



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS
AMBIENTALES

INUNDACIONES HISTÓRICAS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURAL EN CUENCAS ANDINAS DE CHILE CENTRO-SUR: RÍO MAULE & RÍO CAUTÍN

Habilitación presentada para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

DIEGO NICOLÁS SOTO MUENA

Profesor guía: Octavio Rojas Vilches

Profesor Co-guía: Mauricio Aguayo Arias

Comisión: Alejandra Stehr Gesche

Concepción, Chile

2022

“INUNDACIONES HISTÓRICAS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURAL EN CUENCAS ANDINAS DE CHILE CENTRO-SUR: RÍO MAULE & RÍO CAUTÍN”

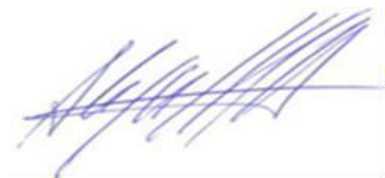
PROFESOR GUÍA: Dr. Octavio Rojas Vilches



PROFESOR CO- GUÍA: Dr. Mauricio Aguayo Arias



PROFESOR COMISIÓN: Dra. Alejandra Stehr Gesche



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, abril 2022



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

INDICE DE CONTENIDOS	PAGINA
INDICE DE TABLAS.....	iii
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE ANEXOS	ix
AGRADECIMIENTOS	x
RESUMEN.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROBLEMÁTICA.....	3
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	10
4. OBJETIVOS.....	10
4.1 Objetivo general	10
4.2 Objetivos específicos	10
5. MARCO TEÓRICO	11
5.1 Inundación y crecidas.....	11
5.2 Inundaciones históricas (métodos de análisis).....	12
5.3 Medidas de mitigación estructurales	14
5.3.1 Tipos de medidas de mitigación estructurales.....	14
5.3.2 Caracterización de medidas de mitigación estructurales.....	19
5.4 Inundaciones en Chile.....	23
5.4.1 Cambio climático y riesgos de inundación en Centro Sur de Chile....	24
5.5 Política de Mitigación	26
6. METODOLOGÍA Y MATERIALES.....	29
6.1 Área de estudio	29
6.1.1 Cuenca del río Maule.....	29
6.1.2 Cuenca del río Cautín.....	31
6.2 Metodología	33
6.2.1 Objetivo 1: Caracterizar la Recurrencia Histórica de Crecidas y Efectos Ambientales Asociados.....	34
6.2.2 Objetivo 2: Generar una Base de Datos Espacial vinculada a Medidas de Mitigación Estructurales.....	41

6.2.3	Objetivo 3: Analizar la implementación y eficiencia de las medidas de mitigación estructurales frente a crecidas.....	45
7.	RESULTADOS.....	51
7.1	Caracterización de la Recurrencia Histórica de Crecidas y Efectos Ambientales Asociados.....	51
7.1.1	Cotas históricas de inundaciones en cuenca media del río Maule. ...	51
7.1.2	Encuestas de cotas históricas cuenca media del río Cautín.....	59
7.1.3	Síntesis de recurrencia histórica en ambas cuencas medias	67
7.1.4	Análisis estadístico de caudales y precipitación.	72
7.1.5	Correlación de crecidas históricas en las cuencas medias, con la influencia del ENOS.....	78
7.2	Objetivo 2: Generar una Base de Datos Espacial vinculada a Medidas de Mitigación Estructurales.....	80
7.2.1	Medidas de Mitigación Estructurales en la cuenca del río Maule.	80
7.2.2	Medidas de Mitigación Estructurales en la cuenca del río Cautín.....	83
7.2.3	Proyectos de medidas de mitigación estructurales ante inundaciones desarrollados en la Cuenca media del río Maule.....	86
7.2.4	Proyectos de medida de mitigación estructurales ante inundaciones desarrollados en la Cuenca media del río Cautín.	87
7.2.5	Síntesis de resultados obtenidos del objetivo N°1 y objetivo N°2.....	91
7.3	Objetivo 3: Analizar la implementación y eficiencia de las medidas de mitigación estructurales frente a crecidas.....	93
7.3.1	DATOS DE LOS ENCUESTADOS.....	93
7.3.2	IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES ANTE INUNDACIONES:.....	95
7.3.3	EFICIENCIA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE INUNDACIONES EN LOS “TRAMOS DE ESTUDIOS”:.....	101
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
8.1	Conclusión	109
8.2	Respuesta a la pregunta de investigación.....	110
8.3	Recomendaciones para futuros estudios	111
9.	ANEXOS.....	112
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	124

INDICE DE TABLAS	PAGINA
Tabla N°1: Resumen de medidas de mitigación estructurales ante inundación. ...	19
Tabla N°2: Factores zonales y azonales de inundaciones fluviales en Chile.	23
Tabla N°3: Causas o factores detonantes de inundaciones fluviales en Chile.	24
Tabla N°4: Estructura base de la serie de crecidas históricas para ambas cuencas.	37
Tabla N°5: Resumen Estaciones Fluviométricas Seleccionas.....	38
Tabla N°6: Resumen Estaciones Pluviométricas Seleccionas.	39
Tabla N°7: Estructura Base de Datos, Tabla 1 para el río Maule.	43
Tabla N°8: Estructura Base de Datos, Tabla 1 para el río Cautín.....	43
Tabla N°9: Estructura Base de Datos, Tabla 2.	43
Tabla N°10: Criterios de categorización de las crecidas históricas obtenidas.	44
Tabla N°11: Tabla de actores (tomadores de decisiones y expertos).....	46
Tabla N°12: estructura del directoria de personas “claves”.	46
Tabla N°13: Crecidas Históricas para la Sección Media de la Cuenca del Río Maule.	73
Tabla N°14: Crecidas Históricas para la Sección Media de la Cuenca del Río Cautín.....	75
Tabla N°15: Estadística Descriptiva de Ambas Cuencas Medias.	77
Tabla N°16: Test X^2 de correlación entre años con inundaciones / años normales en la cuenca media del río Maule y los años con anomalías ENOS, a través del índice ONI 3.4 (AMJ a ASO) para el periodo entre 1960-2010.	78
Tabla N°17: Test X^2 de correlación entre años con inundaciones / años normales en la cuenca media del río Cautín y los años con anomalías ENOS, a través del índice ONI 3.4 (AMJ a ASO) para el periodo entre 1970-2020.	79
Tabla N°18: Anomalías ENOS de los eventos registrados en la serie de crecidas histórica obtenida para la cuenca media del río Maule.	80
Tabla N°19: Anomalías ENOS de los eventos registrados en la serie de crecidas histórica obtenida para la cuenca media del río Cautín.....	80
Tabla N°20: Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Maule.	81
Tabla N°21: Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Cautín.....	84

Tabla N°22: Proyectos de Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Maule.....	86
Tabla N°23: Proyectos de Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Cautín.....	88
Tabla N°24: Numero de encuestados por profesión.....	93
Tabla N°25: Importancia de las variables al momento de implementar una medida de mitigación estructural ante inundaciones en zonas rurales.....	96
Tabla N°26: Importancia de las variables al momento de implementar una medida de mitigación estructural ante inundaciones en zonas urbanas.....	97
Tabla N°27: Efectividad de las medidas de mitigación grises ante inundaciones en relación con los casos descritos en el punto 6.2.3.2.....	102
Tabla N°28: Efectividad de las medidas de mitigación verdes ante inundaciones en relación con los casos descritos en el punto 6.2.3.2.....	102
Tabla N°29: Efectividad de las medidas de mitigación mixtas ante inundaciones en relación con los casos descritos en el punto 6.2.3.2.....	103

INDICE DE FIGURAS	PAGINA
Figura N°1: Métodos para el análisis de la peligrosidad de inundación.	12
Figura N°2: Clasificación general según tipo de implementación de las medidas de mitigación ante inundaciones.	16
Figura N°3: Clasificación según su efecto en la inundación de medidas de mitigación estructurales ante inundaciones.	17
Figura N°4: Tipos de medidas de mitigación estructurales ante inundaciones según clasificación por función específica.	18
Figura N°5: Comparación en las condiciones de eventos de precipitación históricos y futuros.	25
Figura N°6: Área de estudio, cuenca media del río Maule, VII región de Chile.	31
Figura N°7: Área de estudio, cuenca media del río Cautín, IX región de Chile.	33
Figura N°8: Resumen Procedimiento para la Metodología en general.	34
Figura N°9: Resumen Metodología Objetivo 1.	35
Figura N°10: Curva de doble masa para estaciones pluviométricas de la Cuenca del río Maule: San Javier - Armerillo.	39
Figura N°11: Curva de doble masa para estaciones pluviométricas de la Cuenca del río Cautín: Curacautín – Pueblo Nuevo (Temuco).	40
Figura N°12: Precipitación anual contra precipitación caída en invierno, Armerillo.	40
Figura N°13: Precipitación anual contra precipitación caída en invierno, Pueblo Nuevo (Temuco).	40
Figura N°14: Zoom a medidas estructurales en los centros urbanos de la cuenca media del río Cautín.	42
Figura N°15: Distribución espacial de las encuestas tomadas río Maule.	51
Figura N°16: Tramos de edad de los encuestados en la cuenca media del río Maule.	52
Figura N°17: Edad de los encuestados comparada con los que años viviendo en la zona donde se aplicó la encuesta, Cuenca media del río Maule.	53
Figura N°18: Lámina de agua de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Maule.	54
Figura N°19: Profundidad en la ribera norte de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Maule.	54
Figura N°20: Profundidad en la ribera sur de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Maule.	55

Figura N°21: Porcentaje de encuestados que evacuaron durante el evento que reportaron, cuenca media del río Maule.	55
Figura N°22: Frecuencia de los eventos reportados por los encuestados, Cuenca media del río Maule.	56
Figura N°23: Cantidad de “tipos de daños” distintos reportado por los encuestados en cada evento, cuenca media del río Maule.	56
Figura N°24: Porcentaje de encuestados, consciente de las obras implementadas para mitigar inundaciones en su localidad, cuenca media del río Maule.....	57
Figura N°25: Fiabilidad de las encuestas aplicadas, clasificada en sus tres categorías, cuenca media del río Maule.....	58
Figura N°26: Distribución espacial de las encuestas tomadas río Cautín.	59
Figura N°27: Tramos de edad de los encuestados en la cuenca media del río Cautín.....	60
Figura N°28: Edad de los encuestados comparada con los que años viviendo en la zona donde se aplicó la encuesta, Cuenca media del río Cautín.	60
Figura N°29: Lámina de agua de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Cautín.	61
Figura N°30: Profundidad en la ribera norte de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Cautín.....	62
Figura N°31: Profundidad en la ribera sur de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Cautín.....	62
Figura N°32: Porcentaje de encuestados que evacuaron durante el evento que reportaron, cuenca media del río Cautín.	63
Figura N°33: Frecuencia de los eventos reportados por los encuestados, Cuenca media del río Cautín.	64
Figura N°34: Cantidad de “tipos de daños” distintos reportado por los encuestados en cada evento, cuenca media del río Cautín.	64
Figura N°35: Porcentaje de encuestados, consciente de las obras implementadas para mitigar inundaciones en su localidad, cuenca media del río Cautín.	65
Figura N°36: Fiabilidad de las encuestas aplicadas, clasificada en sus tres categorías, cuenca media del río Cautín.....	66
Figura N°37: Recurrencia Histórica en función de eventos que, sí determinan cotas.....	69
Figura N°38: Recurrencia Histórica en función de la Temporalidad.	70
Figura N°39: Recurrencia Histórica en Función del Daño.	71

Figura N°40: Precipitación mensual (1963 – 2008), cuenca media del río Maule.	72
Figura N°41: Precipitación mensual (1971-2019), cuenca media del río Cautín. .	74
Figura N°42: Comparativa Precipitación Total de los eventos identificados contra Precipitación Total caída el mes anterior al evento, cuenca media del río Maule.	77
Figura N°43: Comparativa Precipitación Total de los Eventos Identificados contra Precipitación Total caída el mes Anterior al Evento, Cuenca Media del Río Cautín.	78
Figura N°44: Cartografía, Vinculada a las Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Maule.....	82
Figura N°45: Cartografía Vinculada a las Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Cautín.	85
Figura N°46: Numero de proyectos de medidas de mitigación estructurales por año de implementación, en ambas cuencas medias (comparativa).	89
Figura N°47: Monto de inversión en medidas de mitigación estructurales por cuencas medias (comparativa).....	90
Figura N°48: Categorizaciones crecidas históricas, cuenca media del río Maule.	92
Figura N°49: Categorización de crecidas históricas, cuenca media del río Cautín.	92
Figura N°50: Porcentaje de encuestados por tramo de edad.	94
Figura N°51: Porcentaje de encuestados según clasificación “ <i>tabla n°5</i> ”	94
Figura N°52: Imagen del caso N° 1 (inundación de zona agrícola)	98
Figura N°53: Medidas de mitigación estructurales ante inundación en zonas agrícolas con viviendas muy dispersas y uso mayoritariamente agrícola	99
Figura N°54: Imagen del caso N° 2 (inundación de zona urbana)	100
Figura N°55: Medidas de mitigación estructurales ante inundación en zonas urbanas con llanura de inundación reducida y viviendas dentro de esta	100
Figura N°56: efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación en relación con el costo/beneficio	104
Figura N°57: impactos negativos de los distintos tipos de medidas en los ecosistemas, hidrología y geomorfología	104
Figura N°58: efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación en relación con sus beneficios adicionales	104
Figura N°59: efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación ante inundaciones en zonas urbanas, con alta densidad de viviendas y espacio fluvial limitado	105

Figura N°60: efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación ante inundaciones zonas rurales, destinadas a la agricultura y ganadería	105
Figura N°61: efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación ante inundaciones zonas rurales, con viviendas dispersas.....	105
Figura N°62: Disminución de “frecuencia” y “extensión” de los eventos de inundación de las medidas actualmente implementadas	107
Figura N°63: “Costos de implementación” y “costos de mantención” de las medidas actualmente implementadas	107
Figura N°64: Factibilidad de la implementación de infraestructura verde en ambas cuencas medias	108

INDICE DE ANEXOS	PAGINA
Anexo N°1: Encuesta de recurrencia histórica	112
Anexo N°2: Resultados Encuestas Ítem “Datos sobre el Encuestado”, para el río Maule	114
Anexo N°3: Resultados Encuestas Ítem “Datos sobre el Evento”, para el río Maule.	115
Anexo N°4: Resultados Encuestas para Apartado sobre “Percepción de Medidas de Mitigación Estructurales”, para el río Maule.	116
Anexo N°5: Resultados Encuestas ítem "Fiabilidad de la Información", para el río Maule.	117
Anexo N°6: Resultados Encuestas Ítem “Datos sobre el Encuestado”, para el río Cautín.....	118
Anexo N°7: Resultados Encuestas Ítem “Datos sobre el Evento”, para el río Cautín.....	119
Anexo N°8: Resultados Encuestas para Apartado sobre “Percepción de Medidas de Mitigación Estructurales”, para el río Cautín.....	120
Anexo N°9: Resultados Encuestas Ítem "Fiabilidad de la Información", para el río Cautín.....	121
Anexo N°10: Resultados pregunta N°1 según % de encuestados, ítem I “encuesta online”.	122
Fuente: elaboración propia.....	122
Anexo N°11: Resultados pregunta N°1 según % de encuestados, ítem III “encuesta online”.....	123

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi familia y amigos, por su apoyo incondicional durante todo mi proceso universitario, a mis padres Jaime y Luzmira por enseñarme sobre humildad, disciplina y constancia; mis hermanos Alejandro, Rodrigo, Jaime, Javiera y Valentina por ayudarme cuando se los pedí y; finalmente, a mis amigos los cuales fueron un medio de escape cuando me sentí abrumado.

Por otro lado, agradezco a todos los que me ayudaron durante la elaboración de mi Habilitación profesional, a mis profesores; Octavio Rojas, Mauricio Aguayo y Alejandra Stehr por su buena disposición y gran apoyo durante todo el año que duró la elaboración de la tesis; a Fabián Pacheco y Juan Munizaga por ayudarme en la implementación de las encuestas, elaboración de las cartografías y dar la vida en los terrenos.

RESUMEN

En Chile central, eventos de precipitación extrema con temperaturas elevadas, junto a la elevación de la isoterma 0°C, desencadena inundaciones de elevada magnitud en ríos andinos, por esto, la presente investigación, evalúa las crecidas históricas y medidas de mitigación estructurales implementadas para su reducción, en dos cuencas andinas de Chile centro-sur, específicamente en los ríos Maule y Cautín. Para ello, se i) Caracterizó la recurrencia histórica de crecidas y efectos ambientales asociados, mediante análisis de fuentes secundarias y una encuesta de cotas históricas aplicada en terreno, que fue contrastada con un análisis estadístico de caudales y precipitación; ii) Generación de una base de datos espacial de inundaciones históricas y medidas de mitigación estructural efectuada a través una búsqueda bibliográfica y trabajo en terreno mediante el uso de GPS y vuelos en dron y; iii) Análisis de la implementación y eficiencia de las medidas de mitigación estructurales, mediante la aplicación de una encuesta online a expertos y tomadores de decisiones. En ambos ríos se registraron más de 30 inundaciones entre los años 1963-2019, las que se correlacionaron significativamente con las anomalías cálidas del ENOS en la cuenca del Maule. Se desarrollaron 23 proyectos relacionados a medidas de mitigación estructurales en el río Cautín donde el principal sector afectado fue el urbano, mientras que para el río Maule solo fueron 13 principalmente en áreas agrícolas; el monto invertido por proyecto fue superior para el Cautín en 30,7%, por último las principales medidas estructurales en ambas cuencas fueron enrocados y espigones. Actores claves determinaron que implementación futura de medidas de mitigación difiere en ambas cuencas en variables: costos de implementación y mantención, tiempo de construcción, beneficios a corto plazo, tamaño total de la obra y pendiente del cauce. Mientras que, las medidas implementadas actualmente fueron evaluadas de forma similar, solo varió el “costo de implementación”, siendo mejor evaluada en el Cautín. Por último, las medidas de mitigación de tipo verdes fueron consideradas más efectivas que las mixtas y grises.

Palabras clave: río Maule, río Cautín, inundación, medidas de mitigación.

1. INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático se ha vinculado con el aumento de fenómenos meteorológicos extremos como lluvias intensas, inundaciones, olas de calor y sequías. (Comisión Europea, 2021). Dentro de estos fenómenos destacan las inundaciones, las cuales generalmente son resultado de lluvias intensas y/o persistentes durante varios días. (Barredo, 2007). El problema de las inundaciones va en aumento a la par del desarrollo de las sociedades contemporáneas, ya que si bien estas se vuelven más ricas con el pasar del tiempo, también son cada vez más susceptibles a desastres naturales y en términos de daños las inundaciones están dentro de los eventos con mayores pérdidas, siendo un ejemplo de esto lo ocurrido entre 1980 y 2011 en donde más de 5,5 millones de personas en Europa fueron afectadas y causaron pérdidas económicas directas por más de 90.000 millones de euros. (Brázdil et al., 2006; Comisión Europea, 2021). Del cambio climático, Chile no está exento; se considera un país altamente vulnerable al cambio climático, cumpliendo con 7 de los 9 criterios de vulnerabilidad establecidos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (CMNUCC).

Ahora bien, de acuerdo a lo mencionado en el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (2016), se prevé un aumento de inundaciones entre las regiones de Coquimbo y los Lagos dado por el incremento de eventos de altas precipitaciones con temperaturas elevadas y junto a una elevación de la isoterma de 0°C, se produce una importante reducción de las reservas de agua en las cabeceras de cuencas nivales y nivo-pluviales, aumentando considerablemente el caudal de los ríos, pudiendo generar inundaciones. Por tanto, se puede inferir que las inundaciones son un problema que debe ser atendido.

Una vez identificadas las áreas inundables que entran en conflicto con la población convirtiéndose en un peligro para esta; se deben mitigar los efectos producidos por

las inundaciones, con el fin de mejorar la calidad de vida de la población que se ve afectada, reduciendo los posibles impactos a niveles socialmente aceptables. (Mauriño, 2013). Dentro de las acciones que se pueden tomar para reducir sus consecuencias se encuentra, por ejemplo, la implementación de medidas de mitigación ante inundaciones.

Estas son construcciones que tienen por objetivo evitar o reducir los efectos negativos generados por las inundaciones, van desde obras implementadas con un enfoque de ingeniería dura aplicando tecnologías artificiales conocidas como “medidas o soluciones grises”, hasta un enfoque más sostenible donde se busca utilizar elementos naturales propios del entorno y aprovechar sus servicios ecosistémicos, las que se conocen como “medidas o soluciones verdes”. Por último, existen aquellas que combinan los dos enfoques anteriores, creando un tipo de medida más versátil conocidas como “medidas o soluciones mixtas” (UN, 2009 citado en Escuder et al., 2010; Torrego et al., 2019).

Actualmente las más comunes en Chile son las estructurales de tipo gris y si se busca obtener la mayor eficiencia, el área donde esta se implementará pasa a ser una variable importante para tener en cuenta. Adicionalmente, en Chile predomina un modelo centralizado en la gestión del riesgo de desastres, donde las políticas implementadas se originan en sector gubernamental para ser implementadas en las comunidades. (Hupp et al., 2009 citado en Rojas et al., 2019).

El presente estudio se centra en la sección media de dos cuencas andinas de Chile centro sur; siendo estas la del río Maule que presenta antecedentes de inundaciones asociados a la zona rural (DGA, 2001a) y la del río Cautín cuyos antecedentes de inundación se concentran en su zona urbana (DGA, 2008), por lo tanto, las medidas de mitigación estructurales deberían ir orientadas dependiendo la zona que se desea proteger.

2. PROBLEMÁTICA

Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres (2017), los desastres hidrológicos representan el 91% de todos los desastres naturales registrados entre 1998 y 2017. Dentro de esta cifra, las inundaciones fueron el tipo más frecuente, pues equivalen al 43% de todos los eventos. Adicionalmente, se afirma que corresponden al desastre que más personas afectó, llegando a más de 2.000 millones de personas en todo el mundo. Debido a su alta recurrencia y efectos vinculados lo que lo convierte en un fenómeno interesante de abordar.

Las inundaciones se definen como un rápido ascenso en el nivel del agua, provocando caudales inusuales que cubren terrenos que anteriormente estaban secos. (ONEMI, 2021). Si bien existen distintos tipos de inundaciones, en el presente estudio se abordarán específicamente las inundaciones fluviales, las que suceden debido a crecidas donde el río sobrepasa su cauce habitual y entra en conflicto con la población que ocupa la llanura de inundación. (Matus et al., 2005 citado en Yáñez, 2018; Bronstert, 2003 citado en Barredo, 2007; Keller & Blodgett, 2007 citado en Rojas et al., 2014).

El aumento del daño y pérdidas causadas por las inundaciones fluviales es el resultado de varios cambios en las condiciones socioeconómicas, políticas y hasta cierto punto ecológicas. Barrero (2007) resume estos cambios en 6 causas las cuales son: Tendencias de la población en áreas expuestas, aumento de los valores expuestos, urbanización y desarrollo en áreas propensas a inundaciones (cambio de uso del suelo), aumento de la vulnerabilidad de estructuras, bienes e infraestructura, falla de los sistemas de protección y cambios en las condiciones ambientales.

De estas causas el desarrollo urbano se encuentra dentro de los más difíciles de manejar debido a que, aunque los municipios delimiten áreas aptas para la urbanización, no pueden garantizar el acceso a viviendas a la población de ingresos más bajos que se encuentra en constante expansión, por lo que esta crece sobrepasando los límites “seguros” del territorio, pasando a ocupar áreas en riesgo de inundación. (Sedano et al., 2013). Si bien es una causa difícil de manejar no es imposible, ya que con un adecuado ordenamiento del territorio a nivel de cuencas urbanizadas, se puede mantener o disminuir efectos negativos como la impermeabilización de suelos y el aumento de escorrentía superficial; algunas soluciones de este tipo de planificación son la mantención de parches de vegetación natural en zonas húmedas o cursos de agua y respetar un porcentaje de ocupación del suelo en áreas de borde con capacidad de retención de húmeda. (Henríquez, 2006 citado en Henríquez, 2009).

En relación con los usos de suelos importantes en las planicies de inundación, los usos agrícola y ganadero suelen ubicarse en zonas que estuvieron anteriormente inundados de forma natural o zonas cercanas donde tanto intervención de la agricultura como la ganadería hicieron que estos se secaran, posteriormente estas zonas tienden a recuperarse cuando existen altos volúmenes de precipitaciones, provocando inundaciones y las pérdidas que estas conllevan. (Esquea et al., 2019). Por otro lado, existe evidencia que relaciona la deforestación de vegetación natural y su posterior transformación a tierras agrícolas con el aumento en las tasas de inundaciones, esto debido a un incremento en la erosión del suelo. (Knox, 1977 citado en Fitzpatrick & Knox, 2000).

Observando los antecedentes anteriores queda en evidencia el daño que pueden provocar las inundaciones fluviales, por lo que es necesario salvaguardar a la población más expuesta ante este peligro. Lo anterior, puede lograrse mediante políticas orientadas a la gestión de inundaciones que tengan en cuenta tanto medidas estructurales como no estructurales, ya que, si bien las medidas

estructurales pueden evitar las consecuencias de las inundaciones hasta un cierto umbral, es recomendable complementarlas con medidas no estructurales, para disminuir aún más el riesgo residual; pero aun así, nunca se eliminará el riesgo completamente. (Escuder et al., 2010).

Dentro de la gestión de inundaciones se pueden encontrar dos enfoques distintos, el enfoque tradicional y el enfoque moderno. El primero definido por la normativa española a través del Decreto Real 903 (2010) como “*consistente en plantear y ejecutar soluciones estructurales, como la construcción de presas, encauzamientos y diques de protección*”. Aunque se menciona que en determinados casos este enfoque es insuficiente en la gestión de inundaciones, atribuyendo la causa de estos casos principalmente a la incertidumbre en la gestión de recursos hídricos que deja la variabilidad climática y el cambio climático. Debido a lo anterior, nace la necesidad de modificar el enfoque tradicional que tiene como fin “*estar absolutamente a salvo*” por una versión más flexible que aporte la adaptabilidad que se requiere en el escenario actual “*vivir con el riesgo de inundaciones*” (Decreto Real Español 903/2010, 2010 ; Sedano et al., 2013).

El segundo enfoque, busca desarrollar técnicas que imiten el comportamiento de los ríos y se adapten mejor al ambiente aprovechando los bienes y servicios que prestan estos ecosistemas. (Sedano et al., 2013). Para obtener los mejores resultados del enfoque moderno es necesario complementarlo con medidas no estructurales que incentiven la sostenibilidad ambiental y la inclusión de procesos de fortalecimiento de capacidades a todos niveles, con especial enfoque en las sociedades que habitan las zonas de riesgos, buscando que logren adaptarse y sostener en el tiempo actitudes de prevención y mejor respuesta ante desastre por inundaciones. (Sedano, 2012 citado en Sedano et al., 2013). Por último, si se desea aplicar el enfoque moderno aprovechando los bienes y servicios del ecosistema, primero se debe saber qué tipo de ecosistema se planea intervenir y como se desencadena el peligro que se quiere mitigar.

En Chile continental se identifican 5 factores detonantes de inundaciones fluviales: Precipitaciones intensas o persistentes, procesos volcánicos (explosión, flujos y depósitos), procesos nivoglaciares, deslizamientos y por último intervención antrópica.(Rojas et al., 2014). En las cuencas andinas las inundaciones del dominio climático mediterráneo, las inundaciones se asocian a sistemas frontales cálidos que producen un ascenso de la isoterma cero, incrementando el área aportante, causando inundaciones violentas que a su vez se ven aún más intensificadas durante el ENOS. Por último, las inundaciones fluviales asociadas al factor detonante de eventos pluviométricos en el periodo de 1960-1991 afectaron al 73% de la población nacional. (INE, 2012 citado en Rojas et al., 2014).

En la actualidad Chile cuenta con diversas políticas nacionales para fomentar la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la adaptación y mitigación al cambio climático (ACC/ M), en estas se hacen énfasis en la necesidad de integrar la RRD y la ACC/ M tanto en el desarrollo nacional como regional y también se hacen constantes referencia a los ODS, Marco de Sendai y acuerdo de Paris. (Gobierno de Chile, 2015 citado en Banwell et al., 2020).

Finalmente, se reconoce a Chile como un país altamente vulnerable al cambio climático, a este escenario algunos autores lo llaman *“la nueva realidad”* y para poder sobrellevarla se requiere el fortalecimiento de algunas capacidades existentes, como también el desarrollo de algunas nuevas, que permitan al país ser un referente en todas las fases de la gestión de riesgos más allá de la respuesta y recuperación, especialmente en las fases de preparación y mitigación. (ONEMI, 2020).

Existe una baja implementación de estas políticas a nivel local ya que según el informe para el Marco de Sendai menos del 30% de los gobiernos locales no cuentan con un plan de RRD en el 2017. (UNDRR & Sendai Monitor, 2018 citado

en Banwell et al., 2020). También se identifica una estructura centralizada a nivel de gobernanza en el país, que dificulta la toma de decisiones a una escala más local como los municipios y lleva a cabo un desembolso inadecuado de recursos humanos y recursos financieros a nivel local los cuales son clave para la implementación de estas políticas de RRD. (Banwell et al., 2020).

En Chile las inundaciones se controlan con un enfoque principalmente tradicional-estructural asociado a obras de protección y, sin bien, estas obras ayudan en la mitigación de riesgos de inundaciones, no están exentas de impactos negativos (Rojas et al., 2019), un claro ejemplo son las canalizaciones y diques artificiales que pueden producir reducir o eliminar la conectividad hidrológica en los cauces y planicies de inundación, en los sistemas fluviales y zonas ribereñas adyacentes. (Hupp et al., 2009 citado en Rojas et al., 2019).

Es importante señalar que toda estas medidas tienen en común la búsqueda de la disminución del peligro de inundación y así evitar o minimizar pérdidas; pero actúan de distinta manera sobre las inundaciones, por ejemplo, un estanque de retención busca prevenir al escorrentía rápida, atrapándola a la vez que promueve la infiltración y evaporación del flujo, por otro lado los espigones no atrapan el flujo si no que permiten que este pase a través de ellos; pero reduciendo considerablemente su velocidad. Por otro lado, la implementación de una medida de mitigación debe contemplar el área donde se emplazará, teniendo en cuenta factores como el uso de suelo, recurrencia histórica, presencia de núcleos urbanos, etc. con el fin de maximizar la eficiencia de la medida. El presente estudio, se enfocará en las cuencas andinas de Chile Central, más específico en las secciones medias de las cuencas del río Maule y río Cautín.

La cuenca del río Maule se extiende entre los 35°-36°, ubicada mayoritariamente en la VII región del Maule. La principal actividad económica en la cuenca es la agropecuaria. (DGA, 2004b). El caudal medio en su sección media corresponde a

159,8 m³/s (Explorador Climático, 2021) y en relación con su régimen de alimentación este es pluvio-nival (DGA, 2005 citado en ESCENARIOS HÍDRICOS 2030, 2019). Por otro lado, la cuenca del río Cautín se extiende entre los 37°-38°S, ubicada en su totalidad en la IX región de la Araucanía. (DGA, 2004a). La principal actividad económica es la agricultura y ganadería de doble propósito “leche y carne” (Richard, 2014). El caudal medio en su sección media corresponde a 250,7 m³/s (Explorador Climático, 2021) y en relación con su régimen de alimentación este es pluvio-nival. (Villarroel, 2014 citado en Iturrieta, 2016).

Ambas cuencas, si bien comparten características como régimen de alimentación pluvio-nival, difieren en un punto clave, ya que en sección media de la cuenca del río Maule no se encuentran sectores urbanos importantes y está más destinada a la producción agropecuaria, por otro lado, en la sección media del río Cautín recorre Temuco y Padre las Casas, siendo 2 núcleos urbanos importantes (DGA, 2004a; DGA, 2004b; Richard, 2014). Las zonas de mayor peligro de inundación en la cuenca del río Maule están ubicadas en el valle central, siendo el sector agrícola el más afectado, en cambio las zonas de mayor peligro de inundación en la cuenca del río Cautín son las zonas urbanas, específicamente en el tramo correspondiente a Temuco y Padre las Casas. (DGA, 2001a; DGA, 2008).

Recientemente, el pasado martes 01 de junio del 2021, la ONEMI declaró alerta roja en tres comunas de la región de la Araucanía, dentro de las cuales se encontraba Temuco y Padre Las Casas. El motivo por el cual se declaró alerta roja fue la posible amenaza de desborde del río Cautín, debido que este registró una altura de 2,8 metros, con un caudal de 727,3 m³/s lo que significaba un alto riesgo para la población cercana a este cauce como lo son Temuco y Padre Las Casas. Según la ONEMI, dentro de los lugares que más se vieron afectados se encuentra la Avenida Los Poetas, ubicada en el sector urbano de Temuco.(Reyes, 2021).

Es por lo anterior que se buscará evaluar la eficiencia las medidas de mitigación estructurales implementas en la actualidad ante crecidas en las cuencas del río Maule y del río Cautín. Para cumplir lo anterior se planea caracterizar la recurrencia histórica de crecidas, específicamente en sus secciones medias. Por otro lado, se recopilará información relevante sobre las medidas implementadas y también identificarán las fortalezas y debilidades al momento de realizar actuaciones en las cuencas con medidas de mitigación.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existen diferencias en la implementación de medidas de mitigación estructurales frente a crecidas, entre cuencas andinas con inundaciones invernales y usos de suelo ribereños diferentes, como lo son las cuencas del río Maule y río Cautín?

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Evaluar crecidas históricas y medidas de mitigación estructurales para crecidas en cuencas andinas de Chile centro-sur.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la recurrencia histórica de crecidas y efectos ambientales asociados.
- Generar una base de datos espacial vinculada a inundaciones históricas y medidas de mitigación estructural.
- Analizar la implementación y eficiencia de las medidas de mitigación estructurales frente a crecidas.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Inundación y crecidas

Generalmente se suelen usar los conceptos de crecidas e inundaciones como sinónimos para referirse al mismo fenómeno; ya que hay autores, que prefieren referirse a una crecida de forma similar a una inundación definiéndola como cualquier caudal relativamente alto que sobrepasa el margen natural o artificial en cualquier tramo de una corriente de agua, extendiéndose sobre las planicies de inundación y entrando en conflicto con el hombre. (Lopardo & Seoane, 2000). Sin embargo, ambos conceptos, se refieren a fenómenos distintos.

Las crecidas son procesos naturales en el que se da un incremento importante y repentino del caudal de un sistema fluvial, pudiendo ocupar progresivamente el cauce mayor alcanzando un máximo para luego descender recuperando el cauce menor. (Ollero, 1996 citado en Ollero, 1997). Cada crecida se desarrolla de distinta manera desde su origen hasta su final y los parámetros que gobiernan este desarrollo son la velocidad de la crecida y su duración en el tiempo. (Ollero, 1997). Las crecidas siempre tienen lugar en sistemas fluviales; pero no todas las crecidas producen inundaciones y no todas las inundaciones proceden de crecidas en sistemas fluviales por desbordamiento de un cauce. (Ollero, 1997). En el presente estudio, se abordarán de manera específica las inundaciones fluviales y como estas pueden convertirse en un riesgo para los asentamientos humanos.

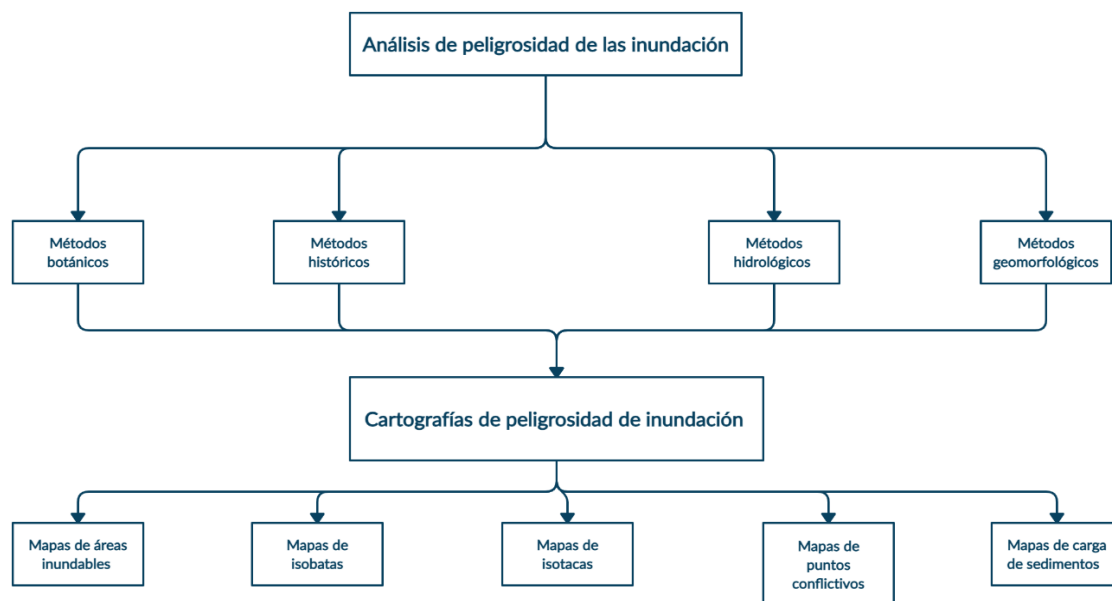
Se habla de inundación, cuando el agua cubre temporalmente un terreno como resultado del escape de aguas superficiales de sus márgenes normales o fuertes precipitaciones. (Kron, 2002 citado en Barredo 2007). Existen varios tipos de inundaciones y dentro de estas, las inundaciones fluviales se definen como fenómenos naturales, donde las aguas de un río sobrepasan su cauce habitual producto de una crecida, aunque el problema sucede cuando el hombre ocupa zonas inundables, convirtiendo el fenómeno en una amenaza. (Matus et al., 2005

citado en Yáñez , 2018; Bronstert, 2003 citado en Barredo, 2007; Keller & Blodgett, 2007 citado en Rojas et al., 2014). Lo cierto es que los asentamientos humanos están en constante expansión y aunque las autoridades delimiten áreas aptas para la urbanización, no se puede garantizar el acceso a viviendas a la población de ingresos más bajos; por lo cual, aumenta la ocupación de áreas en riesgo de inundación. (Sedano et al., 2013).

5.2 Inundaciones históricas (métodos de análisis)

El análisis de peligrosidad de las inundaciones se realiza a través de una serie de procedimientos y técnicas que en resumen pueden agruparse en tres metodologías distintas: Métodos histórico-paleohidrológicos, Métodos geológico-geomorfológicos y Métodos hidrológico-hidráulicos, también destaca como una cuarta metodología, los Métodos con fundamentos botánicos o ecológicos. Estas metodologías no son excluyentes; sino al contrario, deben aplicarse de forma integrada y complementaria, siempre cuando sea posible por las fuentes de información que precisan (Díez et al., 2009). De las tres metodologías presentadas se seleccionará el Método Histórico para la realización del estudio.

Figura N°1: Métodos para el análisis de la peligrosidad de inundación.



Fuente: Modificado de (Díez et al., 2008)

El Método histórico consiste en suponer que, si el agua alguna vez alcanzó ciertos niveles, puede volver a alcanzarlos nuevamente en un futuro no muy lejano, determinando esta zona como de crecida histórica. Busca reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada durante una crecida desencadenada en el periodo histórico, para esto, se basa en marcas sobre elementos artificiales (edificaciones, vías de comunicación obras públicas, etc.), documentación histórica (manuscritos e impresos de archivos, bibliotecas y hemerotecas) y por ultimo testimonios orales y/o audiovisuales. (Díez et al., 2009). Este Método tiene básicamente tres fases o pasos: búsqueda y recopilación de la documentación; análisis e interpretación de la información; integración de los datos en el análisis estadístico a caudales, siendo este último paso con el que se alcanza un nivel más sofisticado, permitiendo que los datos se introduzcan como datos no sistemáticos en el análisis estadístico de caudales. (Díez et al., 2008).

