

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA
CONCEPCION

**ANTEPROYECTO DE DEFENSA FLUVIAL PARA RÍO
TINGUIRIRICA, SECTOR LOS HUERTOS - SAN FERNANDO.**

ANDRÉS HILARION VALDÉS CATALÁN

2024

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCIÓN

“REY BALDUINO DE BELGICA”

**ANTEPROYECTO DE DEFENSA FLUVIAL PARA RÍO TINGUIRIRICA,
LOS HUERTOS – SAN FERNANDO**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

Alumno: Andrés Hilarion Valdés Catalán

Profesor Guía: Sr. Sergio Monroy Morales

2024

RESUMEN

El presente trabajo aborda la problemática de las inundaciones en el sector Los Huertos, en la ribera norte del río Tinguiririca, en la comuna de San Fernando, VI Región, Chile. El río Tinguiririca, ha experimentado desbordamientos históricos causados por sistemas frontales intensos en épocas invernales, provocando daños significativos en sus riveras y las defensas fluviales, lo que afecta principalmente a la población local de Los Huertos.

Es por ello que este trabajo de título identifica las zonas críticas de desborde mediante un análisis de registros hidrológicos y considera factores como las pendientes, geomorfología y caudales del río, además del deterioro de las defensas existentes. Con base en una revisión normativa, visitas a terreno y modelación de datos, se propone una solución técnica y económica que incluye el diseño de defensas longitudinales tipo enrocados. La solución de defensa fluvial abordada se diseñó según criterios establecidos en el Manual de Carreteras Volumen 3, con un enfoque en minimizar los riesgos de inundación para proteger tanto a la población como la infraestructura agrícola y urbana del sector.

El proyecto justifica su implementación desde una perspectiva técnica, al evaluar la eficacia de soluciones constructivas frente a eventos hidrológicos extremos, y económica, al valorar el costo-beneficio de las intervenciones. Los resultados obtenidos destacan la importancia de diseñar defensas con materiales de alta durabilidad y métodos de instalación robustos, lo que asegura su estabilidad ante la erosión y futuros eventos de crecidas en el río Tinguiririca.

INDICE

RESUMEN	3
INDICE.....	4
INDICE DE GRAFICOS.	6
INDICE DE TABLAS.....	6
INDICE DE FIGURAS.	7
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. PROBLEMÁTICA.	11
3. JUSTIFICACIÓN.	14
4. OBJETIVO GENERAL.....	15
5. OBJETIVOS ESPECIFICOS.	15
6. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	16
7. MARCO TEORICO.....	17
8. MARCO NORMATIVO.....	18
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRITICAS DE DESBORDE DEL RÍO TINGUIRIRICA MEDIANTE ANÁLISIS DE REGISTROS HIDROLOGICOS.	20
1.1. ANTECEDENTES GENERALES DEL RÍO TINGUIRIRICA:	21
1.1.1. Extensión.....	21
1.1.2. Cuenca.	22
1.1.3. Pendiente y geomorfología del río Tinguiririca.	23
1.1.4. Régimen de caudales.....	27
1.1.5. Obras Existentes.	28
1.1.6. Obras Proyectadas.....	33
1.2. REGISTROS HIDROLOGICOS COMUNA DE SAN FERNANDO.....	35
1.2.1. Registros hidrológicos.	35
1.2.2. Recopilación de antecedentes históricos de inundaciones causadas por el rio Tinguiririca en San Fernando.	39
1.2.3. Diagrama de Ishikawa, Espina de pescado (Causa – Efecto).....	41
1.3. IDENTIFICACION DE ZONAS CRITICAS DE DESBORDE DEL RÍO TINGUIRIRICA, SECTOR LOS HUERTOS.....	42
1.3.1. Área de estudio.	42
1.3.2. Zonas críticas ribera norte del rio Tinguiririca.	44
1.3.3. CONCLUSION CAPITULO I.....	47

2.	CAPÍTULO II: DESARROLLO DE PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA DE DEFENSA FLUVIAL PARA LA RIBERA NORTE DEL RÍO TINGUIRIRICA, SECTOR LOS HUERTOS – SAN FERNANDO.	48
2.1.	DEFINICIONES Y CONCEPTOS BASICOS (MANUAL DE CARRETERAS VOL.3).....	49
2.1.1.	ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL ENROCADO.	51
2.2.	CRITERIOS DE DISEÑO PARA DEFENSAS FLUVIALES SEGÚN EL MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 3.	53
2.2.1.	PERIODO RETORNO DE DISEÑO.	53
2.2.2.	CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO (Q).	54
2.2.3.	MODELACIÓN DE DATOS EN PROGRAMA HCANALES V 3.0:	60
2.3.	DEFINICIÓN DE DISEÑO DE LAS COMPONENTES DE LA OBRA LONGITUDINAL TIPO ENROCADO.	63
2.3.1.	Talud de protección.	63
2.3.2.	Coronamiento.	63
2.3.3.	Fundaciones:	64
2.3.4.	Coraza de protección:	64
2.3.5.	Filtro de geotextil:	67
2.3.6.	RESUMEN DISEÑO DE DEFENSA.	67
2.3.7.	DEFENSA DE ENROCADO.	67
2.3.8.	CONCLUSION CAPITULO II.....	68
3.	CAPÍTULO III: ESTIMACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA Y PRESUPUESTO DE LA DEFENSA FLUVIAL DEL RÍO TINGUIRIRICA, SECTOR LOS HUERTOS – SAN FERNANDO.	69
3.1.1.	ÁREA DE OBRA Y TRAZADO REFERENCIAL DE RIBERA.....	70
3.1.2.	CUBICACIONES.	71
3.1.3.	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)	72
3.1.4.	PRESUPUESTO OFICIAL.....	73
3.1.5.	PORCENTAJE DE GASTOS GENERALES (10%).....	74
3.1.6.	PORCENTAJE DE UTILIDADES (10%).	74
3.1.7.	CONCLUSION CAPITULO III.....	75
4.	CONCLUSIÓN:.....	76
5.	BIBLIOGRAFIA:.....	77
5.1.	ENLACE REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	77

INDICE DE GRAFICOS.

Gráfico 1. Curva de variación de caudales mensual Río Tinguiririca.	9
Gráfico 2. Fluviometria 2022-2023, estación Bajo Lo Briones.....	12
Gráfico 3. Pluviometría Acumulada 2022-2023.	36
Gráfico 4. Pluviometría, promedio 1991-2020.....	36
Gráfico 5. Pluviometría Déficit.....	36
Gráfico 6. Fluviometria 2022-2023, estación Bajo Lo Briones.....	38
Gráfico 7. Fluviometria 2022-2023, estación Bajo Lo Briones.....	38

INDICE DE TABLAS.

TABLA 1. Pendientes a lo largo del río Tinguiririca.....	26
TABLA 2. Pluviometría, Totales al 31 julio 2023.	35
TABLA 3. Valores de caudal promedio anual del río Tinguiririca 1983.	37
TABLA 4. Valores de caudal medio anual río Tinguiririca 2018-2022.	37
TABLA 5. Recopilación de antecedentes.	39
TABLA 6. Características del Área de estudio.....	43
TABLA 7. Requisitos de diseño según Manual de Carreteras.....	53
TABLA 8. Valores de curva IDF, Manual de carreteras volumen 3.	56
TABLA 9. SUBCUENCAS SEGÚN BNA A NIVEL NACIONAL.	58
TABLA 10. Datos para cálculo de caudal de diseño.....	59
TABLA 11. Coeficiente de rugosidad de Manning.	61
TABLA 12. Clases de Enrocado.	66
TABLA 13. Sectores involucrados.	67
TABLA 14. Cubicaciones río Tinguiririca, Sector Los Huertos – San Fernando.	71
TABLA 15. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO (APU).	72
TABLA 16. Presupuesto Oficial.	73

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Configuración geográfica de San Fernando.....	11
Figura 2. Sector Los Huertos.	11
Figura 3. Daños de ribera norte del río Tinguiririca.....	12
Figura 4. Evacuación sector los Huertos.....	13
Figura 5. Inundación sector los huertos.	13
figura 6. Inundación Carretera ruta 5 sur.....	13
Figura 7. Mapa subcuenca del río Tinguiririca.....	21
Figura 8. Mapa cuenca del río rapel.....	22
Figura 9. Diagrama de red hidrográfica en la cuenca del río Rapel.	23
Figura 10. Río Tinguiririca sector hidroeléctrica la Higueras.	23
Figura 11. Río Tinguiririca sector puente Ruta 5.....	24
Figura 12. Río Tinguiririca sector Cunaco.	25
Figura 13. Pendientes subcuenca del Tinguiririca.	26
Figura 14. Curva de variación.	27
Figura 15. Defensa fluvial sector Los Rulos.	28
Figura 16. Defensa fluvial sector La Orilla.....	29
Figura 17. Defensa fluvial Pedehue.	30
Figura 18. Deterioro Espigón río Tinguiririca sector Pedehue.	31
Figura 19. Enrocado río Tinguiririca sector Los Huertos.....	31
Figura 20. Bocatoma canal La Palma.	32
Figura 21. Obras proyectadas.....	33
Figura 22. Sectores de Obras proyectadas.....	34
Figura 23. Presupuesto Oficial, Obras proyectadas.....	34
Figura 24. Diagrama Ishikawa causa-efecto.	41
Figura 25. Área de estudio.	43
Figura 26. Primera zona critica.	44
Figura 27. Erosión de rívera norte.....	44
Figura 28. Desborde del Río Tinguiririca 2023.	45
Figura 29. Ribera norte.	45
Figura 30. Segunda zona critica.....	46
Figura 31. Desborde del Río Tinguiririca 2023.	46
Figura 32. Esquema de enrocado	49
Figura 33. Esquema de enrocado en curva	50
Figura 34. Esquema de enrocado en contra curva.	50

Figura 35. Ancho de solera.	60
Figura 36. Modelación de datos en Hcanales V3.0.....	62

1. INTRODUCCIÓN.

El río Tinguiririca, ubicado en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, nace en la cordillera de los Andes a partir de la confluencia de los afluentes Las Damas y El Azufre. Este río se extiende a través del valle de Colchagua y desemboca en el lago Rapel. Su cuenca forma parte de la hoya hidrográfica del río Rapel, abarcando una extensión de 14.177 km².

El régimen hidrológico del río Tinguiririca es principalmente nivo-glaciar, con una notable influencia pluvial. Los caudales máximos se registran típicamente en diciembre, mientras que los mínimos se presentan durante el otoño. La estación Fluviométrica Bajo Briones, perteneciente a la Dirección General de Aguas, es el punto de referencia principal para la medición del caudal. En el gráfico N°1 se ilustra la curva de variación de los caudales mensuales del río, proporcionada por dicha dirección.

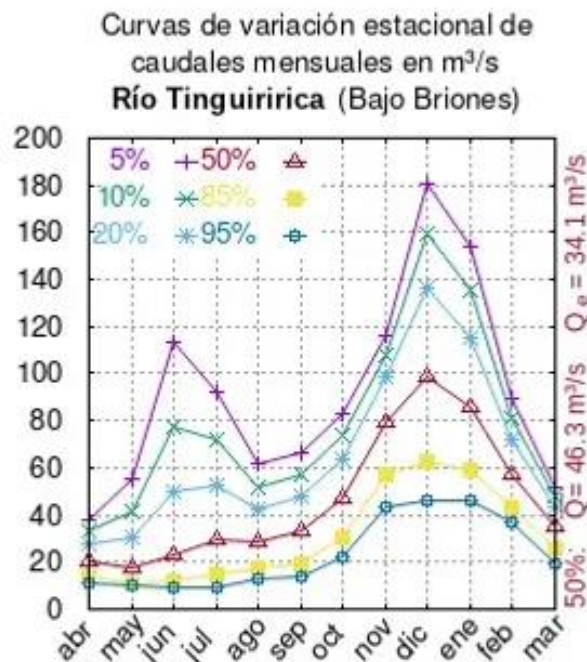


Gráfico 1. Curva de variación de caudales mensual Río Tinguiririca.
Fuente: Estación DGA Bajo lo Briones.

En este trabajo, se analizarán tramos de la ribera norte del río Tinguiririca en el sector de Los Huertos, en la ciudad de San Fernando. Este análisis es pertinente debido a las históricas crecidas del caudal durante las temporadas invernales, provocadas por sistemas frontales que afectan la región, lo que ha ocasionado daños en las defensas fluviales y la inundación de hogares en la localidad de Los Huertos.

Por lo tanto, se hace imperativo desarrollar una solución técnica que mejore las defensas fluviales del lado norte del río Tinguiririca. Este trabajo incluirá la identificación de los puntos críticos en el cauce del río en el sector de Los Huertos, la propuesta de medidas de defensa fluvial y la valoración de estas intervenciones.

2. PROBLEMÁTICA.

La configuración geográfica de la comuna de San Fernando se ve caracterizada por la presencia de dos prominentes cursos de agua superficiales, por el lado norte de la ciudad se ubica el Estero Antivero y por el lado sur el río Tinguiririca. Tal como se muestra a continuación en la figura 1.



Figura 1. Configuración geográfica de San Fernando.
Fuente: Elaboración propia.

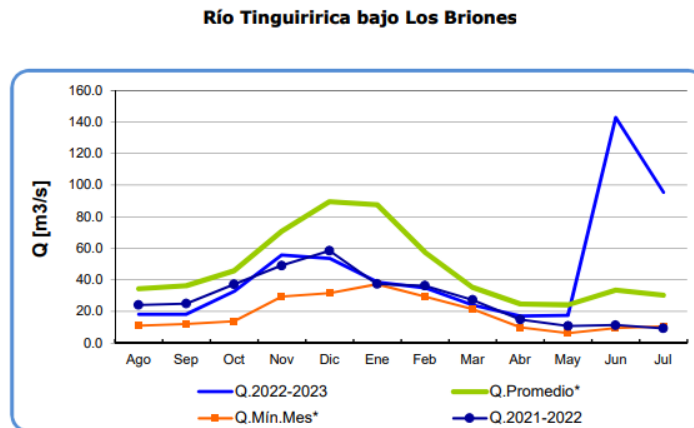
La ribera del lado norte del río Tinguiririca colinda con el sector de los Huertos el que cuenta con una superficie de 419 hectáreas que albergan a 210 habitantes contando con una densidad poblacional de 0.5 habitantes por hectárea de acuerdo con el plan de desarrollo turístico 2024-2027, desarrollado por la municipalidad de San Fernando.

Este sector alberga algunos predios agrícolas utilizados para siembra, fundos de plantación de árboles frutales y viñedos como se ilustra en la figura 2. El río Tinguiririca representa un recurso vital para los agricultores del sector de los Huertos y para toda la región, pero también representa un riesgo, debido a los desbordamientos que han sucedido desde el año 1986 a la fecha, asociados a la llegada de sistemas frontales de alta intensidad en épocas invernales.



Figura 2. Sector Los Huertos.
Fuente: Google Earth.

Los sistemas frontales traen consigo precipitaciones intensas, caracterizadas por una rápida acumulación de milímetros en cortos períodos de tiempo. Este fenómeno provoca un aumento considerable en el caudal de los ríos, lo que obliga a las represas a abrir sus compuertas. En este contexto, el sector de los Huertos en San Fernando se ve particularmente afectado, ya que el cauce del río Tinguiririca se estrecha en ese sector debido a la presencia del puente Tinguiririca de la Ruta 5 Sur.



	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Q.2022-2023	18.3	18.4	32.7	55.8	53.7	38.7	34.9	24.2	17.1	17.6	142.8	95.5
Q.2021-2022	24.0	24.9	37.1	49.1	58.5	37.4	36.2	27.4	14.9	10.7	11.3	9.3
Q.Promedio*	34.3	36.3	45.7	70.8	89.5	87.6	57.5	35.2	24.6	24.2	33.6	30.3
Q.Min.Mes*	11.0	12.1	13.8	29.3	31.6	37.3	29.5	21.4	10.0	6.3	9.6	10.5

Gráfico 2. Fluviometría 2022-2023, estación Bajo Lo Briones
Fuente: Boletín N°543 información Fluviométrica, pluviométrica DGA.

