuró en 4 secciones (Tabla 7), para obtener una visión integral por parte de los encuestados, en relación con la percepción de los daños y la percepción del riesgo por inundaciones en su lugar de residencia, con preguntas de tipo cerradas. Además, se entregaba un acta de consentimiento, donde se informaba a cada encuestado los objetivos de la investigación y su consentimiento para participar de dicha encuesta.

Tabla 6: Secciones de la encuesta de percepción.

Sección	Preguntas
Datos de la encuesta	Coordenadas, Dirección, Comuna.
Datos del encuestado (mayor 30 años)	Edad, sexo, nivel educacional, años de residencia en la vivienda.
Percepción de los daños	Preguntas cerradas, relacionadas a los daños físicos y/o materiales ocasionados por eventos de inundación en el lugar de residencia.
Percepción del riesgo	Preguntas en escala tipo Likert, para obtener la valoración del riesgo de inundación en el lugar de residencia y la valoración sobre dos tipos de medidas de mitigación a implementar.

Fuente: Elaboración propia.

Las encuestas fueron aplicadas de manera presencial, por tres encuestadores mediante dos visitas a terreno. La primera realizada los días 28, 29 y 30 de enero de 2022 y la segunda realizada los días 05 y 06 de febrero de 2022. Se recorrieron los sectores definidos como unidades de análisis y con un instrumento GPS se georreferenciaron las viviendas encuestadas.

Algunas de las dificultades de la aplicación de las encuestas fueron el rechazo de personas de participar de la investigación y la accesibilidad a algunos sectores rurales, donde los caminos contaban con portones cerrados de difícil acceso para no residentes. Una vez realizada la totalidad de encuestas requeridas, se procedió a codificar y tabular las encuestas en Microsoft Excel, para su posterior interpretación y análisis.

5.2.1.2.2. Muestreo

Para obtener la percepción del riesgo por inundaciones en el área urbana del río Chillán, fue necesario sectorizar el área de estudio en unidades de análisis, con el objetivo de planificar la aplicación de encuestas a la población. Para ello, se utilizaron los datos del Censo del año 2017, a nivel de manzanas censales (urbano) y entidades (rural), para las comunas de Chillán y Chillán Viejo. Los datos fueron ingresados al software ArcGIS, para poder delimitar las unidades urbanas y rurales, que se encontraban dentro del área de estudio.

Con el objetivo de determinar la cantidad de viviendas presentes en cada unidad de análisis, que permitiría calcular el número de encuestas que se debían realizar. Para las unidades urbanas se seleccionaron los polígonos que se encontraban dentro del área de estudio y se obtuvo la información del total de viviendas desde la tabla de atributos, en cambio, para las unidades rurales, se realizó un conteo de las viviendas presentes en cada unidad, a través de la visualización en Google Earth Pro (imagen 2021).

En general, se obtuvieron 14 unidades de análisis, de las cuales 8 correspondieron a unidades rurales y 6 a unidades urbanas. En la figura 4 se aprecia la distribución de las unidades de análisis en el área de estudio.

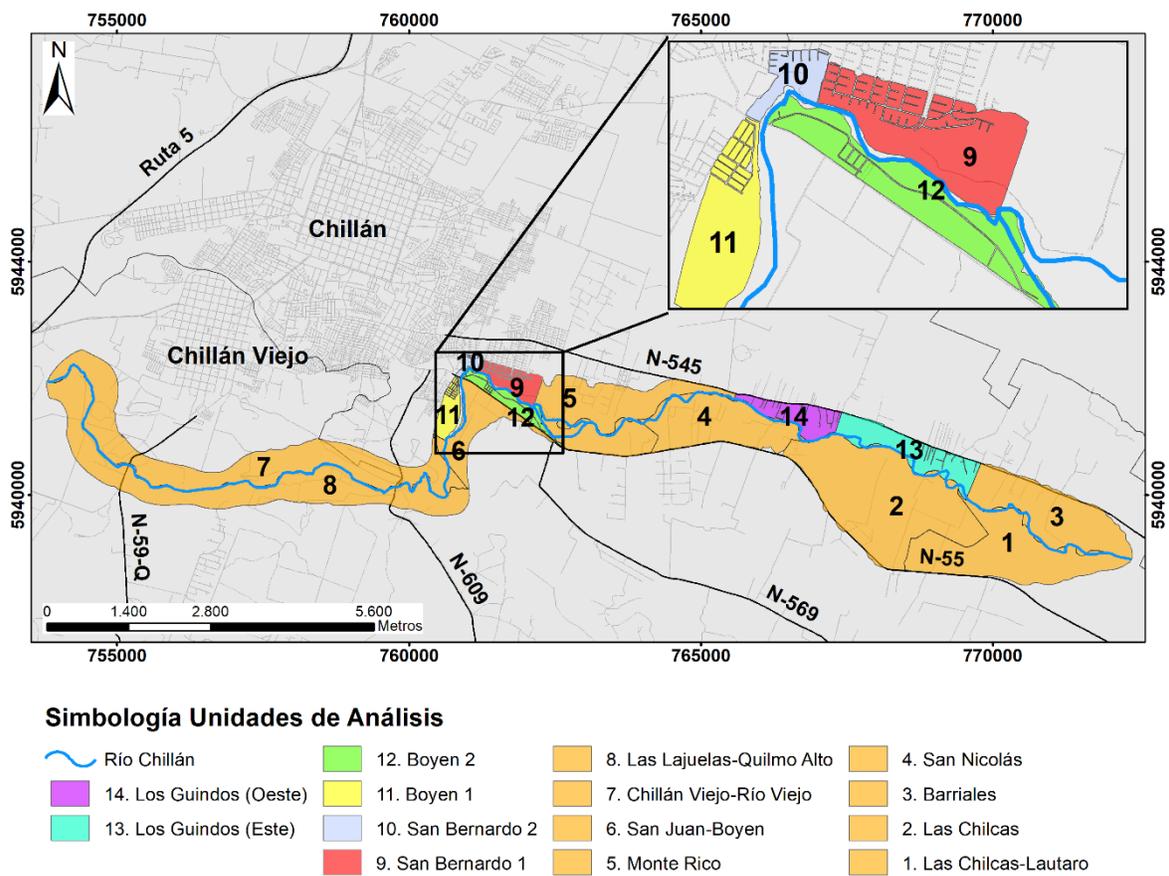


Figura 4: Unidades de análisis definidas para el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la cantidad de encuestas que se debían aplicar en cada unidad de análisis, se utilizó la fórmula para calcular el tamaño de muestra (n) para una población finita. Según la siguiente ecuación para poblaciones finitas. (Moretto & Gentili, 2021).

$$n = \frac{Z^2 * N * PQ}{E^2(N - 1) + Z^2 * PQ}$$

Donde n es el tamaño de muestra; Z el nivel de confianza; N la población total; E el error admitido y PQ la varianza. Para la investigación se utilizó un nivel de confianza del 95 %, un error admitido de 5 % y una varianza del 0,5 %.

El cálculo fue realizado para una población de 1739 viviendas, dando un tamaño de muestra de 315 encuestas, las cuales fueron distribuidas para su aplicación en las 14 unidades de planificación rurales y urbanas, en función de la cantidad de viviendas que se registraron en cada unidad.

Las encuestas fueron distribuidas proporcionalmente según el número de viviendas por unidad de análisis realizándose un total de 317 encuestas. En la tabla 6, se muestra la distribución de encuestas aplicadas en cada unidad.

Tabla 7: Encuestas realizadas en cada unidad de análisis.

ID Unidad	Nombre Unidad	Categoría Unidad	Encuestas realizadas
1	Las Chilcas - Lautaro	Rural	10
2	La Chilcas	Rural	11
3	Barriales	Rural	18
4	San Nicolás	Rural	30
5	Monte Rico	Rural	40
6	San Juan – Boyen	Rural	10
7	Chillán Viejo – Río Viejo	Rural	12
8	Las Lajuelas – Quilmo Alto	Rural	10
9	San Bernardo 1	Urbano	50
10	San Bernardo 2	Urbano	26
11	Boyen 1	Urbano	25
12	Boyen 2	Urbano	16
13	Los Guindos (Este)	Urbano	26
14	Los Guindos (Oeste)	Urbano	33
TOTAL			317

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Objetivo 2: Contrastar los instrumentos y medidas de mitigación con los niveles de peligro riesgo identificados

Con el objetivo de generar un catastro de los instrumentos y medidas de mitigación existentes en el área urbana del río Chillán, se realizó una recopilación de los instrumentos/medidas vigentes a escala regional, intercomunal y comunal. Identificándose a escala regional el Plan de Regional de Emergencia de la región de Ñuble, a nivel intercomunal el Plan Regulador Intercomunal Chillán-Chillán Viejo, y a escala comunal los Planes Comunales de Protección Civil y Emergencia para las comunas de Chillán y Chillán Viejo, los Planes Reguladores Comunales de Chillán y Chillán Viejo y la Defensa Fluvial en el río Chillán existente en el sector el Emboque en las cercanías de la ruta N-545.

El análisis permitió determinar cuál de los instrumentos y medidas de mitigación existentes definen acciones y funciones específicas vinculadas a temas de inundación por desborde ríos, que contribuyan a disminuir las consecuencias de inundaciones, además de identificar si se incluye al área de estudio dentro de su ámbito de aplicación, definiendo los sectores más propensos a sufrir inundaciones y que deberían ser considerados como zonas de protección contra inundaciones

Posteriormente se realizó el contraste de los instrumentos/medidas con los niveles de peligro y riesgo de inundación identificados, con el objetivo de determinar si las medidas que aplican para el área de estudio son acordes al peligro y riesgo de inundación existentes, identificando los sectores que deberían ser considerados por los tomadores de decisión como críticos en función del crecimiento urbano evidenciado en las cercanías del río Chillán.

En la tabla 8, se encuentran los instrumentos y medidas de mitigación que fueron contrastados con los niveles de peligro y riesgo de inundación existentes en el área urbana del río Chillán.



Tabla 8: Registro de instrumentos y medidas existentes en el área urbana del río Chillán.

	Instrumento / Medida			Contraste	Tipo de medida
Regional	Plan	Regional	de	Riesgo	No estructural
	Emergencia – Región de Ñuble.				
Intercomunal	Plan	Regulador	Chillán –	Peligro	No estructural
	Intercomunal Chillán – Chillán Viejo (PRICH).				
Comunal	Plan	Comunal	de	Riesgo	No estructural
	Protección Civil y Emergencia – Chillán.				
	Plan	Comunal	de	Riesgo	No estructural
	Protección Civil y Emergencia – Chillán Viejo.				
	Plan	Regulador	Comunal	Peligro	No estructural
	de Chillán (PRCCH).				
	Plan	Regulador	Comunal	Peligro	No estructural
	de Chillán Viejo (PRCCHV).				
	Defensa	Fluvial	– El	Peligro	Estructural
	Emboque.				

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Objetivo 3: Establecer las barreras y limitantes para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza para la reducción del riesgo de inundaciones en el área urbana del río Chillán

Para poder establecer cuáles son las barreras y limitantes existentes para la implementar Soluciones basadas en la Naturaleza que contribuyan a disminuir el riesgo de inundación en el área urbana del río Chillán, se realizó una consulta por medio de una encuesta online, a diferentes representantes de instituciones/organizaciones que tuvieran conocimiento, influencia o interés en la elaboración y toma de decisiones de medidas de mitigación para reducir el riesgo de inundaciones en las comunas de Chillán y Chillán Viejo.

El diseño de la encuesta se enfocó en obtener la valoración que los representantes de las instituciones/organizaciones otorgan a los beneficios que pueden aportar las Soluciones basadas en la Naturaleza en el área de estudio y las barreras y limitantes que consideran existen y que dificultan la implementación de las SbN. Las barreras y limitantes fueron agrupadas en 4 indicadores, correspondientes a Conocimiento, Gobernanza, Económicas y Físicas (tabla 9), lo que permitió establecer los considerados más relevantes.

Tabla 9: Secciones de la encuesta online a tomadores de decisión.

Sección	Contenido
Datos del encuestado	Institución/Organización que representa, cargo, profesión, formación en área ambiental.
Preguntas	Preguntas cerradas y en escala tipo Likert
Barreras y Limitantes	Conocimiento
	Gobernanza
	Económicas
	Físicas

Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de la encuesta online, se confeccionó un directorio de actores claves, donde se recabaron los datos de contacto de diversos representantes de instituciones/organizaciones a nivel regional, municipal y académico, que tuvieran relación con la gestión del riesgo de inundaciones en las comunas de Chillán y Chillán Viejo. A cada representante se le contacto vía correo electrónico para solicitar su colaboración para ser parte de la investigación respondiendo la encuesta. En la tabla 10 se detallan las instituciones/organizaciones consideradas en la investigación.

Tabla 10: Listado de instituciones/organizaciones consideradas como actores claves.

Directorio de Actores Claves	
Regional	SEREMI de Medio Ambiente
	SEREMI de Obras Publicas
	SEREMI de Vivienda y Urbanismo
	ONEMI (Ñuble)
	Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)
	Dirección General de Aguas (DGA)
Municipal	Dirección de Obras Municipales (DOM)
	Secretaria Comunal de Planificación (SECPLA)
	Dirección de Desarrollo Comunitario (DIDECO)
	Unidad de Emergencia Municipal
Académico	Departamento de Recursos Hídricos, Universidad de Concepción (Chillán)
	Facultad de Ciencias, Universidad del Bío-Bío (Chillán)

Fuente: Elaboración propia.

6. RESULTADOS

6.1. Riesgo y Percepción por inundaciones

6.1.1. Peligro

En la Figura 5, se representan los niveles de peligro para un periodo de retorno de 100 años, obtenidos de la investigación de Valdebenito (2018), donde las áreas con nivel de peligro alto abarcaron 397,28 ha. (51%), las áreas con nivel de peligro medio representaron 220,59 ha. (28%) y las áreas con peligro bajo correspondieron a 159,69 ha. (21%).