Como todas las metodologías el método histórico no está exento de dificultades durante su implementación, donde las más comunes suelen ser; la recopilación de información incompleta, desigual espacial o temporalmente y que simplemente no exista, impidiendo que se pueda realizar el análisis de peligrosidad de inundación a través de este método. (Díez et al., 2008). Aun así, este método cuenta con fortalezas que lo hacen resaltar en comparación con otros, entre estas, el simple hecho de que permita analizar inundaciones históricas anteriores a la creación de redes de registro hidrológico, teniendo en cuenta que se recopila información sistemática sobre las inundaciones desde el siglo XVIII. (Brázdil et al., 2006). Otra fortaleza del método histórico es su gran eficiencia en el análisis de inundaciones históricas extremas, ya que mientras más intenso haya sido el evento, más evidencia y registros estarán. (Pfister, 1999; Brázdil et al ., 2005b citado en Brázdil et al., 2006).

5.3 Medidas de mitigación estructurales

Mitigar el efecto de las inundaciones implica mejorar la calidad de vida de los habitantes, reduciendo los riesgos a niveles socialmente aceptables. (Mauriño, 2013).

Una manera convencional de reducir el riesgo de inundación y mejorar la calidad de vida de comunidad, es implementar medidas de mitigación estructurales, las cuales contemplan un amplio rango de obras cuyo objetivo es mitigar daños producidos por las inundaciones. (UN, 2009 citado en Escuder et al., 2010). Dentro de la amplia cantidad de medidas estructurales que existen, se encuentran algunas más tradicionales como los diques o presas, hasta obras más ecológicas como lo son la reforestación, renaturalización de laderas y cauces, etc. (Bertoni , 2014 citado en Jáuregui et al., 2016). Por último, es necesario tener en cuenta que las medidas de mitigación estructural pueden evitar las consecuencias de inundaciones hasta un cierto umbral, ya que estas son diseñadas para un evento en específico y siempre pueden producirse eventos superiores al de diseño para un determinado valor de probabilidad; por lo tanto, existe siempre un nivel de riesgos residual, donde es posible mitigar los riesgos; pero nunca eliminarlo completamente. (Escuder et al., 2010).

5.3.1 Tipos de medidas de mitigación estructurales

Existe un gran número de medidas de mitigación estructural ante inundaciones y varios criterios para su clasificación, como lo son sus funciones específicas, el efecto que ejercen sobre las inundaciones o, de forma más general si están implementadas desde un enfoque de Ingeniería dura o desde un punto de vista más sostenible.

- Clasificación general (tipo de medida):

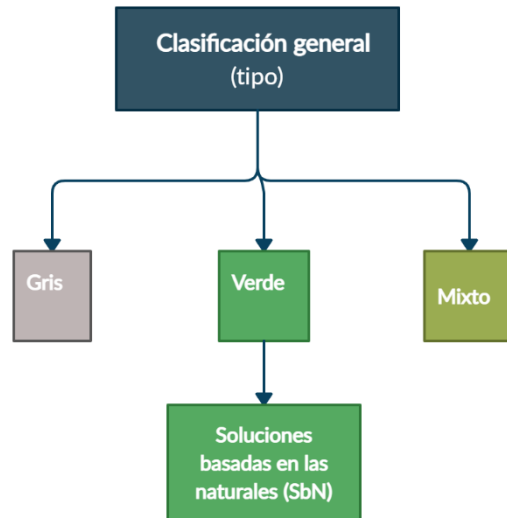
Las medidas de mitigación pueden clasificarse en distintos tipos, según las técnicas que se usen en su implementación, las cuales van desde tecnologías artificiales hasta aprovechar los servicios ecosistémicos entregados por el entorno.(Torrego et al., 2019).

1) Gris: Son aquellas medidas o soluciones que se basan en la aplicación de tecnologías artificiales, generalmente son obras de Ingeniería Civil y son el tipo de solución más común para mitigar inundaciones.

2) Verde: Se basan principalmente en aplicar elementos naturales del propio del entorno y aprovechar sus servicios ecosistémicos asociados. Dentro de las de mitigación verdes destaca un subgrupo de estas conocidas como soluciones basadas en la naturaleza (SbN), las que tienen por objetivo tomar acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que abordan los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa. (Cohen-Shacham et al. 2016 citado en Torrego et al., 2019).

3) Mixto: combina los beneficios de las medidas o soluciones anteriores, creando un tipo de medida más versátil. Un ejemplo de este tipo de soluciones son los pavimentos permeables, que permiten la infiltración de aguas lluvias a través de su superficie hacia su capa o estrato inferior.

Figura N°2: Clasificación general según tipo de implementación de las medidas de mitigación ante inundaciones.



Fuente: Elaboración propia (Torrego et al., 2019).

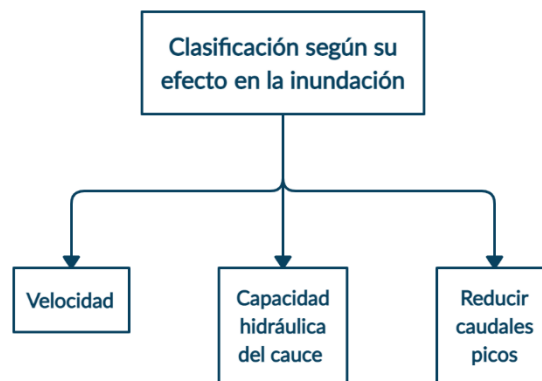
- Clasificación según su efecto en la inundación:

Las medidas de mitigación estructurales pueden actuar de maneras distintas, ya sea protegiendo las laderas de un cauce, almacenando un cierto volumen o promoviendo la infiltración para reducir el volumen de escorrentía, etc. Pero los efectos que se observan en la hidrodinámica de una inundación suelen repetirse, variando entre 3 tipos de efectos. (Escuder et al., 2010 ; Buitrago & Ochoa, 2013 ; Castrillón, 2014):

- 1) Velocidad: Generalmente las medidas que se emplean en controlar el flujo actuando sobre la erosión de las orillas de un cauce, reducen la velocidad del flujo. Un ejemplo son los espigones, los cuales protegen las orillas de un cauce y al mismo tiempo desvían la corriente reduciendo su velocidad.
- 2) Capacidad hidráulica del cauce: Consiste en aumentar la capacidad que tiene el cauce de transportar un mayor caudal, evitando que a ese mismo caudal se provoque un desborde. Un ejemplo son los diques, los cuales aumentan el perímetro mojado del cauce aumentando así su capacidad hidráulica.

- 3) Reducir caudales picos: Principalmente se produce una laminación de las crecidas y una descarga controlado, disminuyendo notablemente los caudales en eventos extremos. Un ejemplo son los embalses, que durante eventos de precipitaciones extremas almacenan el agua reduciendo los caudales picos que pueden provocar desbordes e inundaciones.

Figura N°3: Clasificación según su efecto en la inundación de medidas de mitigación estructurales ante inundaciones.



Fuente: Elaboración propia (Escuder et al., 2010 ; Buitrago & Ochoa, 2013 ; Castrillón, 2014):

- Clasificación según función:

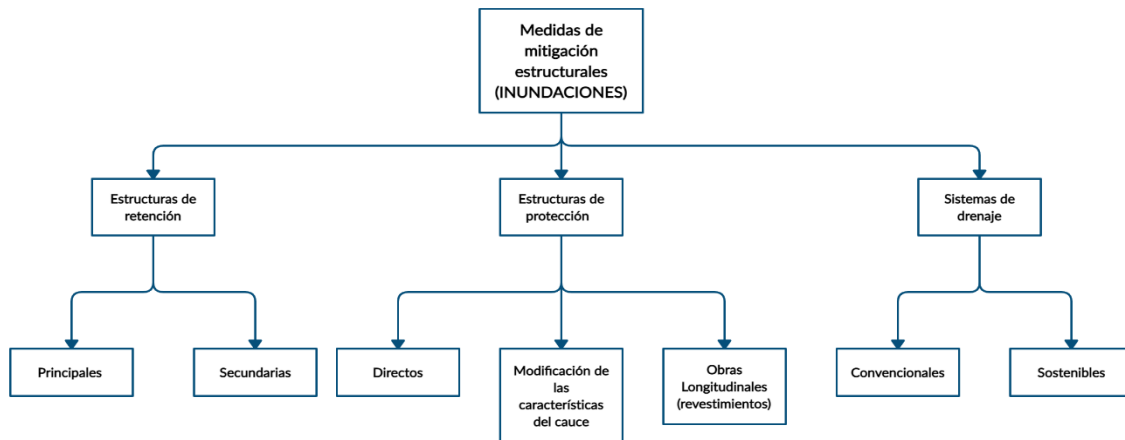
Las medidas de mitigación estructural ante inundaciones, pueden ser clasificadas en tres grupos según su función específica. (Escuder et al., 2010):

- 1) Estructuras de retención: Consisten en retener el agua para evitar inundaciones relacionadas con grandes descargas. Las estructuras más comunes son presas y embalses situados aguas arriba de zonas urbanas.
- 2) Estructuras de protección: Protegen la zona urbana de forma directa e indirecta, ya sea evitando la entrada de agua en la ciudad como los diques o bien forzando al flujo a discurrir por un determinado lugar como lo hacen los encauzamientos.
- 3) Sistemas de drenaje: Los sistemas de captación y drenaje, se diseñan para la gestión del agua de escorrentía generada por un evento de precipitación en la

zona urbana a través de un complejo sistema de estructuras.

Si bien las medidas de mitigación estructurales ante inundaciones pueden ser clasificadas en los 3 grupos descritos anteriormente, estos pueden seguir dividiéndose como se muestra en la Figura N°4:

Figura N°4: Tipos de medidas de mitigación estructurales ante inundaciones según clasificación por función específica.



Fuente: Elaboración propia (Escuder et al., 2010 ; Buitrago & Ochoa, 2013).

5.3.2 Caracterización de medidas de mitigación estructurales

En la siguiente tabla, se caracterizan las principales medidas de mitigación estructurales ante inundaciones, entregando una breve descripción de la medida, su clasificación según los criterios vistos anteriormente y alcances para tener en cuenta sobre su implementación.

Tabla N°1: Resumen de medidas de mitigación estructurales ante inundación.

Medida	Descripción	Clasificación	Otros
Presas	Reducen el riesgo de inundación mediante la laminación de crecidas, disminuyendo notablemente los caudales de descarga durante eventos extremos	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • Reducir caudales picos • Retención (principales) 	<ul style="list-style-type: none"> -Ubicadas aguas arribas de zonas urbanas. -Beneficios adicionales del exceso de agua como: irrigación, energía y recreación.
Embalses	Gestionan el flujo de agua que alcanzaría la ciudad, reduciendo los caudales de escorrentía y almacenando agua durante eventos de precipitación	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • Reducir caudales picos • Retención • (secundaria) 	<ul style="list-style-type: none"> -Ubicadas aguas arribas de zonas urbanas
Diques	Aumentan el perímetro mojado del cauce, se construyen siguiendo el cauce del río.	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • Aumentar capacidad hidráulica del cauce • Protección (directa) 	<ul style="list-style-type: none"> -Pueden ser de diversos materiales -Cuando fallan las inundaciones son más violentas
Muros	Estructuras verticales que buscan prevenir el sobrevertido y la inundación de áreas colindantes	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • Aumentar capacidad hidráulica del cauce • Protección (directa) 	<ul style="list-style-type: none"> -La materialidad de su estructura puede variar
Ensanchamiento	Consiste en el ensanchamiento del cauce para reducir el calado resultante para el mismo nivel de descarga	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • capacidad hidráulica del cauce • Protección (indirecta) 	

Nuevos cauces	Se crea un nuevo cauce, divergiendo el cauce natural del río con el objetivo de evitar elevados caudales de descargas en zonas urbanas	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • Reducir caudales picos • Protección (indirecta) 	-Solo se recomienda esta medida, cuando existe un elevado riesgo de inundación
Modificación de las características de la cuenca	Principalmente tareas de reforestación de la cuenca que incrementan la interceptación de precipitaciones, reduciendo caudales picos en el cauce	<ul style="list-style-type: none"> • Verde • Reducir caudales picos • Protección (indirecta) 	-La escala de esta medida considera toda la cuenca
Espigones	Estructuras laterales que tratan de proteger la orilla del río y al mismo tiempo desviar la corriente	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • Reducir velocidad • Protección (revestimiento) 	-No deben causar un cambio brusco en la dirección de la corriente. -Son efectivos solamente si el espaciamiento entre ellos no es muy grande
Gaviones	Consisten en una caja construida con enrejado metálico, confeccionado con alambre especialmente galvanizado reforzado; estos se rellenan con canto rodado, piedra de cantera o el material más adecuado que se disponga	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • Reducir velocidad • Protección (revestimiento) 	-Se caracterizan por su flexibilidad, que les permite su uso en terrenos irregulares -Para que no se deteriore el alambre, se deben usar materiales que contengan Oxido de Hierro (Fe_2O_3)
Diques marginales	Se construyen dentro de los cauces y tienen por objetivo dirigir y encauzar convenientemente el flujo de un río para proteger sus márgenes o rectificar su cauce,	<ul style="list-style-type: none"> • Gris • Reducir velocidad • Protección (revestimiento) 	-Se recomienda su uso en zonas donde los cauces tienen islas, márgenes irregulares o cuando se requiere formar una nueva orilla separada de la actual

	cuando la obra está terminada la corriente flujo paralela a estas estructuras		
Cubiertas vegetales	Sistema multicapa que cubre una cubierta de una estructura, su función es interceptar y retener la precipitación, reduciendo el volumen de escorrentía y minimizando los caudales picos	<ul style="list-style-type: none"> • Verde • Reducir caudales picos • Sistema de drenaje (sostenibles) 	
Áreas de bioretención	Capturan las aguas lluvias y tratan el agua de escorrentía de evento de precipitaciones de carácter frecuente	<ul style="list-style-type: none"> • Verde • Reducir caudales picos • Sistema de drenaje (sostenibles) 	Las aguas se tratan mediante vegetación en cuencas someras u otras áreas, de modo que se eliminan contaminantes
Estructuras de retención subterráneas	Permiten la retención del agua en el subsuelo, reduciendo el caudal su caudal de descarga	<ul style="list-style-type: none"> • Mixta • Reducir caudales picos • Sistema de drenaje (sostenibles) 	
Zanjas de infiltración	Excavaciones poco profundas, rellenas con piedras o escombros, se constituye un almacenamiento subsuperficial temporal para que el agua de escorrentía se infiltre en el subsuelo circundante	<ul style="list-style-type: none"> • Mixta • Reducir caudales picos • Sistema de drenaje (sostenibles) 	-Deben recibir caudal lateral desde una superficie impermeable adyacente

Pavimentos permeables	Permiten la infiltración de aguas lluvias a través de su superficie hacia su capa inferior	<ul style="list-style-type: none"> • Mixta • Reducir caudales picos • Sistema de drenaje (sostenibles) 	-El agua almacenada puede ser reutilizada o devuelta a un curso o sistema de drenaje
Humedales urbanos	Corresponde a un ecosistema natural que puede ser continental o costero y cuenta con la capacidad de absorber grandes volúmenes de aguas lluvia, reduciendo la ocurrencia de inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Verde • Reducir caudales picos • Estructura de retención 	Dentro de los beneficios adicionales se encuentra: -reservorio de agua dulce -eficiente ante marejadas -retrasa los periodos de sequía.
Humedales artificiales	Ecosistema artificial, que al igual se su homologo natural es capaz de reducir los caudales picos proveniente de eventos de precipitación extremos, reduciendo el peligro de inundación	<ul style="list-style-type: none"> • Mixta • Reducir caudales picos • Sistema de drenaje (sostenible) 	Su principal objetivo es participar en el tratamiento terciario de aguas servidas.
Parques inundables	Ecosistema artificial que tiene por objetivo evitar la sobrecarga de la red fluvial de una población, aumentando la capacidad hidráulica de esta.	<ul style="list-style-type: none"> • Mixta • Aumentar capacidad hidráulica del cauce • Sistema de drenaje (sostenible) 	-Posee una muy buena integración en el sector urbano y puede llegar a dar un uso recreacional. -especialmente eficaz para recuperar sitios naturales "olvidado".

Fuente: Elaboración propia (Escuder et al., 2010; Buitrago & Ochoa, 2013; Castrillón, 2014; Torrego et al., 2019)

5.4 Inundaciones en Chile

En Chile 2 factores pueden dar origen a una inundación fluvial, estos son los factores zonales y azonales (Rojas et al., 2014 citado en Rojas, 2015). Su diferencia radica en que los factores zonales responden a la característica del sistema morfoclimático de la región donde se produce el evento y los factores azonales no son dependientes de estas características morfoclimáticas propias de la región, por lo cual pueden ocurrir en cualquier parte del país. Por último, es importante mencionar que estos factores no son excluyentes y generalmente interactúan entre sí generando efectos sinérgicos en procesos de inundación. (Rojas, 2015).

Tabla N°2: Factores zonales y azonales de inundaciones fluviales en Chile.

Factores zonales	Factores azonales
1)Dinámica precipitación-escurrimiento (régimen nival, nivo-pluvial, pluvial) 2)Los GLOFs (Glacial Lake Outburst Floods o jökulhlaups).	1)Geológicos (volcanismo, sismicidad) 2)Factor antrópico principalmente asociado a las fallas o vaciamiento repentino de infraestructura hidráulica

Fuente: Elaboración propia (Rojas, 2015).

Chile Continental se divide a lo largo de su territorio entre 5 dominios climáticos de Norte a Sur (árido, semiárido, mediterráneo, templado–húmedo y templado) (Di Castri & Hajek, 1976 citado en Rojas et al., 2014) y se observa un patrón zonal que relaciona los tipos de inundaciones fluviales con la distribución en estos dominios climáticos. Los 5 tipos de inundaciones fluviales en Chile se clasifican por su causa de origen o factor detonante. (Rojas et al., 2014).

Tabla N°3: Causas o factores detonantes de inundaciones fluviales en Chile.

Factores detonantes	proceso	Otra especificación
1)Precipitación (intensidad o persistencia)	Precipitación convectiva y orográfica	
	Precipitación frontal	a) Frente cálido b) Frente frío
2)Procesos volcánicos (explosión, flujos, depósitos)	Obstrucción del cauce y posterior descarga	
	Fusión de nieve/hielo	a) Flujo Lahárico b) Jökulhlaup
3)Procesos nivoglaciares	Crecidas nivales (estacionales)	
	GLOFs- IDLODs (episódicos)	
4)Deslizamientos	Procesos cosísmicos	Obstrucción del cauce y posterior descarga
	Otros deslizamientos	
5)Intervención antrópica	Rotura de estructuras hidráulicas	
	Mal manejo de obras hidráulicas	

Fuente: Rojas et al., 2014 .

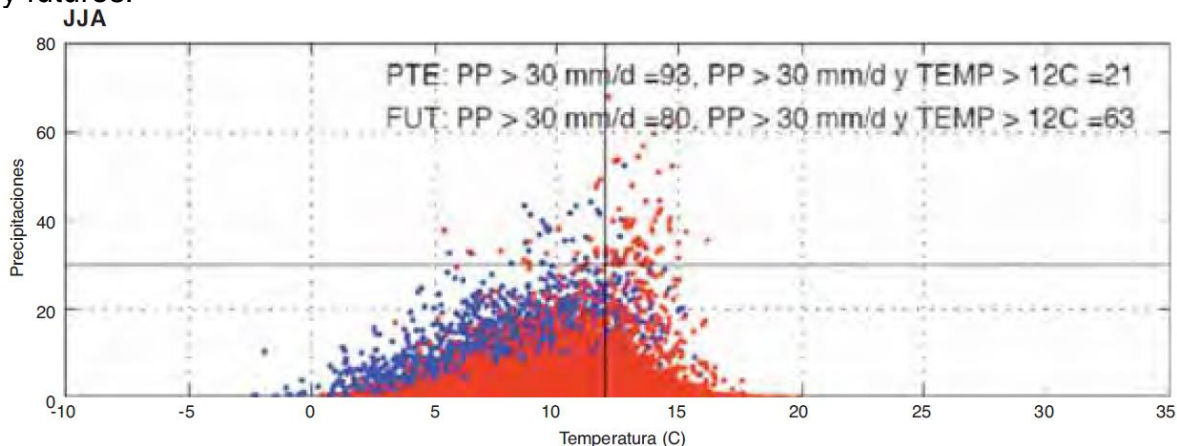
5.4.1 Cambio climático y riesgos de inundación en Centro Sur de Chile

Se considera a Chile como un país altamente vulnerable al cambio climático, cumpliendo con 7 de los 9 criterios de vulnerabilidad enunciados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), estos son poseer: 1) Áreas costeras de baja altura, 2) Zonas áridas y semiáridas, 3) Zonas de bosques, 4) Territorio susceptible a desastres naturales, 5) Áreas propensas a sequía u desertificación, 6) Zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y por ultimo 7) Ecosistemas montañosos. (MMA, 2016).

Se pronostica un aumento marcado de los eventos de sequía, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XXI, proyectándose hacia fines de siglo una ocurrencia de más de 10 veces en 30 años (CEPAL, 2009 citado en MMA, 2016). Por otro lado, si bien los eventos de precipitación extrema tienden a disminuir en el país, la ocurrencia de eventos de altas precipitaciones con temperaturas elevadas está en aumento y junto a una elevación de la isoterma de 0°C, que tiene como efecto la reducción de las reservas de agua en las cabeceras de cuencas nivales y nivo-pluviales, desencadenarían un aumento considerablemente del

caudal de los ríos, llegando a generar inundaciones y aluviones. (MMA, 2016). A modo de ejemplo, en figura N°5 se observan en azul eventos históricos y en rojo los eventos futuros de precipitación diaria en Chile Central, identificando para cada uno de estos eventos la intensidad de la precipitación y temperatura ambiente del día en el que ocurre la precipitación, también se incluyen 2 líneas para identificar eventos de alta precipitación (>30mm/día) y altas temperaturas (>12°C). Finalmente, se observa que los eventos con altos niveles de precipitación disminuyen en el futuro (bajando de 93 a 80 eventos en 20 años); pero se triplican los eventos de altos niveles de precipitación con altos niveles de temperaturas (subiendo de 21 a 63 eventos) (CEPAL, 2012).

Figura N°5: Comparación en las condiciones de eventos de precipitación históricos y futuros.



Fuente: Extraído de (CEPAL, 2012)

En Chile Central se estima un aumento en la temperatura en las próximas décadas, siendo más notoria en verano y menor en invierno. También existe un gradiente en el aumento de temperatura, siendo menor en la costa y mayor en la cordillera. En relación con la precipitación, se estima una disminución progresiva en el transcurso del siglo XXI, la cual según cálculos es significativa. (CEPAL, 2012). El dominio climático predominante en Chile Central es el mediterráneo el cual se extiende hasta el río Cautín, donde las inundaciones fluviales están relacionadas con la ocurrencia de sistemas frontales cálidos y fríos, intensificados durante el ENOS

cálido (González, 1987; Rebolledo, 1987; Muñoz, 1990; Caviedes, 1998 citado en Rojas, 2015).

Por último, es importante resaltar que en Chile Central se encuentran las regiones y comunas más expuestas y riesgosas frente al cambio climático, especialmente en la costa y valles interiores, donde está concentrada el 73% de la población y se estima una agudización de los problemas climáticos e hidrometeorológicos como las inundaciones y para encontrarlas en un futuro se requiere una mayor preparación. (Henríquez et al., 2016).

5.5 Política de Mitigación

A nivel internacional, Chile en la actualidad se encuentra adherido al marco de Sendai para la reducción del desastre (2015-2030), el cual sucede al marco de acción de Hyogo (2005-2015). El objetivo del marco de Sendai es pasar de comunidades vulnerables hacia comunidades resilientes y para esto se establecen 4 prioridades las cuales son; 1) Comprender el riesgo de desastres, 2) Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo, 3) Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia y 4) Aumentar la preparación para casos de desastres a fin de dar una respuesta eficaz y “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, rehabilitación y la reconstrucción. (ONEMI, 2020).

Dentro del marco normativo nacional, relacionado con el riesgo; la norma más relevante, es la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) que en su artículo N ° 2.1.17, establece que los planes reguladores podrán definir áreas restringidas al desarrollo urbano, esto por constituir un potencial peligro para asentamientos humanos, estas áreas se denominan “zonas no edificables” y “áreas de riesgos”. Una diferencia importante entre las zonas urbanas y rurales es que en esta última el único instrumento de planificación territorial (IPT) que puede definir áreas restringidas es el Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano. Con respecto a las zonas no edificables solo se aceptará la ubicación de actividades transitorias ya que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de

edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC).

Por otro lado, las áreas de riesgos son aquellos territorios en los que, previo estudio fundado, se limite a determinar los tipos de construcción por razones de seguridad contra desastres naturales o eventos similares, que requerirán la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para mitigar tales efectos y poder ser utilizadas, dentro de las áreas de riesgos se distinguen 4 tipos, siendo las “zonas inundables o potencialmente inundables” una de estas. Como dice la definición de áreas de riesgos, si se quiere construir o utilizar este sitio, se deben generar medidas de mitigación adecuadas y demostrar su suficiencia al organismo competente, obteniendo así la autorización para construir. Por último, es importante aclarar que el área de riesgos no se define por el riesgo si no que se define en función de la amenaza o peligrosidad, un ejemplo de esto puede ser una zona que se pueda inundar; pero no existen viviendas expuestas a la inundación dentro de la zona. (Decreto N°47, 1992).

En una escala local existe una baja implementación de políticas relacionadas con la gestión del riesgo de desastres, esto es evidenciado por el informe para el Marco de Sendai en el cual se reporta que menos del 30% de los gobiernos locales no cuenta con un plan de reducción del riesgo de desastre en 2017 (UNDRR & Sendai Monitor, 2018 citado en Banwell et al., 2020). Por otro lado, se identifican barreras que dificultan la implementación de políticas de gestión y mitigación de desastre a escalas locales, entre ellas destacan la estructura centralizada a nivel de gobernanza del país y el desembolso inadecuado de recursos humanos y financieros a nivel local. (Banwell et al., 2020).

Finalmente es importante mencionar que en Chile las inundaciones se controlan con un enfoque principalmente tradicional-estructural asociado fuertemente a la ingeniería más dura (Rojas et al., 2019), sumado a un modelo centralizado en la

gestión de desastres donde se enfatiza en políticas TOP-DOWN las cuales se implementan desde el sector gubernamental hasta finalmente llegar a las comunidades. (Peña, 2010). Dicho lo anterior, se esperaría que se implementen las mismas medidas de mitigación en lugares con características geográficas y ambientales diferentes, lo cual es una manera poco eficiente de reducir el daño producido por las inundaciones.

6. METODOLOGÍA Y MATERIALES

6.1 Área de estudio

La presente investigación abordará la sección media de dos cuencas andinas de Chile; la cuenca del río Maule y la del río Cautín, en ambas se consideró un tramo de 30 km.

6.1.1 Cuenca del río Maule

La cuenca del río Maule se extiende desde 35°05' S hasta 36°30' S. Esta posee una superficie de 20.295 km² donde el 94% está emplazada en la VII región del Maule; el 6% restante en la XVI Región del Ñuble (ESCENARIOS HÍDRICOS 2030, 2019; DGA, 2004b). La principal actividad económica de esta cuenca es la agropecuaria. (DGA, 2004b).

La cuenca se encuentra bajo la influencia principal del clima templado cálido; por lo tanto, existe una estación seca de hasta 5 meses con lluvias intensas durante el periodo invernal, por otro lado, se identifican dos ombroclimas; el Mediterráneo pluviestacional-oceánico, que influye en los sectores costeros y valle central y el Mediterráneo pluviestacional-continental que influye en zonas andinas que se encuentran sobre los 2.000 msnm (DGA, 2020). En relación con el régimen de alimentación de la cuenca, en la sección alta y media predomina un régimen nival, presentando un gran aumento de caudal durante los meses de primavera consecuencia de los deshielos cordilleranos, por otro lado, en la sección baja de la cuenca, predomina un régimen pluvial, por lo que las crecidas están asociadas directamente a las precipitaciones. (DGA, 2005 en ESCENARIOS HÍDRICOS 2030, 2019).

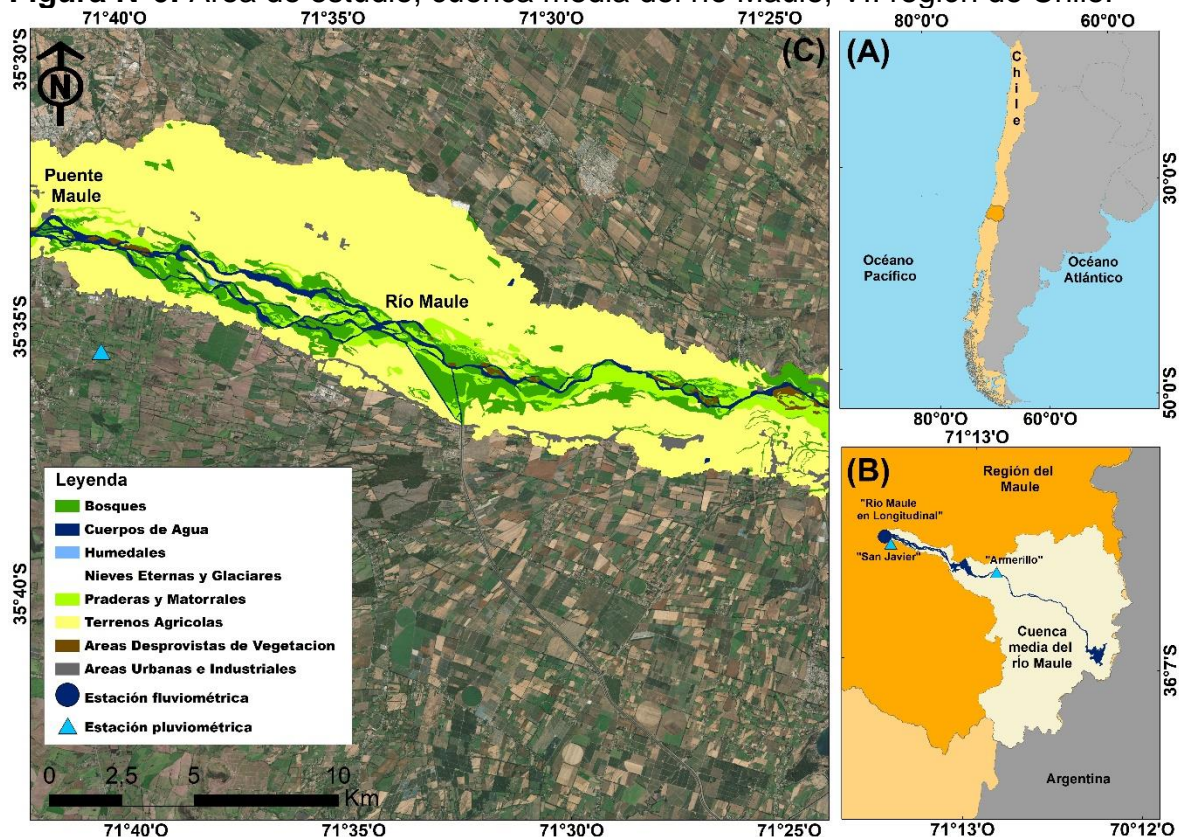
El caudal medio de la cuenca corresponde a 243,4 m³/s, mientras que en su sección media cercano al punto de salida este es de 159,8 m³/s (INH, 2016 citado en ESCENARIOS HÍDRICOS 2030, 2019; Explorador climático, 2021). Los caudales máximos se dan por lo general en invierno o cercanos a este, siendo un caso particular el de mayo 1990, en donde se registró un caudal de 1994 m³/s, por el

contrario, los caudales mínimos suelen darse durante los meses de verano. Por último, es importante mencionar que desde el año 2009 hasta la fecha, el caudal medio cerca del punto de salida de la cuenca media se ha visto disminuido drásticamente y no hay registros de crecidas considerables, la causa de esto puede ser atribuida a la sequía presente en la zona. (Explorador Climático, 2021).

Las zonas con un mayor riesgo de inundación están ubicadas en el valle central o curso medio. Uno de los grupos más afectados son los agricultores ya que las inundaciones en la cuenca del río Maule y la pérdida de terrenos productivos, suelen estar relacionadas. Para mitigar las consecuencias negativas que traen consigo las inundaciones se proponen, obras de encauzamiento y espigones en el caso de las zonas más agrícolas, en cambio para zonas urbanas como Talca se plantea una red de sumideros unidos a un colector de aguas lluvia, que captará las aguas en las zonas de inundación para ser evacuadas. (DGA, 2008).

El área de estudio específica corresponde a un tramo de 30 km del río Maule en su sección media. Este tramo parte desde unos 9 km de la Central hidroeléctrica Colbún hasta el puente Maule en la ruta 5 Sur, como se observa en la Figura N°6. En relación con los usos de suelo, predominan en gran medida los terrenos agrícolas (70,97 %), seguidos por bosques (12,19 %) y por último praderas y matorrales (8,74 %) (CONAF, 2018). También es importante resaltar que no se encuentran asentamientos urbanos cercanos con una población que asciende a 8.777 personas. (INE, 2017).

Figura N°6: Área de estudio, cuenca media del río Maule, VII región de Chile.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Cuenca del río Cautín

La cuenca del río Cautín se extiende desde $38^{\circ}14'$ S hasta $38^{\circ}5'$ S. Esta posee una superficie de $3.182,38 \text{ km}^2$, emplazada en la IX región de la Araucanía (DGA, 2004a; CONAF, 2014). Las principales actividades económicas en esta cuenca son la agricultura y ganadería de doble propósito “leche y carne” (Richard, 2014).

La cuenca se encuentra con dos tipos de climas con influencia mediterránea, estos son el clima templado cálido lluvioso y el clima templado frío lluvioso; el primero, se caracteriza por la presencia de precipitaciones durante todo el año, aunque en verano estas disminuyen, en cambio el segundo, se caracteriza por las bajas temperaturas durante todo el año y el aumento de precipitaciones con la altura, por lo que este tiene mayor presencia en la zona cordillerana de la cuenca. (DGA,

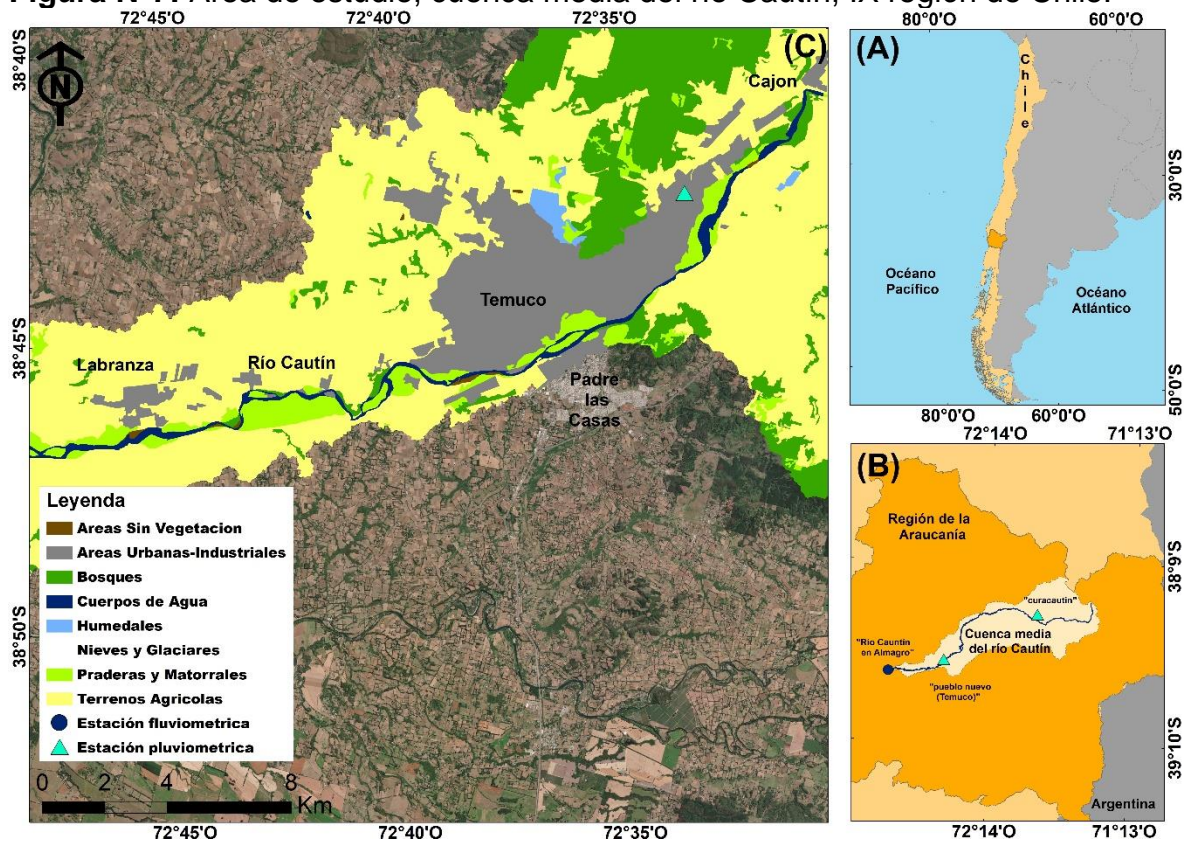
2004a). En relación con el régimen de alimentación de la cuenca, este es pluvio-nival, en razón a que recibe aportes de los deshielos de su sección más alta en primavera, mientras que, en invierno, su principal aporte proviene de las precipitaciones. (Villarroel, 2014 citado en Iturrieta, 2016).

El caudal medio de la cuenca corresponde a 101 m³/s, a la salida del sector cordillerano y 250 m³/s, en la sección media cercano al punto de salida. (llegando al río Imperial) (DGA, 2001; Explorador climático, 2021). Los caudales máximos se dan por lo general en invierno o cercanos a este, siendo un caso particular, el de septiembre del año 2008 en donde se registró un caudal de 3187 m³/s, por el contrario, los caudales mínimos suelen ocurrir en los meses de verano. (Explorador Climático, 2021).

En el río Cautín se producen constantes inundaciones en zonas urbanas; en específico, en Temuco y Padre las Casas, esto debido principalmente a un mal manejo de las aguas lluvias, la necesidad de aprovechar terrenos históricamente inundables por el río Cautín, la baja pendiente de los terrenos y una alta carga de sedimentos que acarrearán los cauces. Como se mencionó anteriormente ambas ciudades presentan una condición particular en cuanto a las inundaciones, ya que el río Cautín pasa por el costado de ambas y en eventos de precipitaciones intensas, los canales que cruzan ambas ciudades se desbordan.(DGA, 2001a).

El área de estudio específica corresponde a un tramo de 30 km del río Cautín en su sección media, como se observa en la Figura N°7. En relación con los usos de suelo, predominan en gran medida los terrenos agrícolas (56,92 %), seguido por bosques (19,62 %) y por último las áreas urbanas-industriales (15,77 %) (CONAF, 2014). Es importante resaltar que se encuentran dos asentamientos urbanos, estos son la ciudad de Temuco y la comuna de Padre las Casas, finalmente cuenta con una población total de 291.814 personas. (INE, 2017).

Figura N°7: Área de estudio, cuenca media del río Cautín, IX región de Chile.



Fuente: Elaboración propia.

6.2 Metodología

La metodología que se usó para abordar el presente estudio contempló el desarrollo de una serie de actividades por cada objetivo específico. El primer objetivo específico, se desarrolló mediante la realización de un análisis de la peligrosidad histórica de inundación para las secciones medias en las cuencas del río Maule y el río Cautín. En relación con el segundo objetivo específico, se realizó una búsqueda de información sobre las medidas de mitigación estructurales existentes, en literatura pertinente y complementada con salidas a terreno. Para el desarrollo del tercer objetivo, se elaboró e implementó de una encuesta online a expertos y tomadores de decisiones, relacionada con la implementación y eficiencia de las medidas de mitigaciones estructurales ante inundaciones.

Figura N°8: Resumen Procedimiento para la Metodología en general.