Además, la mala condición de las defensas fluviales, deterioradas por desbordes anteriores, agrava la situación, afectando principalmente a los vecinos de Los Huertos. Las inundaciones resultantes ponen en riesgo la seguridad y la infraestructura de la comunidad.



Figura 3. Daños de ribera norte del río Tinguiririca.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se ilustra el fenómeno climatológico que se registró en junio del año 2023, cuando un temporal que afectó a la región provocó el desborde del río Tinguiririca. Este evento inundó el sector de Los Huertos, donde el nivel del agua alcanzó hasta 1,5 metros dentro de las viviendas. Ante esta situación crítica, las autoridades se vieron obligadas a evacuar a los habitantes en botes. Además, el tránsito por la Ruta 5 Sur, la principal arteria que conecta el sur de Chile con la capital, se interrumpió, lo que complicó aún más la situación en la región.



Figura 4. Evacuación sector los Huertos.

Fuente: Diario el Rancagüino 23-junio-2023.



Figura 5. Inundación sector los huertos.

Fuente: Diario El Pulso 23-junio-2023.



figura 6. Inundación Carretera ruta 5 sur.

Fuente: Diario La Tercera 23-junio-2023.

Este trabajo se propone investigar diversas alternativas para la implementación de defensas fluviales, con el fin de proporcionar un análisis exhaustivo y propuestas concretas que aseguren la protección del sector y la seguridad de sus habitantes. Además, se abordará la valorización, evaluación tanto los costos de implementación como los beneficios a largo plazo.

3. JUSTIFICACIÓN.

Los reiterados desbordes del río Tinguiririca han provocado un notable deterioro en las defensas fluviales existentes, así como la erosión de los terraplenes de material fluvial que se construyeron como una solución provisional tras el evento del invierno de 2023. Esta situación ha generado la urgente necesidad de implementar una solución permanente en la ribera norte del río, con el fin de prevenir que el cauce inunde el sector de los Huertos.

En la actualidad, los residentes de los Huertos enfrentan un riesgo significativo de futuros desbordamientos. Por lo tanto, es esencial identificar las zonas críticas que podrían verse afectadas y proponer un sistema de defensa fluvial adecuado. El alcalde de la comuna es consciente de esta problemática y ha solicitado la intervención de las autoridades competentes, incluyendo al Ministerio de Obras Públicas y su Dirección de Obras Hidráulicas, para asegurar la asignación de recursos necesarios que fortalezcan las defensas fluviales en esta área.

Este trabajo de título se justifica técnicamente por evaluar la solución más adecuada y que pueda desarrollarse de forma más eficiente en la ribera norte del río Tinguiririca, disminuyendo la inseguridad que genera actualmente a los vecinos de los Huertos la llegada de los sistemas frontales intensos en los meses de invierno.

Se justifica económicamente debido a que se busca valorar y presentar un presupuesto para la solución de defensa fluvial. Este enfoque facilitará la toma de decisiones en proyectos de mejora a lo largo de la ribera del río Tinguiririca, asegurando así la protección de las comunidades y la infraestructura en la zona.

4. OBJETIVO GENERAL.

- ❖ Proponer una solución constructiva técnica y económica para la defensa fluvial de la ribera norte del río Tinguiririca, con el propósito de prevenir inundaciones en el sector de los Huertos en la ciudad de San Fernando.

5. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ❖ Identificar Las características Hidrológicas del río Tinguiririca y evaluar los factores de riesgo que contribuyen a las inundaciones de la ribera norte, Sector los Huertos, Comuna de San Fernando.
- ❖ Desarrollar una propuesta de infraestructura de defensa fluvial para la ribera norte del río Tinguiririca, Sector los Huertos.
- ❖ Estimar el costo de la implementación de la solución constructiva realizando un análisis de presupuesto de la defensa fluvial del río Tinguiririca, Sector los Huertos – San Fernando.

6. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Para lograr el objetivo de este trabajo, se procederá a realizar los siguientes pasos:

- ❖ **Recopilación de información:** Se realizará una exhaustiva búsqueda de fuentes bibliográficas, así como de licitaciones públicas y manuales de preparación de proyectos de defensas fluviales, que sirvan como base para el desarrollo de la propuesta.
- ❖ **Revisión de normativa vigente:** Se evaluará la normativa actual relacionada con las defensas fluviales en Chile, asegurando que las propuestas se alineen con los requisitos legales y técnicos establecidos.
- ❖ **Visitas a terreno:** Se llevarán a cabo visitas al área afectada para realizar un catastro de la situación actual de la ribera del río, lo que permitirá una comprensión directa de los desafíos y condiciones existentes.
- ❖ **Solicitud de información a la municipalidad:** Se gestionará la obtención de información relevante a través de la municipalidad de la comuna, incluyendo datos históricos sobre inundaciones y estudios previos realizados en la zona.
- ❖ **Toma de datos:** Se recopilarán datos cuantitativos y cualitativos sobre la dinámica del río, la topografía de la ribera y otros factores que influyen en el riesgo de inundaciones.
- ❖ **Análisis de datos:** Finalmente, se procederá al análisis de la información recopilada para identificar patrones, evaluar la viabilidad de las distintas alternativas de defensa fluvial y proponer soluciones efectivas y sostenibles.

Este enfoque sistemático y riguroso permitirá desarrollar una propuesta integral que aborde la problemática de las inundaciones en el sector de los Huertos de manera eficiente y adecuada.

7. MARCO TEORICO.

Aguas superficiales: aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y pueden ser corrientes o detenidas. (*artículo 2 código de aguas*).

Álveo de aguas corrientes: álveo o cauce natural de una corriente de uso público es el suelo que el agua ocupa y desocupa alternativamente en sus creces y bajas periódicas. (*artículo 30° y 31 del Código de Aguas*).

Ribera: Son riberas o márgenes las zonas laterales que colindan con el álveo o cauce. (*Artículo 33° del Código de Aguas*)

Defensa Fluvial: tienen por finalidad prevenir las inundaciones, producto de las crecidas de los caudales de ríos debido al régimen de precipitaciones abundante como de deshielos. (*Metodología de preparación y evaluación de proyectos de defensas fluviales- Ministerio desarrollo socia l- Dpto. Metodologías y estudios*)

Defensas Longitudinales: Este tipo de obras permiten dar estabilidad a la ribera y evitar inundaciones producto de la excedencia del cauce. No interfieren en el escurrimiento natural del río puesto que se construyen a lo largo de la ribera, apoyándose sobre el lecho y el talud, presentando un permanente contacto con la orilla fluvial. (*Metodología de preparación y evaluación de proyectos de defensas fluviales- Ministerio desarrollo socia l- Dpto. Metodologías y estudios*)

Enrocados: Estos tienen la característica de poder instalarse y repararse con relativa facilidad. Aportan a la imagen uniforme debido a su apariencia natural y a su construcción basada en rocas muchas veces aledañas al sector que se construye, sin embargo, si ese no es el caso, pueden resultar obras bastante costosas debido principalmente al transporte. En su ingeniería, las mejores rocas son las angulosas, propiciando un correcto anclaje y trabazón entre ellas. (*Metodología de preparación y evaluación de proyectos de defensas fluviales- Ministerio desarrollo social - Dpto. Metodologías y estudios*).

Espigones: Estructuras que pueden estar orientadas a lo largo del flujo de agua, tanto aguas abajo como aguas arriba. Tienen por objetivo proteger de la erosión los bordes o riberas del cauce, alejando el escurrimiento principal de las orillas y recuperando terrenos por sedimentación del cauce en las zonas entre obras. Dentro de sus funciones, tienen

por utilidad el reducir la velocidad de la corriente cerca de la orilla o bien desviar la corriente, estabilizando el cauce fluvial, controlando la migración de meandros, creando el efecto de curva en una bocatoma y contribuyendo a establecer y mantener un margen de ancho fijado para el río. (*Metodología de preparación y evaluación de proyectos de defensas fluviales- Ministerio desarrollo social - Dpto. Metodologías y estudios*).

8. MARCO NORMATIVO.

LEY ORGANICA DEL MOP, D.F.L N°850, 1997.

- ❖ Consolida y organiza en un solo cuerpo normativo todas las modificaciones de la ley 15.840 y D.F.L.206, facilitando su consulta y aplicación.

LEY 11.402 DE 1954

- ❖ Dispone que las obras de defensa y regularización de las riberas y cauces de los ríos, lagunas y esteros que se realicen con participación fiscal, solamente podrán ser ejecutadas y proyectadas por la dirección de obras sanitarias del ministerio de obras públicas.

LEY 19.525 ART 1 Y 6

- ❖ Regula sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias.

D.F.L. N° 1.122. “código de aguas”

- ❖ Aborda aspectos relacionados con la construcción y mantenimiento de obras hidráulicas, establece lineamientos generales para la protección y regulación de las riberas de los ríos, causes y lechos.

Metodología de preparación y evaluación de proyectos de defensas fluviales NOV.2018 “Ministerio de desarrollo social, departamento de metodologías y estudios”

- ❖ Establece los puntos necesarios que se deben considerar y tratar en la preparación, formulación y evaluación de proyectos de defensas fluviales en todo el territorio nacional.

MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.

Se entregan lineamientos y criterios relacionados con la conservación y protección de los recursos hídricos.

MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 3.

Este Manual entrega pautas, métodos, procedimientos y criterios aplicables en las diferentes materias, apoyando a profesionales y técnicos, tanto públicos como privados.

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS DE DESBORDE DEL RÍO TINGUIRIRICA MEDIANTE ANÁLISIS DE REGISTROS HIDROLÓGICOS.

1.1. ANTECEDENTES GENERALES DEL RÍO TINGUIRIRICA:

1.1.1. Extensión.

El río Tinguiririca presenta una división morfoestructural tripartita, característica de gran parte del territorio chileno. Nace en la alta cordillera de los Andes, de la confluencia de dos ríos principales: el río Las Damas, que se origina en el cordón fronterizo entre Chile y Argentina a 5.000 msnm, y el río El Azufre, nace de la confluencia de los ríos San José y Portillo a 4.986 msnm, se une al río Tinguiririca 14 km aguas abajo de la confluencia del río Las Damas y el río Tinguiririca.

En su tramo medio, el río Tinguiririca atraviesa el Valle Central, donde recibe las aguas del estero Chimbarongo. Luego continúa hacia la Cordillera de la Costa, que presenta alturas promedio entre 1,700 y 2,000 msnm, aunque su continuidad se ve interrumpida por profundas incisiones formadas por los valles de los ríos Tinguiririca, Cachapoal y Teno. Finalmente, el río Tinguiririca se une con el río Cachapoal en la comuna de Pichidegua; ambos afluentes abastecen el embalse del lago Rapel, el cual drena sus aguas hacia el océano pacífico mediante el río Rapel otorgándole la característica de una cuenca exorreica.

Con una extensión total de 167 km, el río Tinguiririca atraviesa ocho comunas en su extensión desde las Termas del Flaco hasta las proximidades de San José de Marchihue.

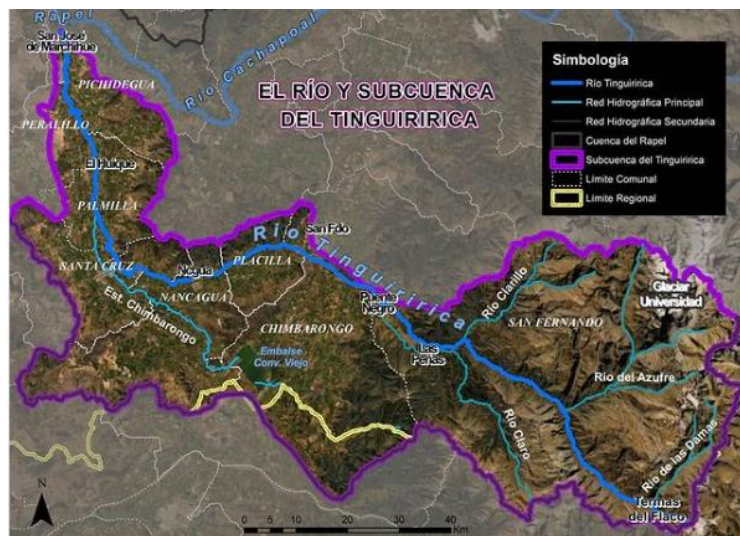


Figura 7. Mapa subcuenca del río Tinguiririca.
Fuente: Tinguiririca río vivo.

1.1.2. Cuenca.

El río Tinguiririca pertenece a la cuenca hidrográfica del río Rapel la cual se ubica en IV Región del General Libertador Bernardo O'Higgins, se sitúa entre los paralelos 33°53' y 35°01' de latitud sur, drenando una superficie total de 14,177 km². (*Hoyas Hidrográficas de Chile sexta región, Hans Niemeyer F*).

La cuenca del río Rapel (060) limita al norte con la cuenca del río Maipo (057) y hacia el litoral, con las cuencas independientes de los esteros El Yalí, hacia el sur, la cuenca delimita con la cuenca del río Mataquito (071) y otras cuencas costeras de menor tamaño. Al este, limita con los nacientes de los ríos argentinos Diamante y Atuel, separados por el cordón montañoso que define la línea de más altas cumbres de la cordillera de los Andes. En este sector, también se encuentra el límite con la cuenca alta del Maipo. Al oeste, se encuentra bordeada por cuencas costeras de drenaje independientes en el océano Pacífico, como las de los esteros Topocalma, Lolol y Nilahue, ubicadas en el interfluvio entre el Rapel y el Mataquito. (*Inventario de cuencas de Chile, Base Nacional de Agua, BNA*).

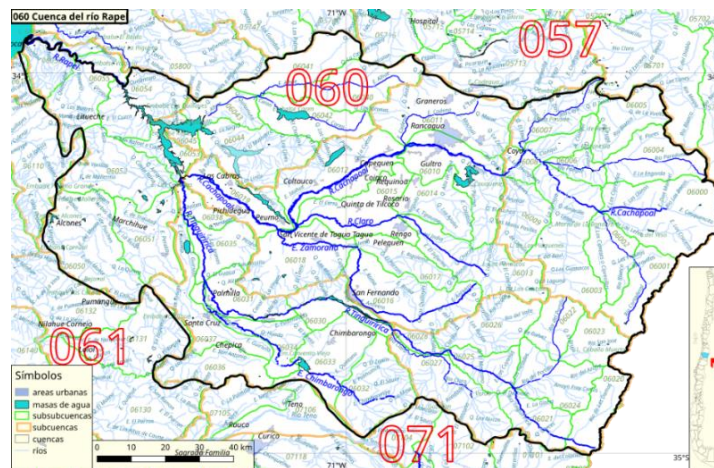


Figura 8. Mapa cuenca del río rapel.

Fuente: Atlas ilustrado hoyas hidrográficas.