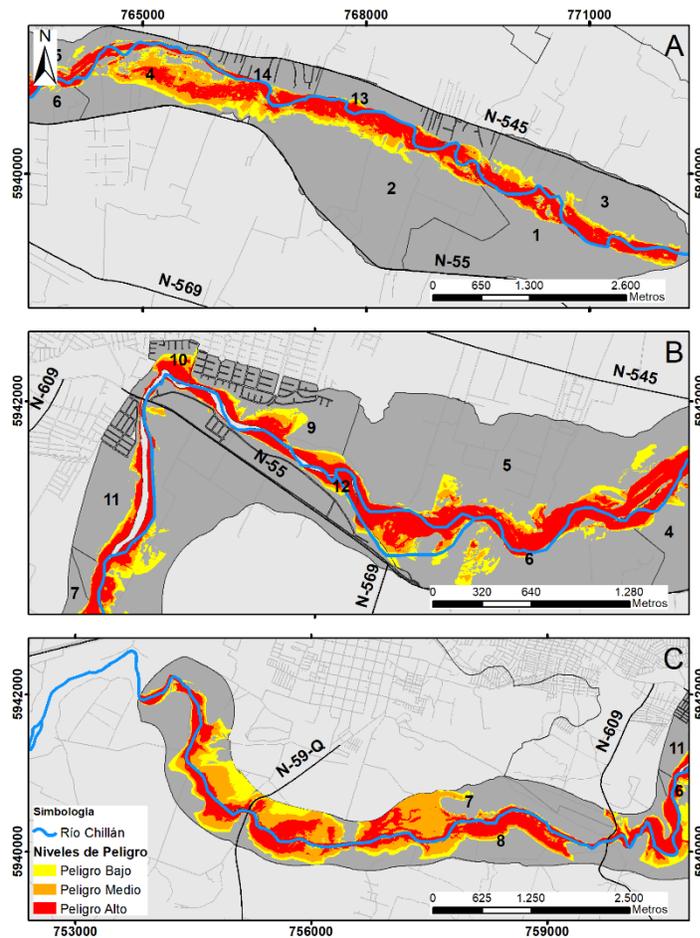


Figura 5: Niveles de peligro asociados a un periodo de retorno de 100 años.

Fuente: Elaborado en base a los resultados de Valdebenito (2018).

6.1.2. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se analizó mediante 6 indicadores. Para el indicador edades de la población, que considera los porcentajes de cada manzana/entidad respecto de la población en edades vulnerables (menores de 5 años y mayores de 65 años), se obtuvo que el 75% del área de estudio posee un nivel de vulnerabilidad medio (entre un 8-24% de población en edades vulnerables, menor a 5 y mayores de 65 años). Los niveles altos de vulnerabilidad (sobre un 25%, menores a 5 y mayores a 65 años) representan un 13% del área de estudio y corresponden a localidades ubicadas principalmente en la unidad 12 (Boyen 2) y unidad 13 (Los Guindos). Los sectores con niveles bajos de vulnerabilidad y sin vulnerabilidad representaron el 4% y 10%, respectivamente.

Los indicadores de densidad de población y densidad de vivienda, los niveles de vulnerabilidad baja representan la mayor proporción del área de estudio (44%), principalmente sectores rurales. Los niveles de vulnerabilidad alta (31%) y media (25%), están presentes en zonas urbanas, donde los niveles altos corresponden a algunas manzanas censales en las unidades 9 y 11 (San Bernardo 1 y Boyen 1), con densidades que fluctuaron entre 143,46– 238,49 hab./ha. (densidad de población) y entre 46,82-72,03 viv/ha. (densidad de vivienda).

Para el indicador materialidad de los muros exteriores, el 42% del área presentó niveles de vulnerabilidad media, caracterizándose por viviendas con materialidad de albañilería. En los sectores rurales de Barriales, San Nicolás, Chillán Viejo-Río Viejo y Las Lajuelas-Quilmo Alto (unidades 3, 4, 7 y 8 respectivamente), junto con algunas manzanas urbanas de Boyen 2 (unidad 12) y Los Guindos (unidad 13) fueron identificados niveles de vulnerabilidad alta, donde predominaron materiales de adobe, lata, cartón y tabiquería de madera. Los niveles de vulnerabilidad baja (hormigón armado) representaron un 29% del área.

Para el indicador de viviendas precarias, que considera los porcentajes que tiene cada manzana/entidad de viviendas tipo mediagua, conventillo o vivienda tradicional indígena, se registró que un 60% del área de estudio no tiene vulnerabilidad asociada a este indicador, donde solo un 6% de las unidades presentaron niveles de vulnerabilidad alta, con más del 10% de viviendas definidas como precarias y se encuentran específicamente en el sector Boyen 2 (unidad 12). Los niveles de vulnerabilidad media y baja obtuvieron un 17% respectivamente.

Finalmente, para el indicador índice de materialidad de la vivienda, se obtuvo que el 65% del área de estudio posee niveles de vulnerabilidad media correspondientes a viviendas de tipo recuperable en función de sus materiales de construcción. Se identificó que dos sectores presentaron niveles de vulnerabilidad alta, que corresponden a viviendas de tipo irrecuperable, ubicadas Boyen 2 (unidad 12) y San Nicolás (unidad 4). Los niveles de vulnerabilidad baja (viviendas aceptables) representaron un 21% las zonas del área de estudio. En la figura 6, se representan los mapas de vulnerabilidad calculados para cada uno de los 6 indicadores utilizados.

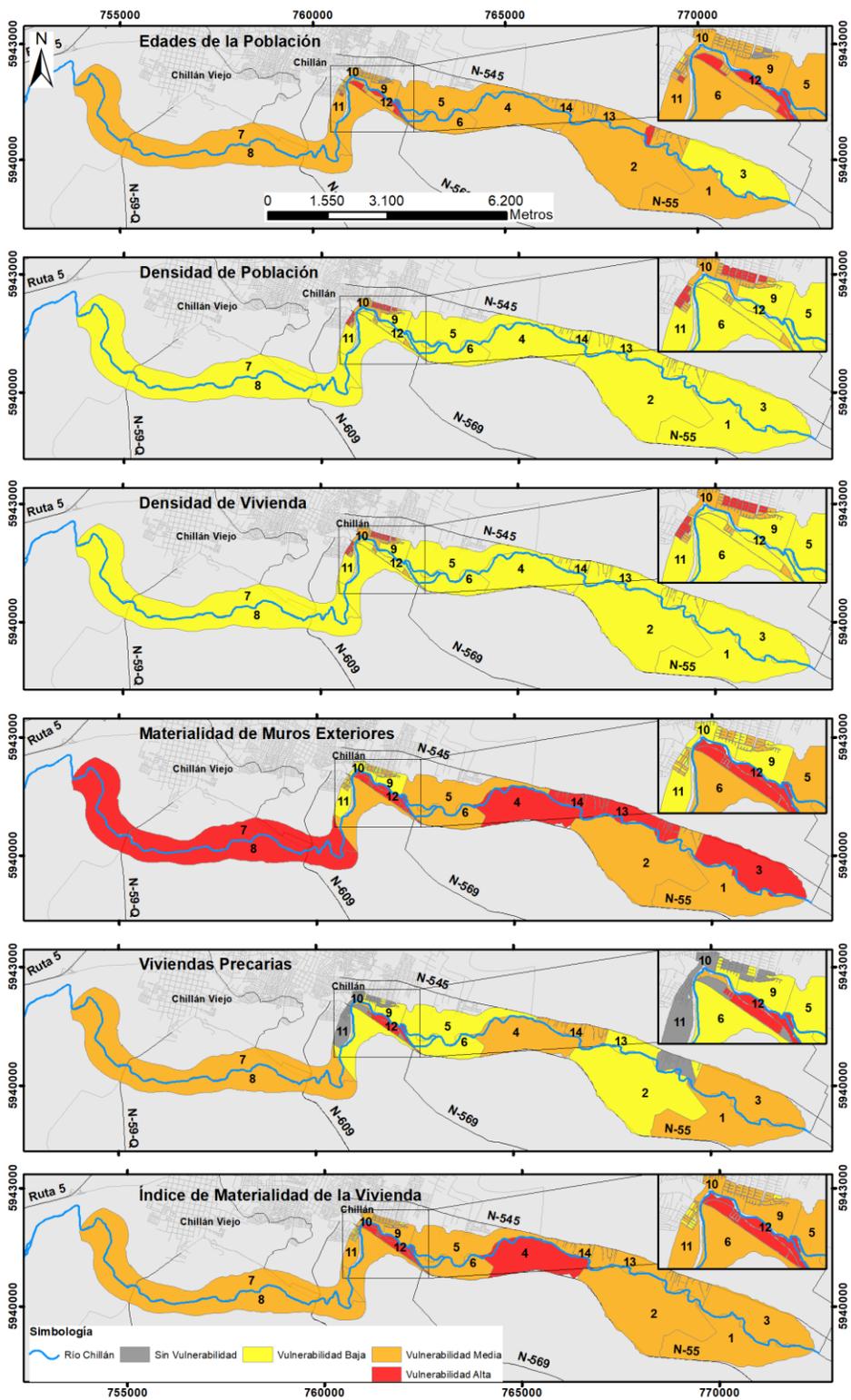


Figura 6: Niveles de vulnerabilidad según cada indicador para el área urbana del río Chillán.

En la Figura 7, se presenta el mapa integrado de vulnerabilidad total, calculado a partir de los indicadores de exposición y vulnerabilidad física. El resultado permitió identificar las unidades de análisis que presentan mayores niveles de vulnerabilidad, lo que permite orientar algún tipo de medida de mitigación. El mapa de vulnerabilidad total indicó que los niveles de vulnerabilidad media representan un 54% del área de estudio, abarcando unidades rurales 1, 3, 7, 8, 13, 14 y algunas manzanas urbanas en las unidades 9, 11 y 12. Los niveles de vulnerabilidad baja representan un 35% del área de estudio y corresponden a las unidades 2, 5, 6 y algunas manzanas urbanas de las unidades 9, 10 y 11. Los niveles de vulnerabilidad alta, determinados principalmente por los indicadores de materialidad de los muros exteriores y el índice de materialidad de la vivienda, representan el 10% del área de estudio, y corresponden a las unidad rural 4 (San Nicolás) y algunas manzanas urbanas de la unidad 12 (Boyen 2).

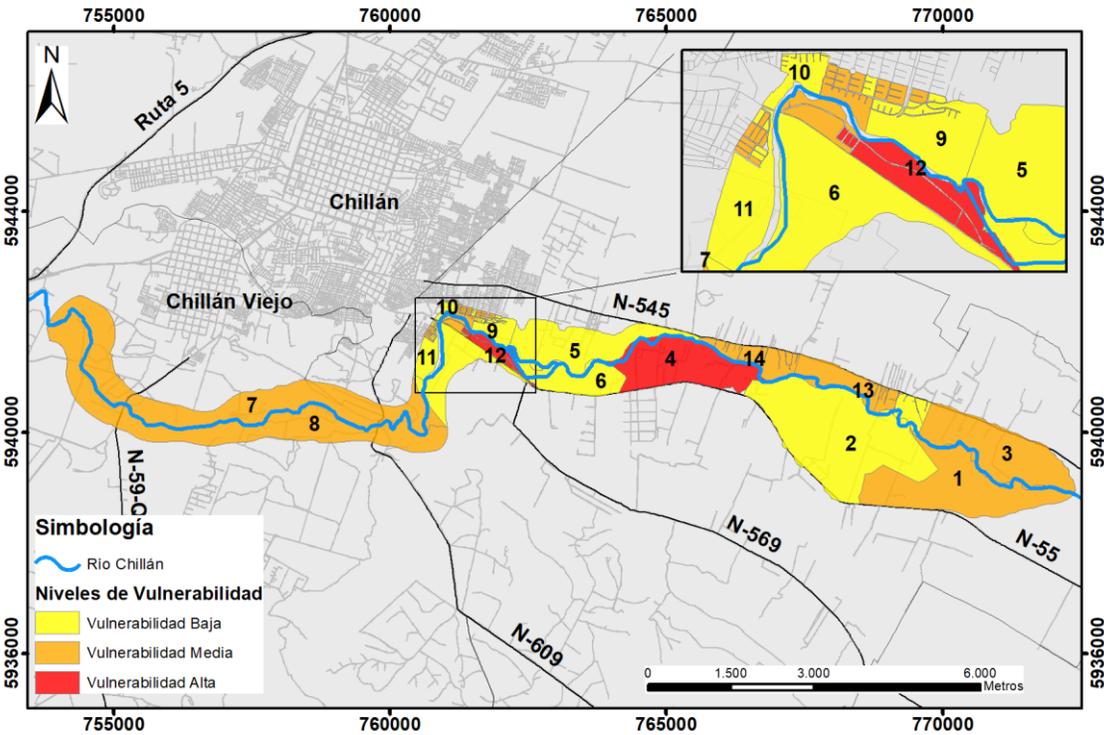


Figura 7: Niveles de vulnerabilidad total para el área urbana del río Chillán.

6.1.3. Riesgo

Las áreas de riesgo de inundación abarcaron un total de 777,53 ha (figura 7), donde las áreas con nivel de riesgo alto comprendieron 295,45 ha., siendo las mas predominantes. Las con nivel de riesgo medio alcanzaron 287,1 ha., mientras las con nivel de riesgo bajo abarcaron 194,98 ha.

En la vista A de la Figura 8, se observa el primer tramo del área de estudio (visto desde aguas arriba a aguas abajo), donde se evidencia que en la mayoría de las unidades de análisis (1,2,3,13,14) los niveles de peligro de inundación se concentran principalmente sobre zonas ribereñas y terrenos agrícolas lo que no representaría un gran problema para la población. Sin embargo, en la unidad de análisis 4, se identifican niveles de peligro alto (ribera izquierda del río Chillán) en un sector donde actualmente se encuentra la población San Nicolás, siendo un sector que en los últimos años se ha evidenciado un aumento en la construcción de viviendas, situación que fue corroborada en las visitas a terreno, lo que provocaría un grave problema ante la ocurrencia de un evento de inundación.

En la vista B, este tramo del río se caracteriza por presentar niveles de peligro medio y bajo, en gran parte de las unidades de análisis, siendo los sectores de Villa San Ramón y Villa Doña Francisca los mas cercanos a niveles de peligro alto,

Finalmente en la vista C, se evidencian varias zonas con niveles de peligro alto, pero que principalmente se concentran sobre zonas ribereñas y terrenos agrícolas, siendo los sectores las Lajuelas y a los costados de la ruta N-59-Q (camino a Yungay) los mas preocupantes, debido al aumento en la construcción de viviendas en el sector.