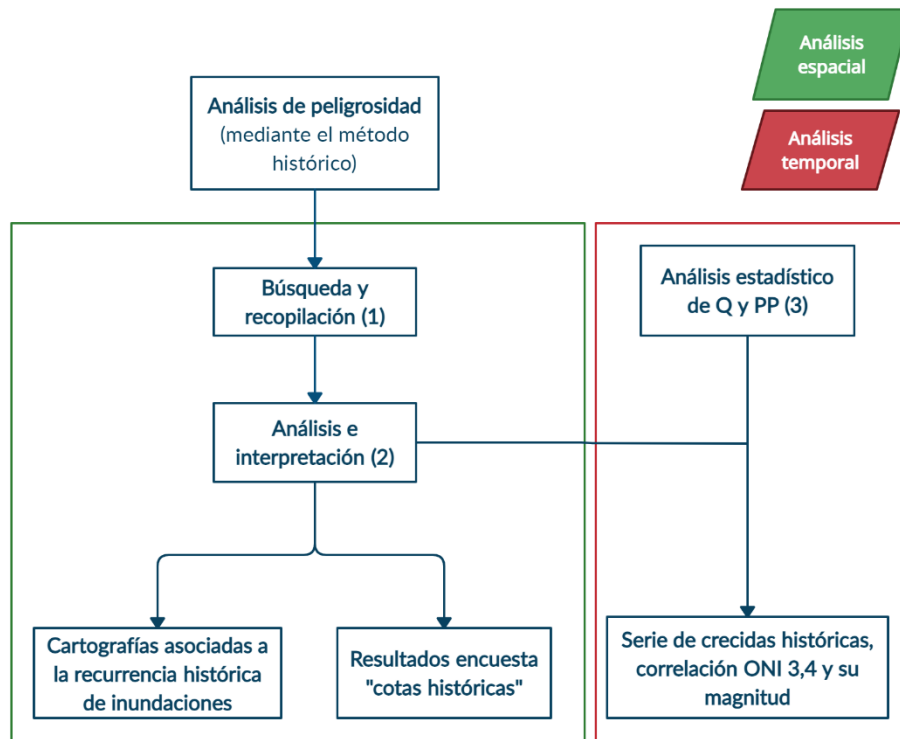


Fuente: Elaboración propia.

6.2.1 Objetivo 1: Caracterizar la Recurrencia Histórica de Crecidas y Efectos Ambientales Asociados

El análisis de peligrosidad de inundación mediante el método histórico permitió realizar un análisis espacial y temporal de las inundaciones históricas. Para el caso del análisis espacial, corresponden los resultados de las encuestas juntos con las cartografías de recurrencia histórica identificando efectos ambientales asociados a los daños producidos por las inundaciones, mientras que para el análisis temporal correspondieron los resultados asociados al análisis estadístico de los eventos de inundación, donde se estimó la influencia del ENOS sobre los eventos de crecida en ambas cuencas.

Figura N°9: Resumen Metodología Objetivo 1.



Nota: (Q) caudal, (PP) precipitación, (ONI 3.4) medida de condición del ENOS para la región 3.4.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.1.1 Recopilación de Información

Se realizó una recopilación de datos de inundaciones históricas, donde se revisaron: Planes reguladores, Planes maestros de cuencas, Planes maestros de ríos, estudios de riesgos y bases de datos públicas. Adicionalmente, se complementó la información recopilada con una serie histórica de eventos de inundación del siglo XX, que fue facilitada por el Laboratorio de Reducción de Riesgos Socionaturales (LARRS). El análisis temporal de los eventos se llevó a cabo principalmente mediante el análisis estadístico, donde se logró identificar no solo el año donde sucedieron, sino que también el día. Finalmente se levantó información en terreno a través de la aplicación de una encuesta de cotas históricas.

6.2.1.2 Elaboración de Encuesta de Cotas Históricas

Con el propósito de obtener las cotas históricas asociadas a crecidas, se levantó información en terreno a través de una encuesta, la cual fue aplicada a los habitantes de las áreas de estudio, georreferenciando la información recopilada con GPS, obteniendo finalmente las cartografías de las cotas históricas para ambas áreas de estudio.

Para la elaboración de la encuesta, se tomó como base el instrumento de consulta utilizado en Valdebenito, 2018 se modificó gran parte de su contenido, con el propósito de recopilar solo la información pertinente al presente estudio. No obstante, se mantuvo la estructura general del instrumento de consulta, el cual consta de 3 ítems:

- I. **Datos sobre el Encuestado**: Apartado relacionado con la información de la persona encuestada (localidad, edad, comuna, etc.).
- II. **Datos sobre el Evento**: Apartado relacionado con la información de las inundaciones históricas (fecha, duración, ubicación, magnitud, daños, etc.).
- III. **Fiabilidad de Información**: Apartado para que el encuestado indique que tan seguro está sobre los datos que entrego anteriormente.

Es importante mencionar que el “*ítem II*”, cuenta con una serie de preguntas relacionadas con la percepción que tienen los habitantes sobre, las medidas de mitigación estructurales frente inundaciones implementadas en sus localidades. Estas preguntas, tienen el objetivo de recopilar información que será analizada en el objetivo N°3. Por último, el detalle de la encuesta de cotas históricas se encuentra en el Anexo N°1.

La encuesta fue realizada el día 21 de diciembre del 2021 para el río Cautín, desde Cajón hasta Labranza (Temuco y Padre las Casas), se realizaron 44 encuestas. Por otro lado, para el río Maule, la encuesta se implementó los días 28 y 29 de diciembre del 2021, desde el puente Maule hasta las cercanías del embalse Colbún, en donde se realizaron 39 encuestas.

Dentro de las principales dificultades que se presentaron durante la implementación de las encuestas se resaltan 3. El amplio tramo que se definió para ambos ríos, en donde se necesitó a más de un encuestador para poder abarcar los tramos dentro de las fechas programadas. Por otro lado, y para el río Maule, las zonas en donde se tomaron las encuestas son zonas agrícolas y rurales, por lo que se presentaron dificultades por falta de accesibilidad a los puntos a encuestar. Por último, producto a la desconfianza de los habitantes, estos se negaron varias veces a ser encuestados, aun cuando se les afirmo que la información que entregarían sería utilizada solamente para fines investigativos.

6.2.1.3 Análisis Estadístico de Caudales y Precipitación

Para complementar las cartografías de cotas históricas obtenidas, se realizó un análisis estadístico de caudales y precipitación, este análisis permitió identificar y validar las crecidas históricas.

Tabla N°4: Estructura base de la serie de crecidas históricas para ambas cuencas.

Año	Fecha	Qmax [m ³ /s]	Días_E [días]	Días_pp [días]	PP_E [mm]	PP_mes [mm]	ONI_3.4	ENOS	I_ENOS

Fuente: Elaboración propia.

Se correlacionaron las crecidas obtenidas con la influencia del ENOS, a través del índice ONI 3.4. Este se define como una medida de la condición ENOS, y sus fases cálidas (El Niño) y fría (La Niña) en el Pacífico Ecuatorial Central, principalmente es el promedio móvil de 3 meses de las anomalías en la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W). Se basa en periodos de 30 años que se actualizan cada 5 años y el umbral de la condición neutral es de ± 0.5 . (Huang et al, 2017 citado en NOAA, 2021). Finalmente, para probar la correlación de las crecidas con la influencia del ENOS, se realizó una prueba de chi-cuadrado (χ^2), correlacionando los años con anomalías ENOS, y la ocurrencia de inundaciones en esos años. Los datos del índice ONI 3,4 se obtuvieron desde la página web del National Oceanic And Atmospheric Administration. (NOAA).

Las estaciones fluviométricas seleccionadas se encuentran dentro de los cauces a analizar (río Maule y río Cautín), cercanas al punto de salida de ambas cuencas medias y cuentan con una amplia resolución temporal de datos. Se trabajó con datos de caudales instantáneos diarios, obtenidos desde la DGA.

Tabla N°5: Resumen Estaciones Fluviométricas Seleccionadas.

Cuenca Media del río	Nombre Estación	Código BNA	Altitud m.s.n.m	Latitud	Longitud	Fecha Inicio	Fecha de suspensión
Maule	Río Maule en Longitudinal	07322001-7	90	35° 33' 34"	71° 42' 39"	02-08-1962	Aún vigente
Cautín	Río Cautín en Almagro	09140001-4	20	38° 46' 45"	72° 57' 10"	16-05-1965	06-06-2020

Fuente: Elaboración propia.

En relación con las estaciones pluviométricas, se seleccionó una estación primaria con la que se trabajó principalmente y una estación secundaria de complemento, la que se usó para obtener los datos faltantes a través regresión lineal. Para ambas cuencas, se contempló la selección de una estación cercana al punto de salida de la cuenca media, no obstante, para el caso del del río Maule la estación primaria escogida corresponde a “Armerillo”, la cual debido a su cercanía al centroide de la cuenca media-alta y al contar con una gran resolución temporal, fue la alternativa más representativa de utilizar. Por otro lado, para el río Cautín la estación primaria escogida corresponde a “Pueblo Nuevo (Temuco)”, ubicada en la cuenca media y también cuenta con una alta resolución temporal.

Para la selección de las estaciones secundarias, con el fin de trabajar con metodologías similares, para el río Maule se escogió una ubicada a la sección media de la cuenca, mientras que para el río Cautín, se escogió a una ubicada en la sección alta de la cuenca. Posteriormente, se realizaron curvas de doble masas con el objetivo de verificar la homogeneidad de las series. Se obtuvo un coeficiente de correlación (r) de 0,99 para las estaciones del río Maule (Figura N°10) y un coeficiente de correlación (r) de 0,99 para las estaciones del río Cautín (Figura N°11); probando así, la consistencia de las series. Se trabajó con datos de precipitación diaria obtenida desde el explorador climático CR2.

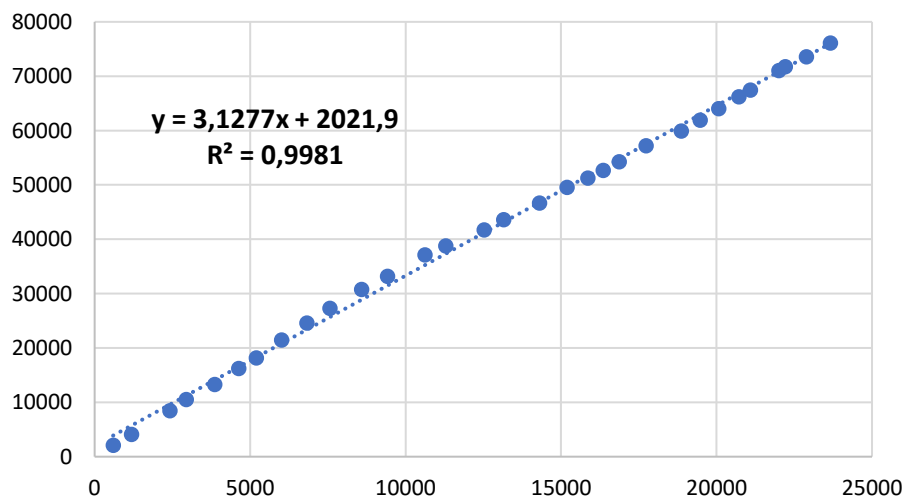
Por último, es importante mencionar que los datos de precipitación no son comparables entre ambas áreas de estudio, ya que para el río Maule la estación pluviométrica seleccionada pertenece a la cuenca media-alta y se caracteriza por la presencia de altas precipitación, donde en un año caen en promedio 2.397 mm y el 73% de esta cae en invierno (Figura N°12). Por otro lado, para el río Cautín según la estación pluviométrica seleccionada en un año caen en promedio 1.228 mm y el 58% cae en invierno. (Figura N°13).

Tabla N°6: Resumen Estaciones Pluviométricas Seleccionadas.

Cuenca Media del río	Nombre Estación	Código BNA	Altitud m.s.n.m	Latitud	Longitud	Fecha Inicio	Fecha de suspensión
Maule (Primaria)	Armerillo	07320002-4	492	35° 42' 14"	71° 04' 46"	01-01-1940	Aún vigente
Maule (secundaria)	San Javier	07359005-1	135	35° 35' 30"	71° 40' 30"	01-01-1970	Aún vigente
Cautín (Primaria)	Pueblo Nuevo (Temuco)	09129005-7	119	38° 42' 46"	72° 33' 22"	01-07-1953	Aún vigente
Cautín (secundaria)	Curacautín	09122001-6	535	38° 26' 51"	71° 53' 46"	01-03-1970	Aún vigente

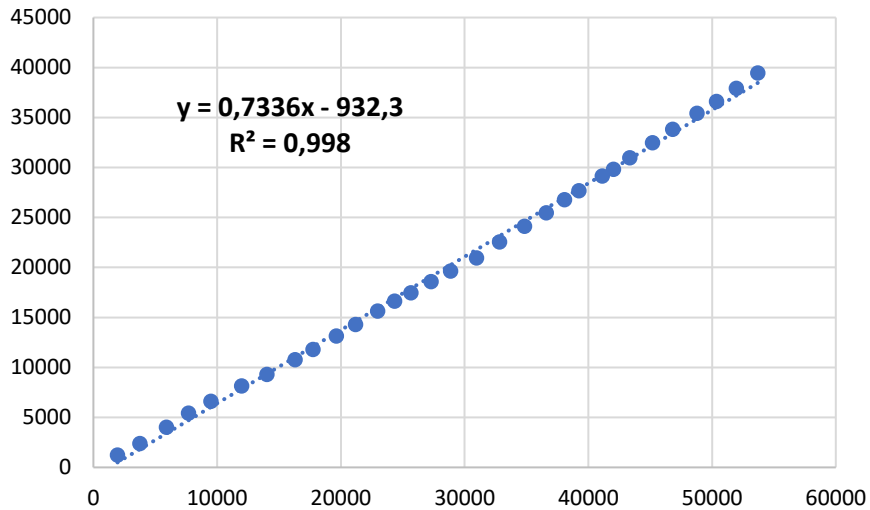
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°10: Curva de doble masa para estaciones pluviométricas de la Cuenca del río Maule: San Javier - Armerillo.



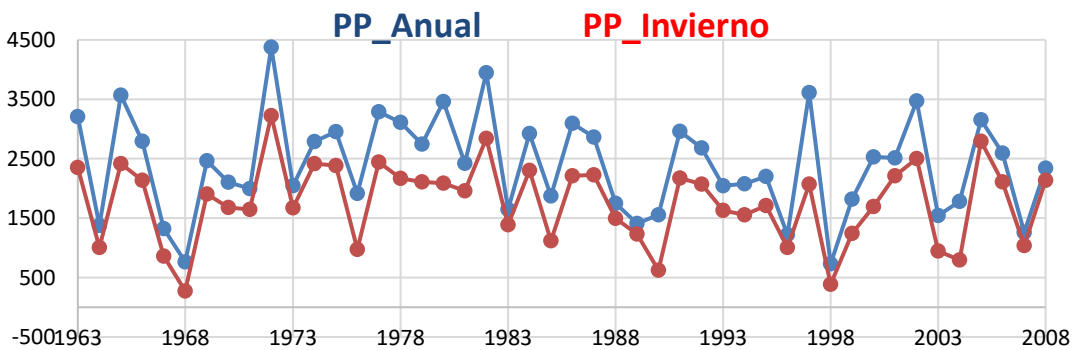
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°11: Curva de doble masa para estaciones pluviométricas de la Cuenca del río Cautín: Curacautín – Pueblo Nuevo (Temuco).



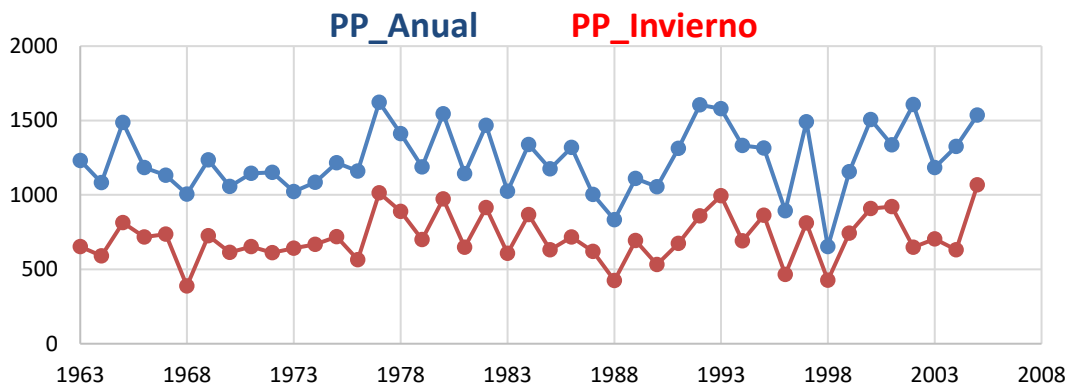
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°12: Precipitación anual contra precipitación caída en invierno, Armerillo.



fuentes: Elaboración propia.

Figura N°13: Precipitación anual contra precipitación caída en invierno, Pueblo Nuevo (Temuco).



fuelle: Elaboración propia.

6.2.2 Objetivo 2: Generar una Base de Datos Espacial vinculada a Medidas de Mitigación Estructurales

La construcción de la base de datos de medidas de mitigación estructurales ante inundaciones existentes dentro del área de estudio se dividió en dos apartados: búsqueda de información y generación de base de datos.

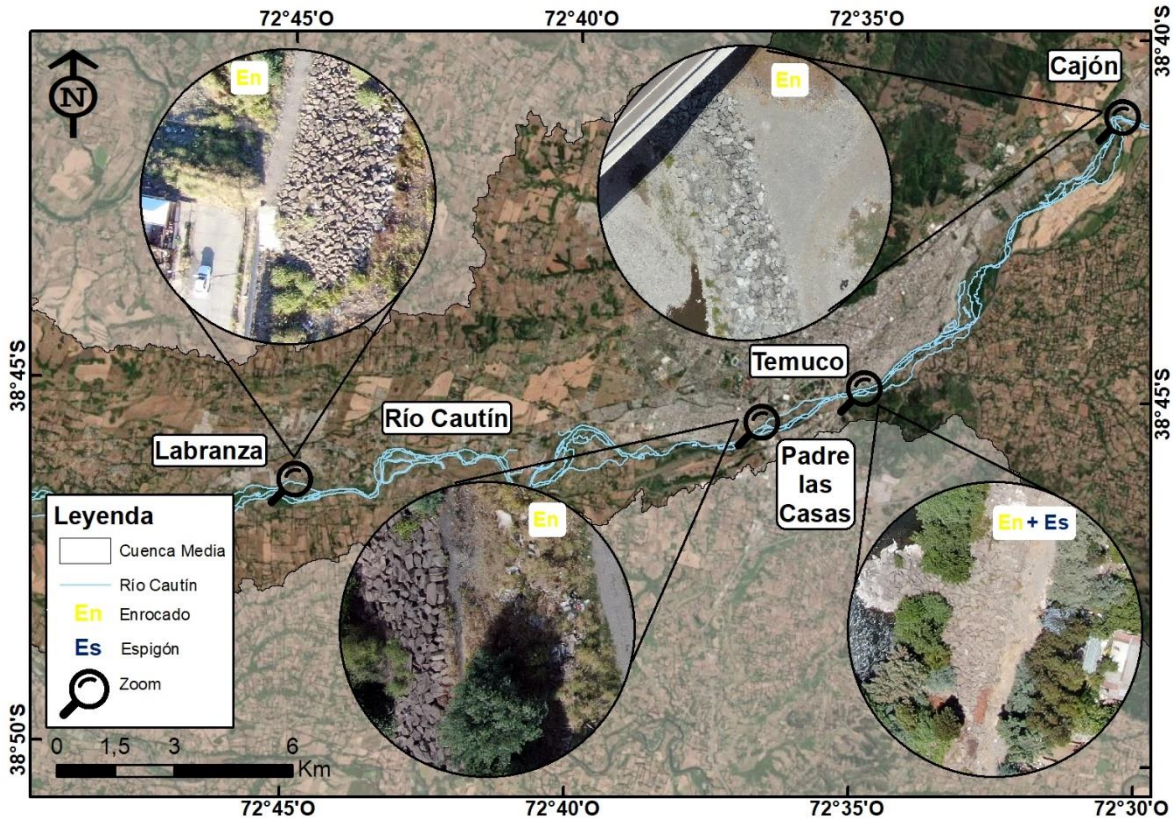
6.2.2.1 Búsqueda de Información:

Con el propósito de recopilar la mayor cantidad posible de información sobre las medidas de mitigación estructurales existentes dentro del área de estudio, se realizó una búsqueda bibliográfica en la literatura pertinente, ya sea a escala local (Planes reguladores, estudios de riesgos fundados, etc.) como regional (Planes directores de cuencas, Planes regionales de infraestructura y gestión de recursos hídricos, etc.). En paralelo se hizo uso de la Ley de Transparencia, para solicitar información a la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), sobre las medidas de mitigación estructurales implementadas, como respuesta la DOH indicó que esa información se encuentra disponible en la plataforma virtual de Mercado Publico. Por último y siguiendo la indicación de la DOH, se realizó una búsqueda en la plataforma de Mercado Publico a través de filtros y el uso de palabras claves.

Como complemento, se trabajó en terreno mediante el uso de instrumento GPS y vuelos con dron, con el propósito de obtener una mayor información sobre las medidas de mitigación estructurales. Los días 21 de diciembre del 2021 y 8, 9 de

enero del 2022 se trabajó en terreno para la cuenca media del río Cautín, mientras que para la cuenca media del río Maule, se trabajó los días 28 y 29 de diciembre del año 2021.

Figura N°14: Zoom a medidas de mitigación estructurales en los centros urbanos de la cuenca media del río Cautín.



Fuente: elaboración propia.

Dentro de las principales dificultades en la recopilación de información, se destaca la poca organización y registro que se lleva de éstas, dado que para el caso de la plataforma virtual de Mercado Público, en la mayoría de los casos se encontraban los “links caídos” o en caso de existir una ficha con información del proyecto, esta se encontraba incompleta, faltando información importante como la ubicación geográfica (coordenadas), periodos de retorno, inicio y fin de la obra, fecha de implementación, etc.

En relación con el trabajo en terreno, el principal problema se presentó en la cuenca media del río Maule, ya que producto de la alta densidad de vegetación existente en el cauce, fue imposible reconocer las medidas de mitigación mediante las fotografías del dron, por lo que se desistió de volver a terreno para completar el tramo que se tenía planificado. Por otro lado, para la cuenca media del río Cautín no se pudo volar en sectores cercanos al aeropuerto, debido a que está restringido.

6.2.2.2 Generación de Base de Datos:

Con el volumen de información obtenido en el punto anterior, se procedió a construir la base de datos de medidas de mitigación existentes. En ambos casos se obtuvieron dos tablas, la primera hace referencia a las medidas de mitigación y contiene información sobre la ubicación, tipo de medida, uso de suelo cercano, etc. (Tablas N°7 y N°8) siendo bastante más acotada para el caso del río Maule producto de las dificultades explicadas anteriormente. La segunda tabla hace referencia a los proyectos llevados a cabo en las áreas de estudio y contiene información sobre la ubicación, fecha de implementación y monto de inversión (Tabla N°9). Por último, ambas tablas se vinculan mediante el campo ubicación. (Puntos, Tramos).

Tabla N°7: Estructura Base de Datos, Tabla 1 para el río Maule.

N°	Punto	Coordenadas	Tipo de defensa	Usos de suelo cercanos
1				

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°8: Estructura Base de Datos, Tabla 1 para el río Cautín.

N°	Tramos	Coord. inicio	Coord. fin	Tipo de defensa	Longitud [Km]	Área [ha]	Usos de suelo cercanos
1							

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°9: Estructura Base de Datos, Tabla 2.

Nombre del proyecto	Ubicación (PUNTOS, TRAMOS)	Monto de inversión "millones de pesos" [M]	Fecha de implementación

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se generaron cartografías, georreferenciando las medidas, para el caso del río Maule se usaron puntos en donde se identificaron medidas de mitigación ante inundaciones, mientras que para el río Cautín se utilizaron los tramos, los cuales fueron definidos según las macrozonas en la ribera del río Cautín como se

realizó en el estudio de riesgos fundados para el plan regulador de Temuco. (Municipalidad de Temuco, 2011). Este apartado se realizó principalmente mediante el uso de los Programas ArcMap 10.4.1 y Excel, ya que permite una fácil actualización en estudios futuros.

Se resumieron los resultados obtenidos en los objetivos N°1 y N°2 mediante una figura que sintetiza los eventos identificados en las series de crecidas históricas del análisis estadístico (años), influencia del ENSO, los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas y las medidas de mitigación estructurales implementadas en ambas cuencas.

Como se observa en la Tabla N°10, se utilizaron 3 criterios para la categorización de las crecidas históricas. El primero corresponde al criterio físico, donde en función de la información disponible, se usó el caudal máximo instantáneo del evento o la precipitación caída durante una semana. Para establecer los intervalos se utilizaron los percentiles 33 y 66 con el fin de dividir los datos en 3 rangos iguales. Por otro lado, los criterios restantes, están asociados a las encuestas de cotas históricas, sin embargo, no todos los eventos identificados en el análisis estadístico se vieron reportados en las encuestas. Debido a lo anterior se ajustaron los pesos de los criterios utilizados, con el fin de que solo se clasifique una inundación como “grande”, si esta se ve reflejada en las encuestas y cuenta con datos de caudal o precipitación que validen su magnitud.

Tabla N°10: Criterios de categorización de las crecidas históricas obtenidas.

PESOS	CRITERIOS	PEQUEÑO	MODERADO	GRANDE
66%	Caudal máximo [m3/s] o Precipitación de una semana [mm]	Min - P33 (6 puntos)	P33 - P66 (12 puntos)	P66 - Max (18 puntos)
33%	Reportada en las encuestas	1 encuesta (1 puntos)	2 encuestas (2 puntos)	> a 2 encuestas (3 puntos)
	N° de tipos daños por evento	Min - X ₁ tipos de daño (1 puntos)	X ₂ - X ₃ tipos de daño (2 puntos)	X ₃ - Max tipos de daños (3 puntos)

Nota: Los datos de Min, Max, P₃₃, P₆₆, X₁, X₂ y X₃ cambian en función de la cuenca.
Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar, que la categorización de las crecidas se hizo en función de cada cuenca, definiendo los intervalos dependiendo de sus registros de caudal, precipitación y tipos de daños reportados por los encuestados. Finalmente, se consideraron “*pequeñas*” las crecidas que se encontraron en el intervalo de [6 - 12], “*moderadas*” las crecidas entre [13 - 18] y “*grandes*” las crecidas entre [19 – 24].

6.2.3 Objetivo 3: Analizar la implementación y eficiencia de las medidas de mitigación estructurales frente a crecidas

Para analizar los criterios de implementación y eficiencia de las medidas de mitigación estructurales frente a crecidas, se realizó una encuesta “*online*” dirigida a expertos y tomadores de decisión, en relación con la gestión de inundaciones para ambas cuencas. Como se puede observar en la tabla N°11 se seleccionaron expertos en distintas áreas con el fin de obtener una visión interdisciplinaria. Los encuestados fueron de nivel local (municipal) y nivel regional.

6.2.3.1 Identificación de actores claves

Para la cuenca media del río Maule se seleccionó a nivel local, con los municipios de San Javier de Loncomilla, Maule, San Clemente y Colbún. En relación con los expertos, estos pertenecen a universidades locales de la VII región, específicamente a la Universidad Católica del Maule y la Universidad de Talca. Por otro lado, para la cuenca media del río Cautín se seleccionó a nivel local con los municipios de Temuco, Padre las Casas y Lautaro. En relación con los expertos, estos pertenecen a universidades locales de la IX región, específicamente a la Universidad Católica de Temuco y la Universidad de la Frontera. Por último, nivel regional para ambas cuencas medias se seleccionó con la DGA, DOH, ONEMI, MINVU, SERVIU.

Tabla N°11: Tabla de actores (tomadores de decisiones y expertos).

Tomadores de decisiones		Expertos de Universidades locales
Municipal (local)	Regional	
DIDECO	DGA	Hidrología
Dpto. Emergencias	DOH	Cambio Climático
DOM	ONEMI	Planificación Territorial
SECPLA	MINVU	Obras civiles estructurales
Administración municipal	SERVIU	Gestión de Riesgos

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificadas las instituciones con las que se trabajaría, se construyó un directorio de personas “*claves*”, en donde a través de una búsqueda en internet en las distintas plataformas de las instituciones se obtuvieron los correos electrónicos de los expertos y tomadores de decisiones, este fue el canal utilizado por donde se contactó y enviaron las encuestas online al momento de implementarlas.

Tabla N°12: Estructura del directorio de personas “*claves*”.

Institución	Departamento	Cargo y Profesión	Nombre	Correo

Fuente: elaboración propia.

6.2.3.2 Elaboración de la encuesta online

En relación con la elaboración de la encuesta online, se establecieron horarios de trabajo junto con el profesor guía, para trabajar en ella asegurando “*face validity*”, la cual según el siguiente fragmento:

Hace referencia a la relevancia de los ítems de la prueba, a la evaluación de su claridad y la comprensión del lenguaje que se utiliza para la redacción de cada uno de estos, es decir, evalúa uno a uno todos los ítems. (Blanco, 2014, p. 355)

La encuesta online fue creada a través de la herramienta gratuita “*Google Forms*”, la cual simplificó el proceso de creación e implementación, ya que las respuestas se guardaron automáticamente en una hoja de cálculo Excel, facilitando el posterior análisis de los resultados una vez terminado el periodo de implementación. Finalmente, y luego de varias sesiones de trabajo, se creó la encuesta “*Medidas de*

mitigación estructurales ante crecidas e inundaciones del río Maule/Cautín". Es importante resaltar que la encuesta cuenta con 2 versiones, una dirigida a expertos y tomadores de decisiones de la VII región del Maule y otra para la IX región de la Araucanía. En relación con el contenido de la encuesta, esta consta principalmente de 3 ítems:

- I. **DATOS PERSONALES DEL ENCUESTADO:** Apartado relacionado con la información de la persona encuestada (profesión, institución, cargo en la institución, sexo, edad, etc.)
- II. **IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES ANTE INUNDACIONES:** Apartado que busca evaluar las variables que se tienen en cuenta al momento de "*implementar*" una medida de mitigación estructural ante inundaciones, como también conocer la medida más apropiada a implementar en distintos casos de inundación.

PREGUNTA N°1: Se consultó sobre la importancia de 17 variables o factores al momento de implementar una u otra medida de mitigación estructural, en donde tenían que escoger una de las tres categorías (baja, media y alta). Para esta pregunta se dieron 2 casos:

- Caso (A); zona rural con uso de suelo predominantemente agrícola.
- Caso (B): zona urbana.

Debido al elevado número de variables que se consultó, para simplificar el análisis de los resultados, se posiciono a las variables según el nivel de importancia (bajo, medio, alto) que obtuvo el mayor porcentaje de aprobación de los encuestados.

PREGUNTA N°2: Se presentaron dos casos de inundaciones por desborde de cauces a través de dos imágenes distintas (Figuras N°52 y Figura N°54), donde se le pidió al encuestado seleccionar la obra más apropiada para mitigar sus efectos.

- Caso (1): Inundación en zona agrícola.
- Caso (2): Inundación en zona urbana.

III. EFICIENCIA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE INUNDACIONES EN LOS “TRAMOS DE ESTUDIOS”: Apartado que evaluar la “*eficiencia*” que tendrían los diferentes tipos de medidas de mitigación ante inundaciones (gris, verde y mixtas o híbridas), como también las medidas estructurales implementadas en tramos específicos del río Maule (Figura N°6) o río Cautín (Figura N°7).

PREGUNTA N°1: Se le pidió al encuestado, que indique como se comportaría o que efectos podrían tener las diferentes medidas de mitigaciones (gris, verde y mixtas) en 6 casos distintos:

- A. Relación costo (implementación y mantención) / beneficio (disminución de los efectos de las inundaciones).
- B. Impactos negativos en los ecosistemas, hidrología y geomorfología.
- C. Beneficios adicionales a la mitigación de inundaciones (áreas de recreación, valor estético, disminución de la temperatura local, etc.)
- D. Disminución del peligro de inundación en zonas urbanas, con alta densidad de viviendas y espacio fluvial limitado.
- E. Disminución del peligro de inundación en zonas rurales, destinadas a la agricultura y ganadería.
- F. Disminución del peligro de inundación en zonas rurales, con viviendas dispersas.

Debido al número de casos consultados y teniendo en cuenta que se evaluó la eficiencia de los 3 tipos de medidas de mitigación en paralelo, para simplificar el análisis de los resultados, se posicionó a las medidas como poco eficientes, eficientes y muy eficientes, según el mayor porcentaje de aprobación que se obtuvo por los encuestados.

PREGUNTA N°2: Se evaluó en una escala desde 1 (bajo) – 5 (alto) las medidas de mitigación estructurales implementadas, en el río Maule y Cautín (correspondientemente), en relación con la disminución de la “frecuencia” y “extensión” de los eventos de inundación, como también los “costos de

implementación” y “costos de mantención” de las medidas implementadas en la actualidad.

PREGUNTA N°3: Se pidió a los encuestados que indicaran el tipo de obra o medidas de mitigación estructurales que recomendarían implementar en un futuro y, si es factible o no implementar medidas de mitigación “verdes” para las áreas de estudios correspondientemente.

Por último, es importante mencionar que previo al “*ítem I*” la encuesta cuenta con un consentimiento informado, en donde se le informa al encuestado, que sus datos personales no serán divulgados y el uso será exclusivamente para el propósito de realizar el presente estudio y, por otro lado, el encuestado acepta las condiciones. También previo al “*ítem III*”, se describe brevemente que son las medidas de mitigaciones ante inundación y sus distintos tipos, con el propósito de que los encuestados no tengan un conocimiento más específico del tema y puedan responder el último ítem.

La encuesta fue piloteada para asegurar la “fase validity” en el plazo de una semana “*desde el 5 hasta el 12 de noviembre*”, siendo respondida por 18 personas, dentro de las cuales se encontraban: estudiantes de quinto año de ingeniería ambiental, ingenieros ambientales, estudiantes de Doctorado en Ciencias Ambientales y académicos del Centro de Investigación EULA-CHILE. Las principales observaciones, se referían al enunciado principal del ítem III, por lo cual este fue replanteado y además se resaltaron palabras claves en las preguntas posteriores, para dejar aún más claro lo que se quiso consultar. También se añadieron imágenes a modo de ejemplo en el apartado de “*descripción sobre las medidas de mitigación ante inundaciones*”, previo al ítem III. Por último, se estimó el tiempo promedio de respuesta de la encuesta, el cual fue de 12,4 minutos.

La encuesta online fue “*enviada*” el jueves 18 de noviembre del 2021 y se aceptaron respuestas hasta el viernes 7 de enero de 2022. Fue respondida por un total de 40

personas, de las cuales 13 corresponden a la encuesta específica para la cuenca media del río Maule y 27 a la encuesta específica de la cuenca media del río Cautín.

Dentro de las principales dificultades en la elaboración del objetivo 3, resalta la dificultad de encontrar los correos electrónicos de los con tomadores de decisiones de escala regional. También a escala municipal, se presentó varias veces que los correos institucionales que tenían publicados en sus portales estaban desactualizados. Por último, en un comienzo se tuvo una participación más baja de lo previsto, por lo cual se extendió el plazo para recibir respuestas y se reenvió ésta a los actores claves que aún no respondían, decisión que tuvo éxito en incrementar el número de respuesta.

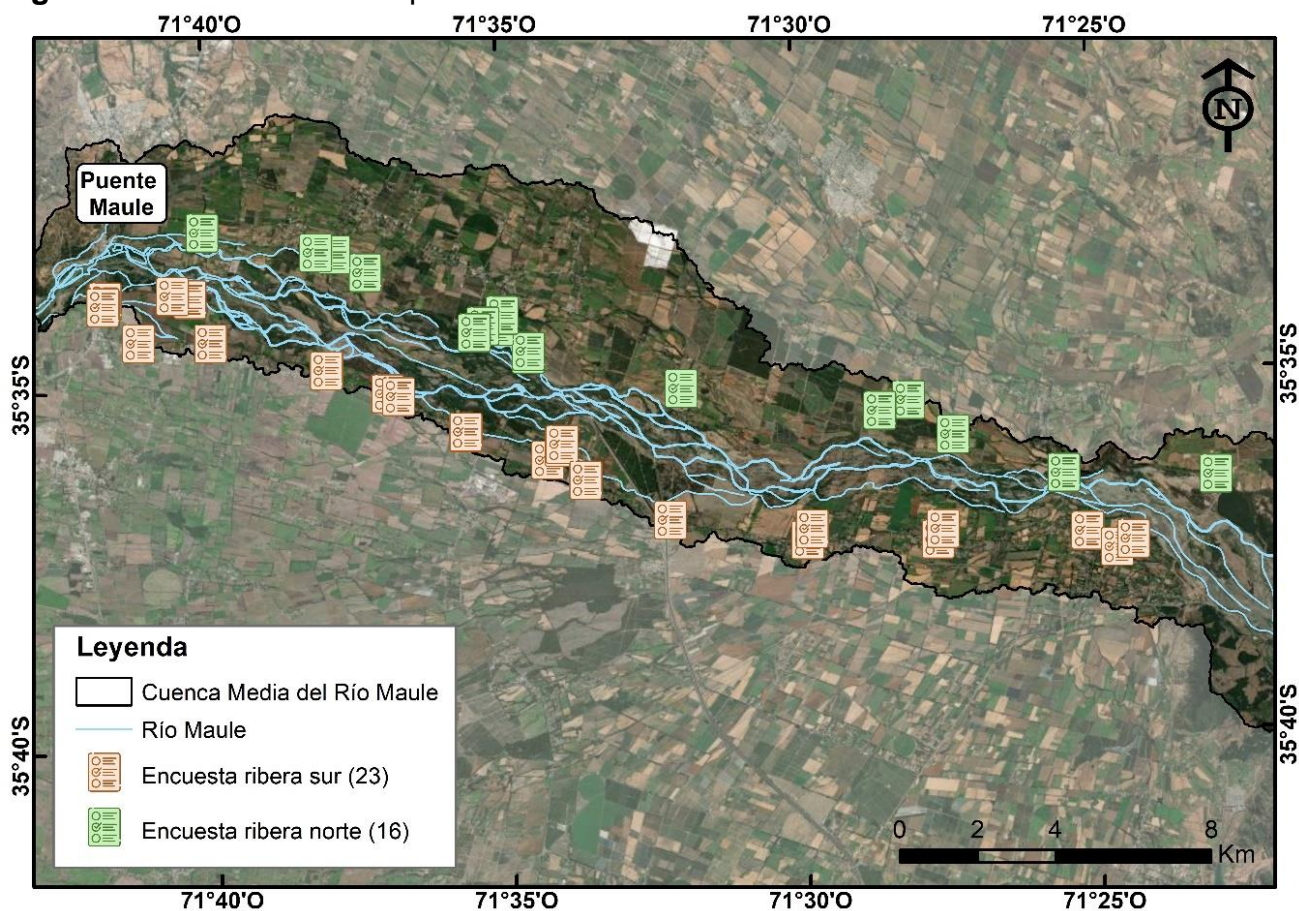
7. RESULTADOS

7.1 Caracterización de la Recurrencia Histórica de Crecidas y Efectos Ambientales Asociados

7.1.1 Cotas históricas de inundaciones en cuenca media del río Maule

En relación con la distribución espacial de las encuestas aplicadas, 16 fueron tomadas en la ribera norte y 23 en la ribera sur. Por otro lado, la mayor distancia entre las encuestas fue de 4,9 km., esta varía en función de la accesibilidad que se tuvo a las localidades cerca de la ribera del río, pues la zona donde se levantó información es rural de carácter agrícola y se presentaron dificultades en la accesibilidad.

Figura N°15: Distribución espacial de las encuestas tomadas río Maule.

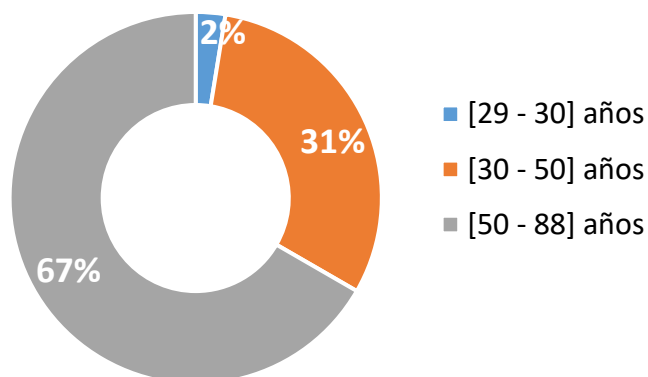


Fuente: elaboración propia.