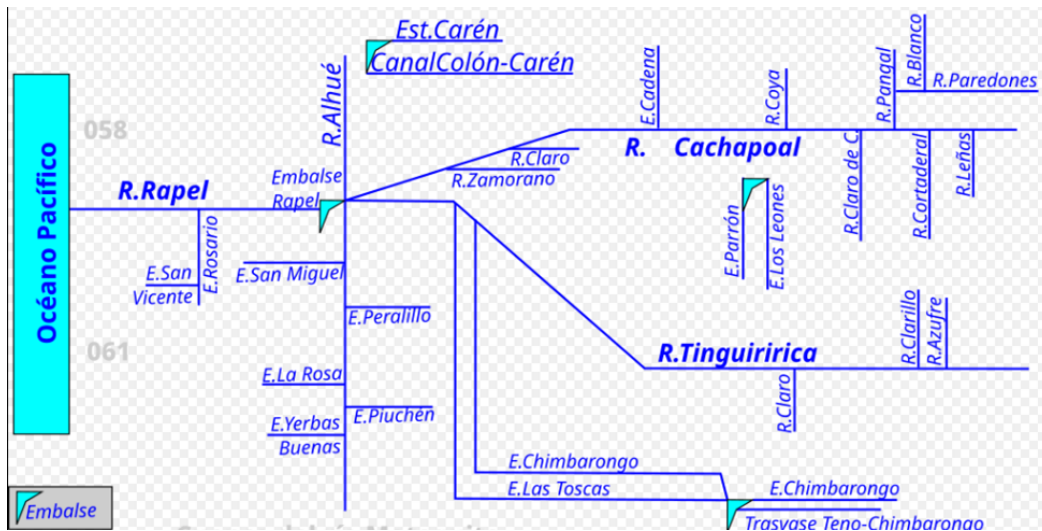


Figura 9. Diagrama de red hidrográfica en la cuenca del río Rapel.
Fuente: Atlas ilustrado hoyas hidrográficas.

1.1.3. Pendiente y geomorfología del río Tinguiririca.

La pendiente del río Tinguiririca varía significativamente a lo largo de su curso, debido a las diferentes zonas geográficas que atraviesa.

En el tramo superior, que abarca la cordillera de los Andes y la zona precordillerana, el río sigue un curso recto y bien definido. La pronunciada pendiente en esta área oscila entre el 10% en el sector de las Termas del Flaco y el 5% en el sector de La Rufina, generando un flujo rápido y de alta energía. Este flujo erosiona intensamente el terreno mediante procesos fluvio-glaciales, diseccionando el relieve original y creando profundos valles de laderas abruptas. (Hoja Rancagua 1990, Arturo Hauser Y.).



Figura 10. Río Tinguiririca sector hidroeléctrico la Higuera.
Fuente: Tinguiririca Energía.

En La zona pre andina, recibe las aguas del río claro desarrollando la planicie Inter fluvial conocida como Isla briones, en esta zona se encuentra la estación bajo lo briones perteneciente a la dirección general de aguas, la cual, es el principal punto de referencia para la medición del caudal del río Tinguiririca.

Desde su desembocadura en el valle central, en la localidad de Puente Negro, hasta su confluencia con el río Cachapoal, la pendiente media del río disminuye a 0,43% en una trayectoria aproximada de 81,5 km. Este descenso en la pendiente permite un flujo de menor velocidad, favoreciendo el desarrollo de tramas fluviales trenzadas.



Figura 11. Río Tinguiririca sector puente Ruta 5.

Fuente: Google Earth.

En el tramo comprendido entre Puente Panamericana y Cunaquito, la pendiente crítica es de apenas 0,09%, lo cual favorece la aparición de múltiples cursos de agua, débilmente encauzados y sometidos a un riesgo elevado de desbordes, especialmente durante los periodos de lluvias invernales. y los deshielos primaverales intensos.

En la sección inferior, entre la confluencia del río Tinguiririca con el estero Chimbarongo y su desembocadura en el río Rapel, el cauce del Tinguiririca se desplaza de manera

más lenta. Esto propicia la acumulación de sedimentos y la formación de meandros leves, generando curvas y tramos serpenteantes en el curso del río.

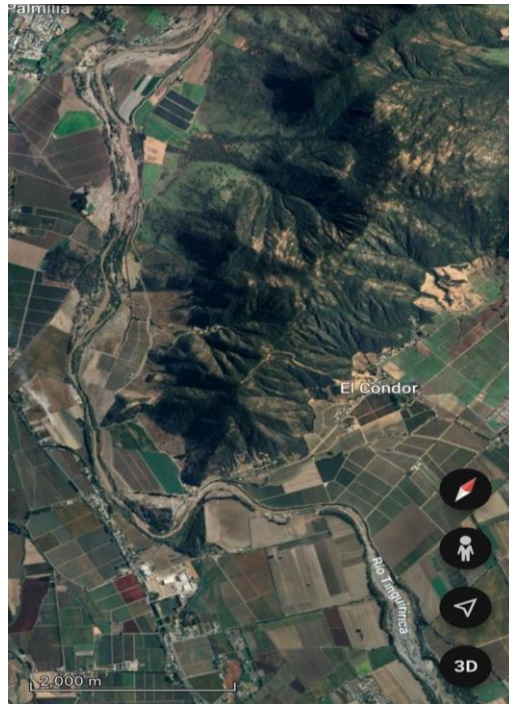


Figura 12. Rio Tinguiririca sector Cunaco.

Fuente: Google Earth.

TABLA 1. Pendientes a lo largo del río Tinguiririca.

Pendientes Rio Tinguiririca		
Tramo Superior	Zona Cordillerana y Precordillerana	10% a 5%
Tramo central	Valle Central	0,43%
Desembocadura	Codillera de la costa	0,09%

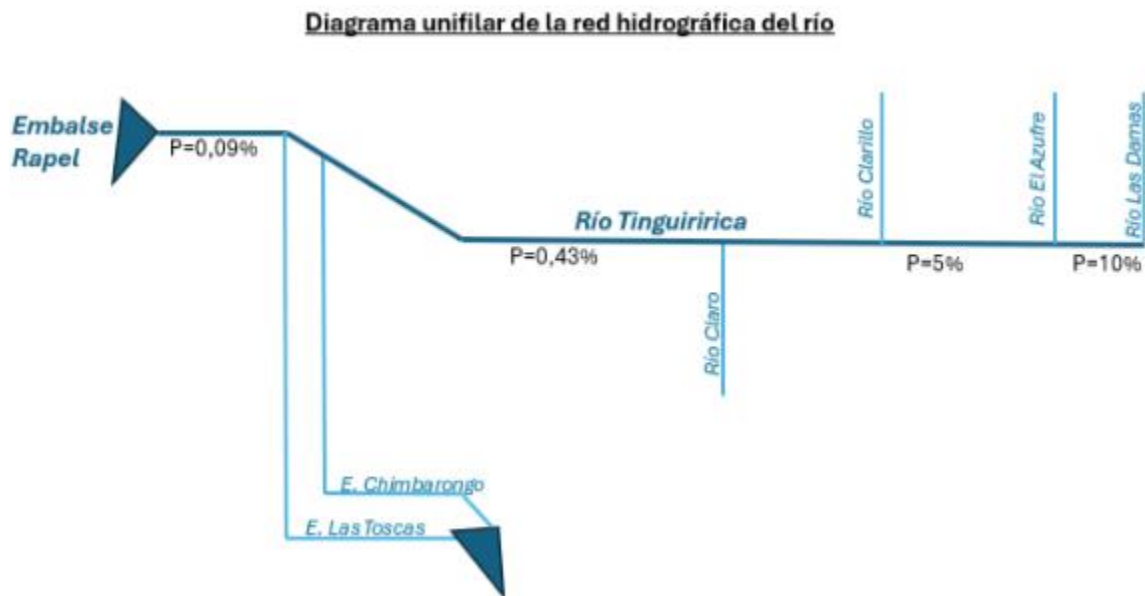


Figura 13. Pendientes subcuenca del Tinguiririca.

Fuente: Elaboración Propia.

1.1.4. Régimen de caudales.

La información que entrega la estación Fluviométrica Bajo Briones de la Dirección General de Aguas, muestra que el río Tinguiririca presenta un régimen mixto, principalmente nivo-glaciar, con un considerable aporte pluvial en los meses de invierno. Sus caudales máximos se presentan en épocas primaverales y mes de diciembre debido a los deshielos de la nieve acumulada durante el invierno en la cordillera de los andes, mientras que los caudales mínimos se presentan en épocas de otoño.

En la figura () se presentan los caudales medios mensuales para distintas probabilidades en base a los datos medidos en dos estaciones:

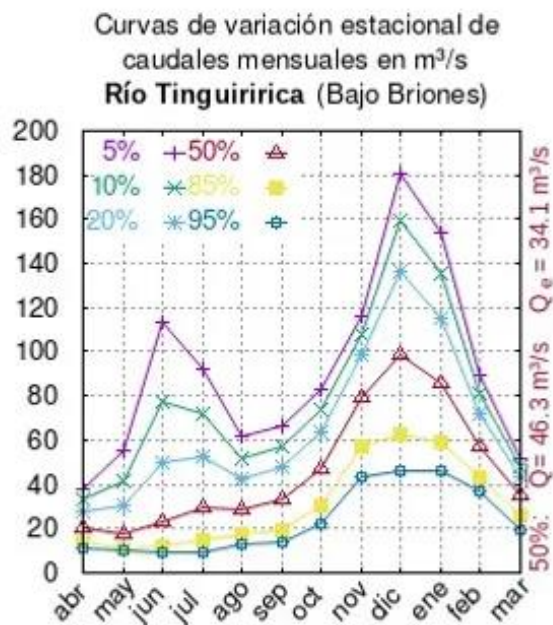


Figura 14. Curva de variación.

Fuente: Estación Bajo lo Briones.

1.1.5. Obras Existentes.

❖ Sector Los Rulos:

En el sector de Los Rulos, ubicado en la ribera norte del río Tinguiririca, se han implementado obras de defensa fluvial mediante enrocados. En octubre de 2021, comenzó un proyecto de conservación de estas defensas, ya que las existentes eran insuficientes para mitigar los desbordes del río durante los aumentos de caudal. Con el propósito de mejorar la seguridad en la zona, la Dirección de Obras Hidráulicas, en colaboración con el Ministerio de Obras Públicas de la Región de O'Higgins, destinó una inversión de \$926.206.192 para la conservación de defensas fluviales con enrocado en el río Tinguiririca, comuna de San Fernando. Estas intervenciones han demostrado un comportamiento óptimo durante las crecidas posteriores a su construcción, previniendo el anegamiento del sector Los Rulos y de las zonas bajas de la ciudad de San Fernando.

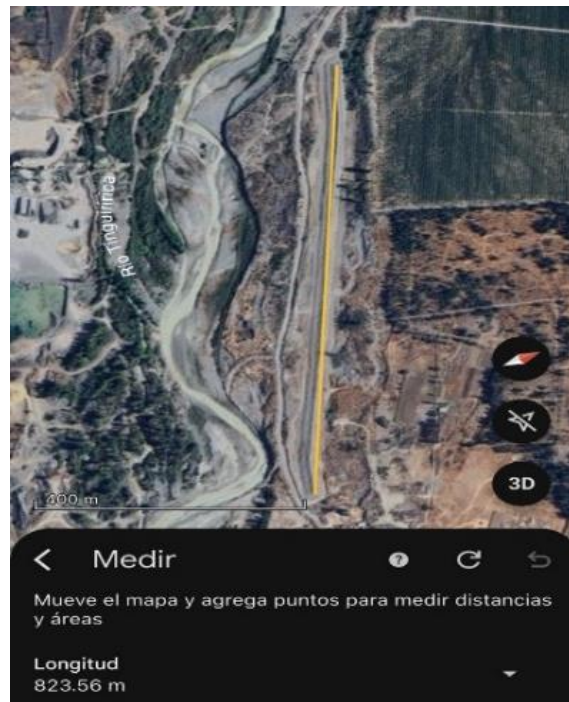


Figura 15. Defensa fluvial sector Los Rulos.

Fuente: Google Earth.

❖ Ribera sur sector la orilla Chimbarongo:

La ribera sur del río Tinguiririca, perteneciente a la Ilustre Municipalidad de Chimbarongo, cuenta con una amplia franja de defensa fluvial compuesta por

taludes reforzados con material fluvial y enrocados para la protección del talud. En esta área, las defensas existentes habían sufrido daños significativos debido a las crecidas invernales, que desplazaron las rocas de protección. La fuerza de la corriente socavó la base del enrocado, generando inestabilidad en la parte superior, la cual eventualmente colapsó, poniendo en riesgo tanto infraestructuras de dominio público como zonas residenciales cercanas.

Actualmente, se llevan a cabo trabajos de reparación y reconstrucción de estas defensas fluviales para restaurar su capacidad de protección. Las intervenciones incluyen la conexión de nuevas obras de enrocado con las estructuras existentes, la construcción de un terraplén con material fluvial, y la colocación de enrocado adicional en el talud para fortalecer la resistencia frente a futuras crecidas. Estas acciones tienen como objetivo asegurar la estabilidad de la defensa fluvial en el sector, preservando la seguridad de las áreas pobladas y minimizando los riesgos de inundación en la ribera sur del río Tinguiririca.



Figura 16. Defensa fluvial sector La Orilla.

Fuente: Google Earth.

❖ Ribera norte sector Pedehue San Fernando:

La ribera norte del río Tinguiririca, bajo la jurisdicción de la Ilustre Municipalidad de San Fernando, cuenta con defensas fluviales tipo espigón en el sector de Arboledas de Pedehue. Estas estructuras están diseñadas para controlar la erosión y proteger áreas clave de la ribera.



Figura 17. Defensa fluvial Pedehue.

Fuente: Google Earth.

A unos 1.300 metros aguas arriba del puente de la Ruta 5, cruza el río una tubería de oleoducto, la cual está protegida por un espigón perpendicular de más de 100 metros de longitud. Sin embargo, esta estructura ha sufrido un desgaste significativo en su extremo más expuesto, debido al impacto de crecidas, tanto en el evento de junio de 2023 como en episodios anteriores. La erosión continua amenaza la estabilidad del espigón y, por consiguiente, la protección de la tubería.

Por lo anterior, el alcalde Pablo Silva Pérez realizó un llamado a las autoridades de la Dirección de Obras Hidráulicas, al director de la Seremi de Obras Públicas y al gobernador regional, solicitando un análisis exhaustivo de los trabajos necesarios en la ribera norte del río Tinguiririca, ya que hasta el momento solo se han implementado mejoras en la ribera sur. Esta petición tiene como objetivo asegurar un enfoque integral en la protección de ambas márgenes del río, dada la urgencia de reforzar las defensas fluviales en el sector de San Fernando y, en particular, en zonas vulnerables como Pedehue.

La falta de medidas en esta área crítica plantea un riesgo importante: en caso de desbordamiento del río a la altura de Pedehue, el agua podría inundar el centro de San Fernando, afectando tanto a la infraestructura urbana como a la población residente. Frente a este escenario, la solicitud del alcalde busca priorizar y planificar una intervención que incluya el refuerzo de espigones, el fortalecimiento de taludes y la implementación de barreras de protección que resguarden efectivamente a las áreas densamente pobladas.



Figura 18. Deterioro Espigón río Tinguiririca sector Pedehue.

Fuente: Elaboración Propia.

❖ Sector los Huertos:

En el sector de los Huertos, ubicado junto al puente Tinguiririca en la Ruta 5, se encuentra una defensa fluvial tipo enrocado que se extiende por 690 metros a lo largo de la ribera. Esta estructura tiene como objetivo principal proteger las áreas circundantes de los desbordes del río. Sin embargo, actualmente no se encuentra en óptimas condiciones, debido al desgaste progresivo provocado por la erosión natural del cauce y por los múltiples eventos de desborde ocurridos a lo largo del tiempo. El deterioro de esta defensa fluvial compromete su eficacia, lo que aumenta el riesgo de inundaciones en las zonas.



Figura 19. Enrocado río Tinguiririca sector Los Huertos.

Fuente: Elaboración Propia.

❖ Bocatomas:

A unos 1.750 metros aguas arriba del puente Tinguiririca de la Ruta 5, se encuentra la bocatoma del canal La Palma, un sector crítico en términos de riesgo de erosión y desbordamiento debido a la necesidad de una obra de canalización del caudal del río hacia este punto. Además, de la mala disposición de las compuertas de la bocatoma ya que se encuentran ubicadas lejos del borde del río, al nivel de la línea de árboles, lo que incrementa la posibilidad de colapso en caso de una crecida significativa del

caudal, dado que esta distancia impide una contención adecuada frente a la crecida del cauce del río.