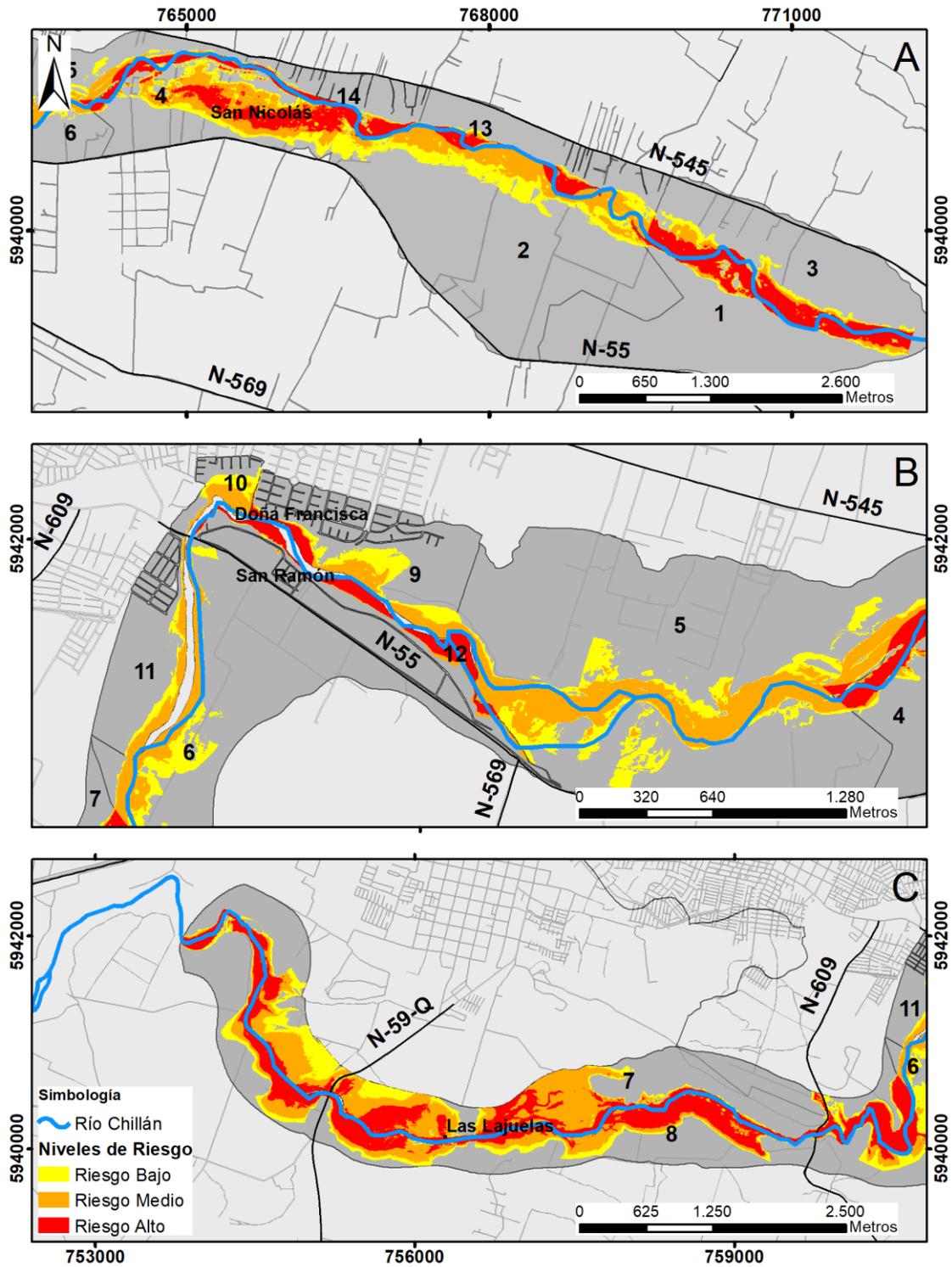


Figura 8: Niveles de riesgo de inundación para el área urbana del río Chillán.

6.1.4. Percepción del riesgo por inundaciones

6.1.4.1. Encuesta

Se aplicaron un total de 317 encuestas, a los habitantes de los 14 sectores definidos como unidades de análisis en las cercanías del río Chillán, donde el 55,5% de las encuestas se realizó en unidades urbanas y el 44,5% en unidades rurales. De las cuales, 303 fueron realizadas en la comuna de Chillán y 14 fueron realizadas en sectores de la comuna de Chillán Viejo. Esto se debe principalmente a que la mayoría de las unidades de análisis se encuentran en la comuna de Chillán y son sectores donde existe mayor concentración de viviendas, a diferencia de los sectores que se encuentran en la comuna de Chillán Viejo, donde mayoritariamente prevalecen las zonas ribereñas y terrenos agrícolas.

En la figura 9, se encuentra la distribución espacial de las encuestas en cada unidad de análisis. En la vista A, que corresponde al primer tramo del área de estudio (visto desde aguas arriba a aguas abajo), se visualizan los sectores rurales (naranja) de Las Chilcas-Lautaro, Las Chilcas, Barriales, San Nicolás, Monte Rico, San Juan-Boyen y los sectores urbanos (rojo) de Los Guindos (este) y Los Guindos (oeste). En la vista B, se visualizan los sectores rurales de Monte Rico, San Juan-Boyen y los sectores urbanos de San Bernardo 1, San Bernardo 2, Boyen 1 y Boyen 2. Finalmente, en la vista C, se visualizan las encuestas realizadas en los sectores rurales de Chillán Viejo-Río Viejo y Las Lajuelas-Quilmo Alto.

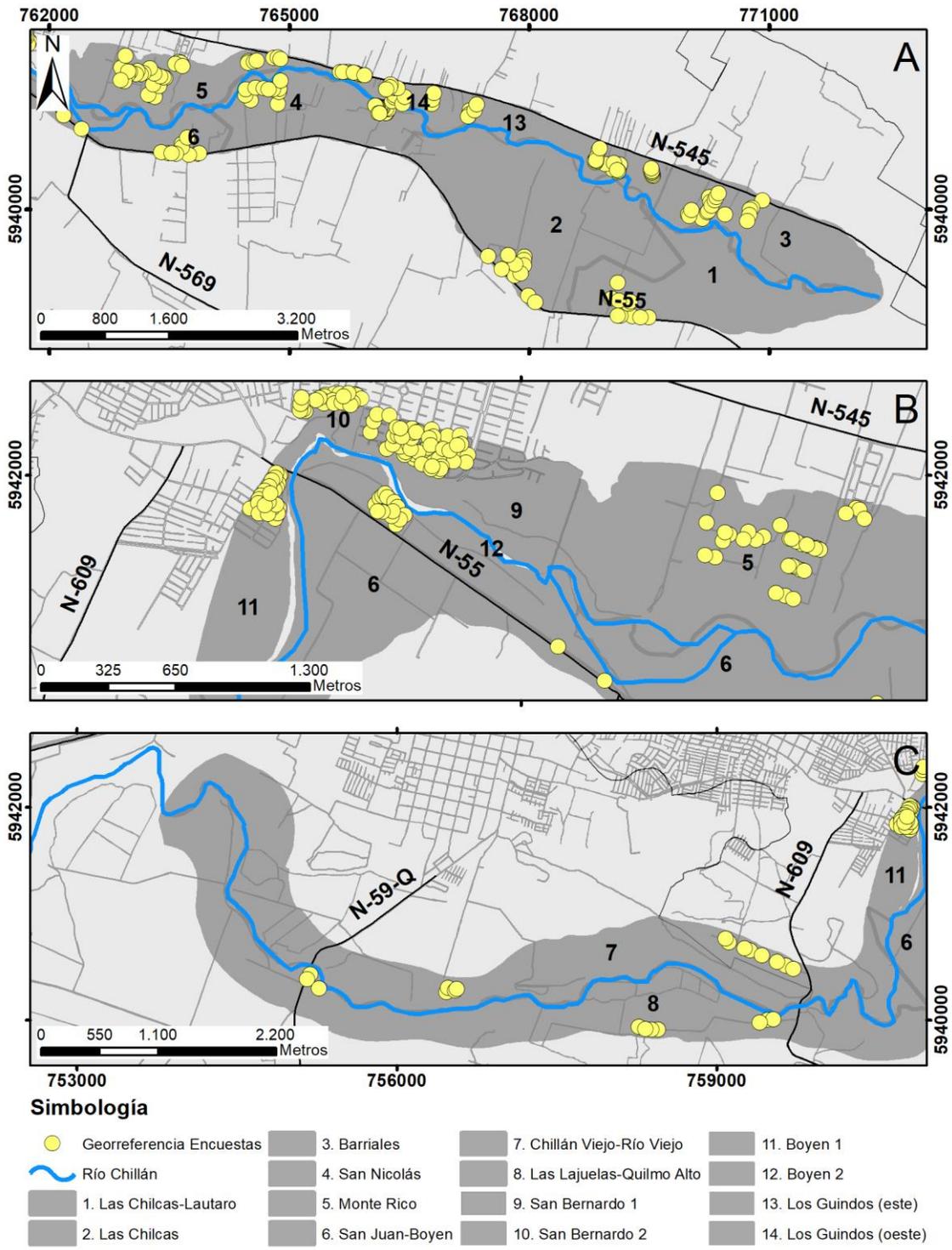


Figura 9: Georreferenciación de encuestas aplicadas en el área de estudio.

La encuesta se diseñó con la condición de ser respondida por personas mayores de 30 años, para asegurarse que tuvieran conocimiento de uno de los últimos registros de inundación ocurrido el año 2006. En ese sentido, las edades de los encuestados fluctuaron entre los 31 y 88 años, con un promedio de edad de 49,5 años. Los encuestados se clasificaron en grupos etarios (tabla 11), donde el grupo más representativo el comprendido por edades desde los 41 a 50 años (36%), A su vez, el 54,6% correspondió a encuestados del sexo masculino y el 45,4% del sexo femenino.

Tabla 11: Grupos etarios de los encuestados.

Rango edades	Sexo		Total
	Femenino	Masculino	
31 a 40 años	11,7%	10,4%	22,1%
41 a 50 años	18,3%	17,7%	36,0%
51 a 60 años	7,9%	14,8%	22,7%
más de 60 años	7,6%	11,7%	19,2%
TOTAL	45,4%	54,6%	100,0%

En la variable nivel educacional, un 50,5% de los encuestados ha declarado tener estudios de nivel superior (superior completa o incompleta), a su vez se han observado algunas diferencias entre unidades de análisis (tabla 12), donde cuatro unidades concentraron un nivel educacional más elevado (superior y postgrado): San Bernardo 1 (84%), San Bernardo 2 (80,7%), Boyen 1 (76%) y Barriales (72%), los menores niveles educacionales correspondieron a Las Chilcas, San Nicolás y Monte Rico. En lo que respecta al sector económico en el cual trabajan los encuestados, un 71,9% se desempeña en el sector terciario (servicios, comercio, etc.), y en menor medida se encuentran las personas que pertenecen al sector secundario (industria) y primario (agricultura, ganadería, etc.), con un 22,1% y 6% respectivamente.

Tabla 12: Nivel educacional de los encuestados.

Unidades de análisis	Nivel Educativo				Total
	Básico	Medio	Superior	Postgrado	
1. Las Chilcas-Lautaro		70,0%	30,0%		100,0%
2.Las Chilcas	9,1%	54,5%	36,4%		100,0%
3. Barriales	11,1%	16,7%	55,6%	16,7%	100,0%
4.San Nicolás	13,3%	56,7%	30,0%		100,0%
5.Monte Rico	7,5%	40,0%	52,5%		100,0%
6.San Juan-Boyen		60,0%	40,0%		100,0%
7.Chillan Viejo-Rio Viejo		91,7%	8,3%		100,0%
8.Las Lajuelas-Quilmo Alto		60,0%	40,0%		100,0%
9.San Bernardo 1		16,0%	68,0%	16,0%	100,0%
10.San Bernardo 2		19,2%	76,9%	3,8%	100,0%
11.Boyen 1		24,0%	72,0%	4,0%	100,0%
12.Boyen 2		75,0%	25,0%		100,0%
13.Los Guindos-Este		46,2%	46,2%	7,7%	100,0%
14.Los Guindos-Oeste		45,5%	48,5%	6,1%	100,0%
TOTAL	3,2%	41,0%	50,5%	5,4%	100,0%

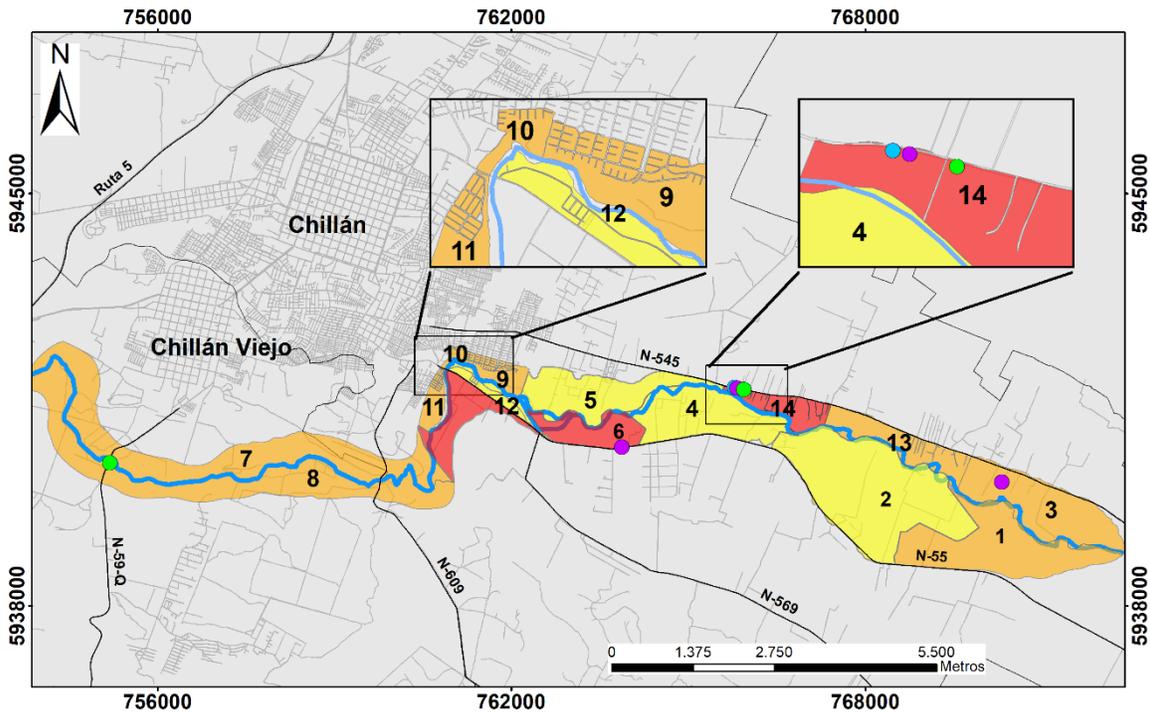
Los encuestados han presentado en promedio 15,3 años de residencia en su actual vivienda, donde el 42,9% ha declarado que lleva habitando entre 1 a 10 años, un 33,4% lleva entre 11 a 20 años y un 23,7% de los encuestados lleva más de 20 años de residencia. Resultado que se fundamenta en el crecimiento habitacional que se ha ido desarrollando en la comuna de Chillán y Chillán Viejo, principalmente en los sectores que aún son considerados como rurales; pero que se han ido urbanizando, como los sectores camino a Pinto y camino a las Mariposas. De la totalidad de los encuestados, el 82% de las viviendas corresponden a casas individuales y un 18% casas adosadas (pareadas), en las cuales habitan en promedio 3,5 personas por vivienda.

6.1.4.2. Percepción de los daños

Se ha consultado a los encuestados sobre el grado de conocimiento que tienen respecto de las áreas que se inundan producto del desborde de ríos o canales en los sectores cercanos a su lugar de residencia. De la totalidad de las encuestas un 65,3% declara que no tiene conocimiento sobre las áreas que se inundan producto del desborde de ríos o canales en su lugar de residencia y donde además un 59,4% ha indicado que no ha consultado al momento de construir, adquirir o arrendar su vivienda actual, sobre si esta se encontraba en una zona donde habían ocurrido inundaciones en el pasado.