La edad de los encuestados varió entre 29 y 88 años, donde el promedio fue de 56 años. (Anexo N°2). Esto se verificó al observar la Figura N°16 donde se dividieron a los encuestados en tres tramos de edades, el tercer tramo de 50 - 88 años obtuvo a un 67% del total de encuestados.

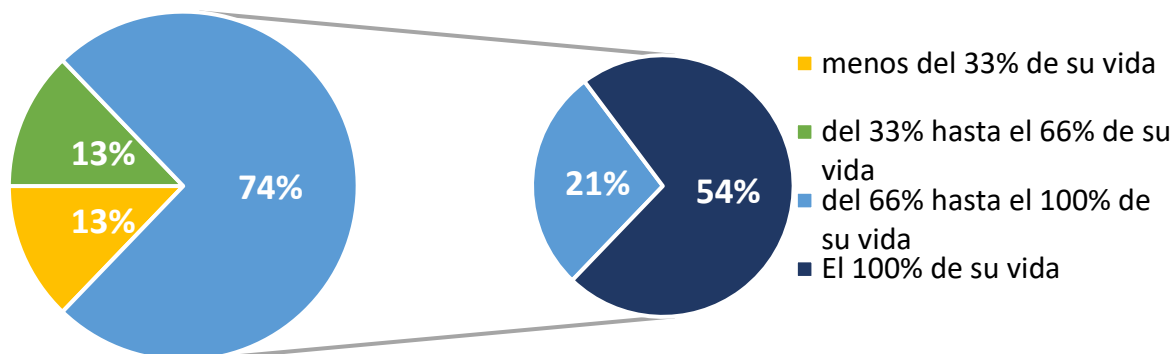
Por último, se dividieron a los encuestados según el porcentaje de su vida que llevaran viviendo o trabajando en la zona donde se aplicó la encuesta. De lo anterior se obtuvo que el 74% de los encuestados lleva desde 2/3 partes de su vida hasta la totalidad de su vida, en la zona donde se aplicó la encuesta, del porcentaje anterior un 54% lleva viviendo toda su vida en la misma localidad (Figura N°17). De esto se puede inferir que los encuestados poseen el conocimiento suficiente sobre eventos históricos locales.

Figura N°16: Tramos de edad de los encuestados en la cuenca media del río Maule.



Fuente: elaboración propia.

Figura N°17: Edad de los encuestados comparada con los que años viviendo en la zona donde se aplicó la encuesta, Cuenca media del río Maule.

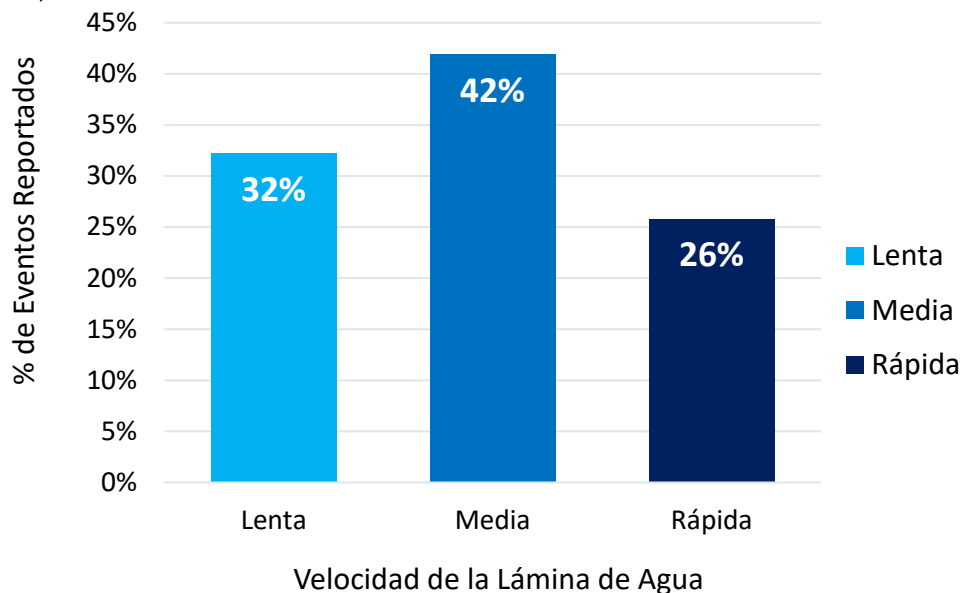


Fuente: elaboración propia.

En relación con los eventos del río Maule, se obtuvo registro de 31 crecidas, donde se reportaron daños en viviendas, servicios básicos, infraestructura vial (caminos), pérdida de cultivos, pérdida de ganado y destrucción de maquinaria en empresas de áridos, no obstante, estos daños, se concentraron principalmente en la pérdida de cultivo y ganado. (Anexo N°3).

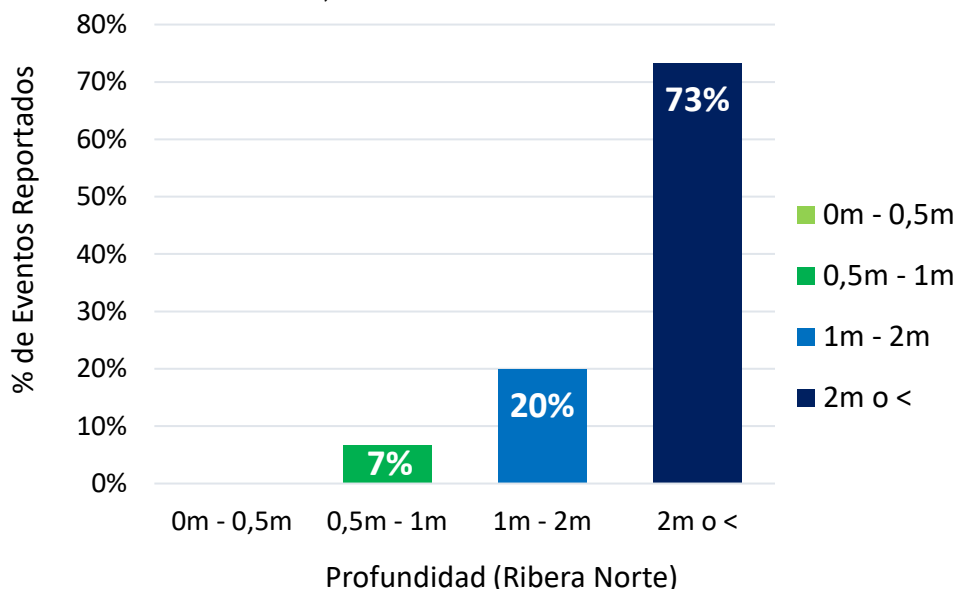
Los eventos reportados tuvieron una duración promedio de 5 días con una lámina de agua predominante media (Figuras N°18) y una profundidad de mayor a 2 metros en la ribera norte, mientras que en la ribera sur la profundidad predominante fue entre 1-2 metros (Figuras N°19 y 20). Por otro lado, el 61% de los encuestados afirmó que tuvo que evacuar durante el evento que indicaron (Figura N°21). Finalmente, el evento con mayor frecuencia fue la crecida del año 1991 la cual presentó 6 de los 7 tipos de daños distintos que se contemplaron en la encuesta. (Figura N°22 y N°23).

Figura N°18: Lámina de agua de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Maule.



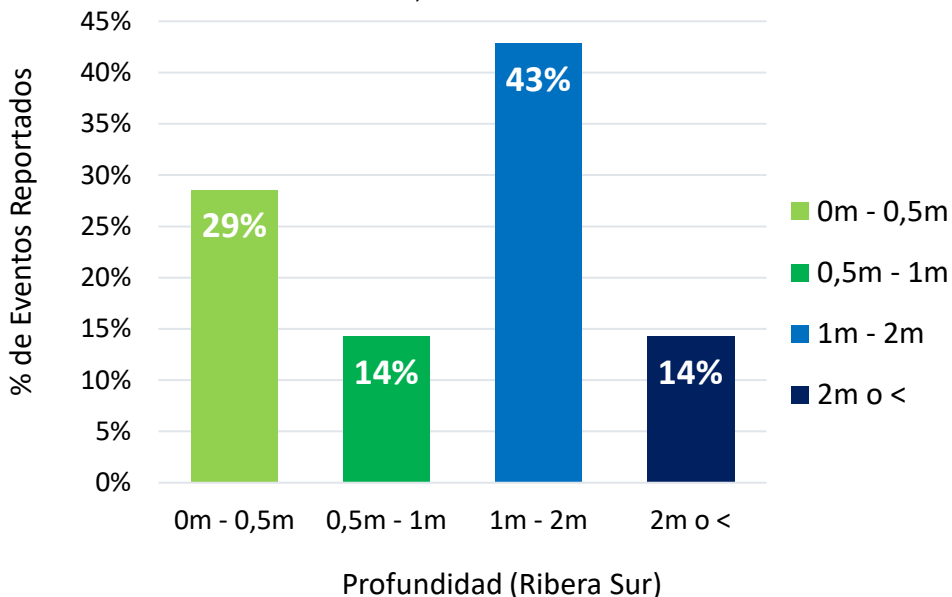
Nota: Lenta: daños en cultivos, viviendas inundadas, pero sin daños estructurales; Media: destrucción de viviendas de madera, algunos animales son arrastrados por el agua, Rápida: destrucción de puentes, viviendas de albañilería y maquinaria pesada arrastrada por el agua.
Fuente: elaboración propia.

Figura N°19: Profundidad en la ribera norte de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Maule.



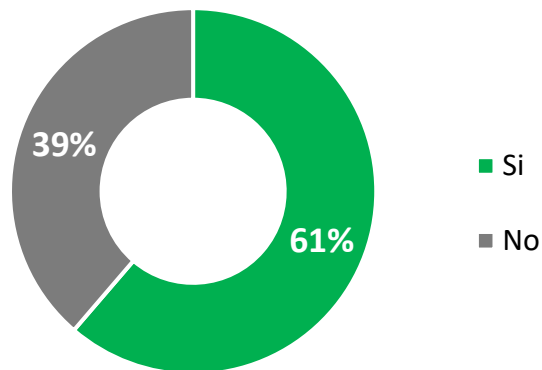
Fuente: elaboración propia.

Figura N°20: Profundidad en la ribera sur de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Maule.



Fuente: elaboración propia.

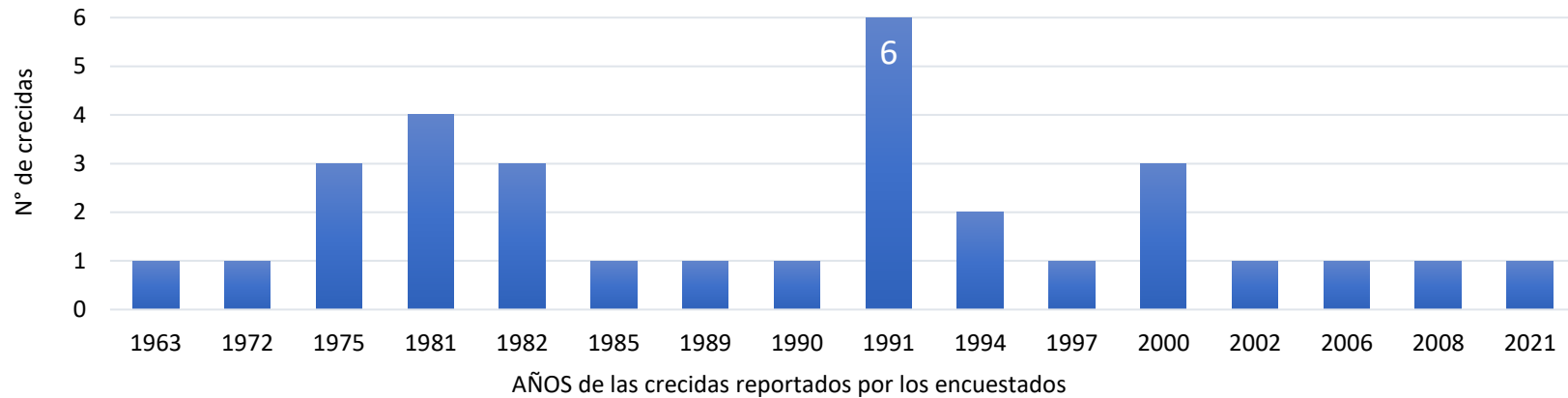
Figura N°21: Porcentaje de encuestados que evacuaron durante el evento que reportaron, cuenca media del río Maule.



Fuente: elaboración propia.

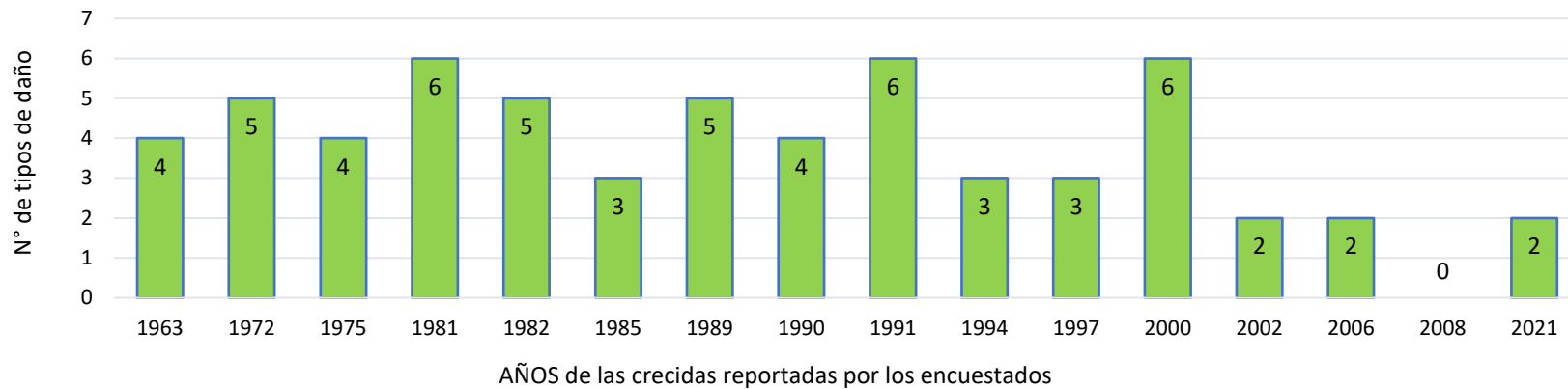
En la Figura N°23, se observó que la crecida reportada por los encuestados del 2008 no se asoció a ningún tipo de daño de los contemplados en la encuesta, sin embargo, esta no se puede descartar del todo, ya que para esto se debe comparar con otras encuestas o prensa local y corroborar si en el año 2008 sucedió o no la inundación.

Figura N°22: Frecuencia de los eventos reportados por los encuestados, Cuenca media del río Maule.



Nota: Datos brutos (no validados) interpretados u obtenidos a través de la encuesta. Fuente: elaboración propia.

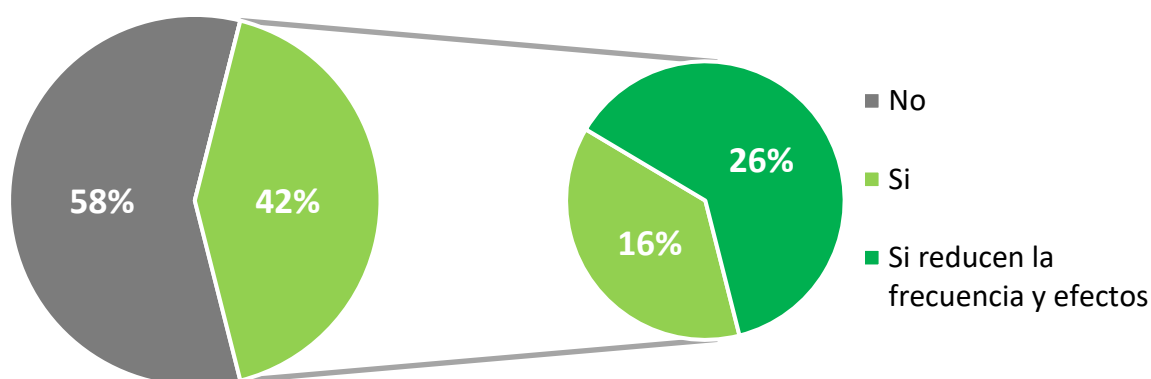
Figura N°23: Cantidad de “tipos de daños” distintos reportado por los encuestados en cada evento, cuenca media del río Maule.



Nota: Datos brutos (no validados) interpretados u obtenidos a través de la encuesta. Fuente: elaboración propia.

El 42% de los encuestados está consiente sobre las obras implementadas en su localidad para mitigar inundaciones fluviales, donde la defensa fluvial más conocida fue el enrocado; pero también destacaron las represa y canalizaciones. Dentro del porcentaje anterior, solo el 26% afirmó que las obras implementadas en sus localidades disminuyen la frecuencia y efectos de las inundaciones asociadas al río Maule. (Figura N°24).

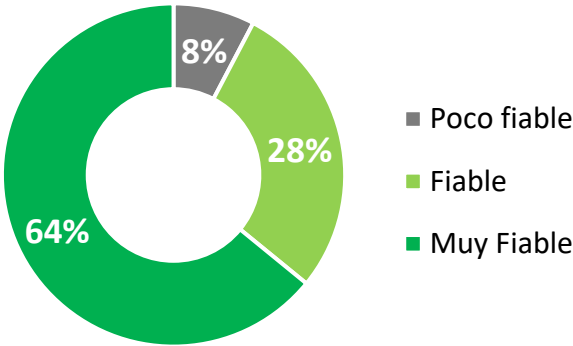
Figura N°24: Porcentaje de encuestados, consiente de las obras implementadas para mitigar inundaciones en su localidad, cuenca media del río Maule.



Fuente: elaboración propia.

Para estimar la recurrencia histórica asociada al río Maule, se tomaron 39 encuestas en donde se evalúa la fiabilidad de estas, calificando en base a la seguridad de la información proporcionada por el encuestado. Se obtuvo que el 64% de las encuestas se encuentran en la categoría de mayor fiabilidad “*muy fiable*”, 28% “*fiables*” y que solo 3 encuestas (correspondiente al 8%) se posicionaron en la categoría “*poco fiable*”. Las encuestas “*poco fiables*” no fueron utilizadas para obtener las cartografías de recurrencia histórica. (Figura N°25).

Figura N°25: Fiabilidad de las encuestas aplicadas, clasificada en sus tres categorías, cuenca media del río Maule.



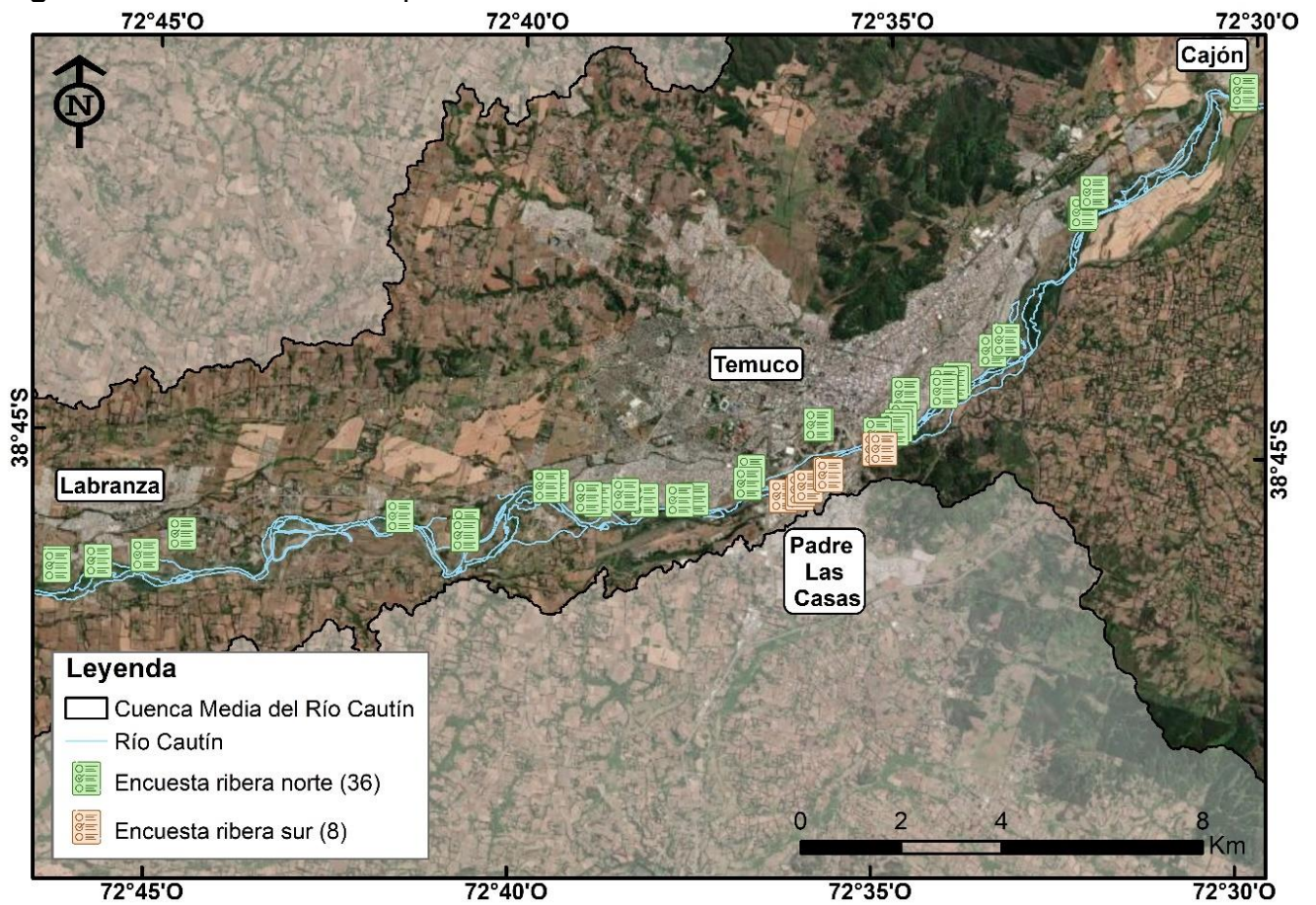
Fuente: elaboración propia

El detalle de los resultados de las encuestas de recurrencia histórica, para la cuenca media del río Maule se encuentra desde el Anexo N°2 hasta el Anexo N°5.

7.1.2 Encuestas de cotas históricas cuenca media del río Cautín

En relación con la distribución espacial de las encuestas aplicadas, 36 fueron tomadas en la ribera norte y 8 en la ribera sur. Por otro lado, la mayor distancia entre las encuestas fue de 3,9 km., esta al igual que para la cuenca media del río Maule, también varío en función a la accesibilidad que se tuvo a localidades aledañas a la ribera del río. Por último, como se mencionó en el punto 6.1.2, las principales inundaciones en la cuenca del río Cautín se presentan en las zonas urbanas por lo que las encuestas se concentraron en 4 de estas (Cajón, Temuco, Labranza y Padre Las Casas), donde las 3 primeras se ubican en la ribera norte, por eso el número de encuestas en la ribera norte es mayor en comparación con la ribera sur ya que en esta última solo se encuentra 1 de las 4 zonas urbanas. (Padre Las Casas).

Figura N°26: Distribución espacial de las encuestas tomadas río Cautín.

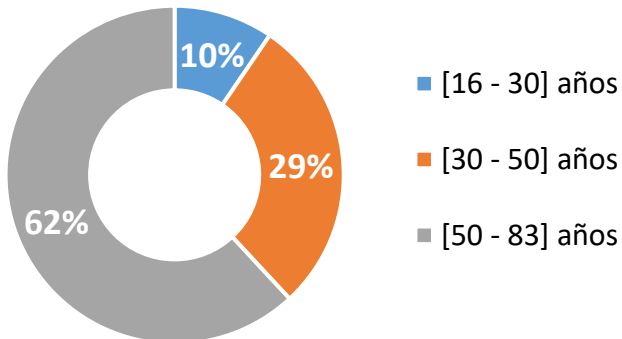


Fuente: elaboración propia.

La edad de los encuestados varió entre 16 y 83 años, donde el promedio fue de 55 años (Anexo N°6). En la Figura N°27 se dividieron a los encuestados en tres tramos de edades, en donde el tercer tramo de 50 - 83 años obtuvo a un 62% del total de encuestados, siendo el de mayor porcentaje.

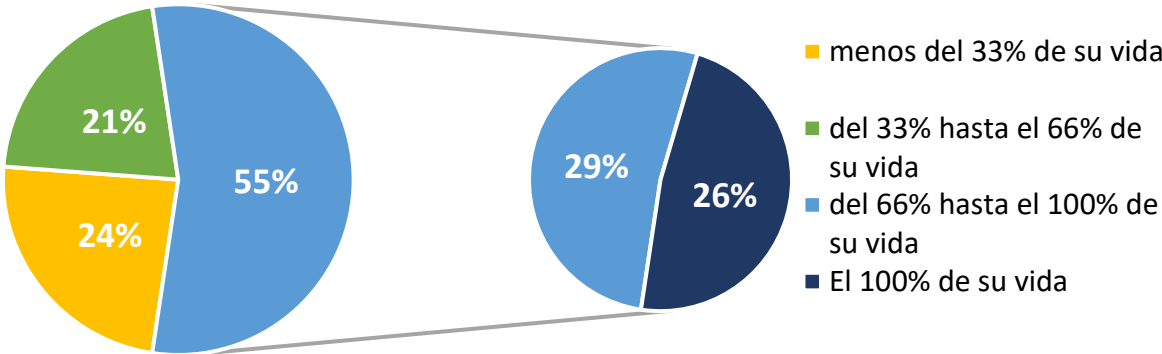
Por último, se obtuvo que el 55% de los encuestados lleva desde 2/3 partes de su vida hasta la totalidad de su vida, residiendo en la zona donde se aplicó la encuesta, del porcentaje anterior un 26% lleva viviendo toda su vida en la misma localidad (Figura N°28). Por último, se puede inferir que, si bien los porcentajes son menores en comparación al río Maule, sigue siendo un indicador positivo, de que las personas encuestadas tienen el conocimiento suficiente sobre las crecidas históricas del río Cautín.

Figura N°27: Tramos de edad de los encuestados en la cuenca media del río Cautín.



Fuente: elaboración propia.

Figura N°28: Edad de los encuestados comparada con los que años viviendo en la zona donde se aplicó la encuesta, Cuenca media del río Cautín.

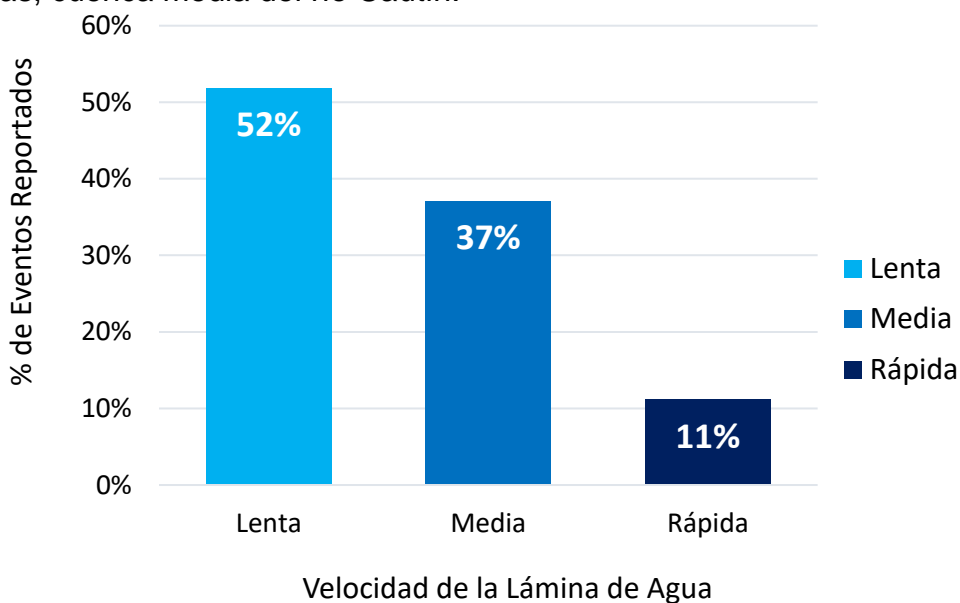


Fuente: elaboración propia.

En relación con los eventos del río Cautín, se obtuvo registro de 27 crecidas, donde se reportaron daños viviendas, servicios básicos, infraestructura vial (caminos y puentes), pérdida de cultivos y pérdida de ganado, no obstante, estos daños se concentraron principalmente en viviendas e infraestructura vial. (Anexo N°7).

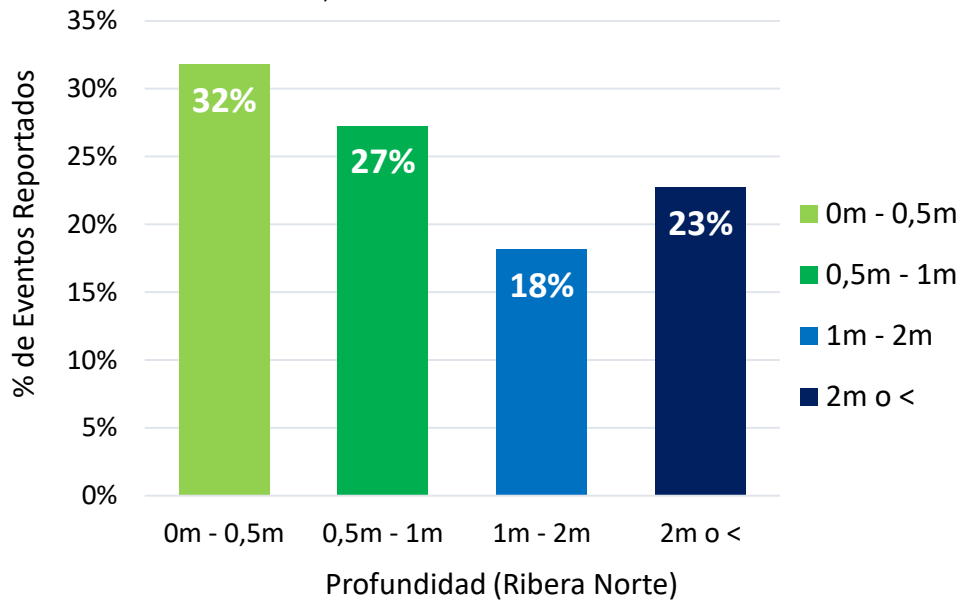
Los eventos reportados, tuvieron una duración promedio de 7 días con una lámina de agua predominante lenta (Figura N°29) y una profundidad entre 0 y 0,5 metros en la ribera norte, mientras que en la ribera sur la profundidad predominante fue entre 1-2 metros (Figuras N°30 y N°31). Por otro lado, el 48% de los encuestados afirmó que tuvieron que evacuar durante el evento que indicaron (Figura N°32). Finalmente, los eventos con mayor frecuencia fueron las crecidas del año 2014 y 2018, la primera presentó 2 de los 7 tipos de daños distintos que se contemplaron en la encuesta, mientras que la última presentó 4 de 7 tipos de daños y también esta última crecida se encuentra asociada con la caída del puente ferroviario que conecta Temuco y Padre Las Casas. (Figura N°33 y N°34).

Figura N°29: Lámina de agua de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Cautín.



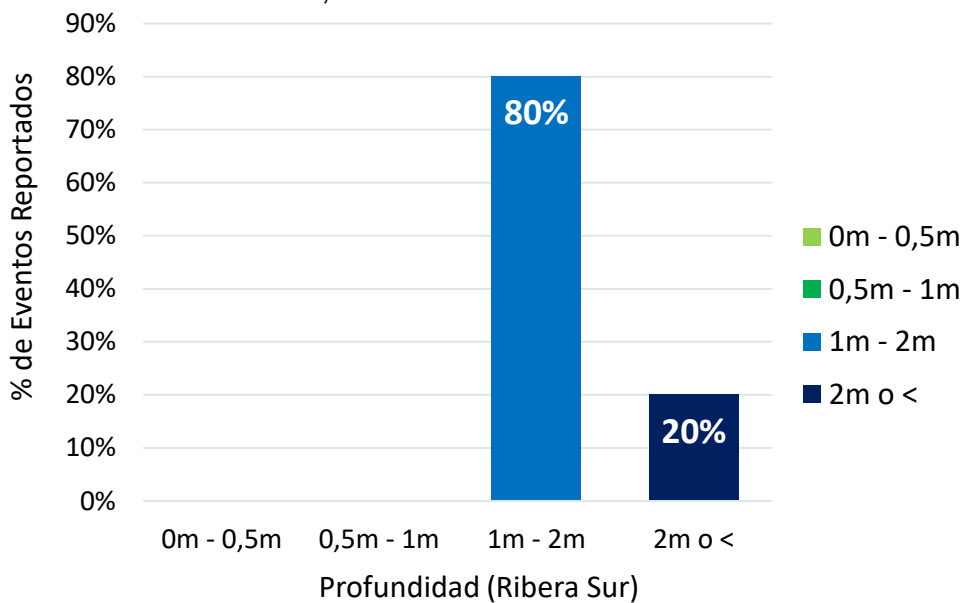
Nota: Lenta: daños en cultivos, viviendas inundadas, pero sin daños estructurales; Media: destrucción de viviendas de madera, algunos animales son arrastrados por el agua, Rápida: destrucción de puentes, viviendas de albañilería y maquinaria pesada arrastrada por el agua. Fuente: elaboración propia.

Figura N°30: Profundidad en la ribera norte de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Cautín.



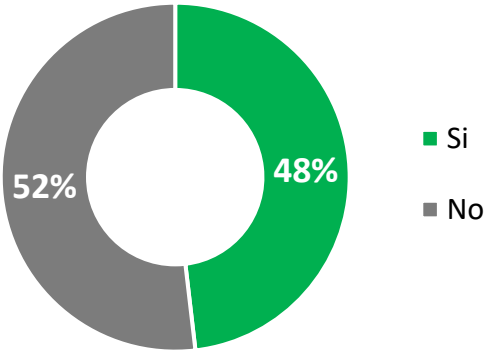
Fuente: elaboración propia.

Figura N°31: Profundidad en la ribera sur de los eventos reportados en las encuestas de cotas históricas, cuenca media del río Cautín.



Fuente: elaboración propia.

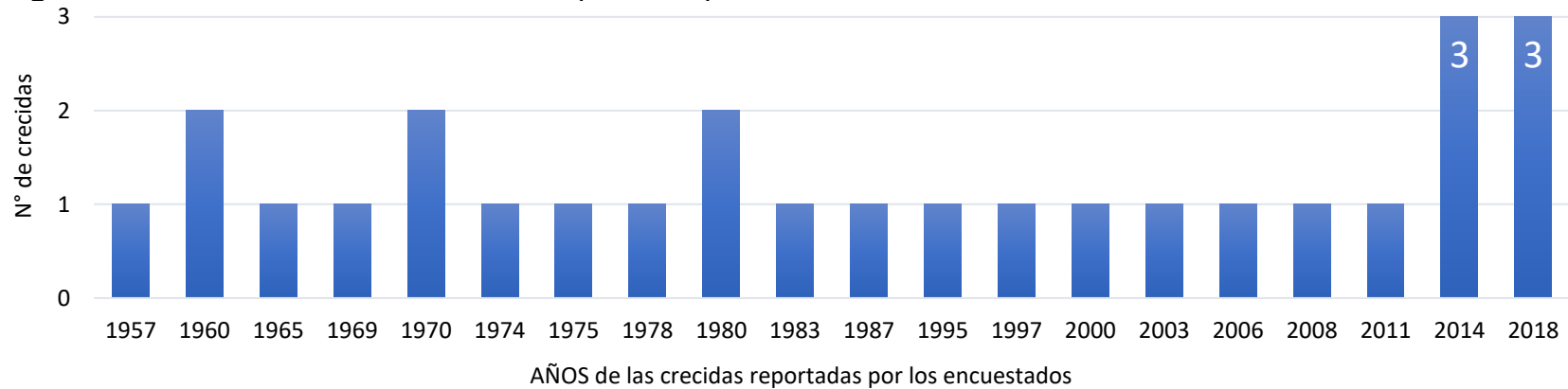
Figura N°32: Porcentaje de encuestados que evacuaron durante el evento que reportaron, cuenca media del río Cautín.



Fuente: elaboración propia.

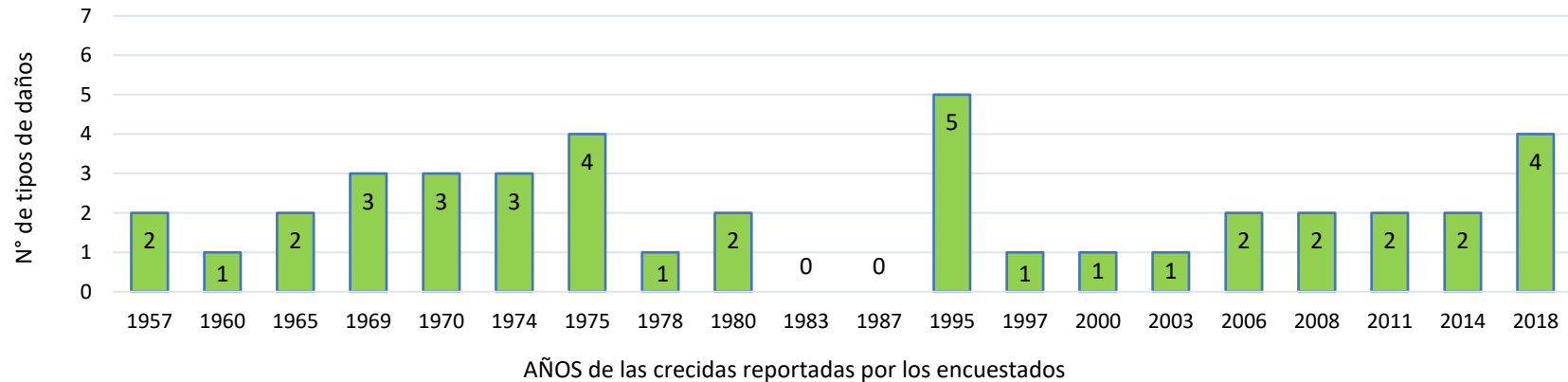
En la Figura N°34, se observó que, en las crecidas reportadas por los encuestados, el año 1983 y 1987 no se asociaron a ningún tipo de daño de los contemplados por la encuesta, sin embargo, estas no pueden ser descartadas del todo ya que para esto se debe comparar con otras encuestas o prensa local y corroborar si en los años 1983 y 1987 sucedieron o no las inundaciones.

Figura N°33: Frecuencia de los eventos reportados por los encuestados, Cuenca media del río Cautín.



Nota: Datos brutos (no validados) interpretados u obtenidos a través de la encuesta. Fuente: elaboración propia.

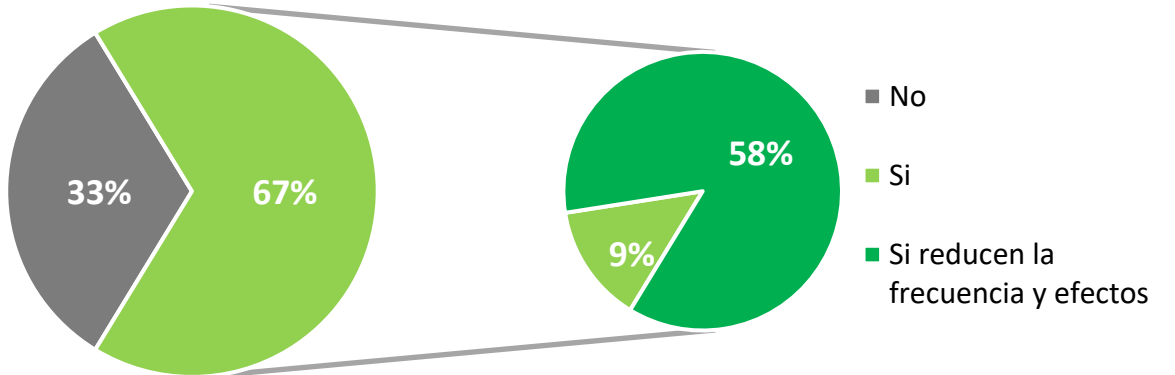
Figura N°34: Cantidad de “tipos de daños” distintos reportado por los encuestados en cada evento, cuenca media del río Cautín.