Figura 20. Bocatoma canal La Palma.

Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, a unos 4.100 metros aguas arriba del mismo puente se ubica la bocatoma del canal Población, la cual presenta problemas similares de erosión y riesgo de rebalse ante crecidas del cauce del río.

En los 5.000 metros de defensas longitudinales que protegen la ribera norte del río Tinguiririca, existen numerosos puntos críticos con riesgos elevados de erosión y rebalse. El doble riesgo se presenta cuando, ante un sobre pasamiento en cualquier sección de la defensa, las aguas acumuladas detrás de las barreras dificultan el retorno al cauce del río.

Estos desbordamientos han tenido consecuencias graves en sectores urbanos; por ejemplo, durante las crecidas de 1986 y 1987, el agua alcanzó la ciudad a través del Camino Real y la calle José Miguel Carrera, afectando amplias áreas habitadas. Este histórico de inundaciones resalta la necesidad de mejorar las defensas fluviales, reforzando los puntos vulnerables y asegurando el correcto flujo de las aguas para evitar el rebalse e inundación de las zonas urbanas aledañas.

1.1.6. Obras Proyectadas.

La Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (DOH) de la Región de O'Higgins realizó un llamado a licitación, mediante la plataforma de Mercado Público, para la ejecución del contrato de obra denominado: "Conservación de Defensas Fluviales en el Río Tinguiririca, Sectores Bajo Los Bravo y Arboleda de Pedehue, Comuna de San Fernando, Región de O'Higgins (01-2024).

Esta licitación tiene como objetivo la realización de obras de conservación y reforzamiento de las defensas fluviales en sectores específicos del río Tinguiririca, un área que se caracteriza por su vulnerabilidad a crecidas e inundaciones, especialmente en épocas de lluvias intensas y deshielos.

La presente licitación comprende las siguientes obras:

- ❖ Reforzamiento en enrocado existente en ribera derecha del río Tinguiririca, San Fernando Bajo los Bravos.



Coordenadas y Georeferenciación del Sector Bajo Los Bravo

Sector	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
Bajo Los Bravo: Inicio de los trabajos	327.740,00	6.161.481,00
Bajo Los Bravo: Fin de los trabajos	327.671,00	6.161.691,00

Figura 21. Obras proyectadas.

Fuente: Mercado Publico.

- ❖ Reconstrucción de 8 espigones sumergidos para reforzar enrocado existente en ribera derecha, peralte de tramo de enrocado existente de 1m en 275 m de longitud en rio Tinguiririca San Fernando Arboleada de Pedehue.

Arboleada de Pedehue



Coordenadas y Georeferenciación del Sector Arboleada de Pedehue

Sector	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
Arboleada Pedehue: Inicio de Peralte	321.355,00	6.166.072,00
Arboleada Pedehue: Fin de Peralte e Inicio de Batería de Espigones	321.088,00	6.166.084,00
Arboleada Pedehue: Fin de Batería de Espigones	320.862,00	6.166.178,00

Figura 22. Sectores de Obras proyectadas.

Fuente: Mercado Publico.

PRESUPUESTO OFICIAL					
ITEM	DESIGNACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1.1	Instalación de Faenas	GI	1	6.400.000	6.400.000
1.2	Desarme y Retiro de Instalaciones	GI	1	840.000	840.000
2	Excavación de Fundación	m3	7.758	3.200	24.825.600
3	Terraplén de Material Fluvial	m3	10.584	3.500	37.044.000
4	Camada de apoyo al geotextil	m2	5.381	1.000	5.381.000
5	Filtro de Geotextil	m2	5.381	2.600	13.990.600
7	Sum. Trans. y Coloc. de Roca Clase 500 kg	m3	2.535	33.000	83.655.000
8	Sum. Trans. y Coloc. de Roca Clase 1000 kg	m3	3.133	36.000	112.788.000
9	Sum. Trans. y Coloc. de Conglomerado de Cantera entre 10 y 100 kg	m3	520	20.000	10.400.000
10	Suministro y Colocación de Tubo Corrugado de Polietileno (PEAD o HDPE) de Alta Densidad, Diámetro 1.200 mm y Canalización	ml	32	220.000	7.040.000
11	Relleno en Zanja y Esparcimiento	m3	4.545	2.500	11.362.500
				Neto	313.726.700
				Iva	59.608.073
				Total	373.334.773

Figura 23. Presupuesto Oficial, Obras proyectadas.

Fuente: Mercado Publico.

1.2. REGISTROS HIDROLOGICOS COMUNA DE SAN FERNANDO.

1.2.1. Registros hidrológicos.

❖ Pluviometría año 2023.

En julio de 2023, la región de O'Higgins registró un déficit en comparación con el promedio histórico de 1991-2020. Las estaciones meteorológicas de Rancagua, San Fernando y Convento Viejo acumularon 42,7 mm, 78,8 mm y 92,7 mm respectivamente, cifras que reflejan una baja en comparación con el promedio para cada estación. Rancagua mostró un déficit del 38% con respecto a su promedio histórico de 258,4 mm, mientras que San Fernando y Convento Viejo presentaron déficits del 34% y 28% en comparación con promedios de 436,7 mm y 421,9 mm, respectivamente. Estos datos indican una reducción significativa en las precipitaciones, lo cual se enmarca en una tendencia de variabilidad climática que afecta a la zona central de Chile.

TABLA 2. Pluviometría, Totales al 31 julio 2023.

PLUVIOMETRIA 2023.

REGION	ESTACION	JULIO	Acumulada a la fecha		promedio 1991-2020 [mm]	exceso o déficit %
			2023 [mm]	2022 [mm]		
O` HIGGINS	RANCAGUA	42,7	161,5	164,4	258,4	-38
	SAN FERNANDO	78,8	289,5	209,5	436,7	-34
	CONVENTO VIEJO	92,7	302,4	284	421,9	-28

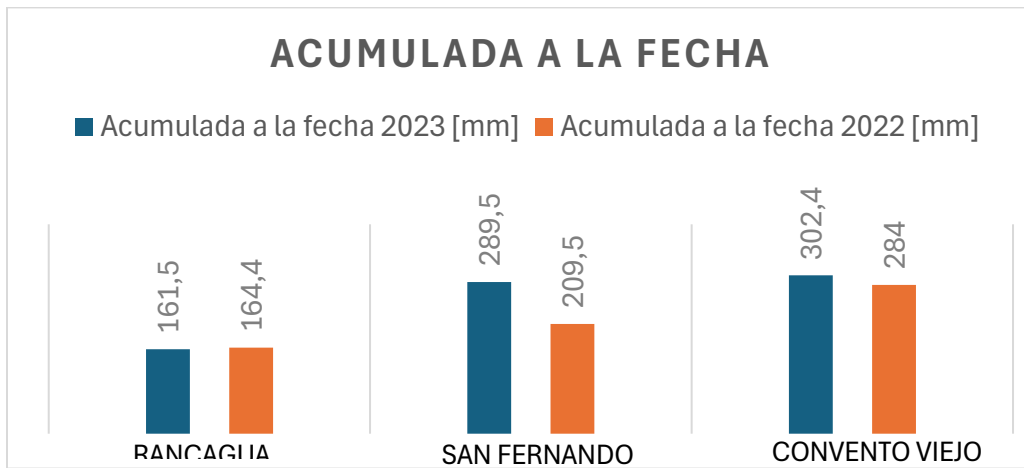


Gráfico 3. Pluviometría Acumulada 2022-2023.
Fuente: Información Pluviométrica, DGA.

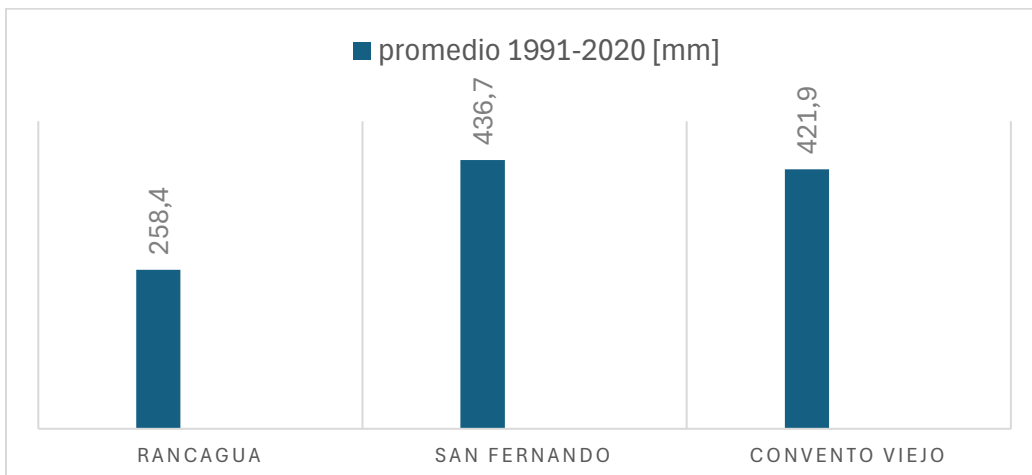


Gráfico 4. Pluviometría, promedio 1991-2020
Fuente: Información Pluviométrica, DGA.

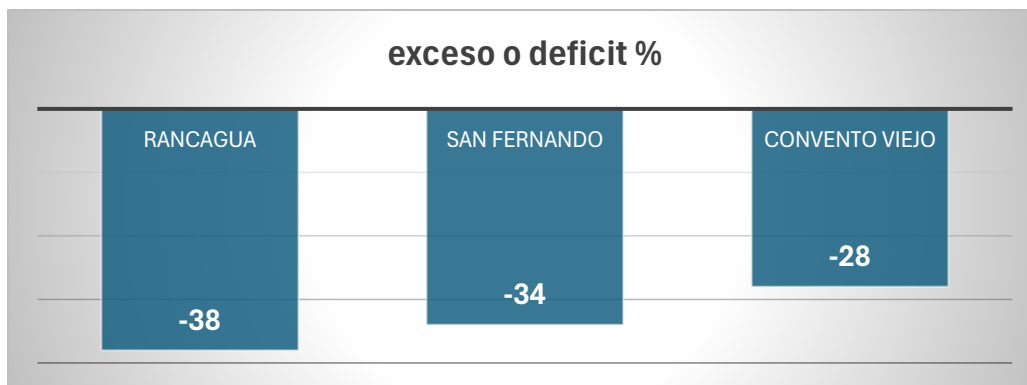


Gráfico 5. Pluviometría Déficit.
Fuente: Información Pluviométrica, DGA.

❖ Variación de caudal medio anual.

TABLA 3. Valores de caudal promedio anual del río Tinguiririca 1983.

VALORES DE CAUDALES PROMEDIO ANUAL DEL RIO TINGUIRIRICA (PLA DGA, 1983)

NOMBRE RIO Y ESTACION	PERIODO UTILIZADO	Q (m3/s)
Río Tinguiririca Bajo los Briones	1951-1980	46,2
Tinguiririca en Los Olmos	1951-1980	46,1

TABLA 4. Valores de caudal medio anual río Tinguiririca 2018-2022.

VALORES DE CAUDAL MEDIO ANUAL DEL RIO TINGUIRIRICA (2018-2022)

NOMBRE RIO Y ESTACION	Caudal medio anual (m3/s)				
	2018	2019	2020	2021	2022
Río Tinguiririca Bajo los Briones	31,98	22,99	30,08	27,91	27,98

A partir de las tablas presentadas, se puede concluir que el caudal medio anual entre los años 1980 y 2022 ha mostrado una disminución, atribuida al calentamiento global y la escasez hídrica que afecta a gran parte del país. A pesar de esta disminución en el caudal, los fenómenos climatológicos que se registran en la región de O'Higgins durante los meses de invierno continúan manifestándose. Si bien se han implementado diversas obras de defensas fluviales a lo largo de ambas riberas del río Tinguiririca para su encauzamiento y la prevención de desbordes, aún existen áreas vulnerables. debido a la falta de infraestructura adecuada y al mantenimiento insuficiente de las defensas existentes.

❖ Eventos climatológicos significativos en meses de invierno.

En invierno se presentan fenómenos climatológicos en la región, los cuales provocan precipitaciones intensas aumentando significativamente el caudal del río Tinguiririca. Estas condiciones climáticas generan desbordes, anegamientos temporales y aumentos significativos del caudal, sobrepasando la capacidad de los cauces y ocasionando inundaciones en las áreas cercanas a las riberas. Además, el arrastre de sedimentos incrementa la capacidad de erosión y socavación del río (Hauser, 1990).

- Registro hidrológico del evento climatológico ocurrido en mayo y junio de 1986
- Registro hidrológico del evento climatológico ocurrido en julio de 1987.
- Registro hidrológico del evento climatológico ocurrido en junio de 2023

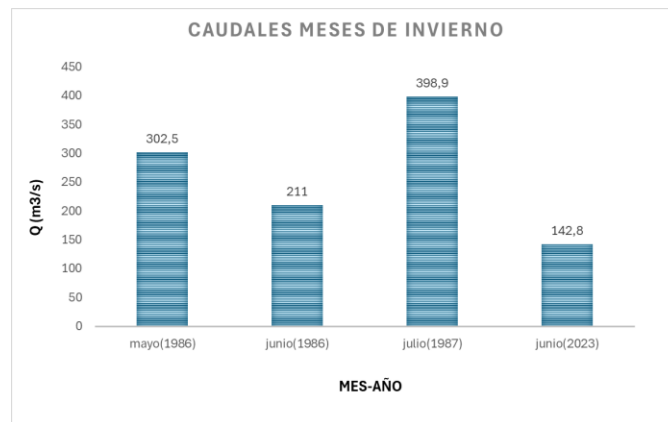


Gráfico 6. Fluviometría 2022-2023, estación Bajo Lo Briones
Fuente: Boletín N°543 información Fluviométrica, pluviométrica DGA.

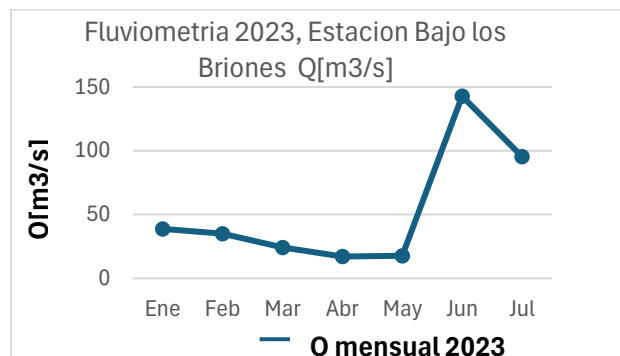


Gráfico 7. Fluviometría 2022-2023, estación Bajo Lo Briones
Fuente: Boletín N°543 información Fluviométrica, pluviométrica DGA.

1.2.2. Recopilación de antecedentes históricos de inundaciones causadas por el río Tinguiririca en San Fernando.

TABLA 5. Recopilación de antecedentes.