En lo que respecta a si el encuestado o su núcleo familiar ha sufrido daños o afectaciones como consecuencia de una inundación por desborde de ríos o canales en su lugar de residencia actual, solo 6 encuestados, los cuales llevan más de 10 años de residencia en su vivienda actual, declaran haber sufridos daños, de los cuales dos sufrieron daños en la estructura de su vivienda, uno la pérdida de enseres domésticos y tres la pérdida de cosechas en sus terrenos. Los dos encuestados que han sufrido daños materiales en sus viviendas indicaron que han tenido en cuenta la ocurrencia de futuras inundaciones en la reparaciones o medidas realizadas en sus viviendas y además recuerdan que la última inundación destructiva ocurrió el año 2006, donde la altura que alcanzó la inundación en sus viviendas fue de aproximadamente 30 y 20 cm. respectivamente.

En la figura 10, se observa la comparación de los encuestados que declaran haber sufrido daños producto de una inundación y el promedio de años de residencia que tienen los encuestados en cada unidad de análisis. Donde cuatro de los encuestados que sufrieron daños se encuentran en unidades con un promedio de residencia de más de 20 años y dos de los encuestados en unidades con un promedio de residencia de entre 11 a 20 años.



Simbología

- Daños en la estructura de la Vivienda
- Pérdida de cosechas
- Pérdida de enseres domésticos
- Residencia entre 1 a 10 años
- Residencia entre 11 a 20 años
- Residencia mas de 20 años
- Río Chillán

Figura 10: Georreferencia de los encuestados que declaran haber sufrido daños producto de inundaciones en su lugar de residencia junto con el promedio de años de residencia de cada unidad de análisis.

Se consultó sobre las causas que los encuestados consideran más relevantes para que una inundación por desborde de río sea más destructiva (figura 11), los tipos de causas naturales (precipitaciones, tormentas, etc.) fueron consideradas las más importantes con un 67% de las preferencias. Seguidas de la no adopción de medidas por parte de las autoridades con un 50%, las causas provocadas por el ser humano (construcción de viviendas en sectores inundables, etc.) con un 35%, el cambio climático con un 34% y las intervenciones no autorizadas de cauces con un 14%.

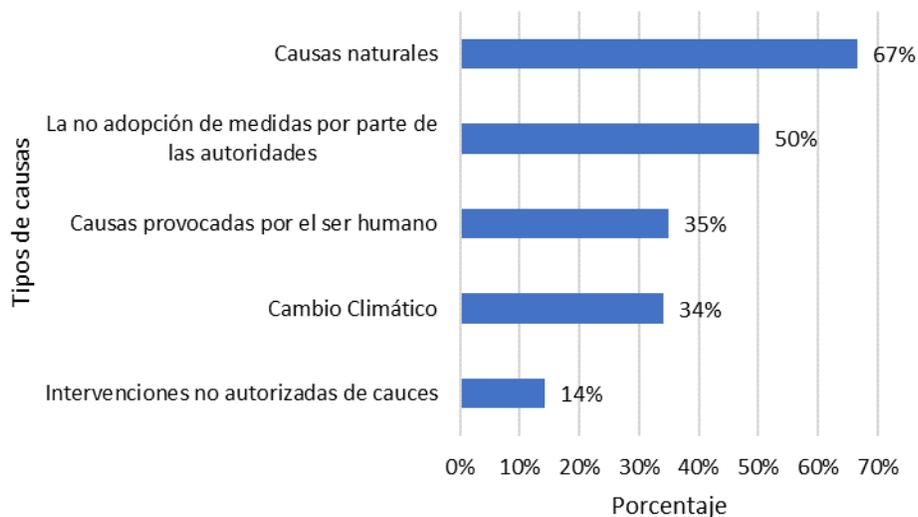


Figura 11: Causas que considera que más influyen para que una inundación por desborde de río sea más destructiva (los encuestados debían seleccionar las dos más importantes, por lo que los porcentajes pueden superar el 100%).

6.1.4.3. Percepción del riesgo

La Percepción del riesgo de inundación, se ha obtenido en base a dos preguntas realizadas en escalas tipo Likert, donde se ha consultado a los encuestados sobre la importancia que tiene el riesgo de inundación en su lugar de residencia y si frente a inundaciones su lugar de residencia en un lugar seguro. Para su evaluación se establecieron tres niveles de percepción, donde un 39% de los encuestados posee un nivel de percepción del riesgo bajo, un 47% una percepción del riesgo medio y un 14% una percepción del riesgo alta.

Se realizó un contraste entre la percepción del riesgo de inundación que tienen los encuestados con la cantidad de años de residencia que llevan en su vivienda actual (tabla 13). Se obtuvo que los niveles de percepción más bajos se concentran en la población que lleva entre 1 a 10 años de residencia, a diferencia de la población que lleva más de 20 años que presentó niveles de percepción del riesgo altos.

Tabla 13: Comparación de niveles de percepción del riesgo con años de residencia de los encuestados.

		Percepción del riesgo			Total
		Bajo	Medio	Alto	
Años de residencia	1 a 10 años	90,4%	9,6%		100,0%
	11 a 20 años	0,9%	98,1%	0,9%	100,0%
	más de 20 años		44,0%	56,0%	100,0%
	Total	39,1%	47,3%	13,6%	100,0%

Con el objetivo de visualizar de manera gráfica los resultados, se realizó un diagrama de dispersión de las variables, años de residencia y percepción del riesgo (Figura 12), donde se observa que existe una relación positiva de los datos, que permitiría establecer que a mayores años de residencia existe una mayor percepción del riesgo de inundación.

Para establecer la correlación entre estas dos variables, se ha calculado el valor del estadístico r de Pearson, el cual es de 0.886 (Tabla 14), que indica que la correlación entre las variables es muy significativa. Por lo tanto, las personas que poseen mayores años de residencia en su vivienda tendrán una mayor percepción del riesgo de inundación.

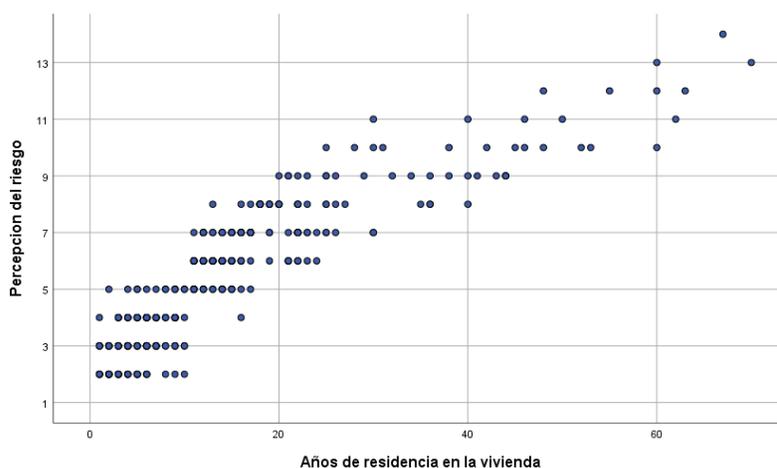


Figura 12: Diagrama de dispersión para las variables años de residencia y percepción del riesgo.

Fuente: elaboración propia, realizada en el software SPSS statistics

Tabla 14: Resultados de la correlación del estadístico r de Pearson.

Correlaciones		Años de residencia en la vivienda	Percepción del Riesgo de inundación
Años de residencia en la vivienda	Correlación de Pearson	1	,886**
	Sig. (bilateral)		0
	N.	317	317
Percepción del Riesgo de inundación	Correlación de Pearson.	,886**	1
	Sig. (bilateral)	0	
	N.	317	317

**** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).**

Fuente: Elaboración propia, realizada en el software SPSS statistics.

Se consultó sobre el tipo de impactos que generarían las inundaciones en su lugar de residencia, donde se observó que los encuestados otorgaron mayor valoración a los impactos sobre los ríos y esteros (Figura 13), seguido del corte y daños de caminos, donde las mayores valoraciones se obtuvieron en las unidades de San Juan-Boyen y Barriales respectivamente. La mayoría de los impactos o daños que generaría una inundación fueron valorados de manera más alta en las unidades rurales, a diferencia de las unidades urbanas donde se obtuvieron menores valoraciones (Figura 14).

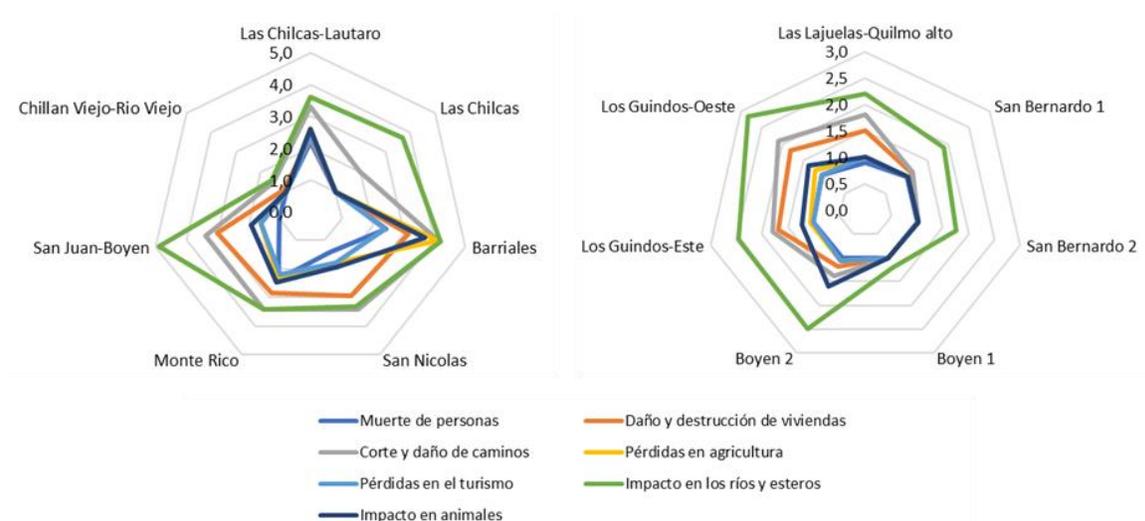


Figura 13: Valoración para cada unidad de análisis, sobre los tipos de impactos que se generarían en su lugar de residencia producto de inundaciones.

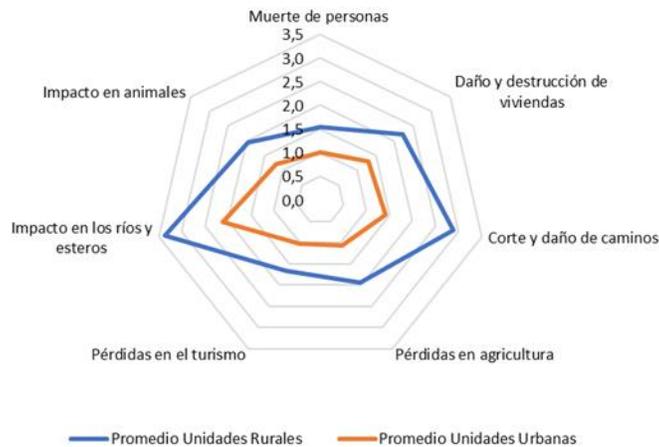


Figura 14: Valoración promedio por unidades rurales y urbanas, sobre los tipos de impactos que se generarían en su lugar de residencia producto de inundaciones.

Finalmente se obtuvo la evaluación de los encuestados sobre dos medidas de mitigación (Canalización de un río y Parque inundable en un río), en base a los beneficios que se obtendrían al implementar estas medidas en su lugar de residencia, para reducir los efectos de futuras inundaciones.

En la figura 15, se observa las valoraciones obtenidas para la medida “Canalización de un río”, donde un 64% está muy de acuerdo con que la implementación de esta medida proporcionará una mayor defensa contra las inundaciones; pero a su vez se observa que hay una baja valoración para los beneficios relacionados a proporcionar un hábitat para la flora y fauna del sector, proporcionar un aumento del turismo, otorgar un espacio para hacer deporte, pasear y sacar fotografías, mejorar la calidad paisajística del entorno e integrar el río a la comunidad o población.

Para la siguiente medida analizada “Parque inundable”, en la figura 14 se observa que existe una alta valoración sobre el 80% para 7 beneficios que se obtendrían al implementar esta medida, relacionados a mejorar la calidad del paisaje del entorno, proporcionar un hábitat para la flora y fauna del sector y un aumento del turismo, entre otros. Sin embargo, hay una menor valoración (47%), respecto de si la medida proporcionará una mayor defensa contra las inundaciones. Resultado que podría explicarse ya que hay pocas iniciativas en Chile, donde se hallan implementado los Parque inundables como medidas de mitigación contra inundaciones, a diferencia de las Canalizaciones de los ríos que son iniciativas que existen en mayor cantidad, por lo que son más conocidas.

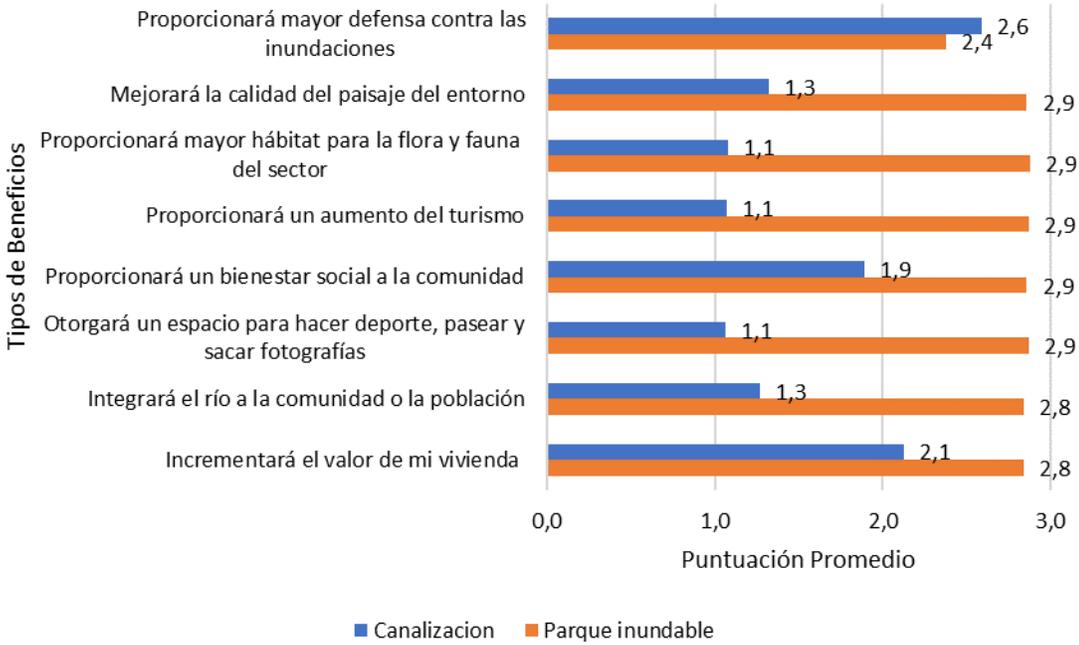


Figura 15: Evaluación de los beneficios que generaría la implementación de la Canalización de un río, para reducir los efectos de las inundaciones.