Nota: Datos brutos (no validados) interpretados u obtenidos a través de la encuesta. Fuente: elaboración propia.

El 67% de los encuestados está consiente sobre las obras implementadas en su localidad para mitigar inundaciones fluviales, donde la defensa fluvial que es más conocida por estos fue el enrocado; pero también tienen conocimiento de la presencia de gaviones. (Anexo N°8). Dentro del porcentaje anterior, el 58% afirmó que las obras implementadas en sus localidades disminuyen la frecuencia y efectos de las inundaciones asociadas al río Cautín. (Figura N°35).

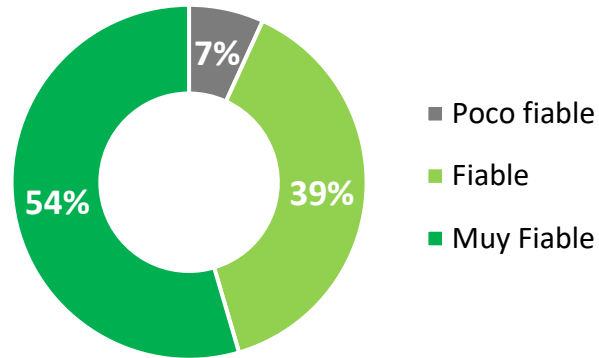
Figura N°35: Porcentaje de encuestados, consiente de las obras implementadas para mitigar inundaciones en su localidad, cuenca media del río Cautín.



Fuente: elaboración propia.

Para el caso del río Cautín, se tomaron 44 encuestas y se obtuvo que el 54% se encuentran en la categoría de mayor fiabilidad “*muy fiable*”, 39% “*fiables*” y solo 3 encuestas (correspondiente al 7%) se posicionaron en la categoría “*poco fiable*”. Estas últimas no fueron utilizadas para generar las cartografías de recurrencia histórica. (Figura N°36).

Figura N°36: Fiabilidad de las encuestas aplicadas, clasificada en sus tres categorías, cuenca media del río Cautín.



Fuente: elaboración propia.

El detalle de los resultados de las encuestas de recurrencia histórica, para la cuenca media del río Cautín se encuentra desde el Anexo N°6 hasta el Anexo N°9.

7.1.3 Síntesis de recurrencia histórica en ambas cuencas medias

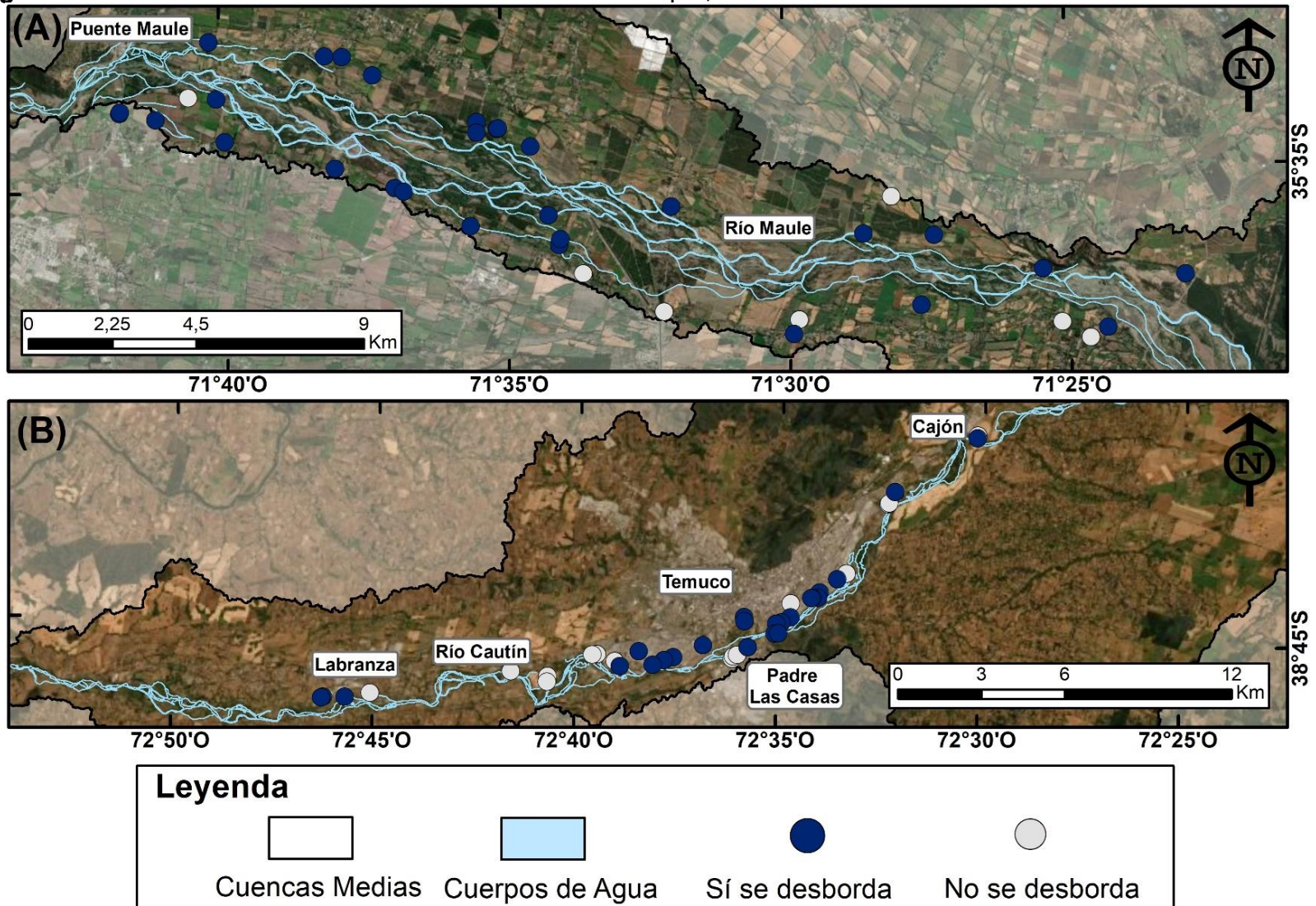
En base a la información levantada en terreno y en relación con los eventos que si determinan cotas históricas (Figura N°37), se tiene que la duración de estos fue mayor en el río Cautín, con un promedio de 7 días en comparación con el río Maule que tuvo un promedio de 5 días. Por otro lado, tanto la velocidad de la lámina de agua como la profundidad alcanzada percibida durante las crecidas, fue mayor en el río Maule.

Los 31 eventos reportados en la cuenca media del río Maule se distribuyeron entre 16 años distintos (Figura N°22), mientras que la cuenca media del río Cautín obtuvo 27 eventos reportados, distribuidos entre 20 años distintos (Figura N°33). Dado lo anterior, para analizar la temporalidad estas crecidas, se agruparon en 3 intervalos como se observa en la Figura N°38. Para el río Maule, se concentraron en el segundo intervalo [1980 – 1999] alcanzando un 62% del total, mientras que en el río Cautín el porcentaje se distribuyó de forma más homogénea, siendo el tercer intervalo [2000 - 2021] el que concentró la mayor cantidad de eventos con un 40%.

En último lugar, se analizó la recurrencia histórica de ambas áreas de estudio en función de los principales sectores afectados (daño), dado que, si bien el río Maule presentó todos los tipos de daños y, al río Cautín solo le faltó presentar daños de destrucción de maquinaria (empresas de áridos), estos no se distribuyen de forma homogénea en el espacio y no tienen la misma frecuencia. El principal sector afectado por inundaciones históricas en el río Maule corresponde al sector agropecuario, seguido por la infraestructura vial y destrucción de maquinaria. Por otro lado, el principal sector afectado por las inundaciones históricas en el río Cautín, corresponde al sector urbano, ya que las viviendas son las más afectadas, seguidos por la infraestructura vial y cortes de suministros básicos (Figura N°39). Finalmente, las crecidas del río Maule están asociadas a una mayor cantidad de daños distintos, alcanzado 6 tipos de daños de los 7 contemplados en la encuesta en un mismo

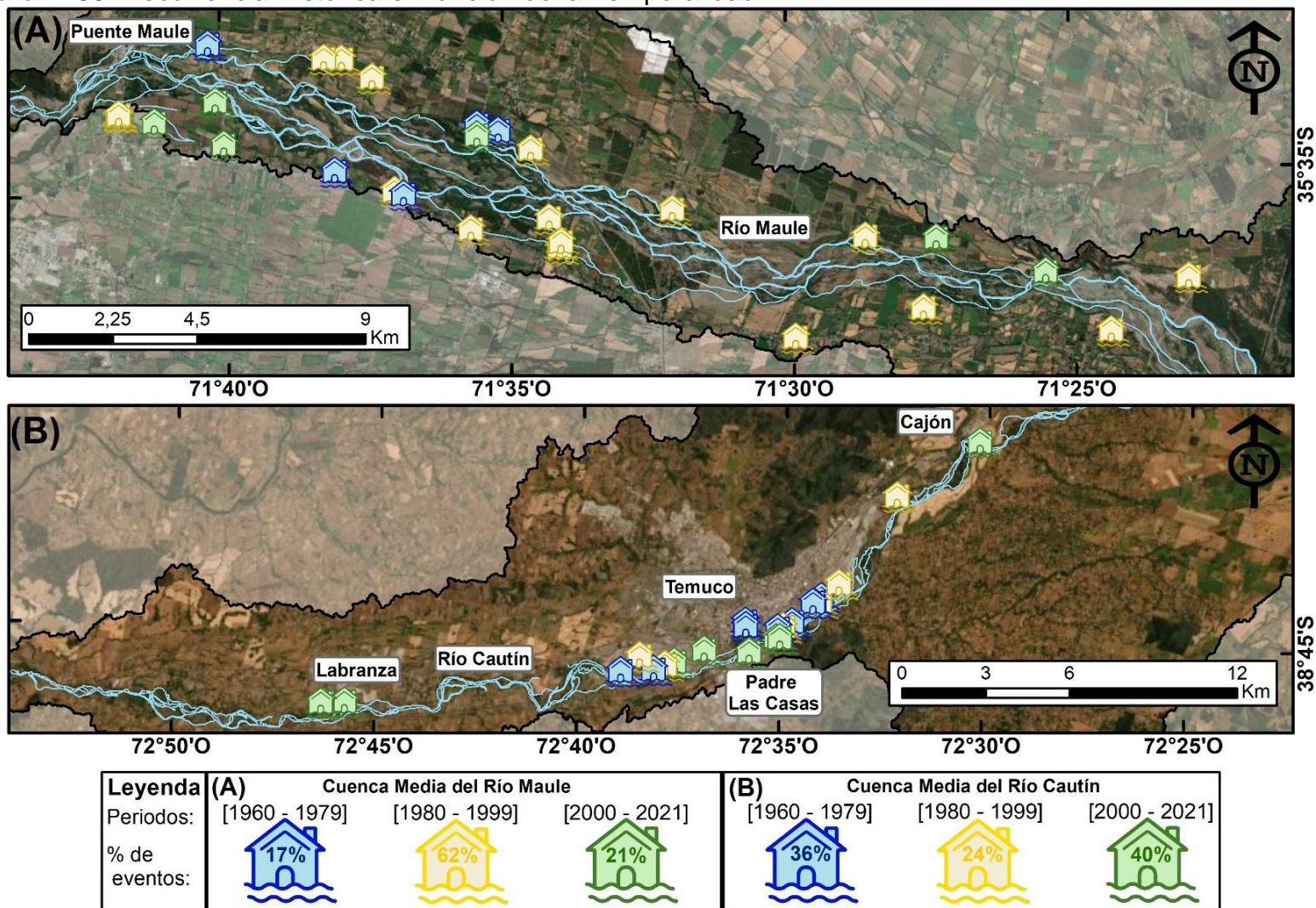
evento (Figura N°23) en comparación con el río Cautín que solo alcanza 5 tipos de daño en un mismo evento. (Figura N°34).

Figura N°37: Recurrencia Histórica en función de eventos que, sí determinan cotas.



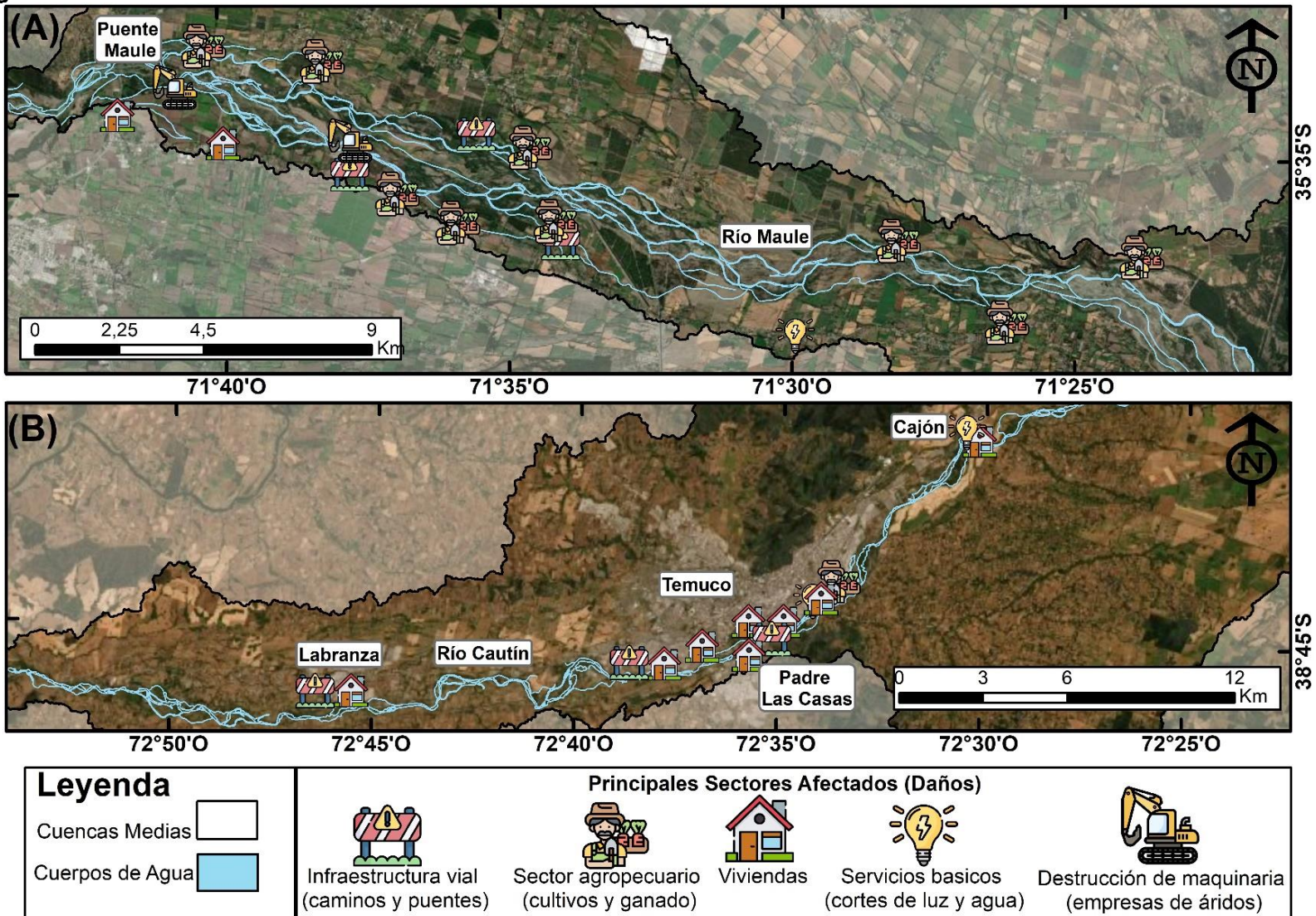
Nota:(A) Cuenca media del río Maule; (B) Cuenca media del río Cautín. Fuente: Elaboración propia.

Figura N°38: Recurrencia Histórica en función de la Temporalidad.



Nota: (A) Cuenca media del río Maule; (B) Cuenca media del río Cautín. Fuente: Elaboración propia.

Figura N°39: Recurrencia Histórica en Función del Daño.



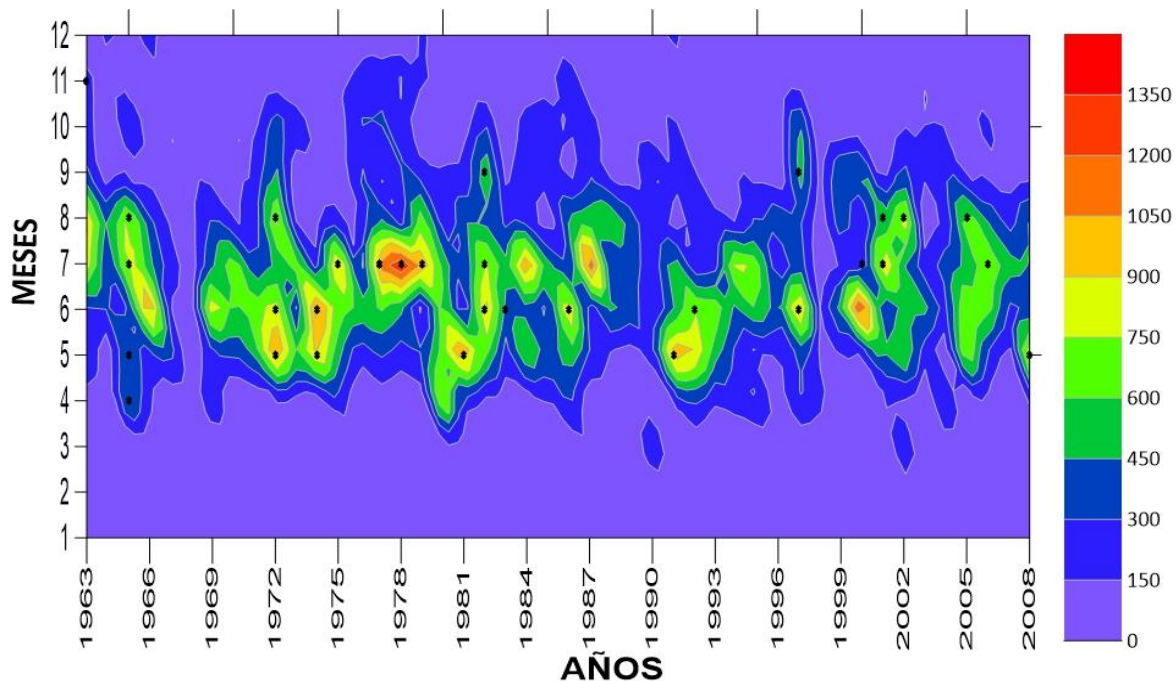
Nota: (A) Cuenca media del río Maule; (B) Cuenca media del río Cautín. Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Análisis estadístico de caudales y precipitación

Para la sección media del río Maule, se logró identificar un total de 32 eventos de crecidas históricas entre los años 1963 y 2008, de los cuales el 88% se encuentra entre los meses de mayo y agosto, en donde se encontraron 9 núcleos de precipitación con umbrales \geq a 900 mm mensuales (Figura N°40). El caudal más alto registrado fue de 3064 m³/s en la crecida del 08/05/1972 en donde cayeron 688 mm durante 5 días seguidos, este evento ocurrió en la fase positiva del ENOS (NIÑO) con una intensidad leve. Por último, la mayor proporción (50%) de los eventos identificados se presentó con anomalías positivas (NIÑO), donde la mayoría ocurrió con una intensidad leve. (Tabla N°13).

En relación con la distribución temporal de los eventos identificados, se tiene que, el mayor porcentaje de estos ocurrió en la década del 1970 con un (31,3%), seguido por la década del 2000 con un (21,9%), aunque como se observa en la Tabla N°13 en esta década se detienen las crecidas para el río Maule registrándose la última el 23/05/2008. El porcentaje restante, se distribuyó de manera más homogénea entre las décadas del 1960 (15,6%) 1980 (18,8%) y 1990 (12,5%).

Figura N°40: Precipitación mensual (1963 – 2008), cuenca media del río Maule.



Nota: los puntos negros representan los eventos identificados. Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°13: Crecidas Históricas para la Sección Media de la Cuenca del Río Maule.

Año	Fecha	Qmax [m ³ /s]	Días_E [días]	Días_pp [días]	PP_E [mm]	PP_mes [mm]	ONI_3.4	ENOS	I_ENOS
1963	31-10-1963	1416	4	3	178,2	33,9	1,3	POSITIVE	MODERADO
1965	09-04-1965	1861,8	3	3	275	0	0,2	NEUTRO	-
1965	29-05-1965	1935,6	2	2	184	288,5	0,5	POSITIVE	LEVE
1965	24-07-1965	1538	8	7	675,8	328,9	1,2	POSITIVE	MODERADO
1965	10-08-1965	1342	9	9	806,3	831,4	1,5	POSITIVE	FUERTE
1972	08-05-1972	3064	5	5	688	56	0,7	POSITIVE	LEVE
1972	11-06-1972	1972	12	11	800	1086	0,9	POSITIVE	LEVE
1972	14-08-1972	2160	7	7	572,5	410	1,4	POSITIVE	MODERADO
1974	21-05-1974	2796	10	9	903,5	0,5	-0,9	NEGATIVE	LEVE
1974	26-06-1974	-	8	6	685,5	603	-0,7	NEGATIVE	LEVE
1975	04-07-1975	2412	3	3	512,5	683	-1,1	NEGATIVE	MODERADO
1977	02-07-1977	1570,8	3	3	434,5	393,9	0,4	NEUTRO	-
1977	22-07-1977	1851,9	9	8	554,5	927	0,4	NEUTRO	-
1978	23-07-1978	1858,7	13	12	1171,1	510,2	0,4	NEUTRO	-
1979	31-07-1979	1480	10	9	1024	36	0,06	NEUTRO	-
1981	30-05-1981	1658	6	6	349,3	823,9	-0,3	NEUTRO	-
1982	26-06-1982	1237	7	6	353	644	0,7	POSITIVE	LEVE
1982	16-07-1982	1800,5	7	7	580	586	0,9	POSITIVE	LEVE
1982	13-09-1982	2058	5	5	345	383,8	1,6	POSITIVE	FUERTE
1983	18-06-1983	1960	5	5	361,5	160,7	0,7	POSITIVE	LEVE

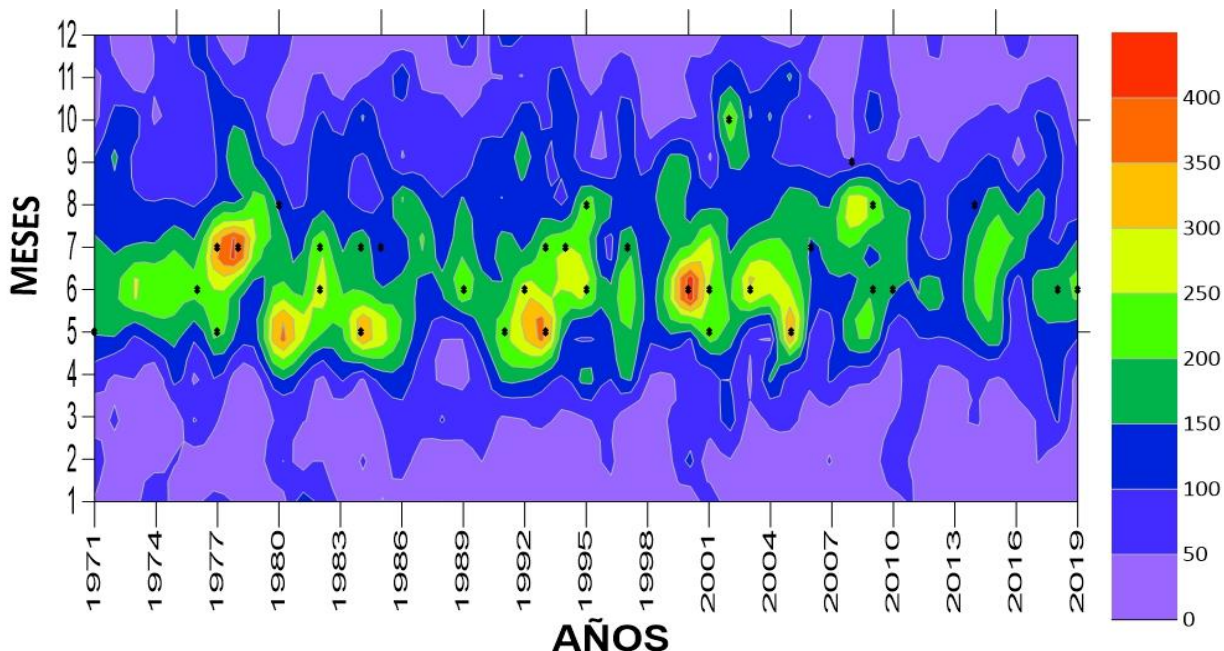
1986	16-06-1986	1750	5	5	552,7	888,8	0,03	NEUTRO	-
1991	29-05-1991	2823,7	6	6	806	280,7	0,5	POSITIVE	LEVE
1992	05-06-1992	1020,6	6	6	478,2	904	0,7	POSITIVE	LEVE
1997	20-06-1997	-	4	4	293,2	602	1,2	POSITIVE	MODERADO
1997	07-09-1997	1276,4	6	6	660	533,2	2,1	POSITIVE	FUERTE
2000	01-07-2000	2448,4	7	6	451	328	-0,6	NEGATIVE	LEVE
2001	20-07-2001	1114,9	5	5	309	504	-0,1	NEUTRO	-
2001	30-08-2001	1337,6	6	6	454	257	-0,1	NEUTRO	-
2002	25-08-2002	1979,9	6	5	499	472,6	0,9	POSITIVE	LEVE
2005	27-08-2005	1661,8	5	5	309,1	563,2	-0,1	NEUTRO	-
2006	12-07-2006	2577,5	6	6	547	450,5	0,1	NEUTRO	-
2008	23-05-2008	2518,5	6	6	805	62	-0,8	NEGATIVE	LEVE

Nota: (Qmax) Caudal máximo, (Días_E) duración del evento en días, (Días_pp) días de precipitación durante el evento, (PP_E) precipitación caída durante el evento, (PP_mes) precipitación caída el mes anterior al evento, (ONI 3.4) índice ONI para la región 3.4, (ENOS) fase del ENOS en la que se encontraba durante el evento, (I_ENOS) intensidad de la fase. Fuente: Elaboración propia.

Para la sección media del río Cautín, se logró identificar un total de 34 eventos de crecidas históricas entre los años 1971 y 2019, de los cuales el 94% se encuentra entre los meses de mayo y agosto, en donde se encontraron 7 núcleos de precipitación con umbrales \geq a 300 mm mensuales. (Figura N°41). El caudal más alto fue de 3485 m³/s en la crecida del 02/09/2008 en donde cayeron 232 mm durante 10 días seguidos, este evento ocurrió en la fase neutra del ENOS. Por último, la mayor proporción de los eventos ocurrieron en la fase neutra (64,7%) y solo el 25,6% de los eventos identificados se presentó con anomalías positivas (NIÑO), donde la mayoría ocurrió con una intensidad. (Tabla N°14).

En relación con la distribución temporal de los eventos identificados se tiene que, él mayor porcentaje de estos ocurrió, en la década del 2000 con un (29,4%), seguido con porcentajes similares por las décadas del 1990 (23,5%) y 1980 (20,6%). El porcentaje restante se distribuyó entre la década del 1970 (14,7%) y 2010 (11,8%).

Figura N°41: Precipitación mensual (1971-2019), cuenca media del río Cautín.



Nota: los puntos negros representan los eventos identificados. Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°14: Crecidas Históricas para la Sección Media de la Cuenca del Río Cautín.

Año	Fecha	Qmax [m ³ /s]	Días_E [días]	Días_pp [días]	PP_E [mm]	PP_mes [mm]	ONI_3.4	ENOS	I_ENOS
1971	20-05-1971	-	6	4	123,1	78,7	-0,7	NEGATIVE	LEVE
1976	19-06-1976	2352,6	2	2	65	191	-0,03	NEUTRO	-
1977	09-05-1977	2432	8	6	180	117	0,2	NEUTRO	-
1977	29-07-1977	1532	10	8	203	305,5	0,4	NEUTRO	-
1978	21-07-1978	2490	10	10	297	225	0,4	NEUTRO	-
1980	13-05-1980	2697,2	6	6	244	176	0,5	NEUTRO	-
1982	11-06-1982	1543	12	8	195	216	0,7	POSITIVE	LEVE
1982	12-07-1982	1824	9	6	165,5	237	0,9	POSITIVE	LEVE
1984	26-05-1984	1776	8	7	185,5	209	-0,4	NEUTRO	-
1984	16-07-1984	2157,8	4	4	110,5	187	-0,3	NEUTRO	-
1985	03-07-1985	1852	4	3	55	125	-0,5	NEGATIVE	LEVE
1989	29-06-1989	1872	6	6	155	153	-0,4	NEUTRO	-
1991	28-05-1991	1795	7	6	129,5	122,6	0,5	POSITIVE	LEVE
1992	05-06-1992	1863	2	2	100	290,9	0,7	POSITIVE	LEVE
1993	17-05-1993	1867	3	3	146,3	261,8	0,7	NEUTRO	-
1993	09-07-1993	2070	5	4	104,2	177,6	0,4	NEUTRO	-
1994	24-07-1994	2806,2	7	6	181,5	203,7	0,4	NEUTRO	-

1995	26-06-1995	2283,4	6	5	118,6	219	-0,03	NEUTRO	-
1995	24-08-1995	1778,6	2	2	113,2	181,1	-0,5	NEGATIVE	LEVE
1997	29-07-1997	1745,9	8	7	106,4	132,7	1,6	POSITIVE	FUERTE
2000	04-06-2000	1697,2	3	3	208,3	84,2	-0,6	NEGATIVE	LEVE
2001	28-05-2001	1682,7	5	5	112,9	127,6	-0,2	NEUTRO	-
2001	08-06-2001	2699,8	6	6	116,5	247,6	-0,2	NEUTRO	-
2002	14-10-2002	2338,9	4	4	123	180,8	1,2	POSITIVE	MODERADO
2003	20-06-2003	2058,7	10	9	241,9	237,9	-0,1	NEUTRO	-
2005	29-05-2005	2843,2	13	10	262,5	160,9	0,2	NEUTRO	-
2006	12-07-2006	3447,9	2	2	52,45	108	0,2	NEUTRO	-
2008	02-09-2008	3485	10	10	232	155,1	-0,3	NEUTRO	-
2009	20-06-2009	2116,1	9	6	137,6	163,2	0,3	NEUTRO	-
2009	25-08-2009	2174,8	15	11	178,9	88,3	0,6	POSITIVE	LEVE
2010	24-06-2010	2404,2	11	10	121,2	60,5	-0,6	NEGATIVE	LEVE
2014	03-08-2014	1882,4	4	4	74,3	161,8	0,1	NEUTRO	-
2018	28-06-2018	2919,6	5	3	100,6	179,9	0,03	NEUTRO	-
2019	28-06-2019	2021,7	7	6	139	110,3	0,4	NEUTRO	-

Nota: Caudal máximo (Qmax), duración del evento en días (Días_E), días de precipitación durante el evento (Días_pp), precipitación caída durante el evento (PP_E), precipitación caída el mes anterior al evento (PP_mes), índice ONI para la región 3.4 (ONI 3.4), fase del ENOS en la que se encontraba durante el evento (ENOS), intensidad de la fase (I_ENOS). Fuente: Elaboración propia.

Como los datos de caudales fueron obtenidos de estaciones cercanas al punto de salida de las cuencas medias y ubicados en los cauces estudiados, estos, si son comparables y se puede observar en la Tabla N°15 que el río Cautín es más caudaloso que el río Maule y, en ambos su desviación estándar está en el orden de los 500 m³/s.

Si bien, como mencionó en la metodología los datos obtenidos a partir análisis en las estaciones pluviométricas no son comparables, debido a la ubicación de éstas y la diferencia de magnitud en las precipitaciones registradas. Sin embargo, con ayuda de los estadísticos calculados, se observó que, para el río maule, más del 50% de los eventos identificados superó al promedio de la precipitación caída durante el mes anterior a estos eventos, mientras que para el río Cautín, solo el 25% de los eventos más intensos, logro superar este valor. Por otro lado, la desviación estándar de los eventos identificados en ambas cuencas medias fue similar, siendo del orden del 50%, respecto a sus medias aritméticas

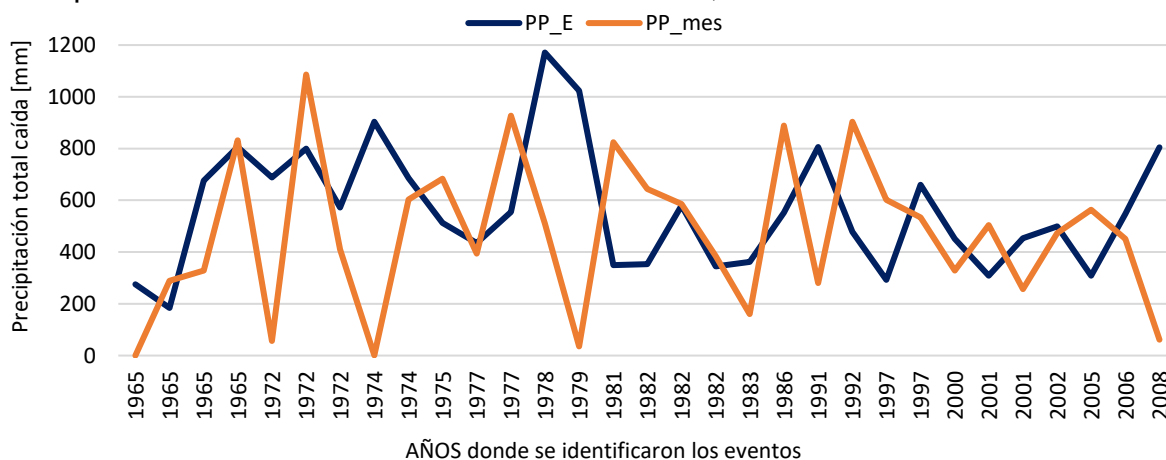
correspondientes (Tabla N°15). Lo anterior se da ya que, en ambos casos se identificaron eventos extremos donde la cantidad de precipitación caída supero en gran medida al resto de los eventos, un ejemplo de esto son los dos eventos que alcanzaron volúmenes superiores a 1.000 mm en la cuenca del río Maule. (Figura N°45).

Tabla N°15: Estadística Descriptiva de Ambas Cuencas Medias.

Estadísticos	CUENCA MEDIA DEL RÍO MAULE					CUENCA MEDIA DEL RÍO CAUTÍN				
	Qmax [m3/s]	Días_E [días]	Días_pp [días]	PP_E [mm]	PP_mes [mm]	Qmax [m3/s]	Días_E [días]	Días_pp [días]	PP_E [mm]	PP_mes [mm]
\bar{X}	1882,7	6,4	6,0	550,6	457,3	2197,3	6,7	5,7	149,4	172,8
σ	530,6	2,5	2,3	240,2	298,8	504,1	3,4	2,6	60,4	60,4
Q ₁	1494,5	5,0	5,0	352,1	274,8	1824,0	4,0	4,0	111,1	125,7
Me	1855,3	6,0	6,0	529,8	461,6	2070,0	6,0	6,0	133,6	176,8
Q ₃	2134,5	7,3	7,0	686,1	613,3	2432,0	9,0	7,0	184,5	214,3
Min	1020,6	2,0	2,0	178,2	0,0	1532,0	2,0	2,0	52,5	60,5
Max	3064,0	13,0	12,0	1171,1	1086,0	3485,0	15,0	11,0	297,0	305,5

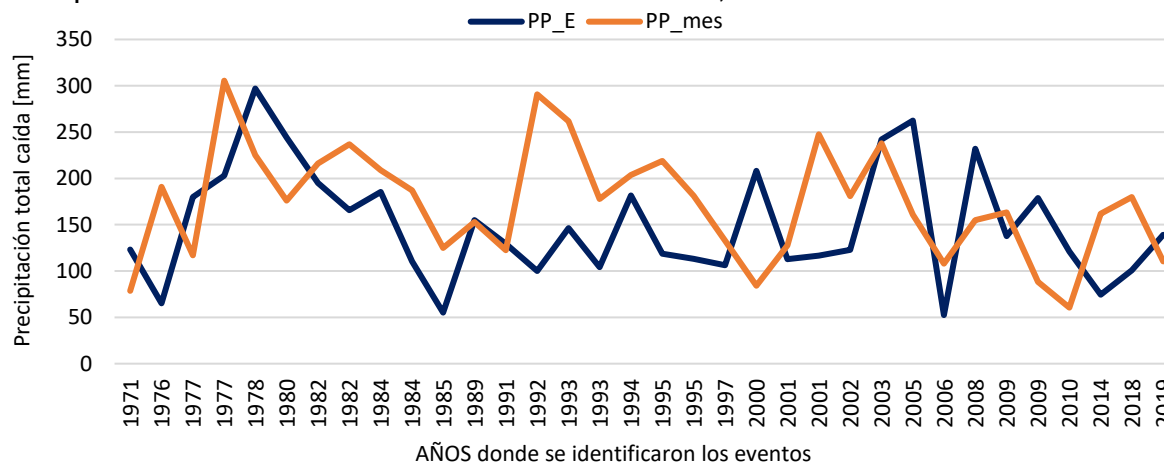
Nota: Los indicadores estadísticos utilizados para la estadística descriptiva de los datos son: (\bar{X}) media aritmética, (Q₁) cuartil 1, (Me) mediana, (Q₃) cuartil 3, (σ) desviación estándar, (Min) mínimo, (Max) máximo. Fuente: Elaboración propia.

Figura N°42: Comparativa Precipitación Total de los eventos identificados contra Precipitación Total caída el mes anterior al evento, cuenca media del río Maule.



Nota: precipitación caída durante el evento (PP_E), precipitación caída el mes anterior al evento (PP_mes). Fuente: Elaboración propia.

Figura N°43: Comparativa Precipitación Total de los Eventos Identificados contra Precipitación Total caída el mes Anterior al Evento, Cuenca Media del Río Cautín.



Nota: precipitación caída durante el evento (PP_E), precipitación caída el mes anterior al evento (PP_mes). Fuente: Elaboración propia.

7.1.5 Correlación de crecidas históricas en las cuencas medias, con la influencia del ENOS

Para la cuenca media del Río Maule, se obtuvo un $X^2_{(calculado)} = 6,26$ con G.L. = 2, el cual es mayor que el $X^2_{(tabla)} = 5,99$ con G.L. = 2, por lo tanto, si existe diferencia significativa con un nivel de confianza de 95% entre las proporciones de años neutros o con anomalías positivas (NIÑO) como negativas (NIÑA) y la ocurrencia de inundaciones en la cuenca media del río Maule.

Tabla N°16: Test X^2 de correlación entre años con inundaciones / años normales en la cuenca media del río Maule y los años con anomalías ENOS, a través del índice ONI 3.4 (AMJ a ASO) para el periodo entre 1960-2010.

		NORMAL	INUNDACION	TOTAL
NIÑO 3.4	NEUTRO	16	9	25
	POSITIVO	4	9	13
	NEGATIVO	10	3	13
TOTAL		30	21	51

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para la cuenca media del río Cautín, se obtuvo un $X^2_{(calculado)}= 4,96$ con G.L.= 2, el cual es menor que el $X^2_{(tabla)}= 5,99$ con G.L.= 2; por lo tanto, no existe diferencia significativa con un nivel de confianza de 95% entre las proporciones de años neutros o con anomalías positivas (NIÑO) como negativas (NIÑA) y la ocurrencia de inundaciones en la cuenca media del río Cautín.