Fuente	Fecha	Contenido.
Diario La Región	07-1984	<ul style="list-style-type: none"> - Graves daños causó el temporal en Colchagua - A 73 alcanzaba hasta ayer el número de familias afectadas por el temporal que afectó a gran parte del territorio nacional. - Los sectores más afectados corresponde a: Los Huertos, Villa O'Higgins, Ampliación Población 18 de septiembre, Talcaehue y Polonia. - El camino de San Fernando a Pichilemu continúa anegado en el sector de Alcones, así como también se encuentra cortado el tránsito ferroviario.
Diarios: -La Tercera -Las últimas noticias -El rancagüino -La Región	06-1986	<ul style="list-style-type: none"> - El temporal de lluvia y nieve que afecta a la región ha dejado 21 damnificados en la comuna de San Fernando provocando, además, el corte de la Ruta 5 Sur en el sector denominado Descarga 1. - 28 familias fueron evacuadas desde la ribera sur del río Tinguiririca, ante la crecida de dicho cauce. - La crecida del río Tinguiririca provocan la destrucción de puentes en Chépica y Cardenal Caro. -El aumento del caudal del río Tinguiririca provocó El desmoronamiento del terraplén norte del puente Cadena 1. -35 familias damnificadas, 200 adultos y 100 menores -Grave situación de la Ruta 5 Sur entre los kilómetros 140 y 143, en donde el río Tinguiririca dañó severamente el terraplén. - Serios problemas en el sector sur de San Fernando debido al corte de la carretera panamericana ocasionada por el desborde del río Tinguiririca en Pedehue. - El cauce ingresó a la ciudad por la salida al sur, inundando completamente calles y poblaciones, alcanzando incluso el centro de la ciudad. - Intensos trabajos sobre el destruido puente de la Ruta I-50 en el río Tinguiririca. - La Av. Manuel Rodríguez se convirtió en un verdadero río inundando todo el sector sur de San Fernando y dejando numerosas viviendas dañadas. - El río Tinguiririca arrasó con los 4 puentes más importantes de San Fernando: Las Peñas, Talcaehue, Tinguiririca Puente Nuevo y Tinguiririca Puente Viejo. Además, destruyó por completo los caminos de la Panamericana Sur y dejó un saldo de 5.000 damnificados y 600 casas dañadas. -El sector sur poniente de la ciudad de San Fernando se encuentra totalmente inundado, afectando a 6 manzanas y 6.000 personas. Muchas casas ya se han empezado a desmoronar por los efectos del agua. - El río Tinguiririca se introdujo hasta dicho sector por calle Cancha rayada y mantiene un nivel de agua de 80 cm desde hace 5 días. - El Tinguiririca inundó la población Los Huertos. En algunas casas hasta el techo de las casas. - El agua alcanzó profundidades de un metro y medio en los callejones de la población. - El río también causó estragos en la población Los Areneros a pocos metros de la anterior, donde la gente tuvo que ser evacuada. - El caudal también destruyó parte del puente del camino San Fernando – Santa Cruz. - La inundación de la población O'Higgins y todo el sector de Los Palacios y Cancha Rayada hasta el sector de La Ramada, debido al desborde del río Tinguiririca, es la situación más grave que persiste en San Fernando. - Se está trabajando con maquinaria pesada para encauzar el río, lo que ha resultado muy difícil por la fuerza del agua y la falta de material pétreo para controlar el desborde. - En el campamento O'Higgins la situación es más dramática ya que el agua impide el acceso, encontrándose aislados cientos de familias. - Agricultores y camioneros han perdido millones de pesos - La fuerza del río Tinguiririca arrastró el cabezal sur del puente de la Ruta 5.
	07-1987	<ul style="list-style-type: none"> - En San Fernando, el desborde de los ríos ha inundado casi completamente la ciudad. - Los puentes ferroviario y carretero quedaron inutilizables. - La estación de ferrocarriles estaba con más de 40 centímetros de agua en sus vías. - El puente metálico provisorio también quedó inutilizable. - Esta mañana se desbordó el río Tinguiririca en el sector del puente de la Ruta 5 Sur, km 141, e inundará sectores vecinos de Los Huertos y Tinguiririca haciendo peligrar la Villa O'Higgins. - 80% de San Fernando quedó inundado por la salida del cauce del río Tinguiririca. - San Fernando concentró el mayor número de personas afectadas en la provincia. - Mas de 25 mil damnificados en la región. - El intendente regional calificó como crítica la situación en San Fernando, debido a las lluvias y desbordos del río Tinguiririca. - San Fernando es arrasada por las aguas del río Tinguiririca por el Sur y estero Antivero por el Norte. - Verdaderos ríos bajaban ayer por las calles principales hacia el sector poniente. - Las calles O'Higgins y Manuel Rodríguez quedaron completamente inundadas. - El patio de la estación de FFCC está completamente anegado, al igual que la Plaza y los edificios públicos. - El Gobernador Provincial señaló que el aniego de San Fernando es de un 80% de la ciudad. Suspendido tráfico de trenes. - El aumento del caudal del río Tinguiririca provocó el desmoronamiento del terraplén norte del puente. 35 familias damnificadas, 200 adultos y 100 menores. - En San Fernando la ruta está cortada en dos partes en un tramo de 50 m debido a la gran fuerza del río Tinguiririca. - En las cercanías de San Fernando el río Tinguiririca cortó un tramo de 50 m a 2 km., el agua inundó las instalaciones de la empresa Agrofoods

		<ul style="list-style-type: none"> - Una crítica situación enfrentan millares de familias que habitan en el sector sur poniente de la ciudad en San Fernando. - El desborde del Tinguiririca ha dejado al 30% de la comuna de San Fernando bajo el agua. - El número de damnificados se mantiene en 15 mil y los albergados sobrepasan los 1. 500. - La provincia ha sufrido significativos daños agrícolas en el valle del Tinguiririca y en las zonas de desbordes del estero Antivero. - El desborde del río Tinguiririca provocó que la población O'Higgins quedara bajo las aguas. - Más de 10 mil damnificados en la capital Colchagua. - A cerca de 3.000 personas del sector de villa O'Higgins y Tropezón, al sur poniente de San Fernando, benefició el operativo cívico-militar realizado ayer.
Diario La Tercera	05-1993	-Debido a las abundantes lluvias en la zona, el río Tinguiririca aumentó peligrosamente su caudal, ensanchando su cauce natural
Diario El Rancagüino	07-2000	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal en el río Tinguiririca aumentó a 700 m³/s. - La Seremi de Obras Públicas reconoció la existencia de problemas en una serie de defensas fluviales. - El Tinguiririca se desbordó en algunos sectores - Desde el viernes permanece suspendido el tránsito de trenes hacia el Sur por el puente ferroviario del Tinguiririca debido a las crecidas del río que destruyeron los cimientos del puente, socavando el terreno. - Las fuertes lluvias y el alta isoterma de los últimos días provocan que durante la tarde del viernes comenzaran a ceder algunas defensas del río Tinguiririca. - Daños de magnitud en el puente de la Ruta I-50 sobre el río Tinguiririca. - El presidente Lagos visitó las riberas del Tinguiririca para verificar los daños provocados por las crecidas. - El intendente señaló que la prioridad es encauzar ríos y esteros
Diario El Rancagüino	07-2005	<ul style="list-style-type: none"> - La Gobernadora de Colchagua señaló que gracias a los trabajos que se ha realizado en la cuenca del río Tinguiririca, es que el gran caudal no generó problemas. - Se llevó un espigón al sector de Los Huertos para reforzar el trabajo de las defensas.
Diario El Rancagüino Diario IV Región	08-2005	<ul style="list-style-type: none"> - A las 6:30 de la mañana las estaciones que marcan el paso de las aguas del Tinguiririca registraron caudales elevados. - En el sector de Los Huertos el Tinguiririca estuvo a punto de desbordarse. - Una de las mayores preocupaciones fue el comportamiento de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Ambos fueron monitoreados puesto que, debido a la persistente lluvia, los hicieron marcar altos índices de concentración de agua. El Tinguiririca superó en su momento los 600 metros cúbicos por segundo.
Diario El Rancagüino ONEMI	07-2006	<ul style="list-style-type: none"> - Los 138,3 mm de agua caída en San Fernando provocaron una inusual crecida del Tinguiririca que superó los 1.350 m³/s. -Se declara Alerta Roja comunal, por aumento de caudal del Río Tinguiririca
Diario El Tipógrafo	04-2016	<ul style="list-style-type: none"> -Debido al aumento de caudal del río Tinguiririca se estableció Alerta Roja para las comunas de San Fernando, Placilla y Nancagua -La mayor intensidad del sistema frontal se registra en O'Higgins, lo que ha traído problemas como cortes de camino de la ruta I45, especialmente en el kilómetro 70 y 46, por la crecida del río Tinguiririca y por el deslizamiento de tierra, lo que ha significado que aproximadamente 200 personas permanezcan aisladas -En San Fernando se registró un leve desprendimiento de material en la Ruta H-90 y el desborde de un canal, el cual provocó la inundación del camino.

1.2.3. Diagrama de Ishikawa, Espina de pescado (Causa – Efecto).

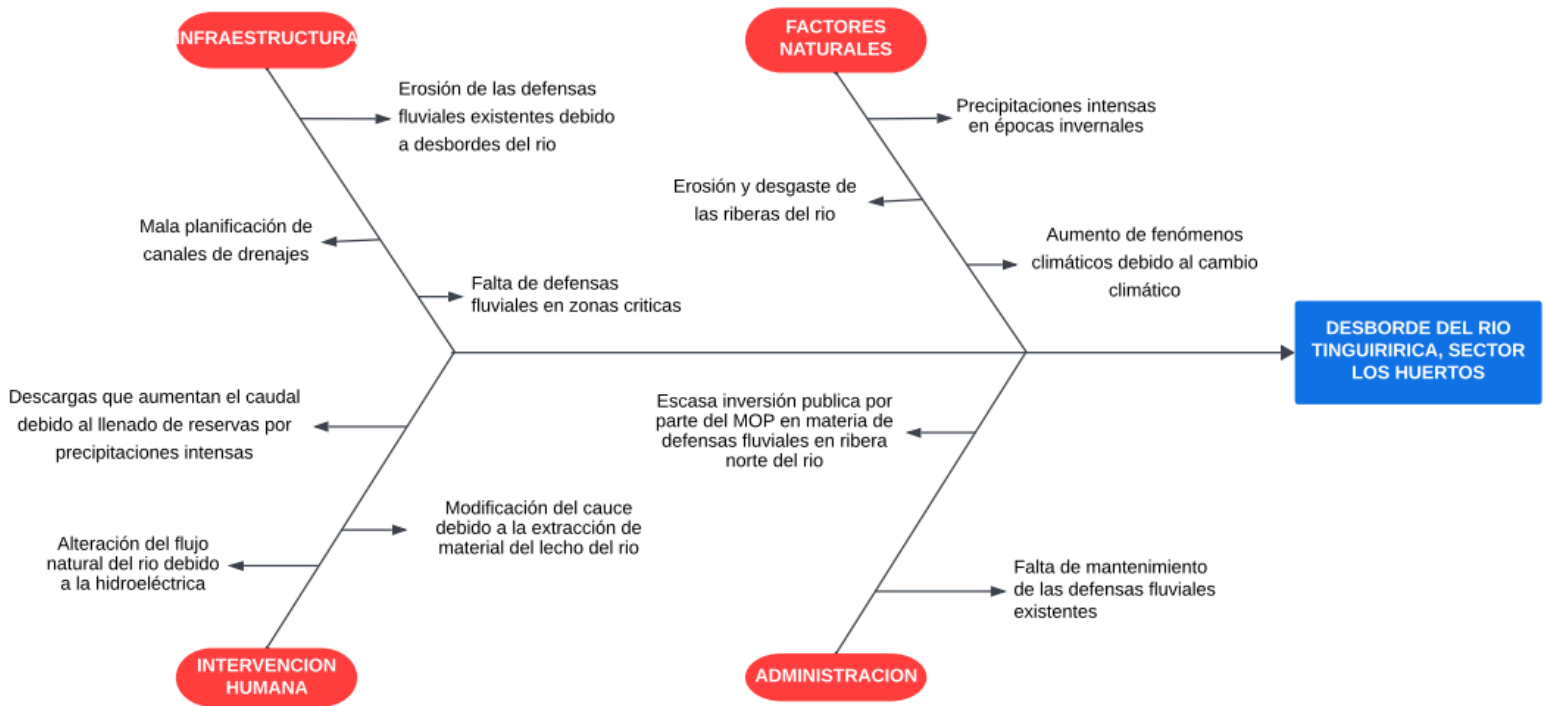


Figura 24. Diagrama Ishikawa causa-efecto.

Fuente: Elaboración Propia.

1.3. IDENTIFICACION DE ZONAS CRITICAS DE DESBORDE DEL RÍO TINGUIRIRICA, SECTOR LOS HUERTOS.

1.3.1. Área de estudio.

El área de estudio se ubica en la ribera norte del río Tinguiririca, Región de O'Higgins. Esta zona limita con el sector de Los Huertos, perteneciente a la ciudad de San Fernando, una localidad caracterizada por su actividad agrícola y su rol como centro de servicios y comercio para sus comunas aledañas. El río Tinguiririca atraviesa el Valle de Colchagua, siendo fundamental para el sistema de riego de los cultivos locales, especialmente de viñedos y frutales.

La ribera norte del río Tinguiririca es un área de gran importancia ecológica y económica. Los suelos de esta región son fértiles y, combinados con el clima mediterráneo de la zona central de Chile, permiten una agricultura diversificada.

El clima se caracteriza por inviernos lluviosos y veranos secos, con una pluviometría anual que ha mostrado tendencias de variabilidad en los últimos años, afectando la disponibilidad de agua en la cuenca. De acuerdo con el Plan de Desarrollo Comunal, San Fernando posee un clima Templado –Cálido con estación seca prolongada (entre 5 y 6 meses). La temperatura más baja del año posee registros inferiores a 12°C y superiores a 2°C. Sin embargo, en invierno las temperaturas mínimas, pueden llegar a ser inferiores a 0°C. Mientras que, en verano, las temperaturas pueden llegar a superar los 30°C.



Figura 25. Área de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 6. Características del Área de estudio.

CARACTERISTICAS ÁREA DE ESTUDIO	
TIPO DEFENSA FLUVIAL	Enrocado
LONGITUD DE ENROCADO EXISTENTE	690 metros
LONGITUD DE ENROCADO PROYECTADO	420 metros
LOCALIDAD ALEDAÑA	Los Huertos
OBRAS EXISTENTES	Puente Tinguiririca, Ruta 5
ANCHO DEL RIO	210,83 metros
AREA DE ESTUDIO	439,950 m2 aprox.

1.3.2. Zonas críticas ribera norte del río Tinguiririca.

Para la identificación de las zonas críticas de la ribera del río Tinguiririca, se consideraron los registros hidrológicos analizados en el punto **1.2.1. Registros Hidrológicos** del presente trabajo de título el cual contempla los eventos recurrentes de precipitaciones intensas en meses de invierno, las cuales han causado el desborde del río Tinguiririca en la ciudad de San Fernando.

- ❖ La primera zona crítica se encuentra a 690 metros aguas abajo del puente Tinguiririca, en la Ruta 5, específicamente entre el final de la defensa enrocada y primer espigón que protege el oleoducto.



Figura 26. Primera zona crítica.

Fuente: Google Earth.

Este sector ha sido identificado como altamente vulnerable debido a la erosión constante provocada por el cauce del río, que en esta área fluye con gran energía. Durante las crecidas, que son más frecuentes e intensas en los meses de invierno debido a precipitaciones intensas.



Figura 27. Erosión de ribera norte.

Fuente: Elaboración propia.

En junio de 2023, tras un evento climatológico severo que afectó a la región, la municipalidad realizó intervenciones de emergencia para mitigar el impacto. Se construyeron más de 200 metros de un muro provisional con el fin de contener el caudal. Sin embargo, estas medidas no fueron suficientes para detener el ingreso del agua hacia el sector de Los Huertos. A pesar de los esfuerzos, la magnitud del caudal superó la capacidad de la estructura temporal, lo que resultó en inundaciones en áreas colindantes, tal como se ilustra en las siguientes imágenes:



Figura 28. Desborde del Río Tinguiririca 2023.

Fuente: Diario La Tercera.



Figura 29. Ribera norte.

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ La segunda zona crítica se localiza a un costado del puente Tinguiririca en la Ruta 5, donde la estructura de enrocado presenta una interferencia que compromete su efectividad. En esta área, la protección fluvial es insuficiente para contener el caudal del río, lo que permite que el agua se filtre e ingrese a los terreno adyacente a la ribera.



Figura 30. Segunda zona critica.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 31. Desborde del Río Tinguiririca 2023.

Fuente: Diario La Tercera.