6.1.4.4. Contraste de los niveles de riesgo con percepción

En la Figura 16, se realizó el contraste de los niveles de riesgo identificados en el área de estudio, con los niveles de percepción del riesgo de inundación obtenidos por parte de la población encuestada, con el objetivo de identificar los sectores críticos, es decir, que presenten niveles de riesgo alto y niveles de percepción baja, resultado que permita orientar algún tipo de medida de mitigación. En ese sentido, en la vista A se identifica que la unidad 4 (sector San Nicolás) presenta una baja percepción del riesgo de inundaciones y que a la vez posee niveles de riesgo alto y en la vista B la unidad 12 que presenta una baja percepción del riesgo se encuentra en cercanías de niveles alto de riesgo por inundaciones.

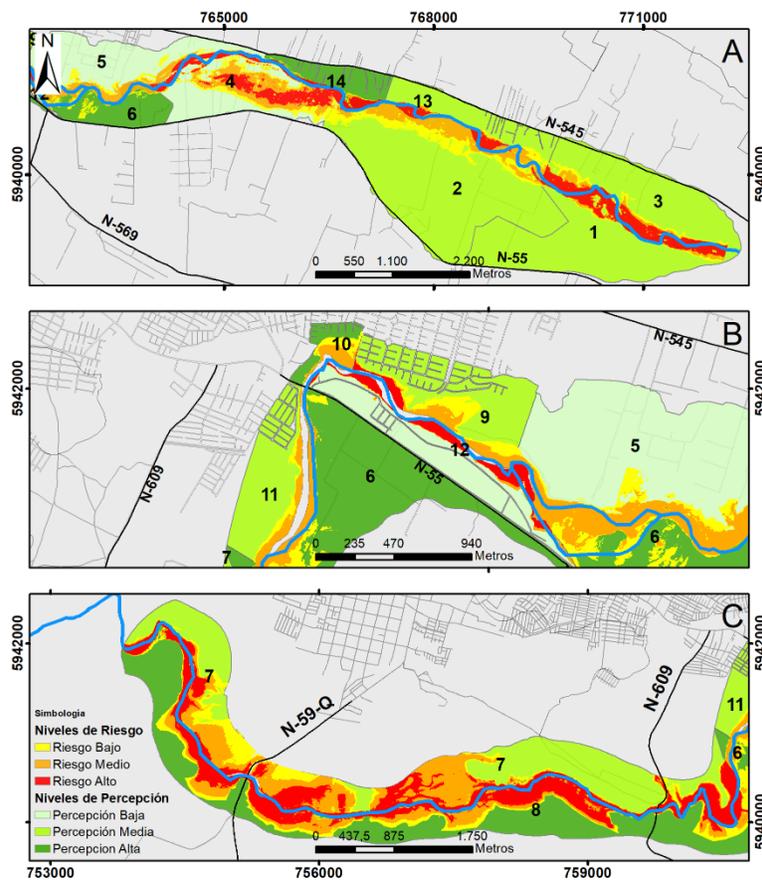


Figura 16: Contraste de los niveles de riesgo con los niveles de percepción del riesgo de inundaciones.

6.2. Contraste de los instrumentos y medidas de mitigación con los niveles de peligro y riesgo identificados en el área urbana del río Chillán

Instrumento / Medida

Plan Regional de Emergencia – Región de Ñuble

Cuadro de Ubicación

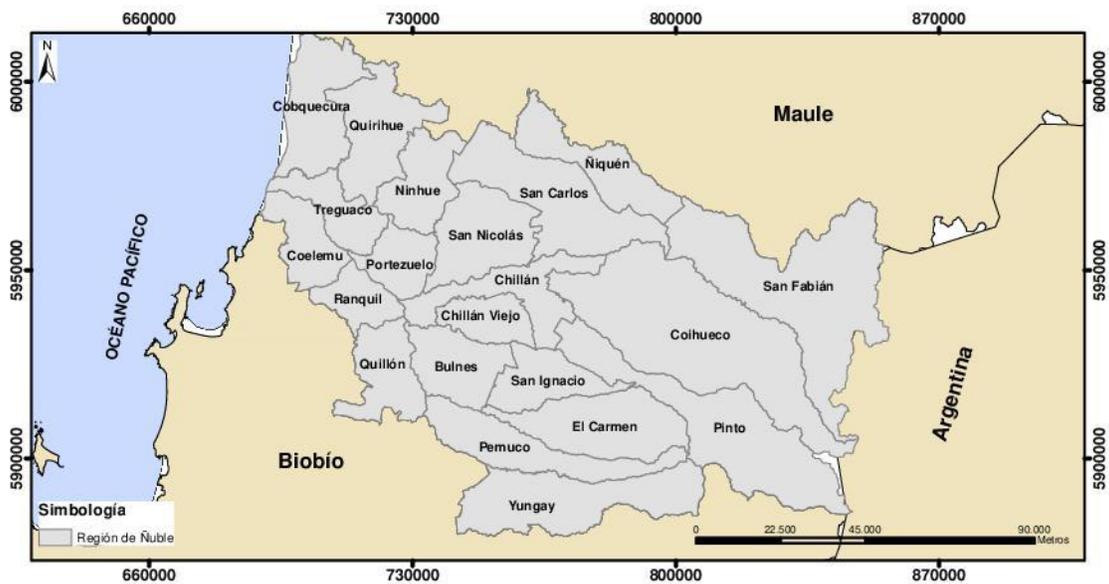


Figura 17: Área de aplicación del Plan Regional del Emergencia.

Objetivos

El Plan Regional de Emergencia de la Región de Ñuble fue aprobado el 24 de enero de 2019, y se constituye como el marco general de coordinación del Sistema Regional de Protección Civil frente a emergencias complejas o desastres, derivadas de cualquier tipo de amenaza, abarcando desde el alertamiento temprano hasta la fase de rehabilitación de aquellos servicios considerados como básicos. La activación del Plan Regional de Emergencia está determinada por el nivel de impacto de un evento, en función de los daños o afectación ocasionados y la capacidad de respuesta del área afectada.

De este modo, el Plan Regional de Emergencia se activa a partir de eventos con niveles de impacto III y IV, es decir, frente a emergencias complejas y desastres, que sobrepasen la capacidad de respuesta comunal (Cortez & Grandón, 2019).

De esta manera, el sistema nacional de alertas normalmente aborda las siguientes variables de riesgo o amenazas: Eventos Meteorológicos, Actividad Volcánica, Incendios Forestales, Crecidas de Ríos y Lagos, Marejadas y Tsunami. Ante la ocurrencia de un desastre o catástrofe de carácter regional, se constituirá un Comité Regional de Operaciones de Emergencia (COE), que deberá dirigir estratégicamente el curso de las operaciones durante una emergencia compleja o desastre, establecer prioridades, asegurar el flujo de información y la coordinación de la asignación de recursos (Cortez & Grandón, 2019).

Tipo de Medida

No estructural

Observaciones

El Plan Regional de Emergencia de la Región de Ñuble, es de carácter multiamenaza, por lo tanto, no está enfocado en una sola amenaza o variable de riesgo, y en él se definen las acciones de respuesta en las distintas fases operativas frente a emergencias complejas o desastres (Cortez & Grandón, 2019), siendo una de las variables de riesgo que permiten su activación las crecidas de ríos que afecten a la región. Sin embargo, no se define ningún plan específico de emergencia para la variable de riesgo de inundaciones, ni tampoco se definen sectores de la región, que son más propensos a sufrir inundaciones por el desborde de ríos.

Instrumento / Medida

Plan Regulador Intercomunal Chillán – Chillán Viejo (PRICH)

Cuadro de Ubicación

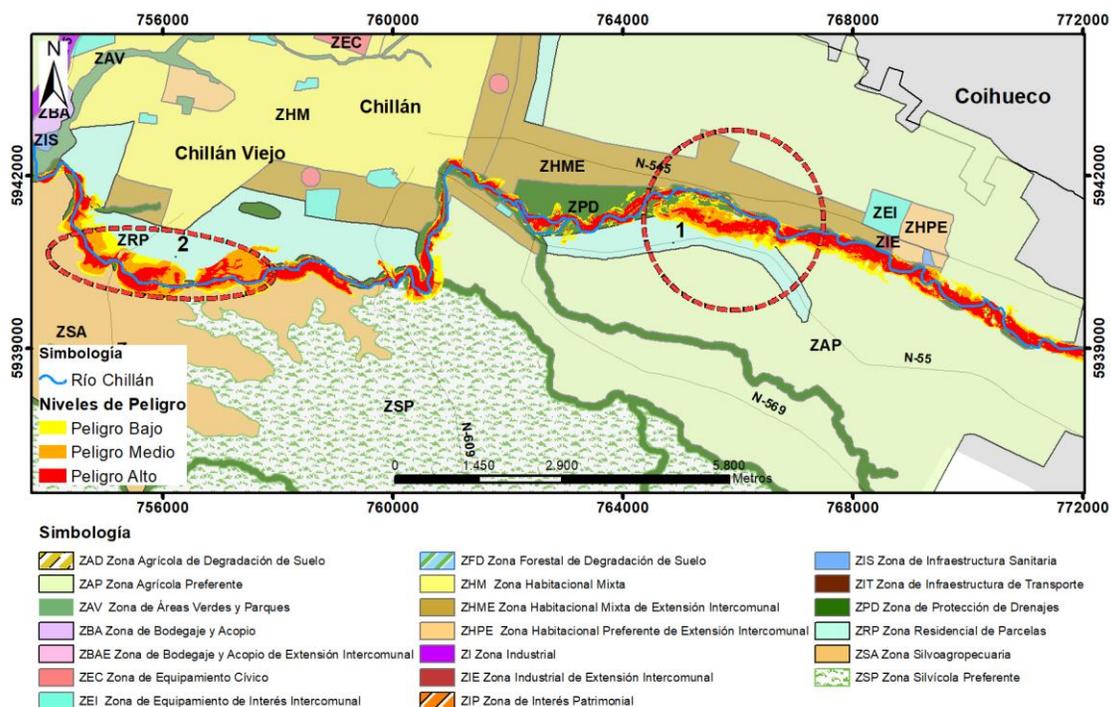


Figura 18: Contraste de los niveles de peligro de inundación con la zonificación del PRICH.

Objetivos

El Plan Regulador Intercomunal Chillán – Chillán Viejo (PRICH) entró en vigencia el 30 de julio de 2007. Se aplica en el Área de Planificación Intercomunal, que comprende todo el territorio de las comunas de Chillán y Chillán Viejo, graficadas en el Plano PRICH (figura 18), en Área Urbana Intercomunal, Área Rural Intercomunal y Áreas Especiales de Protección y de Riesgo Intercomunales. Se entenderá por Áreas Especiales, de Protección y de Riesgo aquellas áreas ubicadas indistintamente tanto en el Área Urbana Intercomunal como en el Área Rural Intercomunal, que debido a sus especiales condiciones naturales y/o

antrópicas, y/o de riesgo para el asentamiento humano, requieren de normas especiales de protección y/o resguardo para ser ocupadas.

En la Áreas de Protección y de Riesgo se definen Zonas de Protección de Drenajes (ZPD), que corresponden principalmente a corredores fluviales destinados a proteger el normal escurrimiento de las aguas superficiales, lechos de ríos, esteros, fondos y laderas inferiores de quebradas, en las cuales, se inhibe de forma parcial o total la instalación de asentamientos humanos, debido a diversas causas naturales: como el riesgo por inundación y anegamiento (Gobierno Regional del Biobío, 2007). Actualmente el Plan Regulador Intercomunal de Chillán-Chillán Viejo se encuentra en proceso de actualización.

Tipo de Medida

No estructural

Observaciones

En la Figura 18, se realiza la comparación de las zonificaciones del Plan Regulador Intercomunal Chillán y Chillán Viejo (PRICH), donde se insertan las áreas con riesgo de inundación dentro de las Zonas de Protección y de Riesgo (ZPD), con los niveles de peligro de inundación existentes. En términos numéricos, en el área de estudio se determinó una superficie de 534 hectáreas abarcadas por las Zonas de Protección de Drenaje (ZPD) definidas por el PRICH. En contraste la superficie comprendida por la extensión de una inundación con período de retorno de 100 años fue de 777 hectáreas. Además, se identificaron zonas con niveles de peligro alto que están consideradas como ZRP (Zona Residencial de Parcelas), y no como ZPD en el PRICH (círculos en rojo). Los sectores identificados corresponden al sector San Nicolás (primer círculo), y al sector Las Lajuelas-Quilmo Alto (segundo círculo), donde además se evidencia un aumento en la construcción de viviendas en los últimos años.

Instrumento / Medida

Plan Comunal de Protección Civil – Chillán

Cuadro de Ubicación

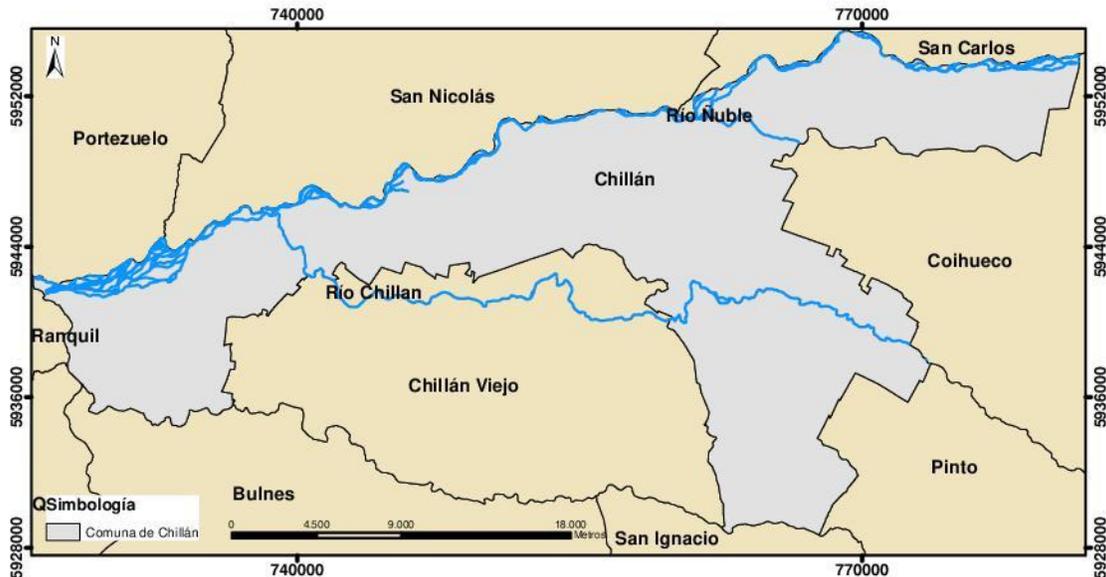


Figura 19: Área de aplicación del Plan Comunal de Protección Civil – Chillán.