Tabla N°17: Test X^2 de correlación entre años con inundaciones / años normales en la cuenca media del río Cautín y los años con anomalías ENOS, a través del índice ONI 3.4 (AMJ a ASO) para el periodo entre 1970-2020.

		NORMAL	INUNDACION	TOTAL
NIÑO 3.4	NEUTRO	9	17	26
	POSITIVO	5	6	11
	NEGATIVO	10	4	14
	TOTAL	24	27	51

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos de los Test X^2 de correlación anteriores, se puede afirmar que para el caso de la cuenca media del río Maule su régimen de crecidas esta significativamente correlacionado con la influencia del ENOS, en donde la proporción de que ocurra una inundación en un año con anomalía positiva es del 69% (Tabla N°16), esto se vio reflejado en la serie de crecidas históricas obtenida, ya que el 50% de todos los eventos identificados sucedieron durante anomalías positivas, donde el 28% corresponde a intensidad leve, 13% de intensidad moderada y el 9% restante a una intensidad fuerte. (Tabla N°18).

Para la cuenca media del río Cautín se observó que, su régimen de crecidas no está significativamente correlacionado con la influencia del ENOS, sin embargo, el valor del $X^2_{(calculado)}$ fue muy cercano al $X^2_{(tabla)}$ y también se observó que la proporción de que ocurra una inundación en un año neutro es del 65% (Tabla N°17). Al observar la serie de crecidas históricas obtenida para la cuenca media del río Cautín se tiene que; el 64,7% de los eventos inidentificados sucedieron durante años neutros. (Tabla N°19).

Tabla N°18: Anomalías ENOS de los eventos registrados en la serie de crecidas histórica obtenida para la cuenca media del río Maule.

	LEVE	MODERADO	FUERTE	TOTAL	PORCENTAJE
POSITIVOS	9	4	3	16	50%
NEGATIVOS	4	1	0	5	15,6%
NEUTROS	-	-	-	11	34,4%

Fuente: elaboración propia.

Tabla N°19: Anomalías ENOS de los eventos registrados en la serie de crecidas histórica obtenida para la cuenca media del río Cautín.

	LEVE	MODERADO	FUERTE	TOTAL	PORCENTAJE
POSITIVOS	5	1	1	7	20,6%
NEGATIVOS	5	-	-	5	14,7%
NEUTROS	-	-	-	22	64,7%

Fuente: elaboración propia.

7.2 Objetivo 2: Generar una Base de Datos Espacial vinculada a Medidas de Mitigación Estructurales

7.2.1 Medidas de Mitigación Estructurales en la cuenca del río Maule

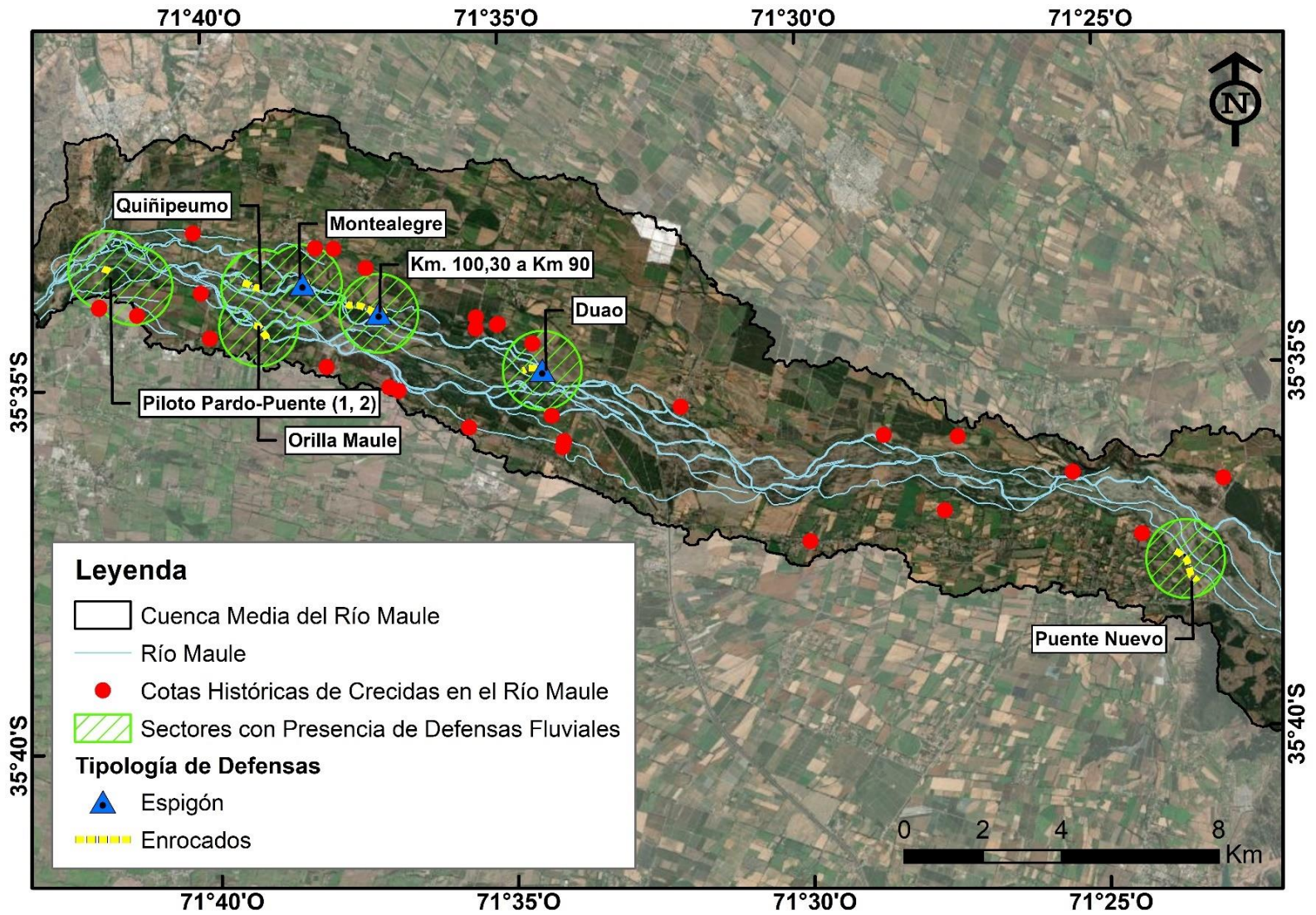
Para la cuenca media del río Maule se identificaron 8 puntos con la presencia de medidas de mitigación estructurales, desde el puente Maule en la ruta 5 Sur hasta cercanías del embalse Colbún, siendo los enrocados el tipo de defensa más común, seguido de los espigones. También se tiene conocimiento de la presencia de encauzamientos del río; pero no fue posible identificar su ubicación (Tabla N°22). El uso de suelo predominante en las cercanías de las medidas de mitigación es de terrenos agrícolas; pero también hay presencia de bosques, praderas y matorrales (Tabla N°20). Si bien solo se logró identificar la ubicación de las medidas y no su longitud, se pudo observar en la Figura N°44 que se emplazaron donde se encuentra la mayor proporción de cotas históricas, de lo que se podría inferir que su implementación va dirigida a los sectores que históricamente se han inundados.

Tabla N°20: Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Maule.

N°	Punto	Coordenadas	Tipo de defensa	Usos de suelo cercanos
1	Piloto Pardo-Puente (1)	255778.25 m E 6061978.88 m S	Enrocado	Terrenos agrícolas; Bosques
2	Piloto Pardo-Puente (2)	256453.00 m E 6061583.00 m S	Enrocado	Terrenos agrícolas; Bosques
3	Orilla Maule	259658.00 m E 6060527.00 m S	Enrocado	Terrenos agrícolas; Bosques
4	Quiñipeumo	259706.75 m E 6061499.41 m S	Enrocado	Praderas y Matorrales; Bosques
5	Montealegre	260767.00 m E 6061617.00 m S	Espigón y Enrocado	Terrenos agrícolas; Bosques
6	Km. 100,30 a Km 90	262721.20 m E 6060885.64 m S	Espigón y Enrocado	Terrenos agrícolas
7	Duao	266886.79 m E 6059424.92 m S	Espigón y Enrocado	Terrenos agrícolas; Praderas y Matorrales
8	Puente Nuevo	283254.61 m E 6054641.48 m S	Enrocado	Terrenos agrícolas; Praderas y Matorrales

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°44: Cartografía, Vinculada a las Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Maule.



Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Medidas de Mitigación Estructurales en la cuenca del río Cautín

En el caso de la cuenca media del río Cautín, se identificaron 18 tramos con la presencia de medidas de mitigación estructurales, desde Cajón hasta Labranza, siendo los enrocados el tipo de defensa más común, seguidos de espigones, espigón longitudinal y parque inundable. El uso de suelo predominante en las cercanías de las medidas de mitigación es de áreas urbanas–industriales, pero también hay presencia de praderas y matorrales, bosques y terrenos agrícolas. (Tabla N°21).

A diferencia del río Maule, para la cuenca media del río Cautín, no solo se logró identificar la ubicación de las medidas, también su longitud, contando con un total de 15,75 km intervenidos, siendo casi en su totalidad solo enrocado a excepción del tramo de Macoga que corresponde a una franja de espigón longitudinal y el tramo de Truf Truf donde se observó la presencia de espigones. También se logró obtener el área para el caso del Parque Urbano Isla Cautín (27 ha), ubicado en la comuna de Temuco a metros de la ribera norte del río Cautín.

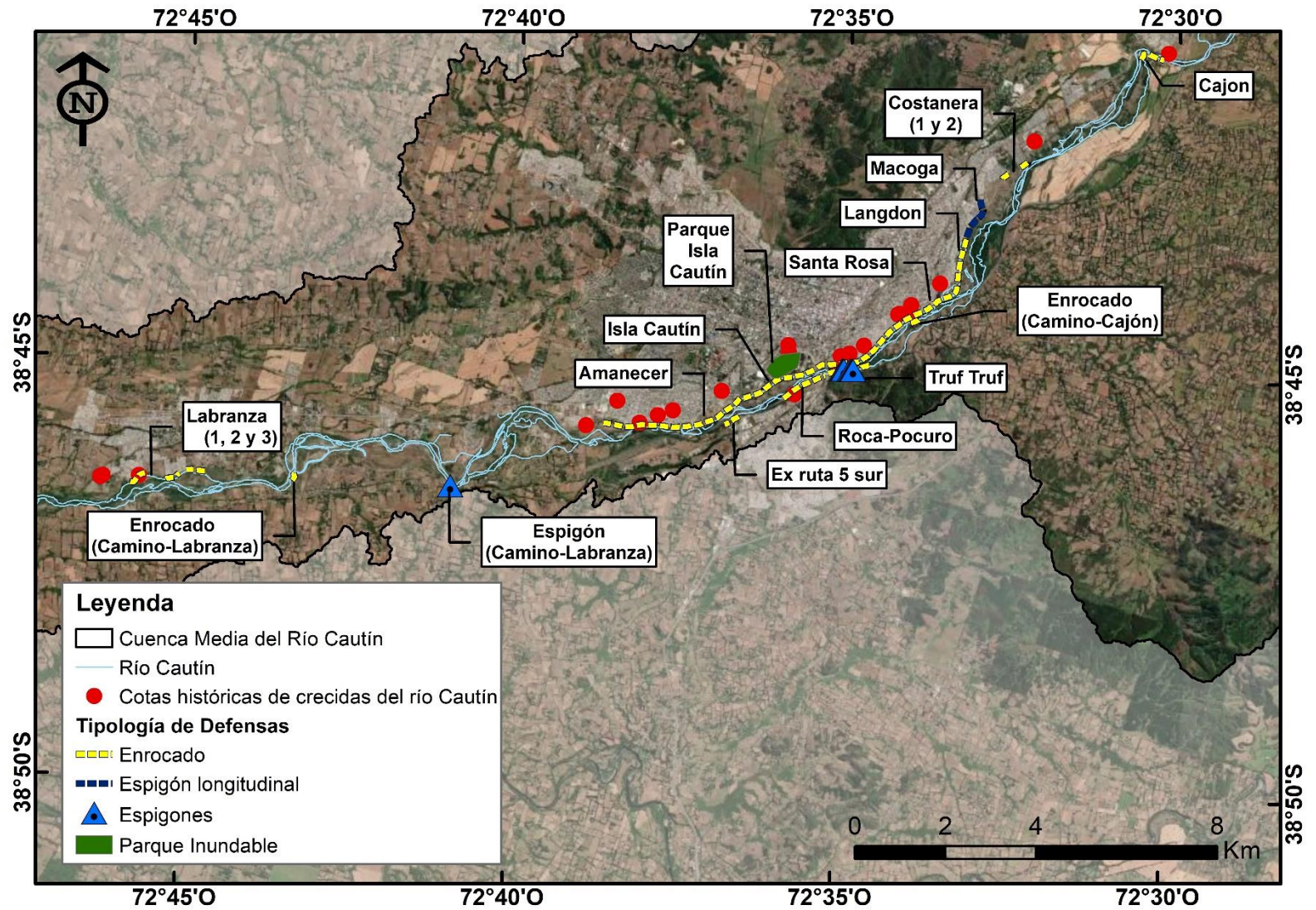
Finalmente, como se observa en la Figura N°45 las medidas de mitigación se encuentran emplazadas principalmente en las riberas del río Cautín aledañas a zonas urbanas, siendo Temuco la zona que cuenta con la mayor proporción de las medidas implementadas cubriendo casi la totalidad de su ribera con el río Cautín. Las zonas donde están emplazadas las medidas de mitigación son áreas donde históricamente se han producido inundaciones según la información obtenida desde los encuestados.

Tabla N°21: Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Cautín.

N°	Tramos	Coord_inicio	Coord_fin	Tipo de defensa	Longitud [Km]	Área [ha]	Usos de suelo cercanos
1	Cajón	716590.22 m E 5715103.11 m S	717087.16 m E 5715095.16 m S	Enrocado	0,603	-	bosques; terrenos agrícolas
2	Enrocado (camino-cajón)	711490.02 m E 5709300.57 m S	711679.98 m E 5709358.64 m S	Enrocado	0,202	-	terrenos agrícolas
3	Costanera2	713923.53 m E 5712723.18 m S	714099.99 m E 5712870.23 m S	Enrocado	0,232	-	áreas urbanas-industriales; praderas y matorrales
4	Costanera1	713528.72 m E 5712471.54 m S	713653.50 m E 5712583.40 m S	Enrocado	0,172	-	áreas urbanas-industriales; praderas y matorrales
5	Macoga	713034.03 m E 5712021.70 m S	712725.74 m E 5711160.55 m S	Espigón longitudinal	1,000	-	áreas urbanas-industriales; praderas y matorrales
6	Langdon	712725.00 m E 5711148.16 m S	712532.80 m E 5710206.21 m S	Enrocado	0,973	-	áreas urbanas-industriales; praderas y matorrales
7	Santa Rosa	709429.00 m E 5708310.00 m S	712520.76 m E 5710184.59 m S	Enrocado	3,851	-	áreas urbanas-industriales
8	Truf Truf	709682.36 m E 5708178.14 m S	710586.27 m E 5708366.01 m S	Enrocado y Espigones	0,944	-	bosques
9	Roca-Pocuro	708678.59 m E 5707631.00 m S	709600.04 m E 5708141.21 m S	Enrocado	1,068	-	áreas urbanas-industriales; praderas y matorrales; bosques
10	Parque Isla Cautín	708371.18 m E 5708171.05 m S	709041.23 m E 5708500.12 m S	Parque inundable	-	27	praderas y matorrales
11	Isla Cautín	707809.58 m E 5707639.85 m S	709357.83 m E 5708267.83 m S	Enrocado	1,711	-	praderas y matorrales
12	Ex ruta 5 sur	707385.53 m E 5707058.08 m S	707706.85 m E 5707239.66 m S	Enrocado	0,381	-	áreas urbanas -industriales; terrenos agrícolas
13	Amanecer	704709.54 m E 5707098.71 m S	707730.74 m E 5707644.67 m S	Enrocado	3,241	-	áreas urbanas-industriales; praderas y matorrales
14	espigón (camino-labranza)	701330.00 m E 5705708.00 m S	-	Espigón	-	-	terrenos agrícolas
15	Enrocado (camino-labranza)	697827.13 m E 5705820.77 m S	697879.45 m E 5705973.69 m S	Enrocado	0,180	-	praderas y matorrales
16	Labranza 3	695507.07 m E 5706071.62 m S	695915.79 m E 5706032.32 m S	Enrocado	0,423	-	áreas urbanas-industriales; terrenos agrícolas
17	Labranza 2	695031.17 m E 5705856.61 m S	695339.41 m E 5705977.50 m S	Enrocado	0,348	-	áreas urbanas-industriales; terrenos agrícolas
18	Labranza 1	694246.43 m E 5705801.66 m S	694586.44 m E 5705997.12 m S	Enrocado	0,419	-	áreas urbanas-industriales; praderas y matorrales

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°45: Cartografía Vinculada a las Medidas de Mitigación Estructural en la Cuenca Media del río Cautín.



Fuente: Elaboración propia.

7.2.3 Proyectos de medidas de mitigación estructurales ante inundaciones desarrollados en la Cuenca media del río Maule

Desde el 26-11-2001 hasta el 2015 se identificaron 13 proyectos de construcción, conservación o reparación de medidas de mitigaciones estructurales ante inundaciones en la cuenca media del río Maule, donde el 54% se concentró en el año 2003. En este periodo se invirtió un total de 1.728 millones de pesos (Tabla N°22). Por último, no se logró identificar la ubicación de dos proyectos debido a la falta de información y tampoco se encontró información de proyectos desarrollados en la década de 1990, ni desarrollados en el punto “Puente Nuevo”, ubicado aproximadamente a 6 km al noreste de la central Hidroeléctrica Colbún.

Tabla N°22: Proyectos de Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Maule.

Nombre del proyecto	Ubicación (PUNTO)	Ribera	Monto de inversión "pesos"	Fecha de implementación
Construcción de Pretel y Revestimiento de Ribera Río Maule primer tramo, sector Piloto Pardo	Piloto Pardo-Puente (1, 2)	Sur	31.177.436	26-11-2001
Reparación de Enrocado y Revestimiento de Ribera río Maule primer tramo, sector Piloto Pardo	Piloto Pardo-Puente (1, 2)	Sur	12.057.780	26-11-2001
Construcción de espigón y revestimiento de terraplén. Río Maule sector monte alegre	Montealegre (5)	Norte	23.702.364	2003
Construcción Espigones y Encauzamiento Río Maule San Javier 2a. Etapa San Javier Linares	-	-	37.800.000	2003
Construcción de Obras de Revestimiento y Espigón San José de Duao II Maule Talca	Duao (7)	Norte	138.677.623	2003
Conservación Defensas Fluviales Río Maule, Sector Aguas Arriba Ruta 5 Sur 2a. Etapa San Javier Linares	-	-	81.476.704	09-07-2003
Construcción de espigón y revestimiento de terraplén. Río Maule, sector Montealegre	Montealegre (5)	Norte	29.000.000	2003
Conservación Defensas Fluviales Río Maule Sector Quiñipeumo, Comuna de Maule (DOH VII Región)	Quiñipeumo (4)	Norte	157.022.873	2003
Conservación Defensas Fluviales Río Maule Sector San José de Duao, Etapa II Maule Talca	Duao (7)	Norte	83.824.290	30-10-2003
Conservación de defensas fluviales sectores VII Región: Río Maule sector Quiñipeumo y más.	Quiñipeumo (4)	Norte	200.245.703	17-08-2007
Construcción Defensas Fluviales Río Maule Km. 100,30 a Km 90 Etapa 1	Km. 100,30 a Km 90 (6)	Norte	254.283.272	13-08-2008
Construcción Defensas Fluviales Río Maule Km. 100,30 a Km 90 Etapa 2	Km. 100,30 a Km 90 (6)	Norte	188.922.401	20-11-2009
Conservación Defensas Fluviales Sector Orilla Maule (San Javier)	Orilla Maule (3)	Sur	490.089.600	2015

Fuente: Elaboración propia.

7.2.4 Proyectos de medida de mitigación estructurales ante inundaciones desarrollados en la Cuenca media del río Cautín

Desde el 15-11-1994 hasta el 2021 se identificaron 23 proyectos de construcción, conservación o reparación de medidas de mitigación estructurales ante inundaciones en la cuenca media del río Cautín, donde el 43% se concentró en la década de 1990. En este periodo se invirtió un total de 18.212 millones de pesos, aunque de este monto, 13.990 millones corresponde al megaproyecto “*Construcción Parque Urbano Isla Cautín, Etapa I*” (Tabla N°23). Por último, no se logró identificar la ubicación de 3 proyectos debido a la falta de información, pero en comparación con la cuenca media del río Maule, si se obtuvo información de proyectos desarrollados en la década de 1990.

De los 10 proyectos desarrollados en la década de 1990, no se encontró información relacionada a su monto de inversión por proyecto específico, no obstante, en el estudio básico “*Análisis Brechas de Infraestructura Urbana MOP en Ciudades, Etapa I*” se menciona que, entre los años 1994 y 1997 se invirtió un total 2.414 millones de pesos en defensas fluviales implementadas en el río Cautín. (DIRPLAN, 2013).

No se encontró información de proyectos desarrollados en los tramos Cajón, Costanera (1,2), enrocado Camino-Cajón, espigón Camino-Labranza y enrocado Camino-Labranza.

Tabla N°23: Proyectos de Medidas de Mitigación Estructurales en la Cuenca Media del río Cautín.

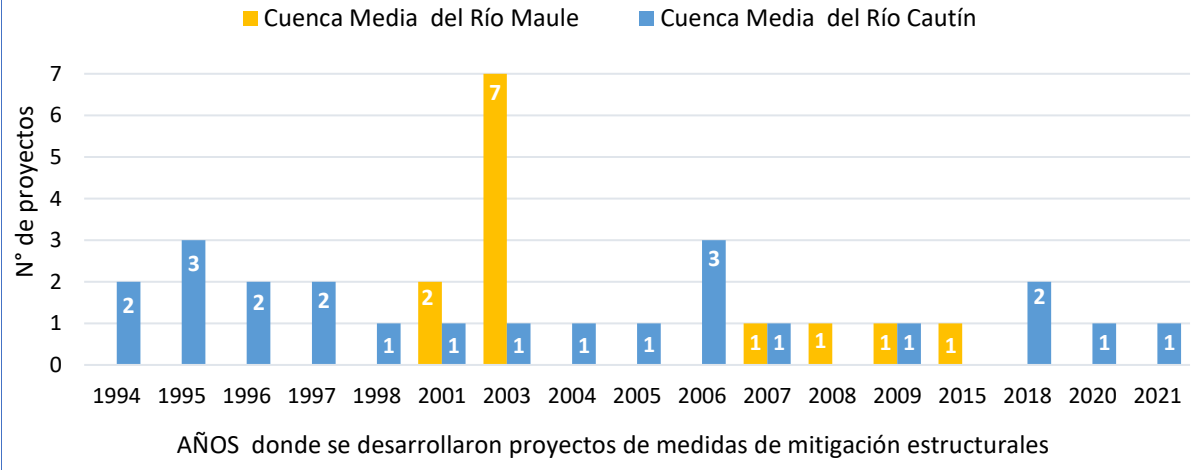
Nombre del proyecto	Ubicación (Tramo)	Ribera	Monto de inversión "pesos"	Fecha de implementación
Construcción de defensas Fluviales Río Cautín sector Población Langdon en Temuco	Langdon (6)	Norte	-	15-11-1994
Construcción de defensas fluviales río Cautín sector Población Langdon II etapa en Temuco	Langdon (6)	Norte	-	15-11-1994
Construcción de defensas fluviales río Cautín sector Macoga I y Villa Los río en Temuco	Langdon (6) y Macoga (5)	Norte	-	24-01-1995
Construcciones de defensas con enrocado río Cautín sector Los Boldos en Temuco	Santa Rosa (7)	Norte	-	20-02-1995
Construcción defensa fluvial Río Cautín sector Villa Los Ríos II y reforzamiento con enrocado sector Población Alameda y Villa Austral en Temuco	Langdon (6) y Amanecer (13)	Norte	-	01-03-1995
Mejoramiento Integral del cauce del Río Cautín en su paso por Temuco, sector Puente Cautín en Ruta 5, Población Amanecer, Villa Austral y Alameda.	Amanecer (13)	Norte	-	09-06-1996
Mejoramiento integral del cauce del río Cautín en su paso por Temuco, sector ribera norte aguas arriba del Puente Cautín en Padre Las Casas.	Santa Rosa (7)	Norte	-	10-02-1997
Mejoramiento integral del cauce del río Cautín en su paso por Temuco, sector ribera norte del río Cautín Población La Ribera y Población Santa Rosa.	Langdon (6) y Santa Rosa (7)	Norte	-	13-10-1996
Construcción defensas fluviales río Cautín Km. 6,8 al 8,2 sector Santa Rosa II etapa.	Santa Rosa (7)	Norte	-	14-05-1997
Construcción defensas fluviales río Cautín: Sector aguas abajo Puente Padre Las Casas, ribera sur de Km. 9,100 a km 9,482. Comuna de Temuco. Sector Macoga II etapa, Km. 0,850 a Km 3,20. Comuna de Temuco.	Roca-Pocuro (9) y Macoga (5)	Sur, Norte	-	01-06-1998
Construcción Defensas Fluviales Río Cautín en su Paso por Temuco; Comuna de Temuco; Provincia de Cautín; IX Región	-	-	105.985.486	01-11-2001
Defensas Fluviales río Cautín sector Truf-Truf comuna de Padre Las casas IX Región	Truf Truf (8)	Sur	161.289.555	11-11-2003
Reparación Defensas Fluviales Río Cautín Sector Los Boldos Comuna de Temuco IX Región	Santa Rosa (7)	Norte	45.141.460	08-09-2004
Conservación Defensas Fluviales Río Cautín, Sector Labranza II ETAPA	Labranza (16,17,18)	Norte	79.263.806	2005
Construcción Def Fluviales Rio Cautín Labranza etapa III	Labranza (16,17,18)	Norte	67.473.236	2006
Construcción Defensas Fluviales Truf Truf etapa II	Truf Truf (8)	Sur	69.017.144	2006
Conservación Defensas Fluviales Río Cautín, Sector Truf Truf	Truf Truf (8)	Sur	23.945.180	2006
Construcción Def Fluviales Rio Cautín, sector las Rocas comuna de Padre Las Casas	Roca-Pocuro (9)	Sur	157.958.358	2007
Conservación de Defensas Fluviales, varios sectores del río Cautín	-	-	76.569.360	2009
Recrecido de defensas fluviales, río cautín-Temuco, perfiles 26 y 32	Truf Truf (8)	Sur	246.916.655	2018
Conservación de urgencia, construcción de revestimiento de ribera con roca en río Cautín, sector urbano, comunas de Temuco y Padre Las Casas	-	-	158.251.186	04-12-2018
Construcción de DDFR Río Cautín Sector Urbano de Temuco y Padre Las Casas, Región de la Araucanía	Roca-Pocuro (9) y Isla Cautín (11)	Sur, Norte	3.030.000.000	09-01-2020
Construcción Parque Urbano Isla Cautín, Etapa I	Parque Isla Cautín (10)	Norte	13.990.286.582	2021

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura N°46, los proyectos ejecutados en la cuenca media del río Maule se concentran en la década del 2000, destacando el año 2003 donde se desarrollaron 7 proyectos de los 13 identificados, siendo el último proyecto desarrollado en el año 2015. Por otro parte, en la cuenca media del río Cautín, sus proyectos se concentran en las décadas del 1990 y 2000, destacando los años 1995 y 2006 con 3 proyectos cada uno, Por último, el más reciente se desarrolló el año 2021.

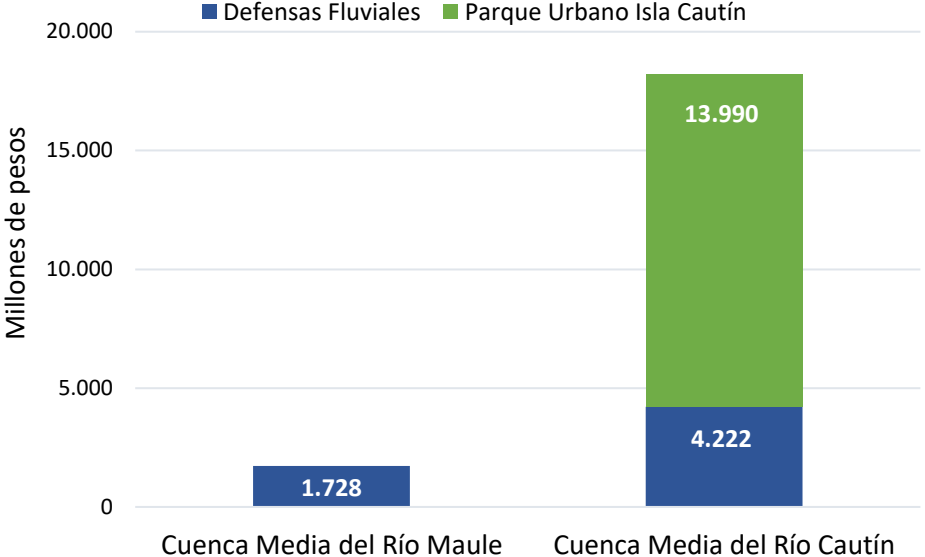
En relación con los montos de inversión de los proyectos, se observa que para los 13 proyectos en la cuenca del río Maule se invirtió un total de 1.728 millones de pesos, mientras que el monto invertido en los 23 proyectos de la cuenca del río Cautín alcanzó un total de 18.212 millones (Figura N°47). Sin embargo, si no se toma en cuenta el megaproyecto “*Construcción Parque Urbano Isla Cautín, Etapa I*”, se obtiene que por proyecto se invirtió un monto promedio de 192 millones de pesos, lo cual es 30,7% superior en comparación con el monto promedio invertido en la cuenca del río Maule. (133 millones de pesos).

Figura N°46: Numero de proyectos de medidas de mitigación estructurales por año de implementación, en ambas cuencas medias (comparativa).



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°47: Monto de inversión en medidas de mitigación estructurales por cuencas medias (comparativa).



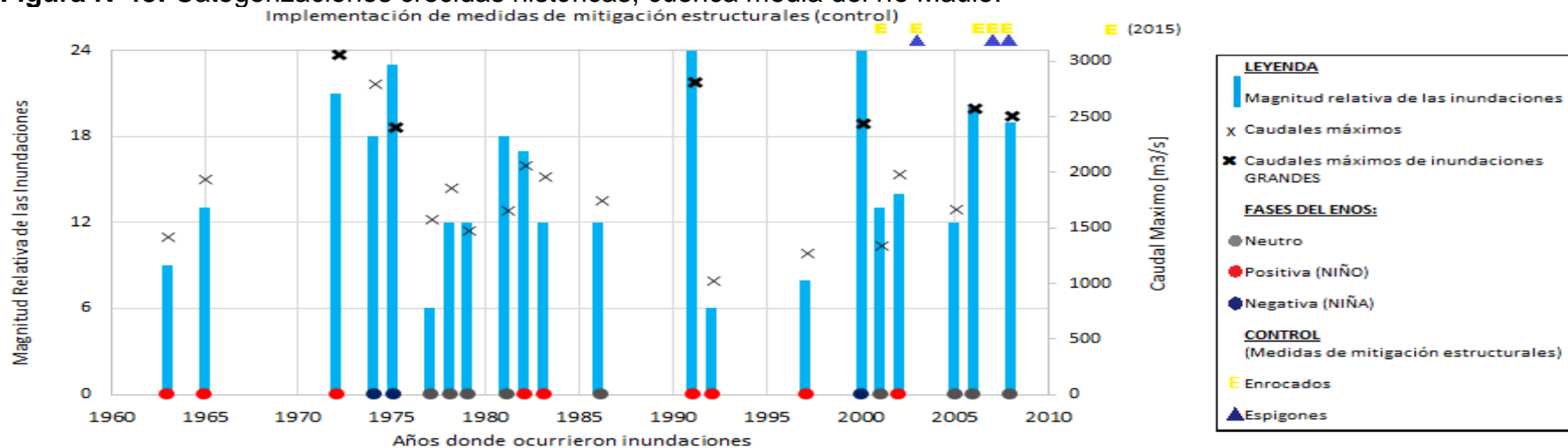
Fuente: Elaboración propia.

7.2.5 Síntesis de resultados obtenidos del objetivo N°1 y objetivo N°2

Durante el periodo 1960-2010, se identificaron 21 eventos de inundación para la cuenca media del río Maule, de los cuales, según los criterios de categorización 9 corresponden a inundaciones pequeñas, 6 moderadas y 6 grandes (Figura N°48). La mayor proporción de los eventos anteriores (43%) sucedieron durante años con anomalías ENOS positiva (NIÑO) y también un 57% de ellos fueron reportados en las encuestas de cotas históricas. Finalmente, respecto al control de las inundaciones, se implementaron enrocados y espigones desde el año 2001 hasta 2015.

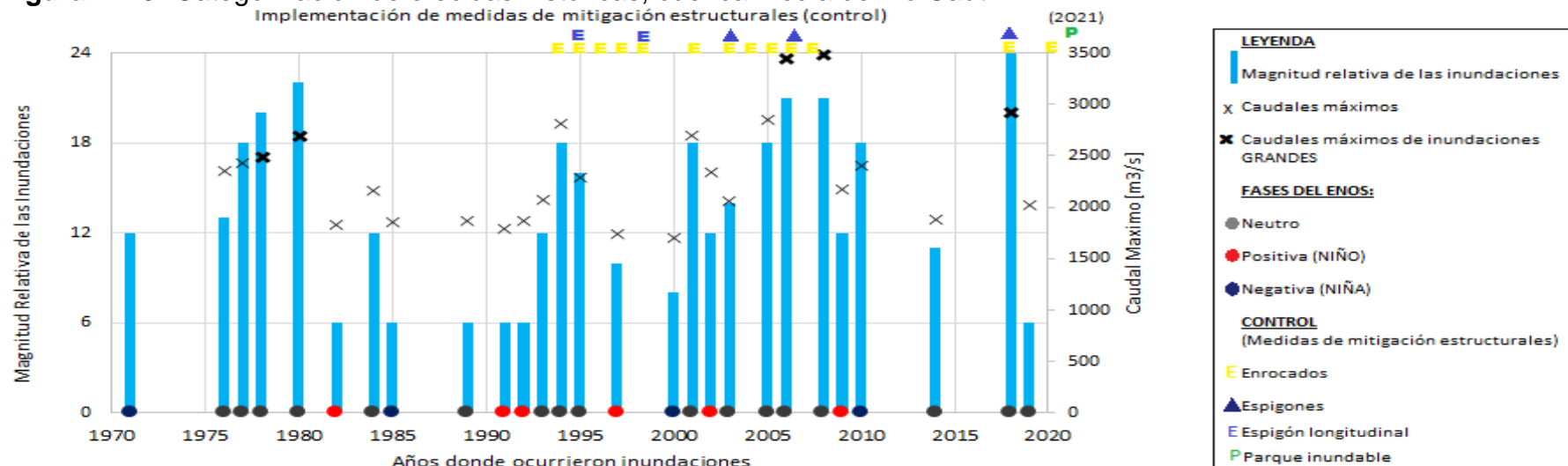
Para el caso de la cuenca media del río Cautín y durante el periodo 1970-2020, se identificaron 27 eventos de inundación, de los cuales 14 corresponden a inundaciones pequeñas, 8 moderadas y 5 grandes (Figura N°49). La mayor proporción de los eventos anteriores (65%) sucedió en años neutros y también un 42% de los eventos fueron reportados en las encuestas de cotas históricas. Finalmente, respecto al control de inundaciones, se implementaron enrocados, espigones, espigones longitudinales y un parque inundable durante el año 1994 y 2021.

Figura N°48: Categorizaciones crecidas históricas, cuenca media del río Maule.



Nota: El Caudal representado en el grafico corresponde a la crecida más grande de cada año. Fuente: elaboración propia.

Figura N°49: Categorización de crecidas históricas, cuenca media del río Cautín.



Nota: El Caudal representado en el grafico corresponde a la crecida más grande de cada año. Fuente: elaboración propia.

7.3 Objetivo 3: Analizar la implementación y eficiencia de las medidas de mitigación estructurales frente a crecidas

7.3.1 DATOS DE LOS ENCUESTADOS

La encuesta fue respondida por un total de 40 personas, de las cuales 13 corresponden a la cuenca media del río Maule y 27 a la cuenca media del río Cautín. Se observó que el porcentaje de encuestados según el tramo de edad es similar en ambas cuencas, siendo el primer tramo “[29 – 40] años” el más alto (Figura N°50). Por otro lado, las proporciones entre los encuestados que pertenecen a tomadores de decisiones o expertos, fue homogénea (Figura N°51). Finalmente, se obtuvo un número variado de profesiones entre los encuestados, de lo que se puede inferir que la toma de decisiones en la implementación de medidas de mitigación estructurales ante inundación es de carácter multidisciplinario, aun así, la profesión más recurrente fue la ingeniería civil. (Tabla N°24).

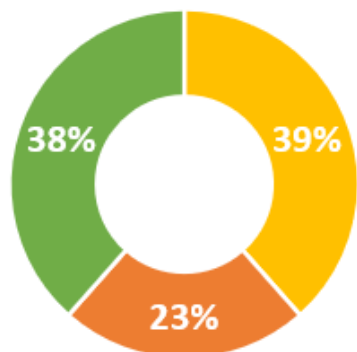
Tabla N°24: Numero de encuestados por profesión.

CUENCA MEDIA DEL RÍO MAULE		CUENCA MEDIA DEL RÍO CAUTÍN	
Profesión	N° de encuestados	Profesión	N° de encuestados
Ing. Civil	3	Ing. Civil	7
Ing. en Construcción	1	Ing. en Construcción	5
Arquitecto	1	Arquitecto	5
Ing. Forestal	2	Ing. Forestal	1
Ing. Agrónomo	2	Ing. Agrónomo	2
Ing. Prevención de Riesgos	1	Académicos	4
Ing. Mecánica	1	Ing. Industrial	1
Geólogo	1	Asistente Social	1
Abogado	1	Abogado	1
TOTAL	13	TOTAL	27

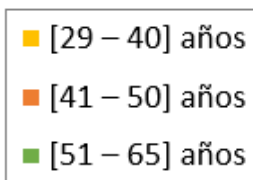
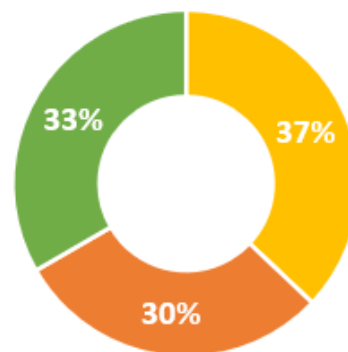
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°50: Porcentaje de encuestados por tramo de edad.

Cuenca Media del Río Maule



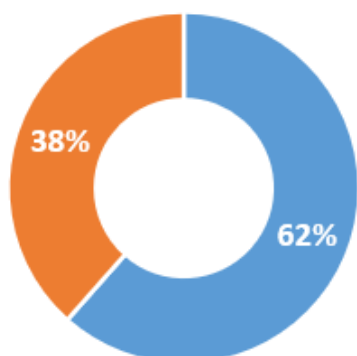
Cuenca Media del Río Cautín



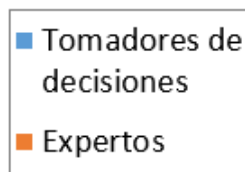
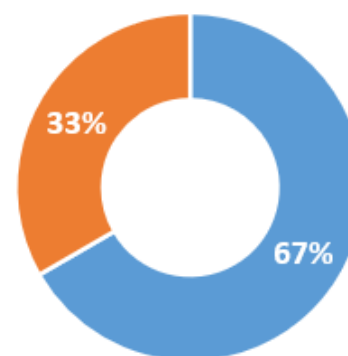
Fuente: Elaboración propia

Figura N°51: Porcentaje de encuestados según clasificación “*tabla n°5*”.

