



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

**ANÁLISIS DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL
ÁREA URBANA DE CURANILAHUE**

POR: VICTORIA ALEJANDRA SEPÚLVEDA CASTAÑEDA

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de
Concepción para optar al título profesional de ingeniera ambiental

Profesor Guía: Dr. Octavio Rojas Vilches

Profesor Guía: Dr. Pedro Arriagada Sanhueza

Concepción, Chile, diciembre 2025

“ANÁLISIS DE LAS INUNDACIONES FLUVIALES DEL AÑO 2024 EN EL ÁREA URBANA DE CURANILAHUE”

Profesor Guía: Dr. Octavio Rojas Vilches



Profesor Guía: Dr. Pedro Arriagada Sanhueza



Profesor Comisión: Dr. Mauricio Aguayo Arias



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MAXIMA

Conceptos que se indica en el Título

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

Concepción, abril 2025



TESIS FINANCIADA POR EL PROYECTO ANID ANILLO ATE220021 CLIMATE
CHANGE AND THE SOCIOHYDROLOGY OF FLOODS.

INVESTIGADOR RESPONSABLE DR. OSCAR LINK L.

Abstract

This study analyzes the 2024 flood in Curanilahue, Chile, considering the hydrological and territorial factors that explain its size. The city is located on a low-slope floodplain at the confluence of the Curanilahue river, the Ranas river, and the Plegarias estuary, a condition that favors overflow during floods. Based on information provided by the Municipality of Curanilahue, supplemented with LiDAR data, GIS analysis, and field surveys, an affected area of 460,780 m² along 4.9 km of riverbed was determined, with depths of up to 1.5 m for the 2024 flood. The hydrological analysis estimated return periods of 31 and 64 years for the June and August 2024 floods, respectively, which indicates a moderate magnitude of the event in a valley that has historically experienced frequent flooding. The review of the Community Regulatory Plan showed that territorial planning must incorporate available hydrological and geomorphological information to define risk and address the problem of urban expansion into naturally flood-prone areas. Overall, the results underscore the need to integrate evidence-based risk criteria into territorial instruments to reduce the high impacts of floods with moderate return periods.

Resumen

Este estudio analiza la inundación de 2024 en Curanilahue, Chile, considerando los factores hidrológicos y territoriales que explican su magnitud. La ciudad se emplaza en una planicie aluvial de baja pendiente en la confluencia del río Curanilahue, el río Ranas y el estero Plegarias, condición que favorece el desborde durante crecidas. A partir información proporcionada por la Municipalidad de Curanilahue, complementado con datos LiDAR, análisis SIG y levantamientos en terreno, se determinó un área afectada de 460.780 m² a lo largo de 4,9 km de cauce, con profundidades de hasta 1,5 m para la crecida del año 2024. El análisis hidrológico estimó períodos de retorno de 31 y 64 años para las crecidas de junio y agosto de 2024, respectivamente, lo que evidencia una magnitud moderada del evento en un valle que históricamente presenta inundaciones frecuentes. La revisión del Plan Regulador Comunal mostró que la planificación territorial debe incorporar la información hidrológica y geomorfológica disponible para definir el riesgo, para abordar la problemática de la expansión urbana sobre áreas naturalmente inundables. En conjunto, los resultados subrayan la necesidad de integrar criterios de riesgo basados en evidencia en los instrumentos territoriales, para disminuir los elevados impactos derivadas de inundaciones con períodos de retorno moderados.

ÍNDICE

I.	Problemática	8
II.	Pregunta de Investigación	14
III.	Objetivos.....	14
a.	Objetivo General	14
b.	Objetivos Específicos.....	14
IV.	Marco Teórico	15
4.1.	Inundaciones fluviales, vulnerabilidad y amenaza	15
4.1.1.	Factores condicionantes y detonantes de inundaciones	18
4.2.	Zonificación: Mapas de zonas inundables	22
4.2.1.	Metodologías disponibles.....	22
4.3.	Marco normativo nacional e instrumentos de planificación territorial existentes.....	23
V.	Materiales y Métodos	28
6.1.	Área de Estudio	28
5.1.1.	Entorno Físico	28
5.1.2.	Factores condicionantes y detonantes	31
5.1.3.	Aspectos sociodemográficos.....	32
6.2.	Metodología.....	33
5.2.1.	Objetivo 1: Caracterizar las áreas afectadas por inundación fluvial para el entorno urbano de Curanilahue asociado a las crecidas del año 2024	33
5.2.2.	Objetivo 2: Estimar el período de retorno asociado a los caudales máximos de las crecidas del año 2024 en Curanilahue.....	36
5.2.3.	Objetivo 3: Diagnosticar la Incorporación del riesgo de inundación en el Instrumento de Planificación Territorial comunal.....	51
VI.	Resultados	52
6.1.	Objetivo 1: Caracterizar las áreas afectadas por inundación fluvial para el entorno urbano de Curanilahue asociado a las crecidas del año 2024	52
6.1.1.	Identificación del área de afectación	52
6.1.2.	Caracterización de los daños	58
6.1.3.	Afectación según datos del Censo 2017	61
6.2.	Objetivo 2: Estimación el período de retorno asociado a los caudales máximos de las crecidas del año 2024 en Curanilahue.....	66
6.2.1.	Parámetros geomorfológicos.....	66
6.2.2.	Precipitación máxima en 24 horas.....	68
6.2.3.	Caudal máximo en 24 horas.....	69
6.2.4.	Período de retorno de las inundaciones de 2024 en Curanilahue.....	71
6.3.	Objetivo 3: Incorporación del riesgo en el instrumento de planificación territorial comunal	74
6.3.1.	Plan Regulador Comunal de Curanilahue.....	74