1.3.3. CONCLUSION CAPITULO I.

En este capítulo se abordó de manera integral la caracterización física, hidrológica y geográfica del río Tinguiririca, incluyendo su extensión, cuenca, régimen de caudales y pendientes. Estos elementos permitieron comprender la dinámica fluvial del río y los factores que lo hacen susceptible a desbordamientos, especialmente en el sector Los Huertos de la comuna de San Fernando.

A través del análisis de registros históricos, se evidenció una tendencia repetitiva de crecidas durante los meses invernales, agravada por la carencia de defensas fluviales en zonas críticas y deterioro de las defensas existentes debido al poco mantenimiento realizado por parte del ministerio de obras hidráulicas del MOP.

La identificación de zonas críticas, respaldada por observaciones de campo y registros hidrológicos, permitió delimitar dos áreas de alto riesgo. Estas se encuentran asociadas a problemas de erosión, deficiencias en la infraestructura de enrocados, deficiencia en la infraestructuras de canalización y filtraciones que comprometen tanto la seguridad de los habitantes como la estabilidad de las estructuras existentes. Este análisis inicial establece las bases para las soluciones técnicas propuestas en los capítulos posteriores, subrayando la necesidad urgente de reforzar e implementar defensas fluviales en puntos estratégicos.

2. CAPÍTULO II: DESARROLLO DE PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA DE DEFENSA FLUVIAL PARA LA RIBERA NORTE DEL RÍO TINGUIRIRICA, SECTOR LOS HUERTOS – SAN FERNANDO.

2.1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS BASICOS (MANUAL DE CARRETERAS VOL.3)

Se define como obra de defensa fluvial a toda obra destinada a dirigir o regularizar la corriente en un cauce con el fin de proteger estructuras, riberas y planicies adyacentes donde existan asentamientos humanos, terrenos agrícolas e instalaciones industriales o de otro tipo que pudiesen ser dañadas por el agua.

Entre los tipos de obra de defensas fluviales se encuentran las defensas longitudinales que son utilizadas tanto para prevenir inundaciones de terrenos aledaños al cauce, como para evitar la erosión y dar estabilidad a las riberas sometidas al ataque de la corriente. Estas obras tienen la ventaja de fijar la orilla protegida en forma definitiva, además se diseñan de manera de no reducir el área hidráulica original o área del cauce primario. Sin embargo, en el caso de cauces con riberas o cauce primario poco definido, el trazado de las defensas longitudinales debe ser avalado por un estudio hidráulico y mecánico fluvial, de manera que la reducción del área de escurrimiento no provoque descensos excesivos en el nivel del lecho producto del aumento de velocidades del flujo.

En las siguientes láminas extraídas del manual de carreteras se muestran esquemas de las defensas longitudinales de un enrocado:

DEFENSA LONGITUDINAL DE UN ENROCADO.

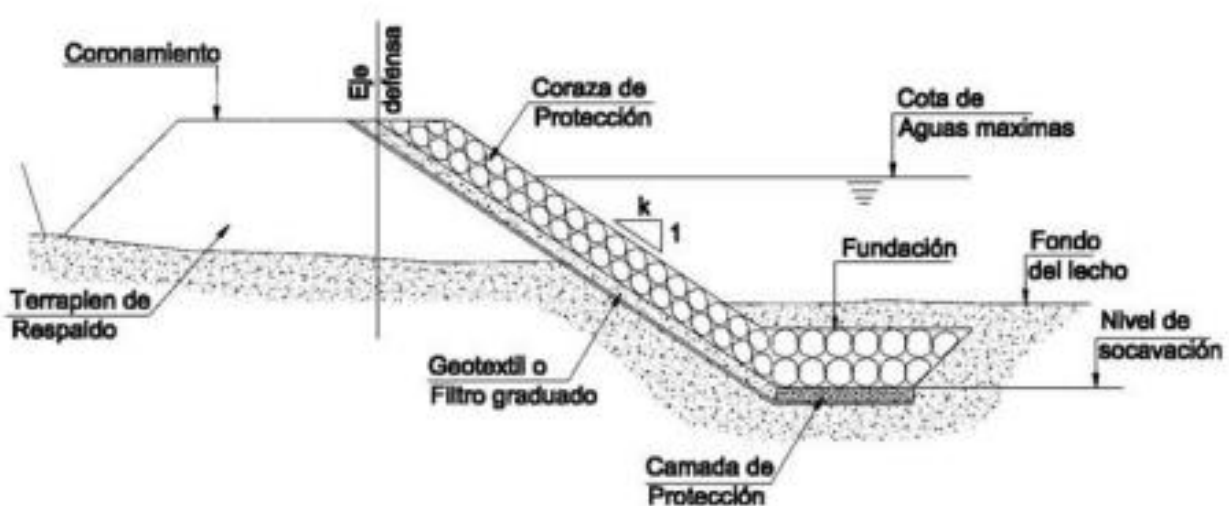


Figura 32. Esquema de enrocado
Fuente: Manual de Carreteras Vol.3.

DEFENSAS LONGITUDINALES CORRIDAS EN CURVA Y CONTRA CURVA

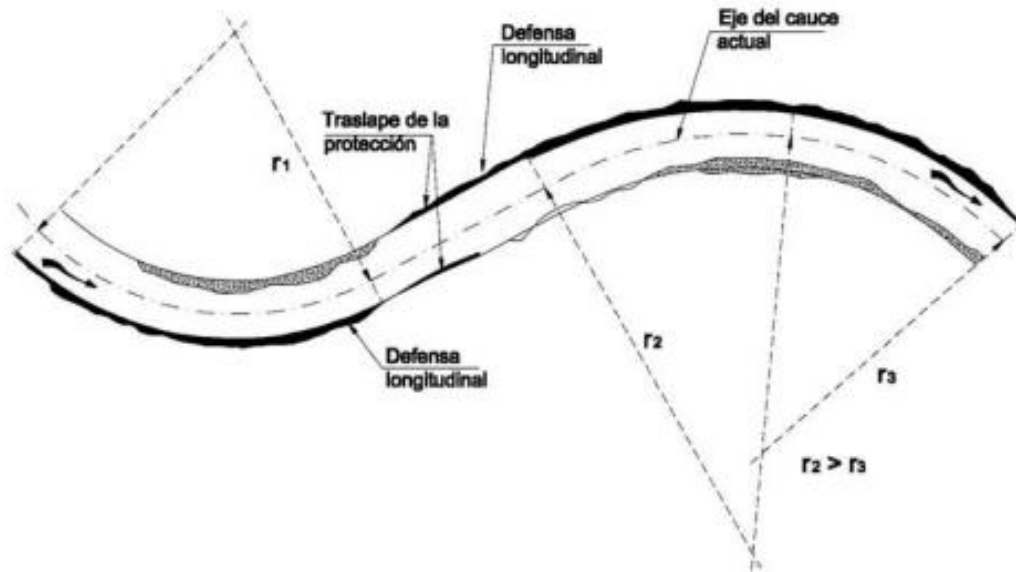


Figura 33. Esquema de enrocado en curva

Fuente: Manual de Carreteras Vol.3.

DEFENSAS LONGITUDINALES EN PUNTOS LOCALIZADOS EN CURVA Y CORRIDAS EN CONTRA CURVA:

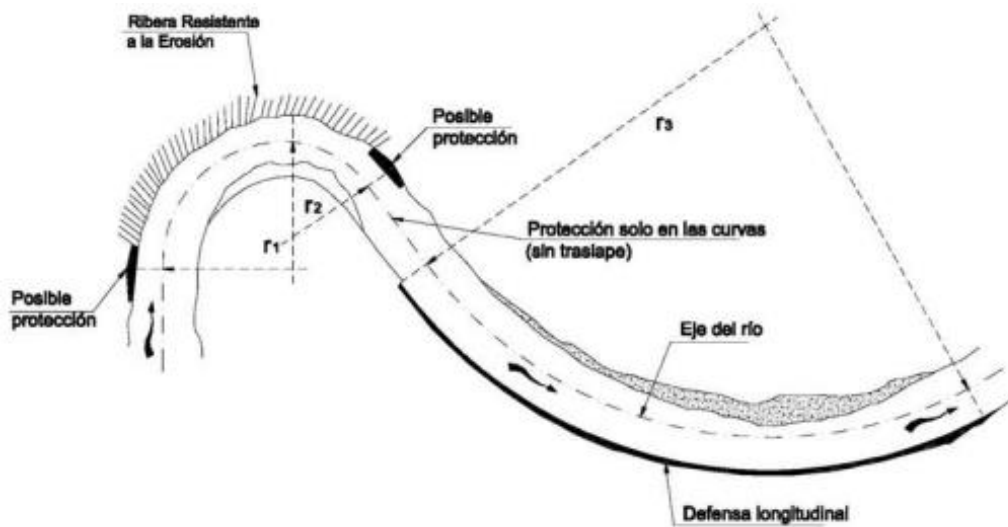


Figura 34. Esquema de enrocado en contra curva.

Fuente: Manual de carreteras Vol.3.

2.1.1. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL ENROCADO.

Enrocados. Son elementos ampliamente usados en la construcción de defensas fluviales, principalmente a la materialización de corazas o armaduras de taludes y a protección de fondo al pie de obras disipadoras p de descarga, tienen la ventaja de ser más económicos que otros tipos de elementos.

Coraza. Corresponde a la parte de defensa expuesta directamente al escurrimiento, tiene por objetivo proteger de la erosión el talud de un terraplén o la ribera. Dependiendo de la materialidad esta puede ser permeable como es en el caso de enrocados, gaviones y elementos prefabricados, o impermeables como son las losetas de hormigón y las tablestacas.

Fundación. Corresponde a la base de apoyo de la defensa que se ubica bajo el lecho. La profundidad que deberá alcanzar dicha fundación queda determinada por la socavación generalizada.

Coronamiento.

Talud. Corresponde a la cara perfilada de la ribera de un cause o terraplén, que conforma la estructura de apoyo de la obra de defensa. La inclinación del talud deberá ser tal que asegure la estabilidad de la estructura según el tipo de material y también según el tipo de maquinaria a usar en su construcción y el tipo de coraza que soportará.

Coronamiento. Es la parte más alta con la cual culmina superiormente una obra de defensa fluvial. En el caso de una obra de defensa longitudinal, la cota o nivel que debe tener el coronamiento queda determinado por la altura máxima de escurrimiento.

Usualmente el coronamiento considera un ancho mínimo tal, que permita la construcción y posterior inspección de la obra, pudiendo incluso tener un ancho suficiente para la circulación de vehículos y maquinaria.

En el caso que la defensa sobresalga por sobre el nivel de la ribera, el coronamiento necesariamente debe considerar un cierto ancho que proporcione la estabilidad necesaria a la estructura del terraplén donde se apoyará la coraza.

2.2. CRITERIOS DE DISEÑO PARA DEFENSAS FLUVIALES SEGÚN EL MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 3.

2.2.1. PERIODO RETORNO DE DISEÑO.

El Manual de Carreteras señala que en la elección del período de retorno, frecuencia o probabilidad de excedencia de una obra es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil y el riesgo de falla aceptable.

La confiabilidad del diseño se traduce en la probabilidad de que no falle durante el transcurso de su vida útil. El riesgo de probabilidad de falla se determina en función del período de retorno (T) y la vida útil (n):

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^n$$

En base a lo anterior, el manual de carreteras establece los siguientes requisitos mínimos para el diseño.

TABLA 7. Requisitos de diseño según Manual de Carreteras.

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (T, años)		Vida Útil Supuesta (n, años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño	Verificación		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos	Carreteras	200	300	50	22	15
	Caminos	100	150	50	40	28
Alcantarillas (S>1,75 m2)	Carreteras	100	150	50	40	28
o H terrap>10m y est. Enterradas	Caminos	50	100	30	45	26
Alcantarillas (S<1,75 m2)	Carreteras	50	100	50	64	40
	Caminos	25	50	30	71	45
Drenaje de la	Carreteras	10	25	10	65	34
Plataforma	Caminos	5	10	5	67	41
Defensas de Riberas	Carreteras	100	-	20	18	-
	Caminos	100	-	20	18	-

De lo anterior se establece que para el diseño de defensas fluviales se debe considerar un período de retorno de 100 años, vida útil de 20 años y riesgo de falla de 18%.

2.2.2. CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO (Q).

De acuerdo con la información disponible, el cálculo del caudal de diseño se realizó empleando el método racional, es un cálculo donde se utiliza una fórmula para estimar el caudal en cuencas pequeñas. Los datos necesarios para aplicar este método fueron obtenidos tanto del Manual de Carreteras volumen 3, del Ministerio de Obras Públicas (MOP) como de información específica de la comuna de San Fernando. Este enfoque permite calcular el caudal de diseño a partir de una fórmula sencilla pero efectiva, que relaciona variables clave del sistema hidrológico y las características de la cuenca en estudio.

El método racional es particularmente adecuado para cuencas de tamaño reducido, debido a que asume que las condiciones de precipitación son uniformes en toda la cuenca durante el evento de diseño. Además, su simplicidad lo convierte en una herramienta útil para proyectos de infraestructura de defensa fluvial, especialmente en áreas donde la información hidrológica detallada es limitada.

$$Q = C * I * A$$

Donde:

Q: Representa el caudal de diseño expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

C: Es el coeficiente de escorrentía, un valor adimensional que depende de diversos factores como el uso del suelo, la pendiente del terreno y las características del tipo de suelo. Este coeficiente refleja la proporción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial.

I: Representa la Intensidad de lluvia expresada en milímetros por hora (mm/h) correspondiente a un periodo de retorno específico que se define en función del diseño del proyecto.

A: Representa el Área de la cuenca o subcuenca expresado en kilómetros cuadrados (km^2).

PASO 1: Obtención de datos.

- Curvas de intensidad IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia de Lluvias):

Las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) son herramientas esenciales en el análisis hidrológico, ya que permiten estimar la intensidad de la precipitación en función de la duración del evento y el periodo de retorno. Estas curvas son cruciales para diseñar obras de drenaje, evaluar riesgos de inundación, realizar estudios de planificación territorial.

En este estudio, tal como lo indica el manual de carreteras se consideró un periodo de retorno de $T= 100$ años y una duración de 1 hora, criterios comúnmente utilizados en el diseño de infraestructura hidráulica, diseño de infraestructura de defensa fluvial y gestión de riesgos. La información utilizada para construir las curvas IDF proviene del análisis de datos pluviométricos recopilados de 36 estaciones meteorológicas distribuidas en la cuenca.

La tabla 3.702.402.A presenta un resumen de los resultados obtenidos, incluyendo los valores máximos de intensidad para diferentes combinaciones de duración y periodo de retorno. Además, se ilustra la localización geográfica de las estaciones, lo que permite identificar áreas de influencia y mejorar la precisión de los cálculos. Estos datos son fundamentales para generar una familia de curvas IDF representativas de las condiciones climáticas locales, facilitando estimaciones más precisas para zonas cercanas a cada estación considerada.

TABLA 8. Valores de curva IDF, Manual de carreteras volumen 3.

TABLA 3.702.402.A (CONTIN.)