Cuenca Media del Río Maule



Cuenca Media del Río Cautín



Fuente: Elaboración propia.

7.3.2 IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES ANTE INUNDACIONES:

1. En primer lugar, los encuestados evaluaron la importancia de 17 variables al momento de implementar una medida de mitigación estructural ante inundaciones para zonas rurales y zonas urbanas.

Para las zonas rurales con uso de suelo predominantemente agrícola. Se obtuvo que en la cuenca media del río Maule, 15 variables fueron consideradas de alta importancia, 1 de media importancia y se produjo un empate en la variable "*tamaño total de la obra*" donde 46,2% de los encuestados la considero de media importancia, mientras que el otro 46,2% la considero de alta importancia (Anexo N°10). Por otro lado, para la cuenca media del río Cautín, 12 variables fueron consideradas de alta importancia, 4 de media importancia y 1 de baja importancia. (Tabla N°25).

Si se comparan los resultados obtenidos en ambas cuencas, a nivel general, se observó que las variables consultadas fueron consideradas de mayor importancia en la cuenca del río Maule, posicionando un mayor número de variables en la categoría de alta importancia. A nivel de variable, se observó que entre las cuencas difieren en 6 variables "*costo de implementación, costo de mantención, tiempo de construcción, beneficios a corto plazo, tamaño total de la obra y pendiente del cauce*" donde se consideran de media importancia o alta importancia, dependiendo de la cuenca donde fueron evaluadas, no obstante, la variable "*tiempo de construcción*" es considerada de baja importancia para el río Cautín, mientras que en el río Maule se considera de alta importancia. Por último, en ambas cuencas la variable mejor evaluada fue el "*beneficio a largo plazo*" (Tabla N°25).

Tabla N°25: Importancia de las variables al momento de implementar una medida de mitigación estructural ante inundaciones en zonas rurales.

Variables/Importancia	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Costo de implementación			X		X	
Costo de mantención		X				X
Tiempo de construcción			X	X		
Beneficios a corto plazo			X		X	
Beneficios a largo plazo			X			X
Tamaño total de la obra		X	X		X	
Extensión de la zona inundable			X			X
Vida útil de la obra			X			X
N° de habitantes beneficiados			X			X
Opinión de la población afectada			X			X
Afectación potencial del ecosistema acuático			X			X
Afectación potencial del ecosistema ribereño			X			X
Recurrencia de inundaciones del cauce a intervenir			X			X
Uso de suelo cercano al cauce			X			X
Caudal máximo			X			X
Velocidad de flujo			X			X
Pendiente del cauce			X		X	

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la zona urbana. Se obtuvo que en la cuenca media del río Maule, 14 variables fueron consideradas de alta importancia, 2 de media importancia y se produjo un empate en la variable “costo de implementación” donde 38,5% de los encuestados la considero de media importancia, mientras que el otro 38,5% la considero de alta importancia. (Anexo N°10). Por otro lado, para la cuenca media del río Cautín, 14 variables fueron consideradas de alta importancia, 3 de media importancia. (Tabla N°26).

Comparando los resultados obtenidos en ambas cuencas, a nivel general, se observó, que las variables consultadas fueron consideradas de importancia similar en ambas cuencas, no obstante, teniendo en cuenta la variable empatada del río Maule “*coste de implementación*”, esta sería, levemente superior en comparación con el río Cautín. A nivel de variable, se observó que entre las cuencas difieren en 4 variables “*costo de implementación, tiempo de construcción, beneficios a corto plazo y tamaño total de la obra*” donde se consideran de media importancia o alta importancia, dependiendo de la cuenca donde fueron evaluadas. Por último, para la

cuenca del río Maule las variables mejor evaluadas fue el “*beneficio a largo plazo*” y “*recurrencia de inundaciones del cauce a intervenir*”, mientras que para la cuenca del río Cautín lo fueron las variables “*beneficio a largo plazo*” y “*N° de habitantes beneficiados*” (Tabla N°26).

Tabla N°26: Importancia de las variables al momento de implementar una medida de mitigación estructural ante inundaciones en zonas urbanas.

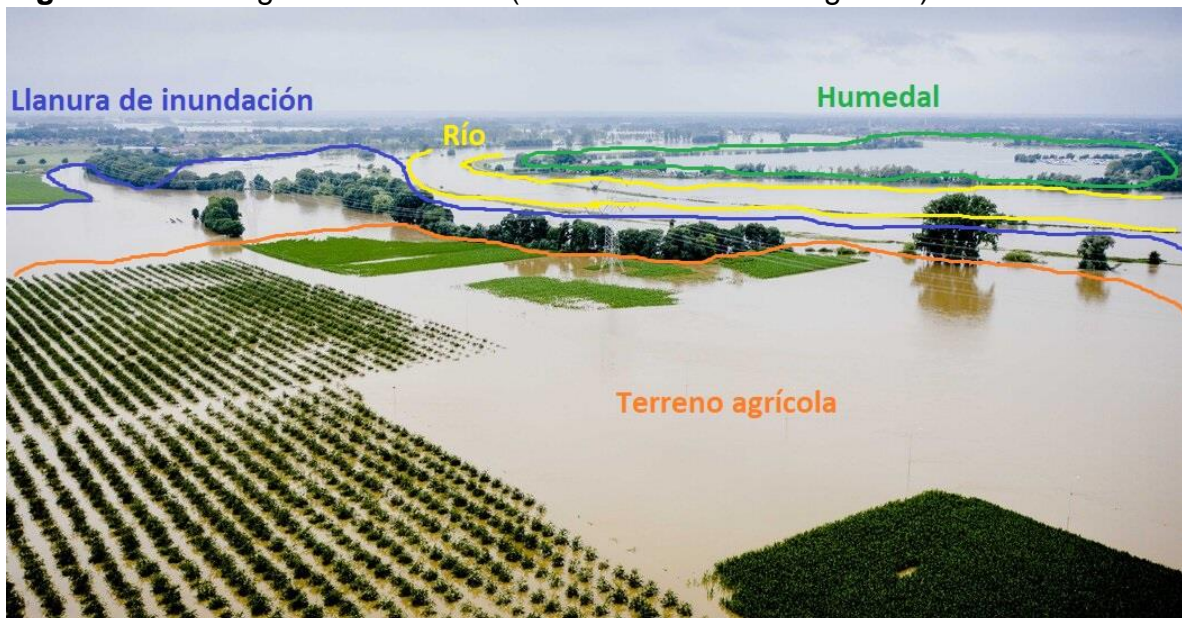
Variables/Importancia	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Costo de implementación		X	X			X
Costo de mantención		X			X	
Tiempo de construcción			X		X	
Beneficios a corto plazo			X		X	
Beneficios a largo plazo			X			X
Tamaño total de la obra		X				X
Extensión de la zona inundable			X			X
Vida útil de la obra			X			X
N° de habitantes beneficiados			X			X
Opinión de la población afectada			X			X
Afectación potencial del ecosistema acuático			X			X
Afectación potencial del ecosistema ribereño			X			X
Recurrencia de inundaciones del cauce a intervenir			X			X
Uso de suelo cercano al cauce			X			X
Caudal máximo			X			X
Velocidad de flujo			X			X
Pendiente del cauce			X			X

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se comparó los resultados obtenidos para la zona rural y la zona urbana. A nivel general se observó que, en ambos casos, la cuenca media del río Maule obtuvo un mayor número de variables consideradas de alta importancia, no obstante, esta fue mejor evaluada en el primer caso “*zona rural*”. Por otro lado, la cuenca media del río Cautín fue mejor evaluada en el segundo caso “*zona urbana*”, donde destaca la variable “*tiempo de construcción*” que pasó de ser considerada de baja importancia en zonas rurales a alta importancia en zonas urbanas. Por último, en ambos casos, destacó la variable “*beneficios a largo plazo*” como la mejor evaluada, tanto para el río Maule como el río Cautín. (Tabla N°25 y N°26).

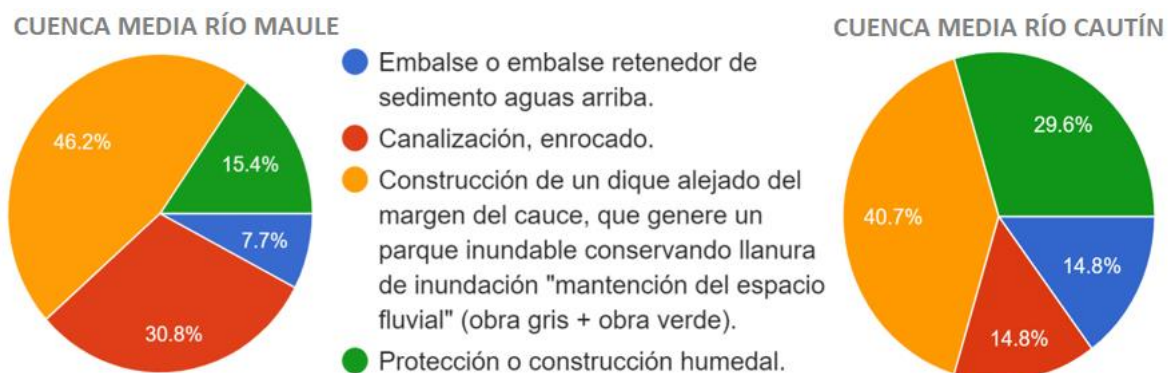
2. En segundo lugar, se situó a los encuestados ante dos casos de inundaciones, para zonas agrícolas y zonas urbanas, en ellos debieron elegir una de cuatro medidas de mitigación estructurales para reducir los efectos de la inundación. Para zonas agrícolas con viviendas muy dispersas y uso mayoritariamente agrícola. Se obtuvo que, en ambos casos la alternativa con un mayor porcentaje fue la “*construcción de un dique alejado del margen del cauce, que genere un parque inundable conservando la llanura de inundación*”, la cual hace referencia a la combinación de obras grises y verdes como una medida de mitigación mixta o híbrida (Figura N°53). El porcentaje restante para la cuenca media del río Maule es mayor en medidas grises (embalses 30,8%, canalización y enrocado 7,7%), que en medidas verdes (protección o construcción de humedal 15,4%), en cambio para la cuenca media del río Cautín el porcentaje restante se distribuye de manera igual (29,6%) entre medidas grises y verdes.

Figura N°52: Imagen del caso N°1 (inundación de zona agrícola).



Fuente: Elaboración propia

Figura N°53: Medidas de mitigación estructurales ante inundación en zonas agrícolas con viviendas muy dispersas y uso mayoritariamente agrícola.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la inundación en zona urbana, la llanura de inundación contaba con menos espacios y gran parte del sector urbano se encontraba dentro de esta. En este caso se obtuvo que para la cuenca media del río Maule, la alternativa con mayor porcentaje fue la “*canalización y enrocado*”, en cambio para la cuenca media del río Cautín la alternativa con mayor porcentaje fue la “*construcción de un dique alejado del margen del cauce, que genere un parque inundable conservando la llanura de inundación*”, por lo que en caso de inundación una zonas urbanas en el río Maule se prefieren medidas grises, mientras que en el río cautín se prefieren las medidas mixtas o híbridas (Figura N°55). La selección de “*canalización y enrocado*” por parte de los encuestados de la cuenca del río Maule se puede explicar debido a la alta percepción de seguridad que entregan las medidas grises (Figuras N°24 y N°35), lo cual es un factor importante a tener en cuenta en una zona urbana, no obstante, también, se observa en la Figura N°54 que dentro de la llanura de inundación hay viviendas, por lo que construir un dique alejado del margen del cauce y mantener la llanura de inundación no sería una medida eficiente.

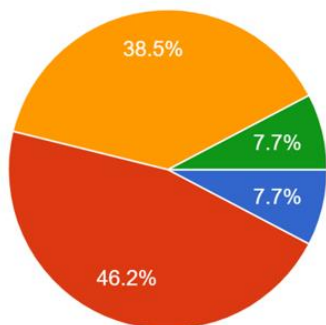
Figura N°54: Imagen del caso N°2 (inundación de zona urbana).



Fuente: Elaboración propia.

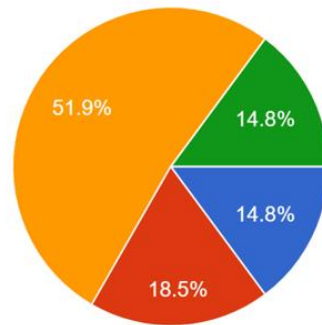
Figura N°55: Medidas de mitigación estructurales ante inundación en zonas urbanas con llanura de inundación reducida y viviendas dentro de esta.

CUENCA MEDIA RÍO MAULE



- Embalse o embalse retenedor de sedimento aguas arriba.
- Canalización, enrocado.
- Construcción de un dique alejado del margen del cauce, que genere un parque inundable conservando llanura de inundación "mantención del espacio fluvial" (obra gris + obra verde).
- Protección o construcción humedal.

CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN



Fuente: Elaboración propia.

7.3.3 EFICIENCIA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE INUNDACIONES EN LOS “TRAMOS DE ESTUDIOS”:

1. En primer lugar, los encuestados evaluaron la efectividad que tendrían los distintos tipos de medidas de mitigación (gris, verde, mixtas) ante inundaciones en 6 casos distintos:
 - A. Relación costo (implementación y mantenimiento) / beneficio (disminución de los efectos de las inundaciones).
 - B. Impactos negativos en los ecosistemas, hidrología y geomorfología.
 - C. Beneficios adicionales a la mitigación de inundaciones (áreas de recreación, valor estético, disminución de la temperatura local, etc.)
 - D. Disminución del peligro de inundación en zonas urbanas, con alta densidad de viviendas y espacio fluvial limitado.
 - E. Disminución del peligro de inundación en zonas rurales, destinadas a la agricultura y ganadería.
 - F. Disminución del peligro de inundación en zonas rurales, con viviendas dispersas.

Para las medidas de mitigación ante inundaciones de tipo gris. Se obtuvo que en la cuenca media del río Maule las medidas de mitigación grises fueron evaluadas como muy efectivas en los casos D, E y F, mientras que para los casos B y C fueron consideradas poco efectivas. Por último, en el caso A se produce un empate donde el 39% de los encuestados posicionó a las medidas grises como efectivas o muy efectivas. (Figura N°56). Por otro lado, para la cuenca media del río Cautín, estas fueron evaluadas como muy efectiva en los casos A y D, mientras que para el caso F fueron consideradas efectivas y para los casos B, C y E, poco efectivas. (Tabla N°27).

En comparación con las medidas de mitigación verdes y mixtas, tanto para el río Maule como para el río Cautín, las medidas grises fueron las únicas evaluadas como poco efectivas, en 2 casos para el río Maule y 3 para el río Cautín, por lo que se podría afirmar que fueron el tipo de medida de mitigación ante inundaciones peor evaluadas en ambas cuencas.

Tabla N°27: Efectividad de las medidas de mitigación grises ante inundaciones en relación con los casos descritos en el punto 6.2.3.2

	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Poco Efectivas	Efectivas	Muy Efectivas	Poco Efectivas	Efectivas	Muy Efectivas
Caso A		X	X			X
Caso B	X			X		
Caso C	X			X		
Caso D			X			X
Caso E			X	X		
Caso F			X		X	

Fuente: elaboración propia.

Respecto a las medidas de mitigación ante inundaciones de tipo verde. Se obtuvo que para la cuenca media del río Maule, en todos los casos de inundación, las medidas de mitigación verdes fueron evaluadas como muy efectivas. Por otro lado, para la cuenca media del río Cautín, estas fueron evaluadas como muy efectiva en los casos B, C y E, mientras que para los casos A, D y F fueron consideradas como efectivas. (Tabla N°28).

En comparación con las medidas de mitigación grises y mixtas, en el río Maule las medidas verdes son las únicas que fueron evaluadas como muy efectivas en los 6 casos, mientras que en el río Cautín, estas fueron evaluadas como muy efectivas en 3 casos, siendo superior a las grises (2) y mixtas (1), por lo que se podría afirmar que fueron el tipo de medida de mitigación ante inundaciones mejor evaluada en ambas cuencas.

Tabla N°28: Efectividad de las medidas de mitigación verdes ante inundaciones en relación con los casos descritos en el punto 6.2.3.2

	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Poco Efectivas	Efectivas	Muy Efectivas	Poco Efectivas	Efectivas	Muy Efectivas
Caso A			X		X	
Caso B			X			X
Caso C			X			X
Caso D			X		X	
Caso E			X			X
Caso F			X		X	

Fuente: elaboración propia.

Por último, en relación con las medidas de mitigación ante inundaciones de tipo mixtas. Se obtuvo que en la cuenca media del río Maule, las medidas de mitigación mixtas fueron evaluadas como muy efectivas solo en el caso E, mientras que para los casos A, B, C y F fueron consideradas efectivas. Ahora bien, en el caso D los encuestados evaluaron mixtas como efectivas o muy efectivas (Figura N°59). Por otro lado, para la cuenca media del río Cautín, estas fueron evaluadas como muy efectiva solo en el caso D, mientras que para los casos A, B, C, E y F fueron consideradas efectivas. (Tabla N°29).

En comparación con las medidas de mitigación grises y verdes, tanto para el río Maule como para el río Cautín, las medidas mixtas fueron evaluadas como efectivas en 5 de los 6 casos, siendo superior a las grises (3) y verdes (1).

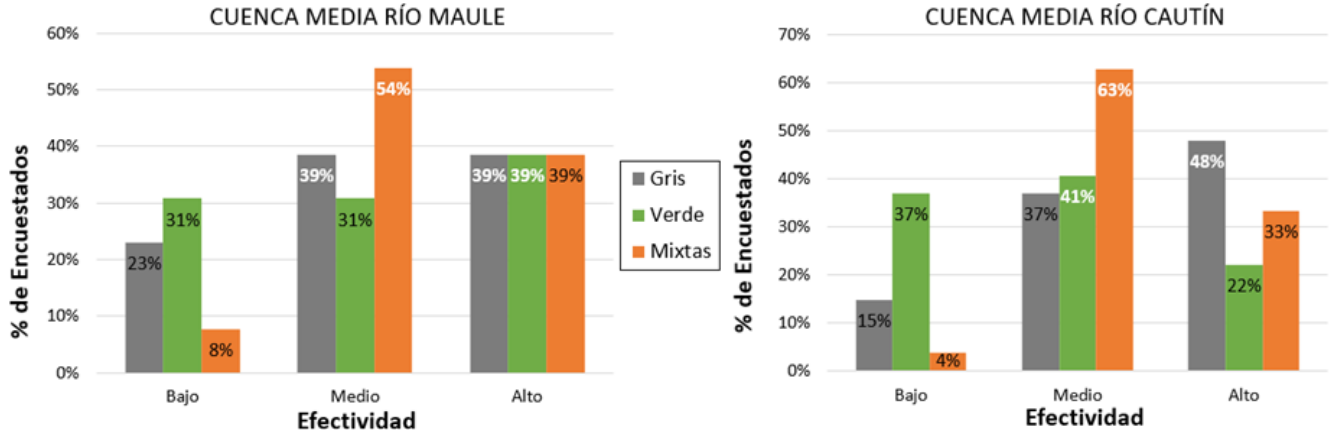
Tabla N°29: Efectividad de las medidas de mitigación mixtas ante inundaciones en relación con los casos descritos en el punto 6.2.3.2

	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Poco Efectivas	Efectivas	Muy Efectivas	Poco Efectivas	Efectivas	Muy Efectivas
Caso A		X			X	
Caso B		X			X	
Caso C		X			X	
Caso D		X	X			X
Caso E			X		X	
Caso F		X			X	

Fuente: elaboración propia.

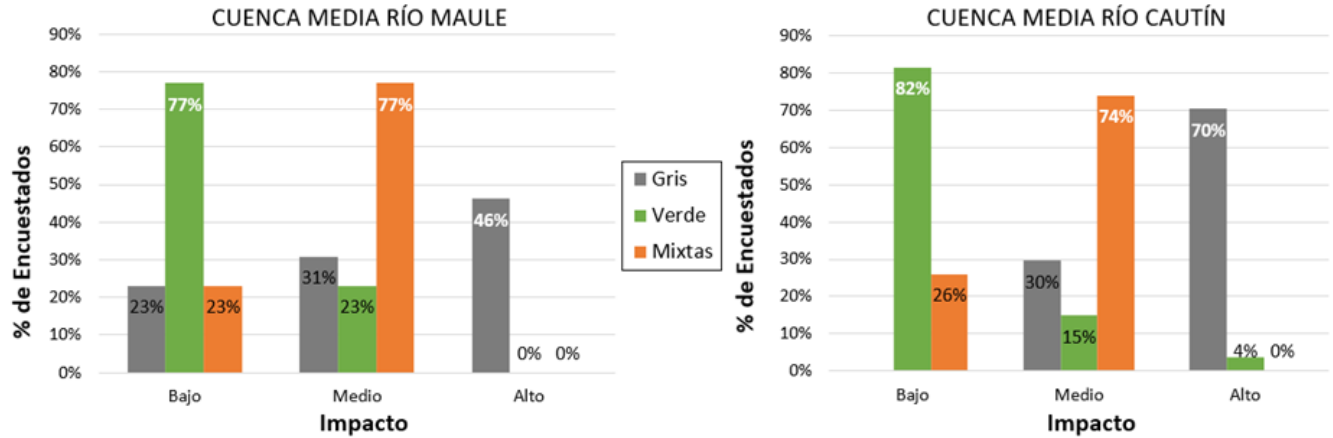
Finalmente, a escala general, las medidas de mitigación ante inundaciones de tipo verde fueron las mejores evaluadas por los encuestados, seguido por las mixtas o híbridas y en último lugar las grises como las peores evaluadas.

Figura N°56: Efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación en relación con el costo/beneficio.



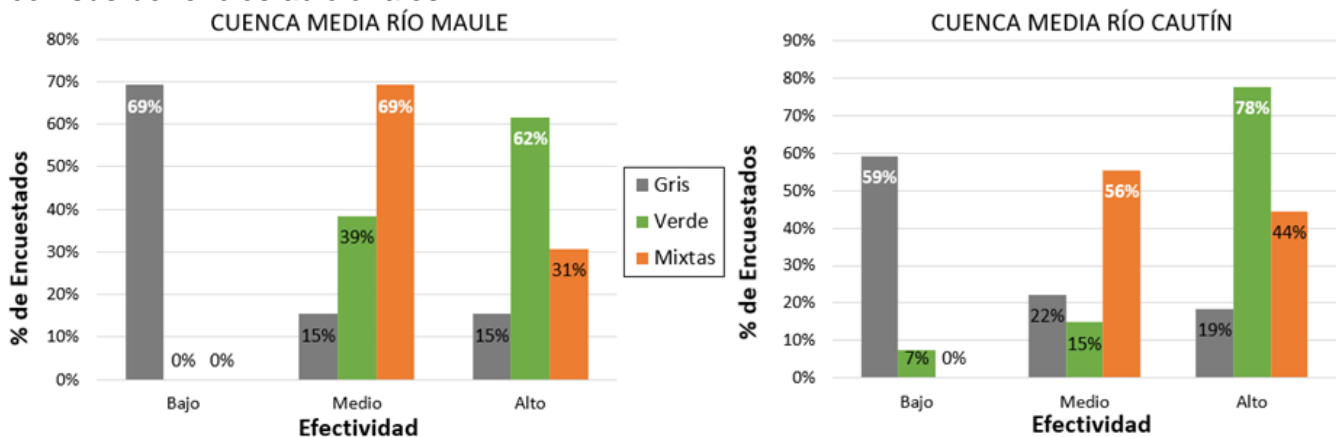
Fuente: elaboración propia.

Figura N°57: Impactos negativos de los distintos tipos de medidas en los ecosistemas, hidrología y geomorfología.



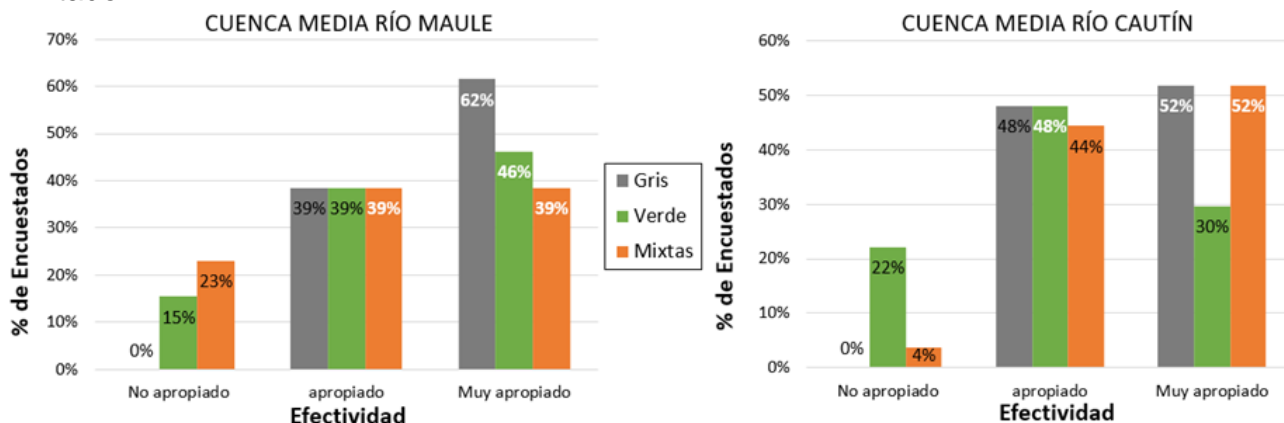
Fuente: elaboración propia.

Figura N°58: Efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación en relación con sus beneficios adicionales.



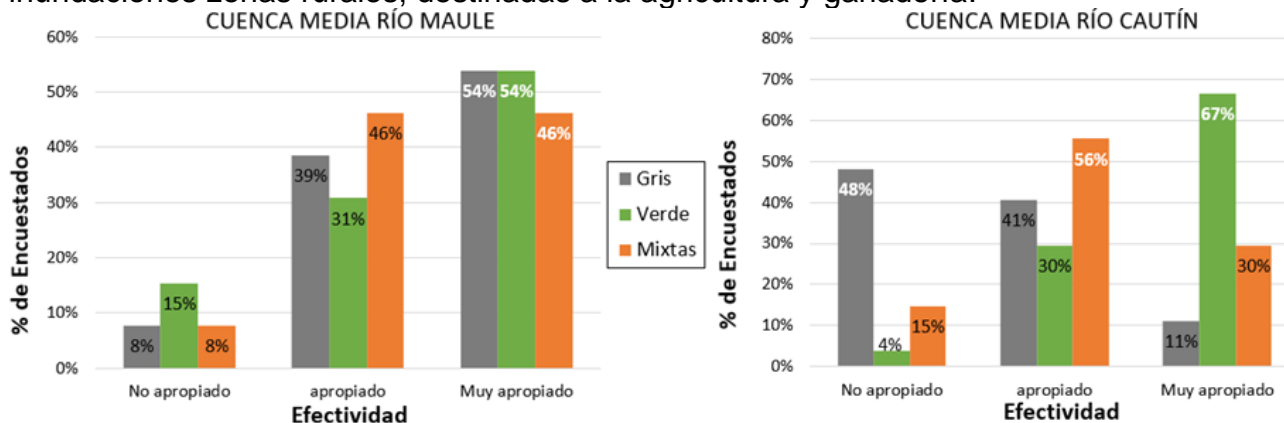
Fuente: elaboración propia.

Figura N°59: Efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación ante inundaciones en zonas urbanas, con alta densidad de viviendas y espacio fluvial limitado.



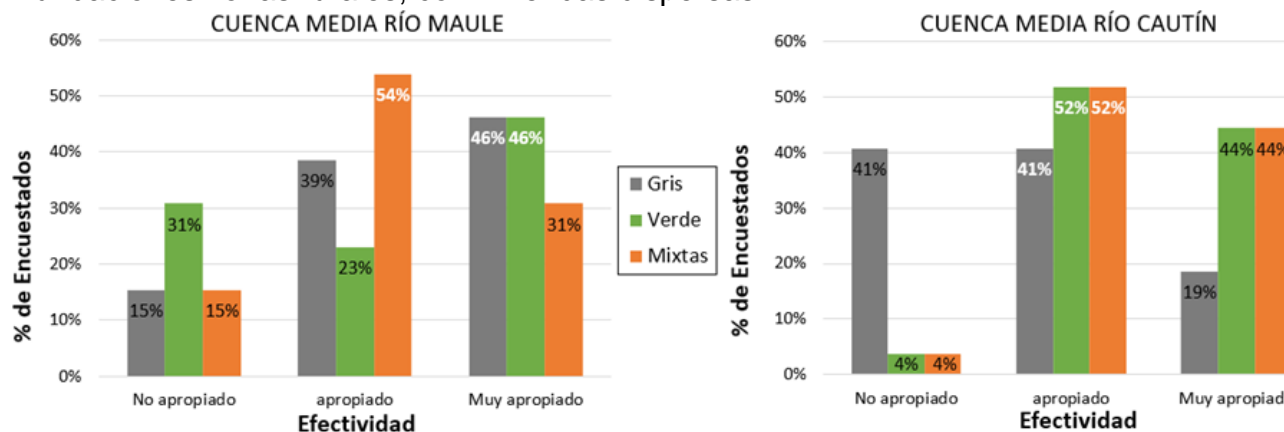
Fuente: elaboración propia.

Figura N°60: Efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación ante inundaciones zonas rurales, destinadas a la agricultura y ganadería.



Fuente: elaboración propia.

Figura N°61: Efectividad de los distintos tipos de medidas de mitigación ante inundaciones zonas rurales, con viviendas dispersas.

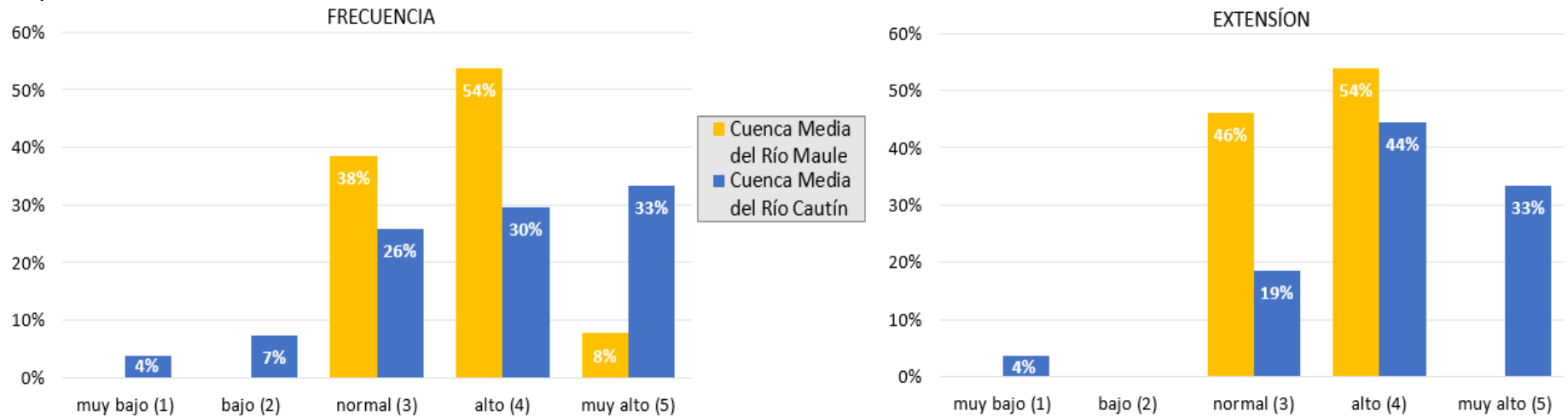


Fuente: elaboración propia.

2. En segundo lugar, los encuestados evaluaron las medidas de mitigación estructurales ya implementadas, en cada cuenca media correspondientemente. En relación con la disminución de la frecuencia y extensión de los eventos de inundación en ambas cuencas medias y el comportamiento de las medidas de mitigación ya implementadas. Estas fueron evaluadas de forma positiva en la disminución de la frecuencia, obteniendo para el río Maule y río Cautín un 62% y 63% correspondientemente, entre las categorías “alto” y “muy alto”, no obstante, para el río Maule predomina la categoría “alto”, mientras que para el río Cautín predomina la categoría “muy alto”. Por otro lado, en relación con la disminución de la extensión, las medidas de mitigación también fueron evaluadas de forma positiva obteniendo para el río Maule y río Cautín un 54% y 44% correspondientemente en la categoría “alto”, sin embargo, el para el río Maule el porcentaje restante se distribuye en su totalidad en la categoría “normal”, mientras que para el río Cautín este se distribuye entre las categorías “muy alto”, “normal” y “muy bajo” con una mayor proporción en la primera. (Figura N°62).

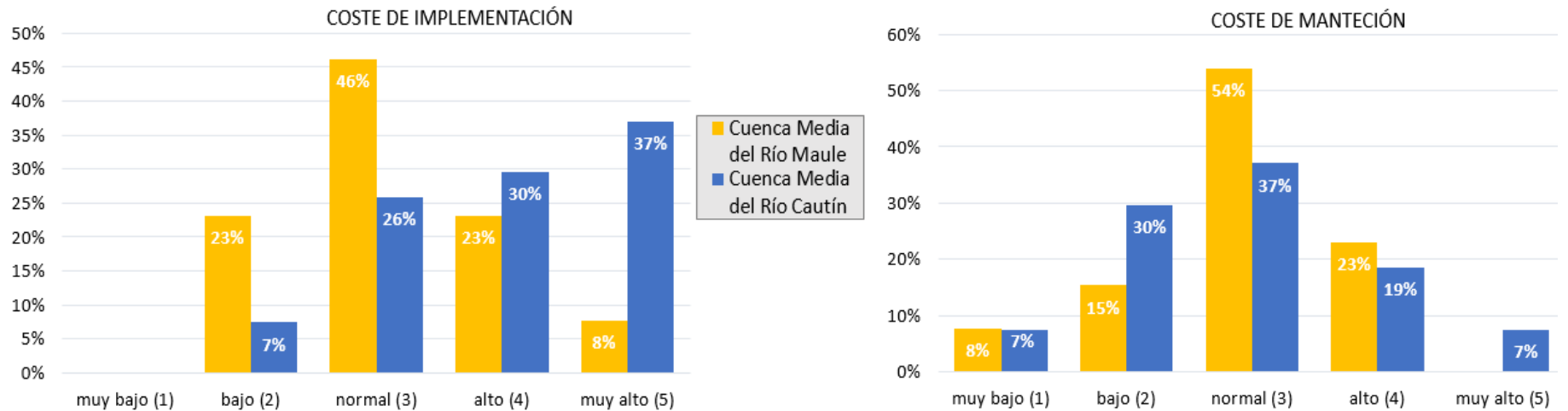
En relación con los costos de las medidas de mitigación actualmente implementadas en ambas cuencas medias se obtiene que, para los costos de implementación, predomina una evaluación “normal” con un 46% para el río Maule, obteniendo solo un 31% entre las categorías “alta” y “muy alta”, mientras que para el caso del río Cautín predomino una evaluación “muy alta” con un 37% y obteniendo un 67% entre las categorías “alta” y “muy alta”. Por otro lado, en relación con los costos, predomino una evaluación “normal” para ambos casos con un 54% para el río Maule y 37% para el río Cautín, no obstante, del porcentaje restante para el río Maule solo un 23% se distribuyó entre las categorías “bajos” y “muy bajos”, mientras que para el río Cautín esta cifra es del 37% (Figura N°63).

Figura N°62: Disminución de “frecuencia” y “extensión” de los eventos de inundación de las medidas actualmente implementadas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°63: “Costos de implementación” y “costos de mantención” de las medidas actualmente implementadas.



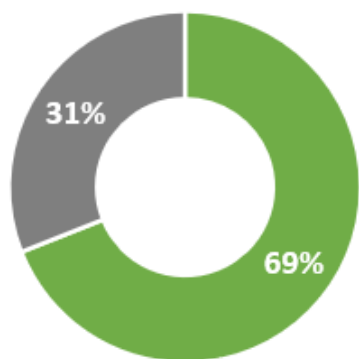
Fuente: Elaboración propia.

3. Por último, los encuestados recomendaron la implementación de un tipo de medida de mitigación (gris, verde, mixta) y respondieron sobre la factibilidad de implementar medidas de mitigación “verdes” en cada cuenca media correspondientemente.

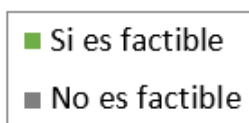
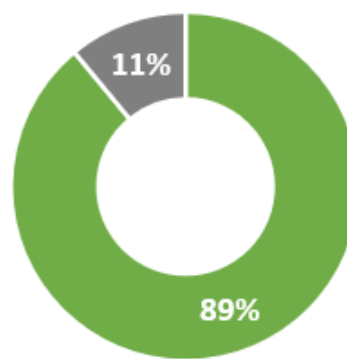
Tanto para la cuenca media del río Maule como la del río cautín destacaron las medidas híbridas o mixtas por sobre las grises y verdes. En relación con la factibilidad de la implementación de medidas de mitigación verdes, en ambas cuencas medias se contó con una amplia aprobación, la cual es mayor en la cuenca media del río Cautín (Figura N°64), no obstante analizando la negación a implementar medidas verdes por parte de los encuestados en relación a los tramos de edad se encontró que para el río Maule el 50% pertenece al tramo de [41 – 50] años y 50% restando, al tramo de [51 – 65] años; un resultado similar se presentó en el río Cautín donde el 100% de los encuestados que se negaron a implementar medidas verdes corresponde al tramo de [41 – 50] años, por lo que se podría inferir que a mayor edad, más alta es la oposición a las medidas de mitigación verdes, lo cual podría tener relación con el nivel de educación ambiental que tienen los encuestados, esperando que los pertenecientes al primer tramo [29 – 40] años tengan un mayor nivel de educación ambiental en comparación con los últimos dos tramos.

Figura N°64: Factibilidad de la implementación de infraestructura verde en ambas cuencas medias.

Cuenca Media del Río Maule



Cuenca Media del Río Cautín



Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusión

La aplicación de la encuesta de cotas histórica permitió conocer y comparar los principales sectores afectados por las inundaciones en ambas cuencas medias, siendo el sector agropecuario el más dañado para el río Maule, mientras que para el río Cautín fue el sector urbano representado por los daños a viviendas. También es posible afirmar que, en relación con la temporalidad de las crecidas del río Maule en su sección media, estas son cada vez menos frecuente dado que solo un 21% de las cotas históricas identificadas sucedieron en los últimos 21 años mientras que para el río Cautín esta cifra asciende al 40%, esta afirmación se ve apoyada por la serie de crecidas históricas obtenida para el río Maule donde se observa que su última crecida importante fue el año 2008. Por otro lado, para el río Cautín se identificaron crecidas hasta el año 2019. Por último, en relación con el régimen de crecidas de ambas cuencas medias, se evidenció que la cuenca media del río Maule, se encuentra correlacionada significativamente con la influencia del ENOS, dado que la proporción de que ocurra una inundación en un año con anomalía positiva (NIÑO) es del 69%, mientras que en el río Cautín no se logró probar una correlación significativa del ENOS con la ocurrencia de inundaciones.

De los 8 puntos con presencia de medidas de mitigación identificados para la cuenca media del río Maule y los 18 tramos para la cuenca media del río Cautín, se puede afirmar que en ambas predomina el enrocado y espigón como las defensas fluviales más comunes, no obstante, para el río Cautín se destaca construcción del *“Parque Urbano Isla Cautín”* el cual cuenta con zonas inundables. Por otro lado, relación con la ubicación de las medidas de mitigación, en ambas cuencas medias las medidas de mitigación, estas se concentran alrededor de las cotas históricas y los usos de suelos cercanos a estas son predominantemente de *“terrenos agrícolas”* para el río Maule y *“áreas urbanas-industriales”* para el río Cautín. En cuanto, al monto de inversión destinado a medidas de mitigación estructurales ante inundaciones en ambas cuencas medias es considerablemente mayor en el río Cautín como se observó en la, no obstante el último proyecto que desarrollado en

2021 “*Construcción Parque Urbano Isla Cautín, Etapa I*” representa el 69,8% de su inversión total en medidas de mitigación ante inundaciones, por otro lado, el último proyecto para el río Maule fue desarrollado el año 2015 y desde el 2008 que hay registros de crecidas importantes por lo que es de esperar que el número de proyectos no incremente en un futuro cercano. Por finalizar, si se despreja el último proyecto desarrollado en la cuenca del río Cautín y se compararan los montos invertidos por proyecto, se obtiene que en esta se invirtió un 30,7% más que en la cuenca del río Maule.