6.3.2. Áreas afectadas por las inundaciones de 2024 según zona del PRC
76

VII.	Conclusiones	78
VIII.	Referencias	81
IX.	Anexos	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Grandes inundaciones recientes en Chile.....	12
Tabla N° 2: Rangos de índices morfométricos.....	17
Tabla N° 3: Tabla resumen de factores condicionantes	20
Tabla N° 4: Tabla resumen de factores detonantes	21
Tabla N° 5 Marco normativo nacional relacionado con las inundaciones	27
Tabla N° 6: Indicadores sociales comparativos para la comuna de Curanilahue, la Región del Biobío y el País.....	32
Tabla N° 7: Variables analizadas para la caracterización de los daños de la inundación de 2024, a partir de los datos del Censo 2017 (INE)	35
Tabla N° 8: Estaciones meteorológicas y fluviométricas al interior de la cuenca	38
Tabla N° 9: Curva de frecuencia regional caudales medios diarios máximos zona homogénea Up pluvial – Gumbel – VIII Región – C. Costeras.....	43
Tabla N° 10: Factores de frecuencia para la VIII Región	46
Tabla N° 11: Coeficientes de duración para la localidad de Concepción, VIII Región.....	48
Tabla N° 12: Porcentaje de personas en el área de afectación según sexo, edad y origen.....	62
Tabla N° 13: Porcentaje de viviendas según origen del agua consumida	65
Tabla N° 14: Parámetros geomorfológicos de la cuenca de estudio	67
Tabla N° 15: Precipitación máxima diaria para períodos de retorno, en mm	68
Tabla N° 16: Caudal máximo diario para períodos de retorno según metodologías indirectas, en m ³ /s	69
Tabla N° 17: Caudales medios máximos diarios medidos en la estación Río Curanilahue (2009-2024), en m ³ /s	70
Tabla N° 18: Caudales instantáneos máximos medidos en las crecidas de 2024 y su período de retorno estimado	72
Tabla N° 19: Usos de suelo de las zonas del Plan Regulador de Curanilahue..	75
Tabla N° 20: Porcentaje de área afectada según zona del Plan Regulador Comunal.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Cuenca Hidrográfica de la ciudad de Curanilahue.....	29
Figura N° 2: Usos de suelo de la cuenca de estudio.....	30
Figura N° 3: Imagen área de la ciudad de Curanilahue.....	31
Figura N° 4: Estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca	40
Figura N° 5: Esquema de cálculo del método DGA-AC para caudales instantáneos máximos pluviales	42
Figura N° 6: Zonas homogéneas ubicadas al sur de la latitud 35°S.....	42
Figura N° 7: Esquema de cálculo del Método Verni-King Modificado	45
Figura N° 8: Esquema de cálculo del Método Fórmula Racional.....	47
Figura N° 9: Área de afectación de las inundaciones de 2024	53
Figura N° 10: Elevaciones y curvas de nivel (10m) del valle de la ciudad de Curanilahue	54
Figura N° 11: Canalización del río Ranas previo a la confluencia.....	55
Figura N° 12: Imágenes de la inundación de junio 2024 en Curanilahue.....	59
Figura N° 14 37°28'48.77"S, 73°20'14.38"O	59
Figura N° 13 37°28'49.04"S, 73°20'15.52"O	59
Figura N° 15: Número de personas afectadas por manzana	61
Figura N° 16: Número de viviendas afectadas por manzana.....	63
Figura N° 17 Materialidad de las viviendas.....	64
Figura N° 18: Categoría de Materialidad	65
Figura N° 19: Proyección logarítmica de los caudales máximos para periodos de retorno en base a método DGA-AC	71
Figura N° 20: Recurrencia histórica de inundaciones e influencia base de crecidas, Curanilahue	73
Figura N° 21: Zonificación del Plan Regulador de Curanilahue	75
Figura N° 22: Áreas afectadas por las inundaciones de 2024, según zona del Plan Regulador Comunal	76