Estación Pluviográfica	Período de retorno (años)	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Santiago- San Joaquín	10	11,38	8,91	6,96	6,25	5,53	5,04	4,31	4,19	3,71	3,04
	25	13,46	10,40	8,15	7,37	6,58	6,06	5,18	5,09	4,56	3,77
	50	15,00	11,51	9,03	8,21	7,36	6,81	5,83	5,76	5,20	4,31
	100	16,52	12,60	9,90	9,04	8,14	7,57	6,47	6,43	5,83	4,85
Pirque	10	10,50	8,58	7,43	6,56	6,02	5,58	5,14	4,80	4,43	4,04
	25	12,18	9,84	8,57	7,55	7,01	6,55	6,08	5,68	5,34	4,96
	50	13,43	10,78	9,42	8,28	7,75	7,28	6,77	6,34	6,02	5,65
	100	14,67	11,71	10,26	9,01	8,48	8,00	7,46	6,99	6,60	6,33
Melipilla	10	11,65	10,36	8,63	7,76	6,86	6,22	5,64	5,31	4,81	4,11
	25	14,34	12,66	10,51	9,48	8,39	7,64	6,95	6,57	6,01	5,16
	50	16,34	14,37	11,90	10,76	9,52	8,69	7,91	7,50	6,90	5,94
	100	18,33	16,07	13,28	12,02	10,65	9,73	8,87	8,43	7,78	6,71
Rapel	10	15,09	11,90	8,69	8,04	7,19	6,57	6,16	5,70	5,22	4,26
	25	17,56	13,84	9,98	9,42	8,42	7,75	7,33	6,84	6,38	5,20
	50	19,40	15,28	10,94	10,43	9,34	8,62	8,20	7,68	7,23	5,90
	100	21,22	16,71	11,89	11,44	10,25	9,49	9,06	8,52	8,08	6,60
Llallauquén	10	14,24	11,09	8,87	7,38	6,38	5,72	5,20	4,82	4,25	3,68
	25	17,34	13,14	10,48	8,69	7,56	6,84	6,26	5,84	5,17	4,55
	50	19,64	14,66	11,67	9,67	8,42	7,67	7,05	6,59	5,85	5,19
	100	21,93	16,17	12,85	10,63	9,29	8,50	7,83	7,34	6,53	5,82
San Fernando	10	18,43	15,98	13,11	11,34	10,23	9,53	8,87	8,24	7,37	6,51
	25	22,13	19,03	15,60	13,47	12,15	11,37	10,63	9,90	8,93	7,98
	50	24,88	21,30	17,45	15,04	13,58	12,74	11,94	11,14	10,08	9,07
	100	27,61	23,55	19,28	16,60	14,99	14,10	13,24	12,36	11,23	10,16

-Coeficiente de escorrentía (C):

El coeficiente de escorrentía (C) es un parámetro fundamental en el estudio hidrológico, ya que permite estimar el volumen de agua que escurre sobre una superficie después de un evento de precipitación. Este coeficiente está directamente influenciado por características físicas del terreno como el tipo de suelo, el uso del suelo y la pendiente. Dichos factores determinan la capacidad de infiltración y, por ende, la proporción de agua que se convierte en escorrentía superficial.

El valor de C varía según la cobertura del suelo en una cuenca, reflejando su permeabilidad y su capacidad para retener agua. De acuerdo con valores generalmente aceptados en estudios hidrológicos, los rangos típicos de C son los siguientes:

Áreas urbanas: 0.7 – 0.95. Esto se debe a la alta proporción de superficies impermeables como pavimentos, techos y calles, que limitan significativamente la infiltración del agua.

Terrenos agrícolas: 0.3 – 0.6. La escorrentía depende del tipo de cultivo, la preparación del suelo y las prácticas agrícolas implementadas.

Bosques: 0.1 – 0.4. Los bosques presentan alta capacidad de absorción gracias a la presencia de vegetación densa y suelos ricos en materia orgánica.

En el caso específico de la ribera norte del río Tinguiririca, el entorno está mayormente compuesto por terrenos agrícolas debido a la delimitación natural causada por las inundaciones periódicas. A corta distancia de estos terrenos se encuentra la localidad de Los Huertos, cuyo uso de suelo es predominantemente urbano, caracterizado por viviendas y calles pavimentadas.

Considerando la combinación de estos usos de suelo y sus respectivos coeficientes de escorrentía, se estima un valor promedio de C igual a 0,5 para el área de estudio. Este valor refleja una mezcla de superficies permeables y semipermeables, siendo un punto intermedio adecuado para representar las condiciones predominantes en la ribera norte del río Tinguiririca y la localidad de Los Huertos.

- Área de la cuenca (A):

Para el cálculo del área de la cuenca, se consideró la subcuenca del río Tinguiririca. Según el inventario público de cuencas de la Base Nacional de Aguas (BNA), esta se subdivide en dos secciones principales: el río Tinguiririca Alto y el río Tinguiririca Bajo.

TABLA 9. SUBCUENCAS SEGÚN BNA A NIVEL NACIONAL.

COD_CUENCA	COD_SUBC	NOMBRE	AREAKM2
060	0602	Rio Tinguiririca Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	1843,18
060	0603	Tinguiririca Bajo	2089,26

La suma de las áreas de las subcuencas del río Tinguiririca Alto y del río Tinguiririca Bajo da un área total de 3932,44 km². Este valor representa la extensión total de la subcuenca estudiada, lo que permite realizar análisis hidrológicos precisos y evaluar el comportamiento del recurso hídrico en la región.

PASO 2: Conversión de unidades.

Intensidad de lluvia (I):

Conversión de mm a m $27,61\text{mm} = 0,02761\text{ m}$

Conversión de horas a segundos $I = \frac{0.02761\text{ m}}{3600\text{ s}} = 7.67 \times 10^{-6}\text{ m/s}$.

Área de la subcuenca (A):

Conversión de km² a m² $A = 3932,44\text{ km}^2 = 3932,44 \times 10^6\text{m}^2 = 3,93244 \times 10^9\text{m}^2$

TABLA 10. Datos para cálculo de caudal de diseño.

ITEM	VALOR
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (C)	0.5
INTENSIDAD DE LLUVIA (I)	$7.67 \times 10^{-6}\text{ m/s}$.
AREA DE LA SUBCUENCA (A)	$3,93244 \times 10^9\text{ m}^2$

PASO 3: Sustitución de valores en la formula.

$$Q = 0,5 * (7,67 * 10^{-6}) * (3,93244 * 10^9) = 15.078,8\text{ m}^3/\text{s}$$

Como resultado final se obtuvo un caudal de diseño de $15.078,8\text{ m}^3/\text{s}$

2.2.3. MODELACIÓN DE DATOS EN PROGRAMA HCANALES V 3.0:

INFORMACIÓN DE ENTRADA:

1.Caudal (Q):

-Caudal de diseño (Q)= $15.078,8 \text{ m}^3/\text{s}$

2.Ancho de solera (b):

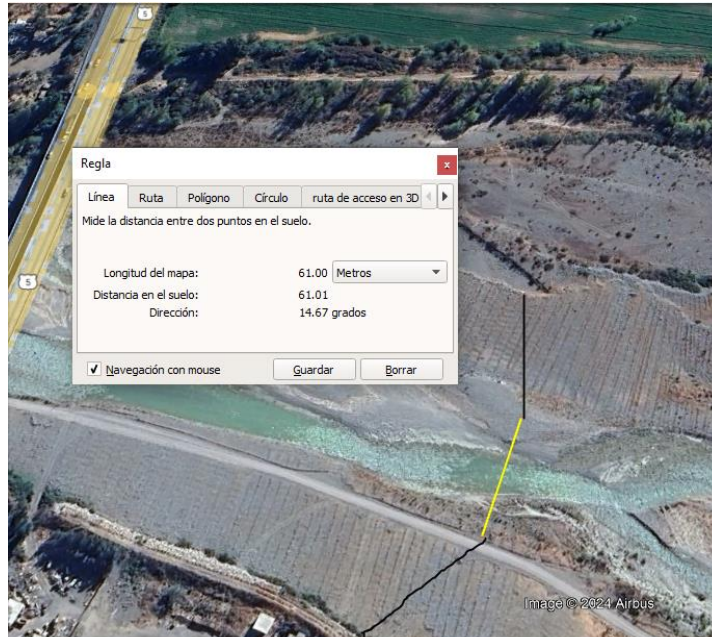


Figura 35. Ancho de solera.
Fuente: Google Earth.

3.Talud (z):

-El talud de diseño según el manual de carreteras tiene una relación de 2H:1V, por lo que la inclinación es de 0.5.

4.Pendiente (s):

-La pendiente del área de estudio corresponde a un 0,43%

5. Rugosidad (n):

TABLA 11. Coeficiente de rugosidad de Manning.

Coeficientes de rugosidad de Manning	
MATERIAL	n
Canales artificiales revestidos	
Acero soldado	0,012
Acero remachado	0,016
Metal corrugado	0,024
Cemento pulido	0,011
Mortero	0,012
Madera	0,013
Albañilería	0,025 – 0,032
Canales Artificiales No Revestidos	
Excavado en tierra, recto y limpio	0,022
Excavado en tierra sinuoso	0,025 – 0,040
Excavado en roca	0,035 – 0,040
Con vegetación	0,080 – 0,100
Canales Naturales	
Tramos rectos, secciones uniformes y limpias	0,030
Tramos sinuosos, secciones limpias y poco uniformes	0,040
Torrente con lecho de ripio grueso	0,040 – 0,050
Tramo con bolones y de sección irregular	0,050 – 0,100
Planicie de inundación	0,100 – 0,175

- La rugosidad (n) se estima en 0,040 en tramos sinuosos, con secciones limpias y de poca uniformidad, y en zonas de torrente con lecho compuesto por ripio grueso. Estas características son las que mejor describen las condiciones del río Tinguiririca en el área de estudio.

RESULTADOS EN PROGRAMA HCANALES.

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:	<input type="text" value="Rio tinguiririca"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Defensas Fluviales ribera N."/>
Tramo:	<input type="text" value="San Fernando"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Enrocado"/>

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="15.0788"/>	m3/s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="61"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.5"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.040"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.43"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0808"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="61.1806"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="4.9302"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0806"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="61.0808"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="3.0585"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="3.4371"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.5575"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

Cuidado velocidad erosiva

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Figura 36. Modelación de datos en Hcanales V3.0.
Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los resultados obtenidos mediante el programa Hcanales, se observa que la velocidad (v) del flujo tiene un carácter erosivo, lo cual guarda una estrecha relación con la situación real del caudal del río. Esto se debe a que el río presenta un grado significativo de erosión y deterioro de las defensas existentes en la ribera norte. Por lo tanto, al momento de dimensionar la coraza de protección, es fundamental considerar este factor, ya que la erosividad de la velocidad influye directamente en la estabilidad y efectividad de las estructuras de defensa a lo largo del tiempo.

2.3. DEFINICIÓN DE DISEÑO DE LAS COMPONENTES DE LA OBRA LONGITUDINAL TIPO ENROCADO.

2.3.1. Talud de protección.

En el caso de defensas longitudinales con enrocados el manual de carreteras recomienda utilizar taludes con inclinaciones 2:1 (H: V) o mayores,

Dicha inclinación podrá ser menor cuando se trate de pequeñas corrientes con bajas velocidades es razonable aceptar taludes de 1,5:1 (H: V) o menores si el análisis de estabilidad lo permite, pero en ningún caso debiese ser menor a 1:1 (H: V).

2.3.2. Coronamiento.

La cota de coronamiento dependerá de la función y objetivo que cumpla la obra.

En el presente trabajo la obra de defensa fluvial tiene por objetivo la protección del sector Los Huertos por lo que el manual de carreteras indica que cuando la defensa longitudinal tiene por objeto proteger un sector poblacional contra inundaciones la cota de coronamiento deberá ser tal que para el caudal de diseño no se produzca rebalse. (revisar 3.707.202 cálculo de eje hidráulico)

Revancha: si bien no existe una normativa en cuanto al valor que debe tener la revancha en una obra de defensa fluvial, el manual de carreteras indica que el valor usual de revancha en obras para prevenir inundaciones es de un metro (1m).

Otro aspecto es su pendiente longitudinal, en el caso de defensas para prevenir inundaciones, la pendiente del coronamiento tendera a ser paralela a la pendiente del plano de carga del escurrimiento.

En cuanto al ancho del coronamiento, este debe ser tal que de estabilidad a la estructura sobre todo en el caso que la defensa sobresalga por sobre el nivel de la ribera y cuando es necesario construir un terraplén de respaldo. También debe considerar el tránsito de maquinaria debiéndose dejar el ancho necesario para el desplazamiento de vehículos para la inspección de la obra y eventuales reparaciones.

2.3.3. Fundaciones:

Basándose en obras hidráulicas similares presentes en el río Tinguiririca, específicamente en la sección aguas abajo del puente Tinguiririca, en el sector de Los Rulos, se ha determinado que la fundación de la obra longitudinal debe tener una profundidad mínima de 1,2 metros. Esta profundidad es necesaria para asegurar la estabilidad de la estructura frente a procesos erosivos y cambios en el lecho del río.

El relleno de la fundación se realizará utilizando rocas de clase 1000 kg, seleccionadas por su resistencia y durabilidad ante la velocidad erosiva que presenta el río Tinguiririca en la zona de estudio. El uso de este material ha mostrado un buen desempeño en obras previas, ofreciendo estabilidad y protección frente a la erosión fluvial, factor crítico en la preservación de la infraestructura hidráulica en este entorno.

2.3.4. Coraza de protección:

Corresponde a la parte de la defensa expuesta directamente al escurrimiento y su principal función es proteger de la erosión el talud del perfil.

Dependiendo del material a utilizar la coraza puede ser permeable o impermeable, en vistas de las ventajas que otorga estos materiales y en la revisión de obras de defensa fluvial existentes en el río Tinguiririca se optó por emplear como coraza de protección material de enrocado.

Estos elementos son ampliamente usados en la construcción de obras de defensa fluvial, su uso ha sido destinado principalmente a la materialización de corazas o armaduras de taludes (MOP, 2002).

Para dimensionar el peso del enrocado de la coraza de una defensa longitudinal en una ribera puede emplearse la fórmula del California Highway Division (CHD) de los EE. UU. que se define de la siguiente forma:

$$W = \frac{0.0113 + s + V^6}{[(S-1) \sin(\theta - \phi)]^3}$$

Donde:

W = Peso enrocado [Kg]; aproximadamente el 70% de las unidades deben tener un peso igual o mayor que W .

s = Peso específico o densidad relativa al agua del enrocado (2.65 máximo).

V = Velocidad de escurrimiento [m/s].

θ = Angulo de reposo del enrocado ($^{\circ}$).

φ = Angulo de inclinación del talud ($^{\circ}$) medido con respecto a la horizontal ($<90^{\circ}$).

Asignando los valores correspondientes a cada parámetro según la situación modelada tenemos que:

$$v = 3.0585 \text{ m/s}$$

$$s = \frac{2.65}{1.1} = 2.41$$

$$\theta = 45^{\circ}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{1}{2} \right) = 26.57^{\circ}$$

$$W = \frac{0.0113 * 2.41 * 3,0585^6}{((2.41 - 1) * \sin(45^{\circ} - 26.57^{\circ}))^3} = 251.66725$$

TABLA 12. Clases de Enrocado.

Clase I	Enrocado de diámetro nominal	≤ 400 mm
	Peso	≤ 100 Kg
	Velocidad local admisible	≤ 3 m/s
Clase II	Enrocado de diámetro nominal	≤ 500 mm
	Peso	≤ 200 Kg
	Velocidad local admisible	≤ 4 m/s
Clase III	Enrocado de diámetro nominal	≤ 750 mm
	Peso	≤ 600 Kg
	Velocidad local admisible	≤ 4.5 m/s

Fuente: Ministerio de Obras Públicas.

Debido a la velocidad erosiva que presenta el río en el área de estudio se concluye que el enrocado a utilizar como coraza será clase III y deberá tener como mínimo rocas de 500 Kg y 750 mm de diámetro.

Entre el material de la coraza y la base de apoyo se deberá colocar un filtro geotextil cuyo propósito será evitar que las partículas finas del terraplén de respaldo migren a través de los huecos de la coraza por la succión producida por la corriente. Adicionalmente se deberá colocar una capa de material fluvial o camada de apoyo sobre el filtro geotextil al objeto de evitar el contacto directo del enrocado con este último y evitar así la rotura de la tela durante la colocación de cada bloque de roca, por lo que esta capa será de 20 [cm] de espesor.

2.3.5. Filtro de geotextil:

Se refiere a la colocación de geotextil sobre el terraplén fluvial para impedir el lavado de finos.