Objetivos

El Plan Comunal de Protección Civil y Emergencias de la comuna de Chillán vigente entre 2012-2016, identifica como tales las inundaciones, sequías, terremotos o movimientos telúricos de mayor intensidad, entre otros, como los principales riesgos en la comuna, estableciéndose medidas tendientes a la administración y manejo de riesgos, enfocado a materias de prevención con la comunidad, cumpliendo un rol de protección civil (Acuña et al., 2019).

Recientemente se comenzó a trabajar, para dar curso a la actualización del Plan Comunal de Protección Civil y Emergencia. Para ello, desde DIDECO se ha creado la Oficina de Protección Comunitaria y Emergencia y los Comités Comunitarios de Emergencia, que permitan tratar las materias de emergencia de manera integral con un trabajo mancomunado; pero también establecer un mecanismo que permita hacer capacitación y acompañamiento para que las personas sepan cómo enfrentar medidas de autocuidado orientadas a la prevención, educación y acompañamiento de la comunidad (Acuña et al., 2019).

Tipo de Medida

No Estructural

Observaciones

A pesar que se cuenta con un Plan comunal de protección civil donde se establecen protocolos, procedimientos, coordinación, entre otras materias acordes a la gestión de emergencia, se hace necesario en una futura actualización considerar funciones específicas relacionadas a las inundaciones en la comuna, ya que en el actual Plan, no se definen sectores de la comuna que son propensos a sufrir inundaciones por desborde de ríos, por lo que una buena iniciativa sería la inclusión de estudios de riesgos que identifiquen los sectores/localidades con mayor riesgo de la comuna, lo que permita orientar medidas de mitigación para la reducción del riesgo de inundación.

Instrumento / Medida

Plan Comunal de Protección Civil – Chillán Viejo

Cuadro de Ubicación

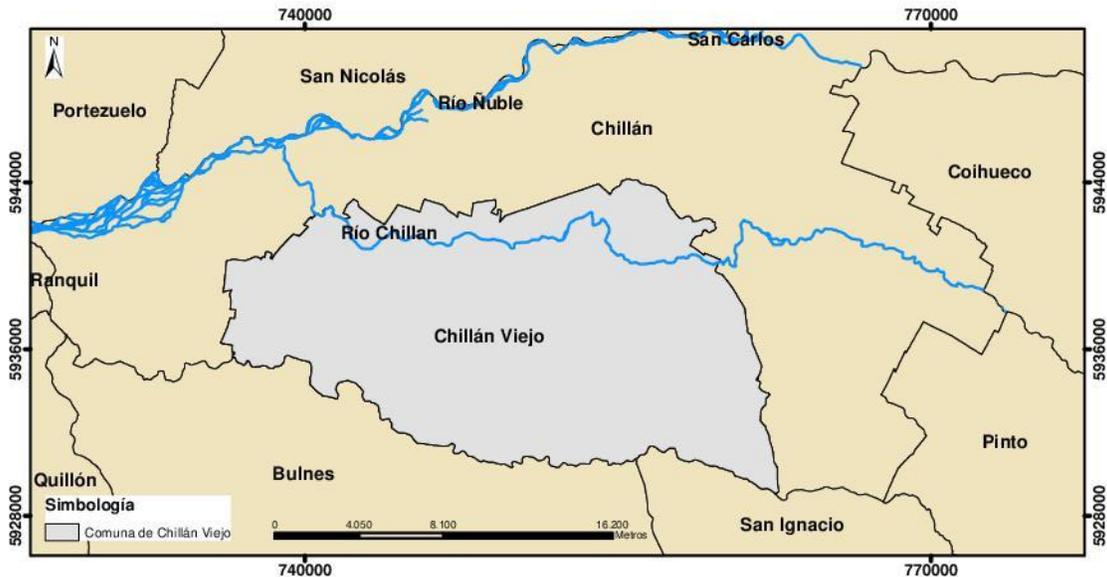


Figura 20: Área de aplicación del Plan Comunal de Protección Civil – Chillán Viejo.

Objetivos

En el Plan Comunal de Protección Civil aprobado en 2012, la Municipalidad de Chillán Viejo, adopta las siguientes medidas necesarias para prevenir y enfrentar situaciones de emergencia, que deben ser coordinadas por el encargado Comunal de Protección Civil. La comuna es el primer nivel de reacción frente a una emergencia o catástrofe, empleando para ello escalonadamente todos los medios disponibles en la comuna de acuerdo con las características y de los elementos que se cuentan en su stock de emergencia. definiéndose tres fases de acción: Antes (Prevención), Durante (Respuesta), Después (Recuperación) (Municipalidad de Chillán Viejo, 2012b).

Tipo de Medida

No Estructural

Observaciones

A pesar que se cuenta con un Plan Comunal de Protección Civil donde se establecen protocolos, procedimientos, coordinación, entre otras materias acordes a la gestión de emergencia, se hace necesario en una futura actualización considerar funciones específicas relacionadas a las inundaciones en la comuna, ya que en el actual Plan, no se definen sectores de la comuna que son propensos a sufrir inundaciones por desborde de ríos, por lo que una buena iniciativa sería la inclusión de estudios de riesgos que identifiquen los sectores/localidades con mayor riesgo de la comuna, lo que permita orientar medidas de mitigación para la reducción del riesgo de inundación.



Instrumento / Medida

Plan Regulador Comunal de Chillán (PRCCH)

Cuadro de Ubicación

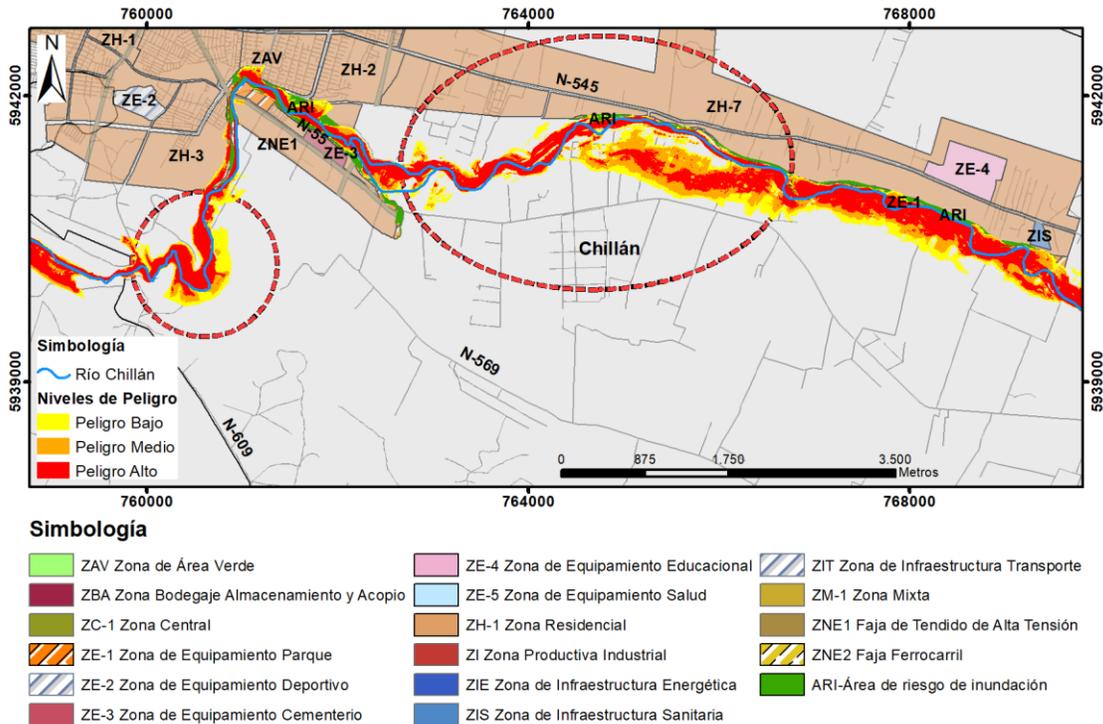


Figura 21: Contraste de los niveles de peligro de inundación con la zonificación del PRCCH.

Objetivos

El Plan Regulador de Chillán que presenta la última modificación el 7 de julio de 2016, contiene las normas referidas al límite urbano, vialidad estructurante, zonificación y normas urbanísticas, condiciones generales y específicas sobre usos de suelo, de edificación y urbanización y zonas o inmuebles de conservación histórica. En el área urbana definida en el Plano PRCCH se identifican áreas restringidas al desarrollo humano, donde una de ellas corresponde a las Áreas de Riesgo de Inundación (ARI). Los proyectos que se desarrollen en zonas que se encuentren dentro de áreas de riesgo deberán cumplir con las exigencias que establece la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones para este tipo de áreas. (Municipalidad de Chillán, 2016).

Tipo de Medida

No estructural

Observaciones

En términos numéricos, en el área de estudio se determinó una superficie de 70,3 hectáreas abarcadas por las Áreas de riesgo de inundación (ARI) definidas por el PRCCH. En contraste la superficie comprendida por la extensión de una inundación con período de retorno de 100 años fue de 777 hectáreas. Sin embargo, es posible evidenciar un buen contraste para los sectores definidos como ARI que intersecan con el río Chillán (Figura 21); pero también hay sectores de la comuna que al no estar dentro de los límites urbanos que se definen el PRCCH, no se encuentran zonificados, como son las localidades demarcadas por los círculos en rojo y que son sectores que en los últimos años han evidenciado una creciente urbanización, por lo que deberían ser incluidas en una futura actualización del PRCCH.



Instrumento / Medida

Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo (PRCHV)

Cuadro de Ubicación

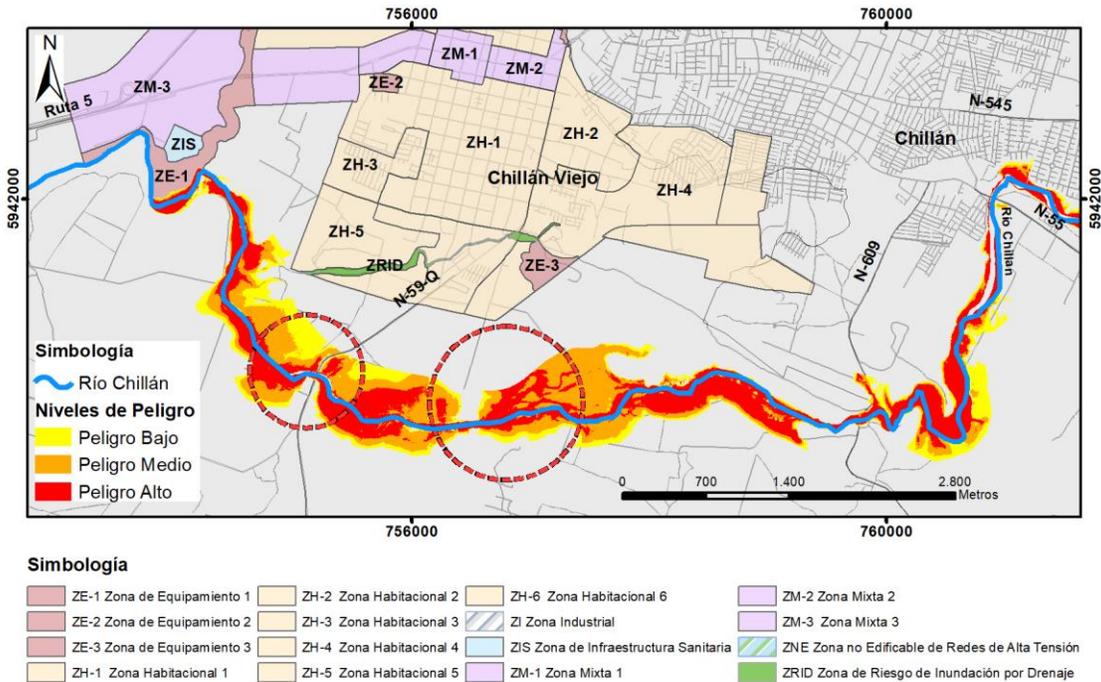


Figura 22: Contraste de los niveles de peligro de inundación con la zonificación del PRCHV.

Objetivos

El Plan Regulador de Chillán Viejo que presenta la última modificación el 20 de agosto de 2012. Contiene las normas referidas al límite urbano, vialidad estructurante, zonificación y normas urbanísticas, condiciones generales y específicas sobre usos de suelo, de edificación y urbanización, zonas o inmuebles de conservación histórica y plantaciones y obras de ornato. En el plano PRCHV las áreas excluidas o restringidas al desarrollo urbano, por causas de riesgos naturales, antrópicos y de valor natural, se definen como Zonas de Riesgo de Inundación por Drenajes (ZRID) (Municipalidad de Chillán Viejo, 2012a).

Tipo de Medida

No estructural

Observaciones

Las áreas definidas como Zonas de Riesgo de Inundación por Drenajes (ZRID) que están incluidas en el Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo (PRCCHV), no corresponden a localidades del área de estudio en las cercanías del río Chillán, ya que este no se encuentra dentro de los límites urbanos definidos para realizar la zonificación del PRCCHV. En la figura 22, se evidencia la existencia de sectores con niveles de peligro alto de inundación (círculos en rojo), que están fuera de los límites urbanos; pero que en la actualidad han experimentado un aumento en la construcción de viviendas, por lo que deberían ser sectores considerados en una futura actualización del Instrumento de Planificación.