I. Problemática

Existen muchos fenómenos naturales en el planeta que pueden desencadenar desastres, como huracanes, terremotos, inundaciones. En conjunto con la acción antrópica, constituyen una “amenaza socio-natural” (UNDRR, 2017). Un “desastre” se puede definir como la perturbación generalizada de la vida y los bienes de las personas causada por un suceso o una serie de sucesos (UNDRR, 2021). Por lo tanto, una amenaza no siempre resulta en un desastre, ya que puede no afectar los asentamientos humanos o influir en ellos de manera controlada.

Debido al cambio climático, la intensidad y frecuencia de estos fenómenos ha ido en aumento en muchas regiones (IPCC, 2021). En los últimos 50 años, se ha producido en promedio un desastre diario provocado por amenazas meteorológicas, climáticas o hidrológicas (OMM, 2021). En este contexto, las inundaciones han sido particularmente significativas: entre 1970 y 2019, el 44% de todos los desastres y el 31% de las pérdidas económicas a nivel mundial estuvieron relacionados con este tipo de eventos. En Sudamérica, estos porcentajes fueron aún mayores: 59% de los desastres, 77% de la mortalidad y 58% de las pérdidas económicas (OMM, 2021). Además, el informe del IPCC (2023) advierte que, a corto plazo, con un calentamiento global de 1,5 °C, se

espera un aumento en la intensidad y frecuencia de precipitaciones extremas, lo que incrementará las inundaciones locales provocadas por lluvias.

Las inundaciones generan costos sociales y económicos significativos, afectando tanto a las personas como a la infraestructura. Entre los **costos sociales** se encuentra la pérdida de vidas humanas, el desplazamiento de personas, donde eventos como las inundaciones en Río Grande do Sul, Brasil en 2024, dejaron 163 muertos y más de 580.000 desplazados (Noticias ONU, 2024); impactos en la salud de las personas mediante el contacto con aguas contaminadas, lo que puede generar enfermedades como el cólera y hepatitis (National Geographic, 2025); y también puede provocar una interrupción de los servicios públicos como el acceso al agua potable y electricidad. Además, cabe destacar que un evento de inundación puede exacerbar la brecha entre comunidades pobres y acomodadas al tener un mayor impacto económico en familias de menores ingresos (De silva & Kawasaki, 2020).

Entre los **costos económicos** están los daños a la infraestructura, la pérdida de cultivos y los costos de reconstrucción. Un ejemplo destacado de los costos debido a inundaciones ocurrió en Tailandia en 2011. Según un informe del Banco Mundial (2011), las inundaciones afectaron a más de 13 millones de personas y causaron daños y pérdidas económicas estimadas en aproximadamente USD 45.700 millones, lo que representó más del 13% del Producto Interno Bruto (PIB) del país en ese año. El Banco Mundial estimó que este desastre fue el cuarto

más costoso en la historia hasta esa fecha, superado solo por el terremoto y tsunami de Japón de 2011, el terremoto de Kobe de 1995 y el huracán Katrina de 2005.

Es por esto que se hace necesario contar con medidas de mitigación para reducir los daños ante crecidas de río, las que provienen de tres enfoques. Las medidas estructurales, constituyen cualquier construcción física destinada a reducir o evitar posibles impactos (UNDRR, 2017), como diques o muros de contención para controlar el caudal. Las no estructurales que utilizan políticas, normativas y educación para reducir los riesgos y los impactos de los desastres (UNDRR, 2017), como los sistemas de alerta temprana y el uso de instrumentos de planificación territorial para zonificar áreas inundables y restringir la edificación en el lugar; y finalmente, las soluciones basadas en la naturaleza, como la restauración de humedales o llanuras de inundación que absorban el exceso de agua (UNDRR, 2021).

La selección de medidas adecuadas contra las inundaciones es crucial en el marco de diversas prácticas, enfoques y criterios de evaluación de la gestión de inundaciones (Tariq, Farooq & Van de Giesen, 2020). En la práctica, la mitigación de inundaciones es más eficaz cuando se combinan enfoques (IPCC, 2023).