Se utilizarán telas geotextiles del tipo de 400gr/m², equivalente a una resistencia a la tracción en sentido longitudinal de 1300 (ASTM D 4632) o similar

2.3.6. RESUMEN DISEÑO DE DEFENSA.

Finalmente se presenta el resumen del diseño de la defensa fluvial para la ribera norte del río Tinguiririca.

TABLA 13. Sectores involucrados.

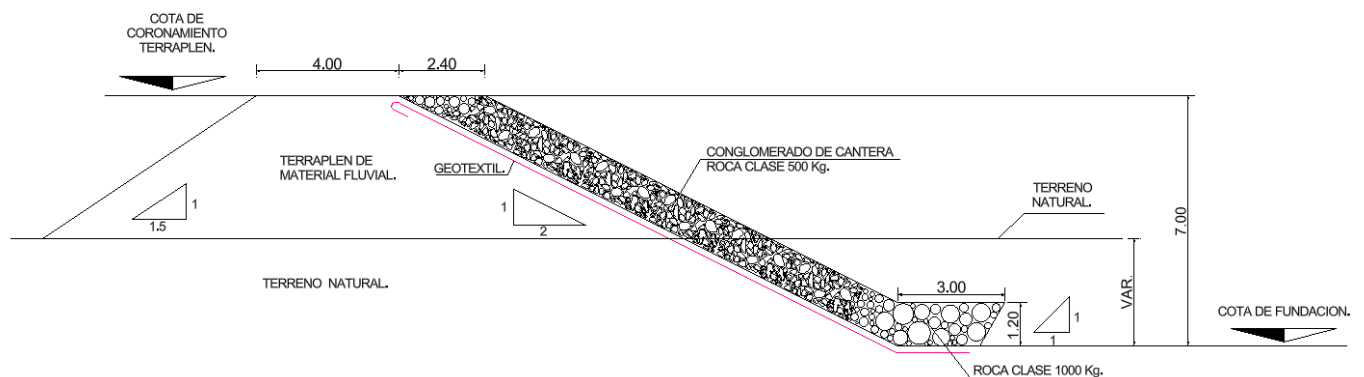
PROYECTO	CAUSE	COMUNA	SECTOR
ANTEPROYECTO DE DEFENSA FLUVIAL CON ENROCADO	RÍO TINGUIRIRICA	SAN FERNANDO	LOS HUERTOS

2.3.7. DEFENSA DE ENROCADO.

Este trabajo constituye una obra longitudinal paralela al sentido de la corriente de agua y de la ribera existente.

DETALLE TIPO DEFENSA LONGITUDINAL PROYECTADA CORTE

ESCALA 1:100
MEDIDAS EN (m)



2.3.8. CONCLUSION CAPITULO II.

En este capítulo se desarrolló una propuesta técnica para la implementación de defensas fluviales en la ribera norte del río Tinguiririca, enfocada en reducir significativamente los riesgos de inundaciones en el sector Los Huertos.

El diseño propuesto, basado en los lineamientos del Manual de Carreteras Volumen 3, considera defensas longitudinales tipo enrocados como solución principal debido a su efectividad para estabilizar riberas, mitigar la erosión y contener desbordes, además este tipo de defensas fluviales no reducen el área original del río ya que se construyen en sentido longitudinal al cauce.

Los elementos constructivos seleccionados incluyen un talud de protección, coronamiento, fundaciones adecuadas y una coraza de enrocado permeable, complementada con filtros de geotextil para evitar la socavación. La modelación hidráulica y el cálculo de caudales de diseño, con un período de retorno de 100 años, aseguran que la infraestructura propuesta sea capaz de resistir eventos extremos de crecida, garantizando así la protección de las áreas urbanas y agrícolas circundantes.

Esta propuesta se destaca no solo por su viabilidad técnica, sino también por su enfoque en la sostenibilidad a largo plazo, al priorizar materiales locales de alta durabilidad y una construcción robusta que minimice los costos de mantenimiento futuros. Además, el diseño cumple con los estándares normativos vigentes, lo que refuerza su pertinencia y aplicabilidad en el contexto local.

3. CAPÍTULO III: ESTIMACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA Y PRESUPUESTO DE LA DEFENSA FLUVIAL DEL RÍO TINGUIRIRICA, SECTOR LOS HUERTOS – SAN FERNANDO.

3.1.1. ÁREA DE OBRA Y TRAZADO REFERENCIAL DE RIBERA.



Figura 37. Área de obra de la defensa fluvial.
Fuente: Google Earth.

En la figura 1, sobre la base fotográfica obtenida de Google Earth se muestra el área de obra, señalándose con línea amarilla el trazado de ribera donde se propone implementar la solución de defensa fluvial longitudinal de tipo enrocado.

3.1.2. CUBICACIONES.

TABLA 14. Cubicaciones río Tinguiririca, Sector Los Huertos – San Fernando.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Terraplén de Respaldo (Material Fluvial)	m3	12.600
2	Terraplén de Apoyo Enrocado (Material Fluvial)	m3	6.720
3	Camada de Apoyo sobre Geotextil E= 20 cm, Arena Gruesa	m2	7.430
4	Filtro de Geotextil	m2	7.430
5	Sum. Trans. Y Coloc. De Roca Clase 500 Kg	m3	6.452
6	Sum. Trans. Y Coloc. De Roca Clase 1000 Kg.	m3	1.336
7	Excavación de Fundaciones	m3	11.340
8	Instalación de Faenas	GL	1
9	Retiro de Instalación de Faenas	GL	1

3.1.3. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

TABLA 15. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO (APU).

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARTIDAS SEGÚN ONDAC					
DESCRIOCÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNI.	PRECIO TOTAL	
ARENA GRUESA	M3	0,2	\$ 16.000	\$ 3.200	
EXCAVADORA 20 TON	Hora	0,01	\$ 25.000	\$ 250	
JORNALERO	DÍA	0,09	\$ 23.077	\$ 2.077	
LEYES SOCIALES	%	30%		\$ 623	
TOTAL, PARTIDA CAMA DE ARENA E= 20CM,				\$ 6.150	M2
EXCAVADORA 20 TON	Hora	0,16	\$ 30.000	\$ 4.800	
CAMION TOLVA 15M3	Hora	0,015	\$ 30.000	\$ 450	
CAPATAZ MOV. TIERRA	DÍA	0,003986	\$ 42.923	\$ 171	
JORNALERO	DÍA	0,095	\$ 23.077	\$ 2.192	
LEYES SOCIALES	%	30%		\$ 709	
TOTAL, PARTIDA EXCAVACIÓN FUNDACIONES				\$ 8.322	M3
CARGADOR FRONTAL	Hora	0,0125	\$ 50.000	\$ 625	
CAMION ALJIBE	Hora	0,0074	\$ 58.000	\$ 429	
EXCAVADORA 20 TON	Hora	0,125	\$ 30.000	\$ 3.750	
CAMION TOLVA 15M3	Hora	0,1257	\$ 30.000	\$ 3.771	
CAPATAZ MOV. TIERRA	DÍA	0,003986	\$ 42.923	\$ 171	
JORNALERO	DÍA	0,016	\$ 23.077	\$ 369	
LEYES SOCIALES	%	30%		\$ 162	
TOTAL, PARTIDA TERRAPLEN DE MATERIAL FLUVIAL				\$ 9.278	M3
GEOTEXTIL SEGÚN EETT	M2	1,1	\$ 2.600	\$ 2.860	
CAMION PLANO	Hora	0,0014	\$ 30.000	\$ 42	
CAPATAZ OBRAS CIVILES	Hora	0,001999	\$ 42.923	\$ 86	
JORNALERO		0,02	\$ 23.077	\$ 462	
LEYES SOCIALES	%	30%		\$ 164	
TOTAL, PARTIDA COLOCACION GEOTEXTIL				\$ 3.614	M2

3.1.4. PRESUPUESTO OFICIAL.

TABLA 16. Presupuesto Oficial.

PRESUPUESTO OFICIAL							
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (UF) (23/12/2024)	Precio Unitario (\$)	Total (UF) (23/12/2024)	Total (\$)
1	TERRAPLEN DE RESPALDO MATERIAL FLUVIAL	m3	12600	0,24	\$ 9.278	3024	\$ 116.902.800
2	TERRAPLEN DE APOYO ENROCADO MATERIAL FLUVIAL	m3	6720	0,24	\$ 9.278	1612,8	\$ 62.348.160
3	CAMADA DE APOYO AL GEOTEXTIL E=20CM, ARENA GRUESA	m2	7430	0,16	\$ 6.150	1188,8	\$ 45.694.500
4	GEOTEXTIL	m2	7430	0,09	\$ 3.614	668,7	\$ 26.852.020
5	SUM. TRANS. Y COLOL. DE ROCA CLASE 500 KG	m3	6452	1,12	\$ 42.971	7226,24	\$ 277.248.892
6	SUM. TRANS. Y COLOL. DE ROCA CLASE 1000 KG	m3	1336	1,46	\$ 56.016	1950,56	\$ 74.837.376
7	EXCAVACION DE FUNDACIONES	m3	11340	0,22	\$ 8.322	2494,8	\$ 94.371.480
8	INSTALACION DE FAENAS	GL	1	48,72	\$ 1.870.784	48,72	\$ 1.870.784
9	RETIRO DE INTALACIONES DE FAENA	GL	1	8,12	\$ 311.925	8,12	\$ 311.925
Costos Directos						18222,74	\$ 700.437.937
Gastos Generales 10%						1822,27	\$ 70.043.794
Utilidades 10%						1822,27	\$ 70.043.794
Subtotal						21867,29	\$ 840.525.524
IVA 19%						4154,78	\$ 159.699.850
Total Presupuesto						26022,07	\$ 1.000.225.374

3.1.5. PORCENTAJE DE GASTOS GENERALES (10%).

Según el reglamento para contratos de obras públicas (Decreto 75 del 01-dic-2004), se establece que la asignación del porcentaje a la partida de gastos generales varía entre el 10% y el 12%. En este sentido, el artículo 147 señala lo siguiente: "en caso de aumento en el plazo del contrato, se indemnizarán al contratista los mayores gastos generales proporcionales al aumento del plazo en que se incurran, determinándose que la partida de gastos generales corresponde a un 12% del valor total de la propuesta".

Dado que no se contempla un aumento en el plazo del contrato y se trata de una obra por licitar, se estima que la partida de gastos generales se fijará en un 10%.

3.1.6. PORCENTAJE DE UTILIDADES (10%).

En el reglamento para contratos de obras públicas no se establece un porcentaje específico de utilidades, por lo que se ha determinado fijarlo en un 10%. Este valor se ha adoptado debido a que representa el porcentaje más comúnmente utilizado en los presupuestos de obras dentro del ámbito de la construcción, ajustándose a prácticas estándar en la industria.

3.1.7. CONCLUSION CAPITULO III.

La estimación detallada de costos realizada en este capítulo permite dimensionar de manera precisa la inversión requerida para la implementación del proyecto de defensa fluvial. Mediante el análisis de cubicaciones, precios unitarios y la elaboración de un presupuesto oficial, se lograron identificar todos los costos asociados, desde la adquisición de materiales hasta la ejecución de las obras.

El presupuesto considera partidas clave como el transporte de enrocados, la colocación de geotextiles y la maquinaria necesaria para la construcción de taludes y coronamientos. Asimismo, se incluyeron porcentajes adecuados para gastos generales y utilidades, asegurando un cálculo realista y ajustado al alcance del proyecto.

La evaluación costo-beneficio resalta que la inversión en estas defensas fluviales no solo reducirá las pérdidas económicas asociadas a futuros desbordamientos, sino que también contribuirá a proteger la infraestructura local, las actividades agrícolas y la seguridad de los habitantes. Este enfoque justifica económicamente el proyecto, posicionándolo como una solución estratégica y prioritaria para la comuna de San Fernando.

4. CONCLUSIÓN:

El análisis hidrológico del río Tinguiririca permitió identificar las principales causas de los desbordamientos en el sector de Los Huertos, destacando la insuficiencia de las defensas fluviales existentes y la vulnerabilidad inherente de la ribera norte ante crecidas del cauce. A partir de los datos obtenidos, se identificaron zonas críticas que requieren intervención prioritaria debido a su alto riesgo para la población, la agricultura y la infraestructura del sector.

Mediante la utilización de herramientas especializadas como HCANALES V3.0, se modelaron escenarios hidrológicos que facilitaron la obtención de parámetros esenciales como el caudal y la velocidad del flujo. Con base en los lineamientos establecidos en el Manual de Carreteras Volumen 3, se diseñó una defensa fluvial longitudinal del tipo enrocado, optimizada para resistir las condiciones extremas del río. La solución propuesta incluye una coraza protectora con enrocado de diámetro nominal de 750 mm y peso de 500 kg, apoyada sobre un talud de conglomerado fluvial, y cuenta con fundaciones de 1.2 metros para garantizar la estabilidad estructural frente a la alta velocidad y erosividad del cauce.

Asimismo, se estimaron los volúmenes necesarios de materiales (Rocas de cantera, geotextil y material de conglomerado fluvial) y se elaboró un presupuesto oficial detallado para la ejecución de la obra. Este proyecto, técnicamente viable y económicamente justificado, cumple con los objetivos planteados al proporcionar una solución robusta y duradera que protege a los habitantes de Los Huertos, salvaguarda su infraestructura y promueve la continuidad de las actividades agrícolas, vitales para la economía local.

Se concluye que la intervención propuesta no solo responde a la necesidad inmediata de mitigar riesgos de desbordamiento, sino que también establece una base para futuras obras de conservación y manejo integrado de la cuenca del río Tinguiririca, asegurando así la sostenibilidad y resiliencia del sector frente a eventos climáticos extremos.

5. BIBLIOGRAFIA:

- BNA, (Santiago, 13 de agosto de 1981). DFL, Decreto con Fuerza de Ley N° 1.122
- Hans Niemeyer F, Hoyas hidrográficas de Chile: Sexta Región.
- Hoja Rancagua IV Región, 1990 Arturo Hauser Y.
- DGA, Boletín N° 543: Julio del 2023 `` Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas subterráneas ``.
- Ministerio de Desarrollo Social, (NOVIEMBRE 2018), `` Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Defensas Fluviales ``
- Municipalidad de San Fernando, (2024-2027) Plan de Desarrollo turístico PLADETUR.
- TERMINOS DE REFERENCIA Y ESPECIFICACIONES TECNICAS ESPECIALES, “CONSERVACIÓN DE DEFENSAS FLUVIALES CON ENROCADO RÍO TINGUIRIRICA, COMUNA DE SAN FERNANDO, REGIÓN DE O´HIGGINS (11-2021)”.
- Dirección General de Aeronáutica Civil, Dirección Meteorológica de Chile, subdivisión climatología y Met. Aplicada, (1987). `` ANUARIO METEOROLOGICO ´ ´.

5.1. ENLACE REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. <file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/codigo%20de%200aguas%20revisar%20art%2041%20171%20172.pdf>
2. file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/dga_doh_028_2_020.pdf
3. <file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/hoyas%20hidrograficas.pdf>
4. <file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/Informe%20Julio%202023%20bajo%20lo%20briones.pdf>
5. [file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/Methodolog%C3%ADa%20Defensas%20Fluviales%20Nov-2018%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/Methodolog%C3%ADa%20Defensas%20Fluviales%20Nov-2018%20(1).pdf)
6. [file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/TR_Y_ETE_DDFE_11_San_Fernando_\(22-06-2021\).pdf](file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/TR_Y_ETE_DDFE_11_San_Fernando_(22-06-2021).pdf)

7. file:///C:/Users/TEMP/OneDrive/Escritorio/trabajo%20de%20titulo/PLADETUR-2024-2027_VF.pdf
8. <https://www.mop.gob.cl/archivos/2024/09/Balance-Hidrico-SEP2024-VF.pdf>
9. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/08608c0f-24e6-4f3b-95e1-a852e95ae610/content>