Instrumento / Medida

Defensa Fluvial Sector el Emboque

Cuadro de Ubicación

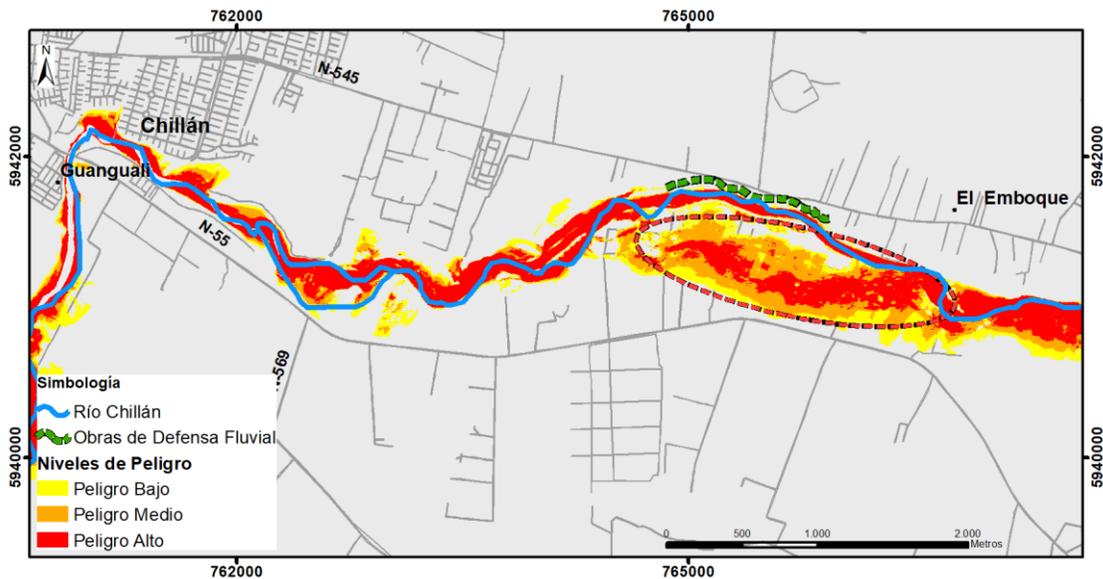


Figura 23: Contraste de los niveles de riesgo de inundación con las obras de Defensa Fluvial, en el sector el Emboque.

Objetivos

En el Plan Maestro de manejo de cauces cuenca del río Chillán, elaborado el año 2005 por la empresa PRISMA Ingeniería, se informan las medidas estructurales existentes en la cuenca del río Chillán, basadas en obras de protección contra inundaciones para zonas vulnerables actualmente pobladas y/o con presencia de infraestructura pública. Se identifica una obra de Defensa Fluvial localizada en el sector el Emboque, en la ribera derecha del río Chillán entre los kilómetros 35,3 a 37,2 de la ruta N-545, camino a Tanilvoro. Correspondiente a una obra de revestimientos de enrocado de cantera apoyados sobre ribera rectificadas o sobre pretil de material fluvial (Figura 23).

Tipo de Medida

Estructural

Observaciones

En la figura 23, es posible evidenciar que la obra de defensa fluvial existente abarca solo un tramo en la ribera derecha del río Chillán (cercano a la ruta N-545), generando una protección para las viviendas ubicadas en las cercanías. Sin embargo, se evidencia que, en la misma zona; pero en la ribera izquierda del río Chillán (ruta N-55), se presentan niveles de peligro alto (circulo en rojo), en el sector conocido como San Nicolás, donde en los últimos años se ha presenciado un aumento en la construcción de viviendas, situación que fue corroborada en las visitas a terreno realizadas, lo que representa una situación compleja que debería ser abordada por las autoridades.



En la tabla 15, se presenta un resumen de las principales conclusiones obtenidas del contraste de los instrumentos/medidas de mitigación de inundaciones, con los niveles de peligro y riesgo según corresponda, clasificados en base a su escala de aplicación.

Tabla 15: Cuadro resumen de los instrumentos/medidas contrastadas con los niveles de peligro y riesgo de inundación identificados en el área de estudio.

Escala	Instrumento / Medida	Contraste	Observaciones
Regional	Plan Regional de Emergencia – Ñuble.	Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> No se definen sectores en la región que presenten niveles de riesgo de inundación
Intercomunal	Plan Regulador Intercomunal Chillán - Chillán Viejo.	Peligro	<ul style="list-style-type: none"> ZPD: 534,37 ha. en área de estudio Área con peligro de inundación T=100 años: 777,56 ha. Sectores con peligro alto no incluidos como ZPD (San Nicolás, Las Lajuelas).
Comunal	Plan Comunal Protección Civil – Chillán.	Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> No definen sectores en la comuna con niveles de riesgo de inundación
	Plan Comunal Protección Civil - Chillán Viejo.	Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> No define sectores de la comuna con niveles de riesgo de inundación
	Plan Regulador Comunal de Chillán .	Peligro	<ul style="list-style-type: none"> ARI: 70,3 ha. en área de estudio Área con peligro de inundación T= 100 años: 777,56 ha. Gran parte del área de estudio no se encuentra normada por el PRCCCH.
	Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo.	Peligro	<ul style="list-style-type: none"> ZRID: 0 ha. en área de estudio. Área con peligro de inundación T=100 años: 77,56 ha. El área de estudio no se encuentra normada por el PRCCHV
	Defensa Fluvial El Emboque.	Peligro	<ul style="list-style-type: none"> Abarca 1,9 kms en ribera del río Chillán (ruta N-545). Presencia de niveles de peligro alto en mismo sector, pero por ruta N-55.

6.3. Barreras y limitantes para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en el área urbana del río Chillán

6.3.1. Encuesta a tomadores de decisión

Se obtuvieron 12 respuestas de representantes de instituciones/organizaciones que tuvieran conocimiento, interés y relación en la elaboración de soluciones para la reducción del riesgo de inundaciones en el área urbana del río Chillán. De los cuales 10 corresponden a representantes de instituciones/organizaciones del sector público y 2 a representantes del sector privado (Tabla 16). En general los encuestados tienen en promedio 7,9 años de antigüedad en su institución/organización, donde además el 58% indicó que posee formación en el área ambiental.

Tabla 16: Sector al que pertenecen las instituciones/organizaciones encuestadas.

	Usted responderá la encuesta como representante de una Institución/Organización del:		
	Sector Privado	Sector Público	Total, encuestados
Municipalidad de Chillán	0	2	2
Municipalidad de Chillán Viejo	0	5	5
Dirección General de Aguas	0	1	1
Ministerio de Medio Ambiente	0	1	1
Universidad de Concepción	2	0	2
Universidad del Bío-Bío	0	1	1
TOTAL	2	10	12

Desde el punto de vista de las medidas de mitigación de inundaciones, que se han implementado en el área urbana del río Chillán, en la figura 24, se presentan las medidas que según los encuestados se han desarrollado, donde se observa que un 54% destaca los encauzamientos de ríos y riberas, las cuales principalmente se enfocan en los canales que desembocan en el río Chillán. Además, se destacan los

estudios de riesgo (46%) y la actualización de planes reguladores (46%), en los cuales se definen zonas de protección para el riesgo de inundaciones.

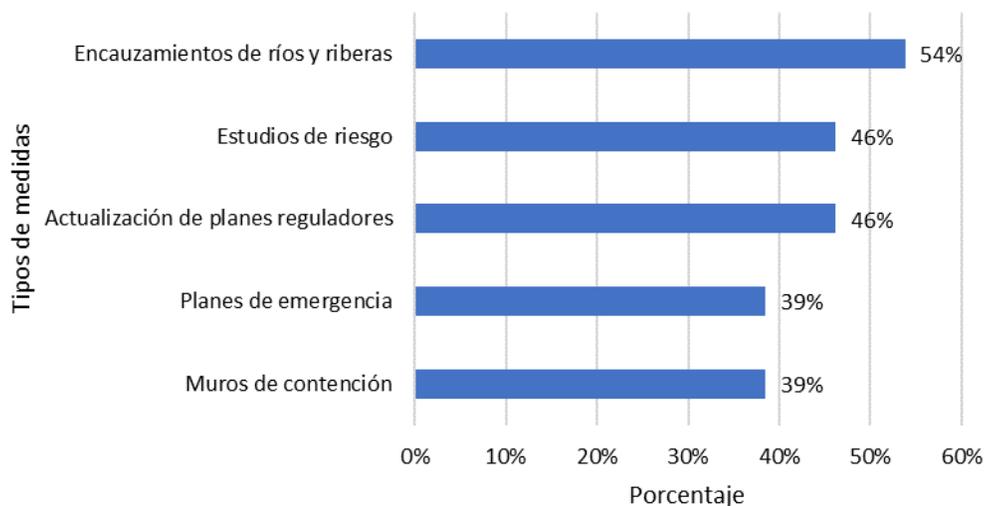


Figura 24: Medidas de mitigación de inundación que se han desarrollado en el área urbana del río Chillán.

Los representantes de las instituciones/organizaciones han entregado su opinión sobre una serie de preguntas, referentes al riesgo de inundación (Figura 25). Se ha observado que los representantes de las universidades han entregado una menor valoración respecto a las preguntas relacionadas a si las medidas de mitigación se diseñaron en base al riesgo de inundación existente, a la importancia que tiene el riesgo de inundación en la toma de decisiones de la institución y al grado de participación que tienen como institución en la elaboración de medidas de mitigación, en comparación con los representantes de las municipalidades y el gobierno regional. Sin embargo, existe una similitud en la valoración que hacen los representantes de universidades, municipios y gobierno regional sobre un aumento de la tendencia futura que debería generarse en Chile, por implementar soluciones basadas en la naturaleza para la reducción del riesgo de inundación.

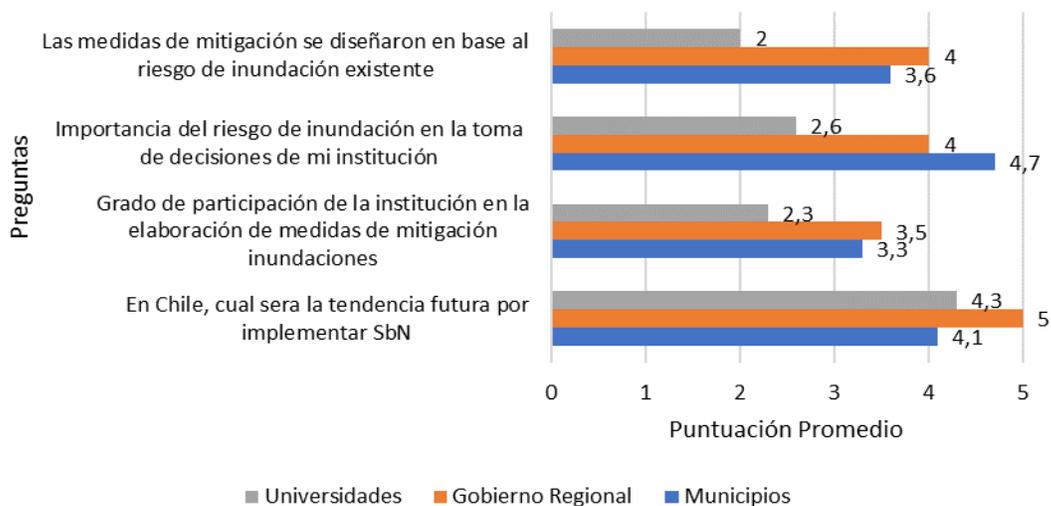


Figura 25: Valoración de preguntas relacionadas al riesgo de inundación.

En ese sentido, se ha consultado a los encuestados sobre el conocimiento que tienen de alguna iniciativa en Chile, en la cual se hayan implementado soluciones basadas en la naturaleza para la reducción del riesgo de inundación, donde un 42% a indicado que conoce iniciativas como el Parque inundable Víctor Jara en Santiago, además se ha indicado que no hay conocimiento del desarrollo de iniciativas o programas, donde se pretenda implementar soluciones basadas en la naturaleza en el área urbana del río Chillán, pero hay un 100% de convencimiento que pueden ser aplicadas a futuro.

En relación con los principales beneficios que generaría implementar soluciones basadas en la naturaleza para la reducción del riesgo de inundación (Figura 26), se observa que para los encuestados la implementación de SbN otorgarían altos beneficios en el área urbana del río Chillán, destacando como los de mayor contribución a la planificación urbana sostenible y la conservación de la biodiversidad.

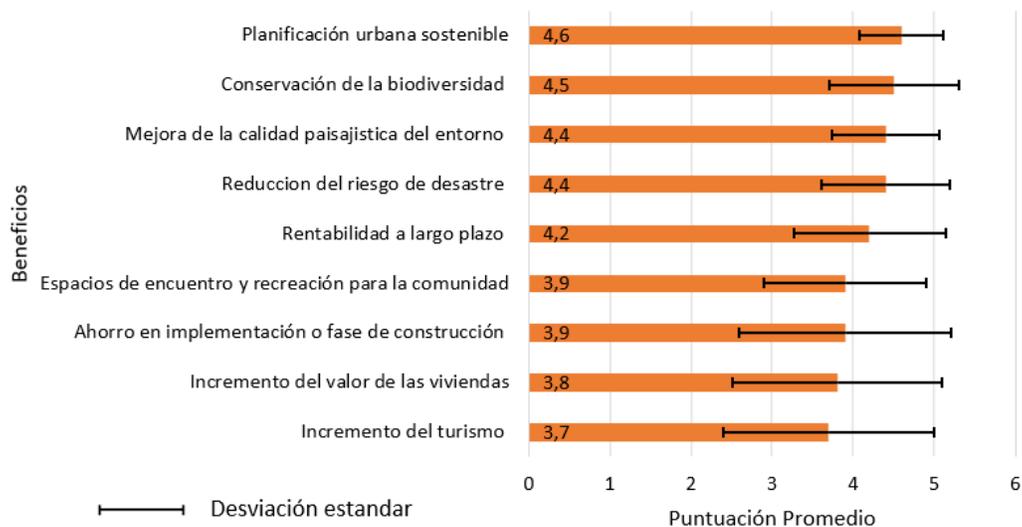


Figura 26: Valoración de los tipos de beneficios obtenidos al implementar soluciones basadas en la naturaleza.

Para identificar cuáles son las barreras que los representantes de las instituciones/organizaciones encuestadas consideran más importantes, que impiden poder implementar Soluciones basadas en la Naturaleza para reducir los efectos de las inundaciones en el área urbana del río Chillán. Se han agrupado los indicadores según el tipo de barrera que representan (tabla 17), donde a nivel general, los indicadores que han sido considerados más importantes en cada tipo de barrera son: falta de información y conocimiento de las medidas (conocimiento), barreras institucionales (gobernanza), incertidumbres económicas para su mantención a largo plazo (económicas), propiedad del suelo privada (físicas), donde el indicador con mayor puntuación promedio ha sido la falta de información y conocimiento de las medidas (4,0). En la figura 27, se observa que existe diferencia entre la opinión de los representantes de las instituciones sobre la barrera que consideran más importante, los municipios les han otorgado una mayor valoración a las barreras económicas (3,71), desde el gobierno regional a las barreras de conocimiento (3,67) y desde las universidades a las barreras de gobernanza (4,0).

Tabla 17: Indicadores usados para establecer las barreras para la implementación de SbN para la reducción del riesgo de inundación.