Por otro lado, para prevenir la ocurrencia de inundaciones en zonas rurales, los encuestados de ambas cuencas prefieren la implementación de medidas mixtas, mientras que, en zonas urbanas, en el río Maule se prefiere la implementación de medidas grises por sobre las mixtas. En relación con los tipos de medida de mitigación (gris, verde o mixta) ante inundaciones, se obtuvo que las medidas de tipo verdes fueron consideradas más efectivas, seguidas por las mixtas o híbridas y en último lugar las medidas de grises. Por último, respecto a la eficiencia de las medidas de mitigación estructurales implementadas actualmente en ambas áreas de estudio, se obtuvo una evaluación “positiva” en relación con la disminución de la frecuencia y extensión de los eventos de inundación; mientras que, en relación con los costos de implementación de las medidas, para el río Maule se obtuvo una evaluación “normal”, mientras que para el río Cautín se obtuvo una evaluación “positiva”.

8.2 Respuesta a la pregunta de investigación

En respuesta a la pregunta de investigación planteada en el punto N°3, se concluye que, si existen diferencias en la implementación de medidas de mitigación estructurales entre ambas cuencas, ya que, en relación con las medidas identificadas, se encontró una leve diferencia, positiva para el río cautín, donde recientemente se han aplicado enfoques mixtos. No obstante, en ambas cuencas medias, las principales medidas corresponden a infraestructuras grises. Por otra parte, existe una diferencia considerable en los montos de inversión utilizados en

las medidas de mitigación estructurales, siendo superior en la cuenca media del río Cautín, esperable debido a la presencia de zonas urbanas.

8.3 Recomendaciones para futuros estudios

- Complementar las series de creídas históricas obtenidas para ambas cuencas medias, mediante una búsqueda de información en prensa local (periódicos) y actualizar la categorización de los eventos en función de la información que se encuentre.
- Realizar trabajo en terreno de detalle en el área de estudio definido para la cuenca media del río Maule, con el propósito de ampliar la base de datos obtenida en este estudio, ya que, debido a la alta densidad de cobertura de vegetación en el cauce del río, no fue posible identificar la extensión ni la presencia de más medidas de mitigación.

9. ANEXOS

Anexo N°1: Encuesta de recurrencia histórica.

Encuesta de recurrencia histórica

Objetivo: Estimar la recurrencia histórica de inundaciones asociada al río Maule/Cautín.

N° de encuesta: XX	Fecha: XX/XX/XXXX
--------------------	-------------------

1. Datos sobre el encuestado:

Localidad		
Edad		
Comuna		
Años de residencia en la comuna		
Localización encuesta (<i>interno</i>)	Coord X	Coord Y

2. Datos sobre el evento:

Ahora piense en la inundación más grande que recuerde para este sector por el desborde del río Maule/Cautín.

1	Año del evento (<i>Si no recuerda año, pasar a 2</i>)		
2	¿Recuerda algún suceso/acostecimiento importante ocurrió ese año?		
3	¿Cuántos días duró la inundación?		
4	¿Necesitó evacuar?	O Si	O No
5	¿Recuerda un evento de similares características en el mismo lugar?	O Si	O No
6	Año del evento (<i>en caso de responder que si en la pregunta 5</i>)		

Con respecto a la inundación más grande que usted recordó en este punto.

7. Lámina de agua	8. Profundidad	9. Daños (<i>se puede indicar más de una</i>)
a) Lenta <i>Daños en cultivos (hortalizas), viviendas inundadas, pero sin daño estructural.</i>	a) 0 – 0,5 m	a) Viviendas (<i>estructural</i>)
b) Media <i>Destrucción de viviendas de madera, algunos animales son arrastrados por el agua.</i>	b) 0,5 – 1 m	b) Servicios básicos (corte de luz, agua)
c) Rápida <i>Destrucción de puentes, viviendas de albañilería, y maquinarias pesadas arrastradas por el agua</i>	c) 1 – 2 m	c) Infraestructura vial (<i>camino</i>)
	d) 2 m o <	d) Infraestructura vial (<i>colapso de puentes</i>)
		e) Sector agropecuario (pérdida de cultivos)
		f) Sector agropecuario (pérdida de ganado)
		g) Empresas de áridos o destrucción de maquinarias
		h) S/D

Hasta qué punto se extendió la inundación (*interno: describir y marcar punto con GPS*).

10.	Marcar el punto (<i>interno</i>)	Coord X	Coord Y
-----	------------------------------------	---------	---------

11.	¿Conoce si se ha implementado una obra para reducir los efectos de las inundaciones?	O Si "pasar a 11"	O No "fin del apartado"
12.	¿Qué tipo de obra?		
13.	¿Piensa que la obra hizo posible que se inunde menos en la actualidad?	O Si	O No
14.	¿Piensa que la obra disminuyó los efectos de las inundaciones?	O Si	O No

3. **Fiabilidad de la información:**

Indique que tan seguro esta sobre los datos que entrego anteriormente.

Fecha de inundación	Descripción de datos	Fiabilidad aportada (<i>interno</i>)
a) Seguro b) Con dudas	a) Seguro b) Con dudas	a) Muy fiable b) Fiable c) Poco fiables

Otros datos	
Observaciones	

Fuente: elaboración propia.

Anexo N°2: Resultados Encuestas Ítem “Datos sobre el Encuestado”, para el río Maule.

N° de encuesta	Fecha	Localidad	Edad	Comuna	Años de residencia en la comuna
1	28-12-2021	Callejón Loncoche - Ribera sin numero	59	San Javier	16
2	28-12-2021	San Manuel	66	San Javier	30
3	28-12-2021	Bobadilla Norte	61	San Javier	49
4	28-12-2021	Bobadilla	76	San Javier	50
5	28-12-2021	Los Aromos	73	San Javier	73
6	28-12-2021	Orilla Maule	45	San Javier	45
7	28-12-2021	Orilla Maule	52	San Javier	52
8	28-12-2021	Orilla Maule, km. 8	33	San Javier	33
9	28-12-2021	Orilla Maule	60	San Javier	60
10	28-12-2021	Orilla Maule, km. 10	43	San Javier	43
11	28-12-2021	Orilla Maule	55	San Javier	55
12	28-12-2021	Coigocura	55	Yerbas Buenas	52
13	28-12-2021	La Isla	63	Yerbas Buenas	35
14	28-12-2021	Yerbas buenas	34	Yerbas buenas	34
15	28-12-2021	Orilla Maule	60	San Javier	20
16	28-12-2021	Sector Hinele	52	Yerbas Buenas	12
17	28-12-2021	El Almendro	49	Yerbas Buenas	48
18	28-12-2021	Orilla Maule, km. 19	42	Yerbas Buenas	40
19	28-12-2021	Santa Ana de Queri	37	Yerbas Buenas	37
20	28-12-2021	Santa Ana de Queri	64	Yerbas Buenas	55
21	28-12-2021	Lancha de Queri	70	Colbún	70
22	28-12-2021	Maule Sur	50	Colbún	25
23	28-12-2021	Maule Sur	88	Colbún	70
24	28-12-2021	San Roque	61	San Clemente	61
25	28-12-2021	Queri lo Maitén	51	San Clemente	51
26	28-12-2021	José Maitenes	61	San Clemente	7
27	28-12-2021	San Diego Sur	29	San Clemente	6
28	29-12-2021	San Diego Sur	55	San Clemente	55
29	29-12-2021	Los Castaños	43	San Clemente	18
30	29-12-2021	Olivar	44	San Clemente	44
31	29-12-2021	Olivar	61	San Clemente	61
32	29-12-2021	Tres Esquinas	62	Maule	62
33	29-12-2021	Duao - 3 Esquinas	65	Maule	65
34	29-12-2021	San José Duao	73	Maule	73
35	29-12-2021	Duao	54	Maule	5
36	29-12-2021	Monte alegre	61	Maule	61
37	29-12-2021	La Cruz	63	Maule	48
38	29-12-2021	Quinipeumo	49	Maule	49
39	29-12-2021	Casas de Maule	60	Maule	60

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°3: Resultados Encuestas Ítem “Datos sobre el Evento”, para el río Maule.

N° de encuesta	Año del evento	Suceso/Acontecimiento ocurrido ese año	Duración (días)	Necesidad de evacuar	Eventos similares	Año del evento	Lámina de agua	Profundidad	Daños
1	2008	-	3	No	No	-	Lenta	1m - 2m	S/D
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1981	-	1	Si	Si	2002	Media	1m - 2m	a), b), c), e), f) y g)
4	1991	-	2	Si	Si	1994	Media	1m - 2m	a), b), c), e) y g)
5	2000	-	3	No	Si	1981	Rápida	2m o <	a), b), c), d), e) y f)
6	2002	-	3	Si	Si	-	Lenta	0m - 0,5m	a) y b)
7	1975	Hubo un terremoto (1975, Angol)	-	No	No	-	Rápida	0m - 0,5m	a) y e)
8	1997	-	7	No	Si	2006	Lenta	0,5m - 1m	c), d) y f)
9	1975	antes de la represa (1985)	1	Si	Si	-	Lenta	-	c), e) y f)
10	1991	-	2	No	No	-	Media	2m o <	a), e) y f)
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1991	-	2	Si	No	-	Rápida	1m - 2m	c), e) y f)
13	1990	-	7	Si	Si	1991	Rápida	1m - 2m	a), c), d) y e)
14	1994	-	3	Si	No	-	Lenta	-	c) y e)
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	1991	-	15	Si	No	-	Lenta	0m - 0,5m	a), b), e) y f)
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	1991	-	2	Si	Si	1994	Media	0,5m - 1m	b), c), e) y f)
20	1982	-	1	No	No	-	Lenta	0m - 0,5m	a), e) y f)
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	1982	antes de la represa (1985)	7	Si	Si	-	Lenta	1m - 2m	e) y f)
24	1981	-	7	No	Si	-	Media	1m - 2m	a), e) y f)
25	2000	-	1	No	No	-	Media	2m o <	f)
26	2000	-	8	No	No	-	Media	1m - 2m	b), e) y f)
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	1985	-	3	Si	No	-	Lenta	2m o <	e) y f)
29	1981	-	2	No	No	-	Lenta	2m o <	S/D
30	1994	-	2	Si	No	-	Media	2m o <	c), e) y f)
31	2006	-	-	No	Si	-	Rápida	2m o <	e) y f)
32	1989	4 años después del inicio de la central	5	Si	Si	1972	Rápida	2m o <	a), b), c), e) y f)
33	1975	-	5	Si	Si	1990	Media	2m o <	c), e) y f)
34	1963	-	9	Si	Si	2000	Rápida	2m o <	a), c), e) y f)
35	2021	Apertura de compuertas de la central (1 de abril)	7	No	No	-	Media	0,5m - 1m	c) y e)
36	1982	-	-	Si	Si	1997	Rápida	1m - 2m	a), c), e), f) y g)
37	1991	después de la central	-	Si	Si	-	Media	2m o <	a), b), e) y f)
38	1981	-	15	Si	Si	1995	Media	2m o <	e) y f)
39	1972	tiempo después de la reforma agraria	5	Si	Si	1965	Media	2m o <	a), c), d), e) y f)

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°4: Resultados Encuestas para Apartado sobre “Percepción de Medidas de Mitigación Estructurales”, para el río Maule.

N° de encuesta	Conocimiento de obras implementadas	Tipo de obra	¿Se inunda menos?	¿Disminución efectos de la inundación?
1	Si	Enrocado	Si	Si
2	No	-	-	-
3	Si	Enrocado	Si	Si
4	No	-	-	-
5	Si	Represa y Enrocado	Si	Si
6	Si	Defensa fluvial	Si	Si
7	No	Solo áridos	-	-
8	Si	Encauzamiento	Si	Si
9	Si	Enrocado	Si	Si
10	No	-	-	-
11	Si	Enrocado	No	No
12	Si	Canalización y centrales	Si	Si
13	Si	Canalizaciones y Refuerzos	No	No
14	Si	Muro	Si	Si
15	-	-	-	-
16	Si	Petril	Si	Si
17	No	-	-	-
18	No	-	-	-
19	No	-	-	-
20	No	Solo áridos	No	No
21	No	-	-	-
22	No	-	-	-
23	No	-	-	-
24	No	-	-	-
25	No	-	-	-
26	No	-	-	-
27	No	-	-	-
28	No	-	-	-
29	No	-	-	-
30	No	-	-	-
31	No	-	-	-
32	Si	Enrocado (muy antiguo)	No	No
33	No	-	-	-
34	No	-	-	-
35	Si	Un peñasco, pero no funciona	No	No
36	Si	Enrocado	-	-
37	Si	Enrocado	No	No
38	Si	Encauzamiento	Si	Si
39	No	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°5: Resultados Encuestas ítem "Fiabilidad de la Información", para el río Maule.

N° de encuesta	Fecha de inundación	Descripción de datos	Fiabilidad aportada	Otros datos	Observaciones
1	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
2	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
3	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	El enrocado debe tener 4 km
4	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
5	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
6	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
7	Con dudas	Seguro	Fiable	-	Gran impacto de extracción de áridos
8	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
9	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	el enrocado se construyó hace aproximadamente 6 años
10	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
11	Con dudas	Con dudas	Poco fiable	-	-
12	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
13	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
14	Seguro	Con dudas	Fiable	-	La inundación es antes de la construcción del canal
15	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
16	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
17	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
18	Con dudas	Seguro	Fiable	-	Se desbordo el canal, no el río
19	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
20	Con dudas	Con dudas	Poco fiable	-	-
21	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Lo que se inunda constantemente es un canal, pero no el río
22	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Hace 30 años hubo crecidas, pero no sobrepasaron los límites y hace 25 años se desbordó el canal que viene del vertedero
23	Con dudas	Seguro	Fiable	-	Antes de la represa las inundaciones eran constantes
24	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Antes se inundaban todos los inviernos
25	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
26	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
27	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
28	Seguro	Con dudas	Fiable	-	-
29	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
30	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
31	Con dudas	Con dudas	Poco fiable	-	-
32	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Luego de la última avenida construyeron otro enrocado
33	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Había defensas antes, pero la crecida se las llevo
34	Seguro	Seguro	Muy fiable	Hubo muertos	Antes había un enrocado pero la inundación se lo llevo
35	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
36	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
37	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
38	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Tuvo que evacuar en helicóptero
39	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Plantas de áridos que están destruyendo el río

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°6: Resultados Encuestas Ítem “Datos sobre el Encuestado”, para el río Cautín.

N° de encuesta	Fecha	Localidad	Edad	Comuna	Años de residencia en la comuna
1	21-12-2021	Población Independencia	74	Temuco	65
2	21-12-2021	Santa Rosa	65	Temuco	52
3	21-12-2021	Santa Rosa - Puntilla Sur	66	Temuco	50
4	21-12-2021	Santa Rosa	65	Temuco	50
5	21-12-2021	Santa elena	67	Temuco	67
6	21-12-2021	San Martin	71	Temuco	71
7	21-12-2021	San Antonio	51	Temuco	4
8	21-12-2021	San Antonio	70	Temuco	30
9	21-12-2021	Mata Sur	74	Temuco	60
10	21-12-2021	Pichicautín	60	Temuco	60
11	21-12-2021	Pichicautin	60	Temuco	60
12	21-12-2021	Villa Cautín	46	Temuco	46
13	21-12-2021	Calle Milano	81	Temuco	41
14	21-12-2021	Amanecer	59	Temuco	22
15	21-12-2021	Amanecer	69	Temuco	24
16	21-12-2021	Amanecer -Villa Florencia	60	Temuco	60
17	21-12-2021	Amanecer	68	Temuco	68
18	21-12-2021	Villa Rucalhue	66	Temuco	40
19	21-12-2021	-	-	Temuco	10
20	21-12-2021	Labranza	83	Temuco	11
21	21-12-2021	-	-	Temuco	3
22	21-12-2021	Los Fundadores	54	Temuco	4
23	21-12-2021	Los Fundadores	25	Temuco	1
24	21-12-2021	Villa Portal	20	Temuco	18
25	21-12-2021	Isla Negra	33	Temuco	33
26	21-12-2021	Labranza	48	Temuco	8
27	21-12-2021	Fundadores - Labranza	43	Temuco	11
28	21-12-2021	Labranza	73	Temuco	7
29	21-12-2021	Labranza - Padre Hurtado	81	Temuco	15
30	21-12-2021	Población Bellavista	40	Padre Las Casas	40
31	21-12-2021	Padre las Casas	16	Padre Las Casas	14
32	21-12-2021	Barrio Cautín	60	Padre Las Casas	20
33	21-12-2021	Barrio Cautín	33	Padre Las Casas	16
34	21-12-2021	Nelson Salvador	67	Padre Las Casas	28
35	21-12-2021	Nelson Salvador	42	Padre Las Casas	42
36	21-12-2021	Truf Truf bajo	42	Padre Las Casas	42
37	21-12-2021	Truf Truf	76	Padre Las Casas	66
38	21-12-2021	Queillen - Santa Rosa	56	Temuco	36
39	21-12-2021	Villa Bicentenario	45	Temuco	30
40	21-12-2021	Parque Costanera II	34	Temuco	9
41	21-12-2021	Parque Costanera II	35	Temuco	10
42	21-12-2021	Villa Retiro	61	Temuco	58
43	21-12-2021	Cajón	52	Vilcún	50
44	21-12-2021	Cajón	21	Temuco	18

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°7: Resultados Encuestas Ítem “Datos sobre el Evento”, para el río Cautín.

N° de encuesta	Año del evento	Suceso/Acontecimiento ocurrido ese año	Duración (días)	Necesidad de evacuar	Eventos similares	Año del evento	Lámina de agua	Profundidad	Daños
1	1957	-	1	No	Si	1955	Media	0,5m - 1m	a) y e)
2	1980	Antes de la implementación de la defensa	7	No	No	-	Lenta	0m - 0,5m	S/D
3	1970	-	7	No	No	-	Lenta	0m - 0,5m	b)
4	1969	-	7	Si	Si	-	Media	0,5m - 1m	a), b) y c)
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1960	-	7	Si	Si	1955	Media	1m - 2m	a)
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1997	-	7	Si	No	-	Lenta	0m - 0,5m	a)
9	1975	-	15	Si	Si	1976	Media	1m - 2m	a), b), c) y d)
10	1978	-	4	Si	No	-	Lenta	0,5m - 1m	a)
11	1965	-	7	Si	Si	-	Media	1m - 2m	a) y c)
12	2003	-	2	No	No	-	Lenta	0m - 0,5m	a)
13	1960	-	1	No	No	-	Lenta	0,5m - 1m	S/D
14	2008	-	7	Si	No	-	Lenta	2m o <	a) y c)
15	1980	-	14	Si	No	-	Media	0m - 0,5m	a) y f)
16	1970	-	15	Si	No	2016	Media	2m o <	a) y c)
17	1987	-	7	No	No	-	Lenta	0m - 0,5m	S/D
18	1974	-	3	Si	Si	1990	Media	1m - 2m	a), c) y f)
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	2011	-	5	No	No	-	Lenta	0,5m - 1m	a) y c)
28	2014	-	1	Si	No	-	Lenta	2m o <	c)
29	2014	-	1	No	No	-	Lenta	0m - 0,5m	S/D
30	2018	Caída de puente (2018)	2	No	Si	-	Rápida	2m o <	c) y d)
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	2014	-	1	No	No	-	Lenta	1m - 2m	a)
35	2006	-	2	Si	Si	-	Media	1m - 2m	a) y f)
36	2018	Caída de puente (2018)	3	No	Si	1987	Lenta	1m - 2m	a) y d)
37	2000	-	2	No	No	-	Media	1m - 2m	f)
38	1995	-	15	No	No	-	Rápida	2m o <	a), c), d), e) y f)
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	1983	-	14	No	Si	1980	Lenta	0,5m - 1m	S/D
43	2018	-	30	Si	Si	-	Rápida	2m o <	a), b) y d)
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°8: Resultados Encuestas para Apartado sobre “Percepción de Medidas de Mitigación Estructurales”, para el río Cautín.

N° de encuesta	Conocimiento de obras implementadas	Tipo de obra	¿Se inunda menos?	¿Disminución efectos de la inundación?
1	Si	Defensa fluvial	Si	Si
2	Si	Defensa fluvial	Si	Si
3	Si	Enrocado	Si	Si
4	Si	-	Si	Si
5	No	-	-	-
6	No	-	-	-
7	-	-	-	-
8	Si	Enrocado	Si	Si
9	Si	-	Si	Si
10	Si	-	Si	Si
11	Si	Encauzamiento	Si	Si
12	Si	Enrocado	Si	Si
13	Si	Defensa fluvial	Si	Si
14	Si	Enrocado	Si	Si
15	Si	Enrocado	Si	Si
16	Si	Enrocado	Si	Si
17	Si	Enrocado	Si	Si
18	No	-	-	-
19	No	-	-	-
20	Si	Enrocado y gavión	-	-
21	No	-	-	-
22	No	-	-	-
23	No	-	-	-
24	No	-	-	-
25	Si	Excavaciones "profundizar el Cautín"	Si	Si
26	Si	Enrocado	Si	Si
27	Si	Enrocado	Si	Si
28	Si	Gaviones	Si	Si
29	No	-	-	-
30	Si	Remueven Sedimentos	No	No
31	No	-	-	-
32	Si	-	-	-
33	No	-	-	-
34	Si	Enrocado	Si	Si
35	Si	Enrocado	Si	Si
36	Si	Enrocado	Si	Si
37	Si	Enrocado	Si	Si
38	Si	Enrocado	Si	Si
39	No	-	-	-
40	Si	Enrocado	No	No
41	Si	Enrocado	Si	Si
42	Si	Enrocado	Si	Si
43	No	-	-	-
44	No	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°9: Resultados Encuestas Ítem "Fiabilidad de la Información", para el río Cautín.

N° de encuesta	Fecha de inundación	Descripción de datos	Fiabilidad aportada	Otros datos	Observaciones
1	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
2	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
3	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
4	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Solo afecto esta ribera
5	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
6	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Antiguamente, se bañaban en el río
7	Seguro	Con dudas	Fiable	-	Solo hace 4 años no se ha inundado, pero le han contado que antes si
8	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
9	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
10	Seguro	Con dudas	Fiable	-	-
11	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
12	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
13	Con dudas	Con dudas	Poco fiable	-	-
14	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
15	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
16	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
17	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
18	Seguro	Seguro	Muy fiable	Hubo muertos	-
19	Con dudas	Seguro	Fiable	-	En 10 años nunca se ha inundado, sitio eriazo
20	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
21	Con dudas	Seguro	Fiable	-	Desde el 2018 que está la empresa y nunca se ha inundado, trabajadores dicen que el agua nunca llevo hasta ahí
22	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	En este sector no hay ninguna obra para que no se inunde, e incluso están construyendo más casas más cerca del río
23	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Vive solo hace 1 año, pero dice que ese sector nunca se ha inundado por el río Cautín, solo anegamiento
24	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	No se ha inundado en 18 años, las casas están sobre nivel, aunque al caminar por la orilla del río está cada vez más erosionado
25	Con dudas	Con dudas	Poco fiable	-	En labranza las inundaciones, se asocian al canal BOLTROLHUE más que al Cautín, ya que ahí no hay muchas viviendas
26	Seguro	Seguro	Muy fiable	Antes de llegar a vivir ese lugar era una vega	Ellos fueron los primeros en recibir casas y al llegar se construyó inmediatamente el enrocado
27	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	El río Cautín no alcanza a afectar a las casas, el problema es el boltrolhue que inunda y aislar la población
28	Seguro	Con dudas	Fiable	-	Falto una segunda etapa en la implementación de gaviones
29	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Hace 7 años
30	Con dudas	Con dudas	Poco fiable	-	Los efectos son más en la ribera contraria, se observan crecidas hasta el punto marcado
31	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
32	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Se quiere declarar humedal urbano
33	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Antes del río hay un humedal, aquí solo anegamiento
34	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
35	Seguro	Seguro	Muy fiable	El enrocado cambio el curso del río	Antes se inundaba todos los inviernos
36	Seguro	Con dudas	Fiable	-	Solo se implemente 1 fase del enrocado
37	Con dudas	Seguro	Fiable	-	-
38	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	-
39	Seguro	Seguro	Muy fiable	-	Villa Bicentenario es nueva y el sector no suele inundarse
40	Seguro	Con dudas	Fiable	-	-
41	Seguro	Con dudas	Fiable	-	-
42	Con dudas	Seguro	Fiable	-	Las inundaciones eran frecuentes en los años 80
43	Seguro	Con dudas	Fiable	-	Puente Cautín y puente padre las casas se cayeron
44	Seguro	Seguro	Muy Fiable	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°10: Resultados pregunta N°1 según % de encuestados, ítem I “encuesta online”.

CASO 1 "ZONA RURAL"						
Variables/Importancia	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Costo de implementación	15,40%	38,50%	46,20%	11,10%	51,90%	37,00%
Costo de mantención	15,40%	69,20%	15,40%	22,20%	33,30%	44,40%
Tiempo de construcción	7,70%	38,50%	53,80%	44,40%	37,00%	18,50%
Beneficios a corto plazo	7,70%	38,50%	53,80%	14,80%	51,90%	33,30%
Beneficios a largo plazo	0,00%	0,00%	100,00%	7,40%	11,10%	81,50%
Tamaño total de la obra	7,70%	46,20%	46,20%	18,50%	48,10%	33,30%
Extensión de la zona inundable	0,00%	38,50%	61,50%	3,70%	33,30%	63,00%
Vida útil de la obra	0,00%	38,50%	61,50%	3,70%	22,20%	74,10%
N° de habitantes beneficiados	0,00%	15,40%	84,60%	7,40%	22,20%	70,40%
Opinión de la población afectada	0,00%	30,80%	69,20%	7,40%	22,20%	70,40%
Afectación potencial del ecosistema acuático	7,70%	7,70%	84,60%	11,10%	37,00%	51,90%
Afectación potencial del ecosistema ribereño	7,70%	15,40%	76,90%	11,10%	25,90%	63,00%
Recurrencia de inundaciones del cauce a intervenir	0,00%	15,40%	84,60%	3,70%	33,30%	63,00%
Uso de suelo cercano al cauce	0,00%	46,20%	53,80%	22,20%	33,30%	44,40%
Caudal máximo	0,00%	15,40%	84,60%	0,00%	37,00%	63,00%
Velocidad de flujo	0,00%	23,10%	76,90%	0,00%	44,40%	55,60%
Pendiente del cauce	0,00%	23,10%	76,90%	3,70%	59,30%	37,00%
CASO 2 "ZONA URBANA"						
Variables/Importancia	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Costo de implementación	23,10%	38,50%	38,50%	11,10%	29,60%	59,30%
Costo de mantención	15,40%	61,50%	23,10%	3,70%	55,60%	40,70%
Tiempo de construcción	0,00%	46,20%	53,80%	3,70%	51,90%	44,40%
Beneficios a corto plazo	0,00%	23,10%	76,90%	7,40%	51,90%	40,70%
Beneficios a largo plazo	0,00%	7,70%	92,30%	3,70%	7,40%	88,90%
Tamaño total de la obra	0,00%	53,80%	46,20%	14,80%	29,60%	55,60%
Extensión de la zona inundable	0,00%	15,40%	84,60%	7,40%	18,50%	74,10%
Vida útil de la obra	0,00%	30,80%	69,20%	0,00%	18,50%	81,50%
N° de habitantes beneficiados	0,00%	15,40%	84,60%	0,00%	11,10%	88,90%
Opinión de la población afectada	0,00%	15,40%	84,60%	0,00%	18,50%	81,50%
Afectación potencial del ecosistema acuático	7,70%	30,80%	61,50%	14,80%	33,30%	51,90%
Afectación potencial del ecosistema ribereño	7,70%	30,80%	61,50%	14,80%	40,70%	44,40%
Recurrencia de inundaciones del cauce a intervenir	0,00%	7,70%	92,30%	3,70%	18,50%	77,80%
Uso de suelo cercano al cauce	0,00%	38,50%	61,50%	11,10%	29,60%	59,30%
Caudal máximo	0,00%	23,10%	76,90%	0,00%	33,30%	66,70%
Velocidad de flujo	0,00%	30,80%	69,20%	0,00%	37,00%	63,00%
Pendiente del cauce	0,00%	30,80%	69,20%	3,70%	40,70%	55,60%

Fuente: elaboración propia.

Anexo N°11: Resultados pregunta N°1 según % de encuestados, ítem III “encuesta online”.

ESCENARIO (A)						
Medidas de mitigación	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Gris	23,10%	38,50%	38,50%	14,80%	37,00%	48,10%
Verde	30,80%	30,80%	39%	37,00%	40,70%	22,20%
Mixtas	7,70%	53,80%	38,50%	3,70%	63,00%	33,30%
ESCENARIO (B)						
Medidas de mitigación	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Gris	23,10%	30,80%	46,20%	0,00%	29,60%	70,40%
Verde	76,90%	23,10%	0,00%	81,50%	14,80%	3,70%
Mixtas	23,10%	76,90%	0,00%	25,90%	74,10%	0,00%
ESCENARIO (C)						
Medidas de mitigación	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Gris	69,20%	15,40%	15,40%	59,30%	22,20%	18,50%
Verde	0,00%	38,50%	61,50%	7,40%	14,80%	77,80%
Mixtas	0,00%	69,20%	30,80%	0,00%	55,60%	44,40%
ESCENARIO (D)						
Medidas de mitigación	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	No apropiado	apropiado	Muy apropiado	No apropiado	apropiado	Muy apropiado
Gris	0,00%	38,50%	61,50%	0,00%	48,10%	51,90%
Verde	15,40%	38,50%	46,20%	22,20%	48,10%	29,60%
Mixtas	23,10%	38,50%	38,50%	3,70%	44,40%	51,90%
ESCENARIO (E)						
Medidas de mitigación	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	No apropiado	apropiado	Muy apropiado	No apropiado	apropiado	Muy apropiado
Gris	7,70%	38,50%	53,80%	48,10%	40,70%	11,10%
Verde	15,40%	30,80%	53,80%	3,70%	29,60%	66,70%
Mixtas	7,70%	46,20%	46,20%	14,80%	55,60%	29,60%
ESCENARIO (F)						
Medidas de mitigación	CUENCA MEDIA RÍO MAULE			CUENCA MEDIA RÍO CAUTÍN		
	No apropiado	apropiado	Muy apropiado	No apropiado	apropiado	Muy apropiado
Gris	15,40%	38,50%	46,20%	40,70%	40,70%	18,50%
Verde	30,80%	23,10%	46,20%	3,70%	51,90%	44,40%
Mixtas	15,40%	53,80%	30,80%	3,70%	51,90%	44,40%

Fuente: elaboración propia.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Banwell, N., Stehr, A., Rojas, O., & Hostettler, S. (2020). Barriers to the implementation of international agreements on the ground: Climate change and resilience building in the Araucanía Region of Chile. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101703>
2. Barredo, J. I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950-2005. *Natural Hazards*, 42(1), 125–148. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9065-2>
3. Blanco-Sánchez, J. P. (2014). Validación de una escala para medir la habilidad de cuidado de cuidadores. *Aquichan*, 14(3), 351–363. <https://doi.org/10.5294/aqui.2014.14.3.7>
4. Brázdil, R., Kundzewicz, Z. W., & Benito, G. (2006). Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 51(5), 739–764. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.739>
5. Buitrago, C., & Ochoa, D. (2013). RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES. En *UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA*.
6. Castrillón, Y. A. (2014). *Estrategias para el control de inundaciones en la zona urbana de la cuenca del río Meléndez*. Universidad del Valle.
7. CEPAL. (2012). *La economía del cambio climático en Chile*.
8. Comisión Europea. (2021). *Consecuencias del cambio climático*. Sitio web de la Comisión Europea. https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_es
9. CONAF. (2014). *Catastro de Uso de Suelo y Recursos Vegetacionales en la región de La Araucanía, año 2014*. SIT CONAF. <https://sit.conaf.cl>
10. CONAF. (2018). *Catastro de Bosque Nativo en la región del Maule, año 2018*. SIT CONAF. <https://sit.conaf.cl>
11. DGA. (2001a). *PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO IMPERIAL “INFORME FINAL REALIZADO”*. Gobierno de Chile.
12. DGA. (2001b). *PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO IMPERIAL RESUMEN*. Gobierno de Chile.
13. DGA. (2004a). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del río Imperial*.
14. DGA. (2004b). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Maule*. <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Lluta.pdf>
15. DGA. (2008). *PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE “FASE II ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA Y FORMULACIÓN DEL PLAN”*. Gobierno de Chile.
16. DGA. (2020). *PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HIDRICA EN LA CUENCA DEL MAULE*.

17. Díez, A., Laín, L., & Llorente, M. (2008). Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones Guía metodológica para su elaboración. En *Instituto Geológico y Minero de España IGME* (1ª ed.).
18. Díez, A., Llorente, M., Ballesteros, J., & Ruiz, V. (2009). Fundamentos conceptuales y didácticos: Riesgo por avenidas e inundaciones fluviales. *Enseñanza de las Ciencias*, 173, 254–263. [file:///C:/Users/user/Downloads/Concepto medidas preventivas y predictivas.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/Concepto%20medidas%20preventivas%20y%20predictivas.pdf)
19. DIRPLAN. (2013). *ESTUDIO BÁSICO “ANÁLISIS BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA URBANA MOP EN CIUDADES, ETAPA I”*. Ministerio De Obras Públicas.
20. ESCENARIOS HÍDRICOS 2030. (2019). *Transición Hídrica “el futuro del agua en Chile”*. ESCENARIOS HÍDRICOS 2030. <https://escenarioshidricos.cl/publicacion/transicion-hidrica-el-futuro-del-agua-en-chile/>
21. Escuder, I., Morales, A., Castillo, J., & Perales, S. (2010). strategies of urban flood risk management (SUFRI). En *Universidad Politécnica de Valencia*. Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente.
22. Esquea, L. A., Domínguez, Y., Sanjuan, S. M., & Pérez, D. R. (2019). Cambios en las coberturas de la tierra en el periodo 1984 – 2017 y análisis de la amenaza ante inundaciones en el municipio de Campo de la Cruz, Atlántico, Colombia. *Revista de Ciencias*, 23(2), 13–37. <https://doi.org/10.25100/rc.v23i2.9348>
23. Explorador Climático. (2021). *Explorador Climático*. center for climate and resilience research (cr2). <https://www.cr2.cl/explorador-climatico/>
24. Fitzpatrick, F. A., & Knox, J. C. (2000). SPATIAL AND TEMPORAL SENSITIVITY OF HYDROGEOMORPHIC RESPONSE AND RECOVERY TO DEFORESTATION, AGRICULTURE, AND FLOODS. *Physical Geography*, 21(2), 89–108. <https://doi.org/10.1080/02723646.2000.10642701>
25. Henríquez, Cristian. (2009). El proceso de urbanization en la cuenca del río Chillán y su capacidad adaptativa ante precipitaciones extremas. *Estudios Geograficos*, 70(266), 155–179. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0447>
26. Henríquez, Cristián, Aspee, N., & Quense, J. (2016). Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. *Revista de geografía Norte Grande*, 44, 27–44. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022016000100003>
27. INE. (2017). *Microdatos Censo 2017*. Geodatos Abiertos INE. <https://geoine-ine-chile.opendata.arcgis.com>
28. Iturrieta, M. (2016). ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA RELACIÓN ENTRE EL RÉGIMEN DE CAUDALES Y LA ABUNDANCIA DE *Didymosphenia geminata* EN LOS RÍOS DE LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE [UNIVERSIDAD DE CHILE]. En *UNIVERSIDAD DE CHILE*. <https://doi.org/10.5354/0717-8883.1983.23025>
29. Jáuregui, E., Aversa, M., & Salas Giorgio, R. (2016). ESTRATEGIAS PARA

- LA MITIGACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN: CASO CUENCA DEL ARROYO MALDONADO, LA PLATA (BUENOS AIRES, ARGENTINA). *Revista Urbano*, 34, 34–47.
30. Lopardo, R. A., & Seoane, R. S. (2000). Algunas reflexiones sobre crecidas e inundaciones. *Ingeniería del agua*, 7(1), 11–21. <https://doi.org/10.4995/ia.2000.2833>
 31. Mauriño, M. F. (2013). Sistemas de mitigación de inundaciones en la provincia de Buenos Aires. En *Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia* (pp. 575–580). Facultad de Ingeniería - UNLP.
 32. Ministerio de la Presidencia España. (2010). Real Decreto 903/2010, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. En *Boletín Oficial del Estado* (BOLETÍN OF). <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-11184>
 33. MINVU. (1992). *Decreto 47. Ordenanza General Ley General de Urbanismo y Construcciones [en línea]*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <http://www.leychile.cl/N?i=8201&f=2015-06-05&p=>
 34. MMA. (2016). Plan de acción nacional de cambio climático 2017 - 2022. En *Gobierno de Chile*. <http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Acción-Nacional-de-Cambio-Climático-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf>
 35. Municipalidad de Temuco. (2011). *ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS NATURALES (PLAN REGULADOR, CAP. 9)*.
 36. NOAA. (2021). *Cold & Warm Episodes by Season*. Climate Prediction Center. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
 37. Ollero Ojeda, A. (1997). *CRECIDAS E INUNDACIONES COMO RIESGO HIDROLÓGICO UN PLANTEAMIENTO DIDÁCTICO*. Universidad del País Vasco. <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur20/200oller/ollero20.htm>
 38. ONEMI. (2020). Política nacional para la reducción del riesgos de desastres: Plan estratégico nacional 2020-2030. En *Gobierno de Chile*.
 39. ONEMI. (2021). *Chile preparado-Recomendaciones*. ONEMI sitio web. <https://www.onemi.gov.cl/recomendaciones/>
 40. Peña, P. A. (2010). Implementación De La Política Pública De Inclusión Laboral De Personas En Situación De Discapacidad En La Ciudad De Popayán - Cauca (Colombia). *Entramado*, 6(2), 168–182.
 41. Reyes, F. (2021). *Onemi declara Alerta Roja en Vilcún, Temuco y Padre Las Casas por posible desborde de río Cautín*. [biobiochile.cl. https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-la-araucania/2021/06/01/onemi-declara-alerta-roja-en-vilcun-temuco-y-padre-las-casas-por-posible-desborde-de-rio-cautin.shtml](https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-la-araucania/2021/06/01/onemi-declara-alerta-roja-en-vilcun-temuco-y-padre-las-casas-por-posible-desborde-de-rio-cautin.shtml)
 42. Richard, J. (2014). *RESPUESTA HIDROLOGICA DEL RIO CAUTIN EN LA IX REGION DE LA ARAUCANIA, CHILE, ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO GLOBAL*. UNIVERSIDAD DE CHILE.
 43. 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*. 79–103.

44. 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(57), 177–192. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022014000100012>
45. Rojas Vilches, O. E. (2015). *Cambios Ambientales y Dinámica de Inundaciones Fluviales en una Cuenca Costera del Centro Sur de Chile*. Universidad de Concepción.
46. Sedano, K., Carvajal, Y., & Ávila, Á. (2013). ANÁLISIS DE ASPECTOS QUE INCREMENTAN EL RIESGO DE INUNDACIONES EN COLOMBIA. *Luna Azul*, 37, 219–238.
47. Torrego, A., Alcántara, A., Feliu, E., García, G., Ozcariz, J., Acosta, J., Ronquillo, L., Lázaro, L., & Irigoyen, V. (2019). *Informe de Situación de Soluciones basadas en la Naturaleza en España*. Fundació Conama.
48. UNDRR. (2017). *Pérdidas económicas, Pobreza y Desastres 1998-2017*.
49. Valdebenito, M. F. (2018). *ANÁLISIS DE INUNDACIONES FLUVIALES PARA LA ZONA PERIURBANA DE CHILLÁN- CHILLÁN VIEJO MEDIANTE MODELAMIENTO HIDRÁULICO*. Universidad de Concepción.