BARRERAS	INDICADORES	PROMEDIO	D. ESTÁNDAR
CONOCIMIENTO	Incertidumbre sobre los posibles beneficios de su implementación	3,0	0,42
	Falta de información y conocimiento de las medidas	4,0	0,85
	Problemas técnicos (ausencia de herramientas para su aplicación).	3,3	0,96
	TOTAL	3,4	0,93
GOBERNANZA	Barreras institucionales	3,3	1,43
	Desconfianza de la efectividad de las medidas.	2,7	1,15
	TOTAL	3,0	1,32
ECONÓMICAS	Incertidumbre económica para su mantención a largo plazo	3,4	0,99
	Restricciones presupuestarias	3,3	1,28
	TOTAL	3,3	1,13
FÍSICAS	Propiedad del suelo privada	3,0	0,95
	Terrenos no aptos para su implementación	2,7	0,65
	Altas velocidades y profundidades de las inundaciones	2,3	0,86
	Ausencia de ecosistemas para implementar SbN	2,3	0,98
	TOTAL	2,6	0,90



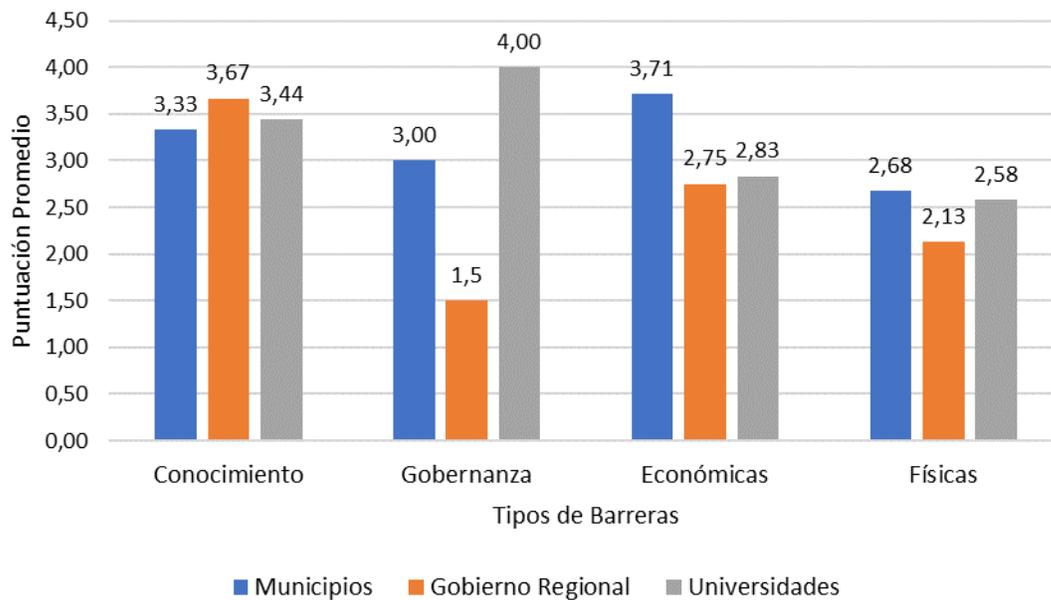


Figura 27: Evaluación de los tipos de barreras por parte de las instituciones/organizaciones encuestadas.

Finalmente se consultó sobre la importancia que deben tener en los próximos 50 años, diferentes tipos de medidas que permitan disminuir el riesgo de inundaciones, considerando sus costos de implementación y los beneficios asociados que otorgan cada medida. En ese sentido, los representantes de las instituciones encuestadas consideran que las soluciones de infraestructura verde basadas en sistemas híbridos (sistemas naturales + infraestructura tradicional) y las basadas en sistemas naturales (mejoramiento y restauración de bosques, humedales urbanos, etc.) deben tener una mayor relevancia a futuro (Figura 28). Por su parte, la prohibición de la edificación en espacios inundables fue considerada muy importante por los municipios y las universidades; pero no así por los representantes del gobierno regional. Finalmente, las soluciones de infraestructura gris (muros, gaviones, encauzamientos, etc.), fueron percibidos con una importancia menor en relación con la importancia que deberían tener a futuro.

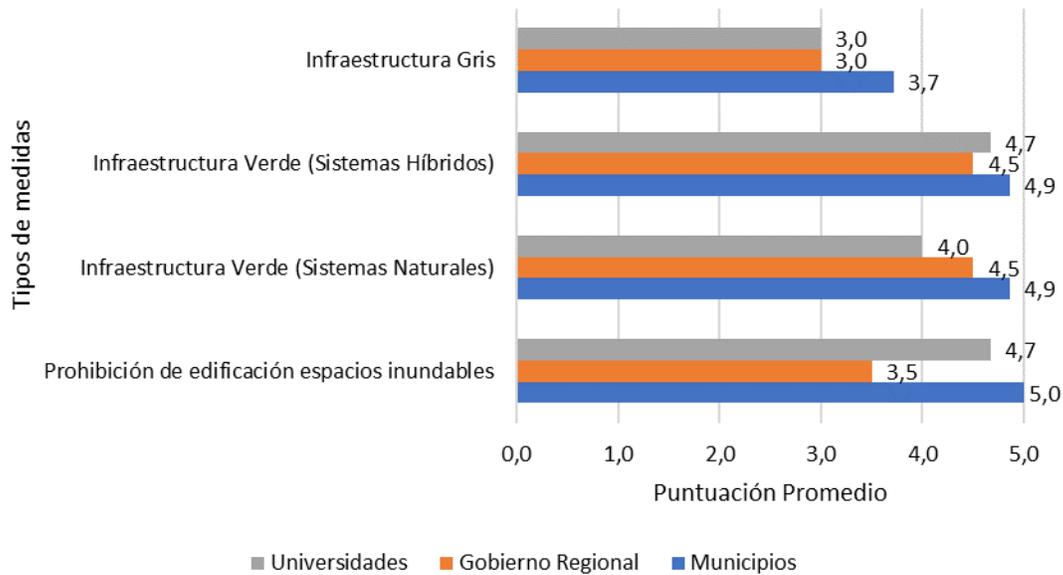


Figura 28: Importancia que deben en los próximos 50 años las siguientes medidas de mitigación para disminuir el riesgo de inundación.



7. APORTE A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los resultados de la investigación permiten contribuir al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles, específicamente al cumplimiento de la meta 11.b. que propone que de aquí a 2030, se aumente considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adopten e implementen políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

8. CONCLUSIONES

La obtención del riesgo y percepción de inundaciones, permitió identificar los sectores críticos, es decir, con niveles de riesgo alto y percepción del riesgo bajo, situación que debería ser abordada por las autoridades a la hora de implementar medidas de gestión del riesgo de inundaciones, impulsando iniciativas como las Soluciones basadas en la Naturaleza, las cuales han sido valoradas positivamente por la población en función de los beneficios ambientales y sociales que potencialmente otorgarían en el área de estudio.

Se evidenció la existencia de áreas con niveles de peligro y riesgo alto que no están incluidas en los instrumentos de planificación y medidas de gestión existentes, por lo tanto, se hace necesaria una actualización de los Planes Reguladores (Intercomunal y Comunes) y los Planes de Emergencia (Regional y Comunes), además de complementar las obras de Defensa Fluvial del sector El Emboque, debido a la creciente urbanización experimentada en las cercanías del río Chillán.

A pesar de la valoración positiva de los beneficios que otorgan la SbN para la reducción de inundaciones, los tomadores de decisión aun consideran que existen barreras y limitantes para su implementación y que principalmente se deben a la falta de información y conocimiento para su aplicación y la incertidumbre económica para su mantención a largo plazo.

En función de los resultados de la investigación, es posible concluir que las medidas implementadas para la gestión del riesgo de inundaciones en el área urbana del río Chillán, no han sido diseñadas en su totalidad con base a los niveles de peligro y riesgo existentes en el área de estudio, lo que supondrá un gran desafío para los tomadores de decisiones encargados de diseñar medidas que sean acordes al peligro y riesgo de inundación, que permitan disminuir las consecuencias negativas de futuros eventos de inundación en la cuenca del río Chillán.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, A., Saez, D., Leon, J., Lopez, F., & Anabalón, N. (2019). PLADECO, Chillán 2019-2024.
- Arenas, F., Lagos, M., & Hidalgo, R. (2010). Los riesgos naturales en la planificación territorial. *Centro de Políticas Públicas UC*, 39(5), 14. <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1765/587388.pdf?sequence=1>
- Camus, P., Arenas, F., Lagos, M., & Romero, A. (2016). Visión histórica de la respuesta a las amenazas naturales en Chile y oportunidades de gestión del riesgo de desastre. *Revista de Geografía Norte Grande*, 20(64), 9–20. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022016000200002>
- Cardona, O. (2003). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. *Centro de Estudios Sobre Desastres y Riesgos*. http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr_may-08-2003.pdf
- Chardon, A. (1997). La Percepción del riesgo y los factores Socioculturales de Vulnerabilidad. *Desastres y Sociedad*.
- Cid, G., Castro, C., & De Souza, V. (2012). PERCEPCIÓN DEL RIESGO EN RELACIÓN CON CAPACIDADES DE AUTOPROTECCIÓN Y AUTOGESTIÓN, COMO ELEMENTOS RELEVANTES EN LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LA SERENA. *Revista Invi*, 27, 105–142.
- Cortez, A., & Grandón, G. (2019). Plan Regional de Emergencia, Región de Ñuble. Dirección de Protección Civil y Emergencia, Región de Ñuble.

- Escuder, I., Morales, A., Castillo, J., & Perales, S. (2010). SUFRI Methodology for pluvial and river flooding risk assessment in urban areas to inform decision-making Report.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIDR). (2009). 2009 UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia Internacional Para La Reducción de Desastres de Las Naciones Unidas (UNISDR), 43.
- Ferrando, F. A. (2003). En torno a los “desastres naturales”: Tipología, conceptos y reflexiones. *Revista INVI*, 18.
- Figuroa, R., Palma, A., Ruiz, V., & Niell, X. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: Río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80(2), 225–242. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2007000200008>
- Franco, F. (2010). Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. *Revista de Ingeniería*, 100. <https://doi.org/10.16924/revinge.31.10>
- Glaus, A., Mosimann, M., Röthlisberger, V., & Ingold, K. (2020). How flood risks shape policies: flood exposure and risk perception in Swiss municipalities. *Regional Environmental Change*, 20(4). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01705-7>
- Gobierno Regional del Biobío. (2007). Ordenanza Plan Regulador Intercomunal Chillán-Chillán Viejo. *Diario Oficial*, 42.
- Henríquez, C. (2009). El proceso de urbanization en la cuenca del río Chiliano y su capacidad adaptativa ante precipitaciones extremas. *Estudios Geográficos*, 70(266), 155–179. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0447>

- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). Ciudades e Inundaciones.
- Lagos, M., & Henríquez, C. (2010). Análisis de riesgos de desastres en Chile: VI Plan de Acción DIPECHO. 73. <http://dipecholac.net/docs/files/315-documento-pais-chile-2010.pdf>
- Lara, A. (2013). Percepción Social En La Gestión Del Riesgo De Inundación En Un Área Mediterránea (Costa Brava, España). In Universidad de Girona.
- Lavell, A. (2001). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición (versión electrónica). 1–22. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2004/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf>
- Mansilla, E. (2000). Riesgo y ciudad, Tesis de Doctorado en Urbanismo. 181.
- Martínez, C., Rojas, O., Aránguiz, R., Belmonte, A., Altamirano, Á., & Flores, P. (2012). Riesgo de tsunami en caleta tubul, región del biobío: Escenarios extremos y transformaciones territoriales posterremoto. *Revista de Geografía Norte Grande*, 106(53), 85–106. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022012000300006>
- MINVU. (2019). Estudio Fundado de Riesgos "Actualización Plan Regulador Intercomunal de Chillán y Chillán Viejo - PRICH. Edición 4.
- Moretto, B., & Gentili, J. O. (2021). Percepción del riesgo de inundación y anegamiento en el partido de Coronel Suárez (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 61, 57. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2021.60268>
- Municipalidad de Chillán. (2016). Modificación Plan Regulador Comuna de Chillán, Región del Bío Bío. Diario Oficial.

Municipalidad de Chillán Viejo. (2012a). Aprueba Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo.

Municipalidad de Chillán Viejo. (2012b). Plan Comunal de Protección Civil, Chillán Viejo.

Navarro, O., Chaves-Castaño, L., Betancur, M. I. N., & Piñeres-Sus, J. D. (2016). Percepción del riesgo y estrategias de afrontamiento en población expuesta y no expuesta al riesgo de inundación. *Interamerican Journal of Psychology*, 50(3), 331–346.

Niemeyer, H. (1980). Hoyas Hidrográficas de Chile: Octava Región. Dirección General de Aguas.

Ojeda, D. E., & López, E. (2017). Relaciones intergeneracionales en la construcción social de la percepción del riesgo. *Desacatos. Revista de Ciencias Sociales*, 54, 106. <https://doi.org/10.29340/54.1743>

Orellana, N. (2016). Análisis de exposición y gestión de riesgo en zonas de expansión urbana frente a amenaza de inundación y anegamiento en la ciudad de Puerto Montt. Universidad de Chile.

Organización de las Naciones Unidas. (2020). América Latina y el Caribe: la segunda región más propensa a los. *Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2020/01/1467501>

Patagua, Fundación Legado Chile, & Pontificia Universidad Católica de Chile. (2021). *Ciudades Sensibles Al Agua. Guía de drenaje Urbano Sostenible para la Macrozona Sur de Chile*.

PLADECO. (2011). Plan de Desarrollo Comunal Chillán Viejo 2011-2016.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2004). La reducción de riesgos de desastres: Un desafío para el desarrollo. John S. Swift Co., EE. UU.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD Chile. (2012). Conceptos Generales sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Contexto del País. Freddy Briones-Gráfica Troya.
- Red Española de Ciudades por el Clima. (2019). Sexto informe: Sobre políticas locales de lucha contra el cambio climático.
- Ribas, A., Lara, A., & Pavón, D. (2010). La percepción del riesgo de inundación: experiencias de aprendizaje en la Costa Brava. *Papeles de Geografía*, 2010(51–52), 269–278.
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J. L., & Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: Causas, recurrencia y efectos geográficos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 57, 177–192. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022014000100012>
- Rojas, O. (2015). Cambios Ambientales y Dinámica de Inundaciones Fluviales en una Cuenca Costera del Centro Sur de Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales con mención en Sistemas Acuáticos Continentales OCTAVIO ENRIQUE ROJAS VILCHES CONCEPCIÓN-CHILE. Universidad de Concepción.
- Rojas, O., Mardones, M., Rojas, C., Martínez, C., & Flores, L. (2017). Urban growth and flood disasters in the coastal river basin of South-Central Chile (1943-2011). *Sustainability (Switzerland)*, 9(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su9020195>
- Rojas, O., Latorre, T., Pacheco, F., Araya, M., & Lopez, J. J. (2019). Inundaciones fluviales en cuencas costeras mediterráneas de Chile: recurrencia, factores físicos y efectos hidrogeomorfológicos de su gestión.

Sedano, R. (2012). Gestión Integrada Del Riesgo de Inundaciones en Colombia. Universitat Politècnica de València.

SUBDERE. (2011). Guía análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial.

Valdebenito, M. (2018). Análisis de inundaciones fluviales para la zona periurbana de Chillán-Chillán Viejo mediante modelamiento hidráulico. Universidad de Concepción.