En este sentido, para seleccionar medidas adecuadas, es necesario conocer la recurrencia con la que ocurren este tipo de eventos. En hidrología se utiliza el

período de retorno como método de estimación, que corresponde al *“Intervalo medio de tiempo en el cual un evento hidrológico de una magnitud dada es igualado o superado una vez”*. No es un calendario exacto, sino que una medida probabilística (WMO, UNESCO, 2012). Es una herramienta fundamental para orientar decisiones sobre la localización de asentamientos, infraestructura y equipamientos urbanos, ya que ayuda a reducir la vulnerabilidad y el riesgo residual (Chow, Maidment & Mays, 1988; Linsley & Franzini, 1979). Al estimar la recurrencia de inundaciones de distintas magnitudes, permite definir zonas de amenaza y establecer restricciones de uso del suelo en la planificación territorial (WMO, UNESCO, 2012).

Considerando lo anterior, en Chile existe registro de 16 inundaciones catastróficas relacionadas con eventos pluviométricos entre el período 1960-1991; el 63% afecta la zona central; lugar donde se concentra un 73% de la población nacional (INE, 2012). En promedio ocurren 15 inundaciones catastróficas por década, para el periodo 1900-2012, 73% de ellas son generadas por precipitación intensa y persistente (Rojas et al, 2014). La Tabla N°1 muestra las últimas 4 grandes inundaciones en Chile:

Tabla N° 1: Grandes inundaciones recientes en Chile

Fecha	Regiones	Característica
2006	Coquimbo a Aysén	“El peor temporal de los últimos 30 años”
2015	Antofagasta a Coquimbo	Sistema frontal provoca aluvión
2023	Valparaíso a Biobío	Sistema frontal con Isoterma 0 alta
2024	Coquimbo a Biobío	Sistema frontal

Fuente: La Tercera, Radio Biobío

Durante el sistema frontal de junio de 2023, según el Ministerio de Hacienda de Chile (2023), las pérdidas económicas ascendieron a aproximadamente US\$759 millones, de los cuales US\$628 millones correspondieron a daños en infraestructura pública y viviendas. Este impacto refleja una tendencia en el país donde el efecto más común es daños a la vivienda, que es coherente con el emplazamiento de la población en áreas aledañas a los cauces fluviales (Rojas et al, 2014)

La ocurrencia y alta variabilidad de estos fenómenos en el territorio nacional, es lo suficientemente elevada para considerarla en la planificación y ordenamiento del territorio (Rojas et al, 2014). Sin embargo, este aspecto cuenta con deficiencias y brechas que abordar principalmente por la falta de zonificación de riesgo en muchos planes reguladores comunales.

La presente investigación corresponde a la zona urbana de Curanilahue en la VIII Región del Biobío. Esta ciudad está establecida entre los ríos Curanilahue y Ranas, y el estero Plegarias, con intensa urbanización en las riberas, por lo que se enfrenta a continuas inundaciones por el desborde de los ríos, que, según Jarpa (2020), tienen una recurrencia histórica de 3,7 años, identificando 10 eventos entre 1980 y 2017.

El año 2024 la ciudad se enfrentó nuevamente a inundaciones desastrosas debido a lluvias vinculadas a un río atmosférico (Garreaud, 2024) en los meses de junio y agosto, que afectaron a gran parte de la zona centro-sur del país. La Región del Biobío fue una de las más afectadas, siendo declarada zona de catástrofe el 11 de junio (Ministerio del Interior, 2024), donde la prensa catalogó a la ciudad de Curanilahue como la “zona cero” de este desastre socio natural al ser una de las más dañadas (Emol, 2024; CHV Noticias, 2024; Mora, 2024).

Estos eventos evidenciaron nuevamente la necesidad de comprender con mayor precisión cómo se manifiestan localmente las inundaciones, el carácter de los daños que generan, la recurrencia del fenómeno y el rol que tuvo la planificación territorial en la magnitud de sus efectos.

II. Pregunta de Investigación

¿Cómo se distribuyeron las áreas afectadas por las inundaciones fluviales de junio y agosto de 2024 en Curanilahue, y cuál es su relación con la estimación del período de retorno de los caudales máximos?

III. Objetivos

a. Objetivo General

Analizar las inundaciones del año 2024 en Curanilahue, considerando las áreas afectadas, el período de retorno y la planificación territorial.

b. Objetivos Específicos

- I. Caracterizar las áreas afectadas por inundación fluvial para el entorno urbano de Curanilahue asociado a las crecidas del año 2024
- II. Estimar el período de retorno asociado a los caudales máximos de las crecidas del año 2024 en Curanilahue
- III. Diagnosticar la incorporación del riesgo de inundación en el instrumento de planificación territorial comunal

IV. Marco Teórico

4.1. Inundaciones fluviales, vulnerabilidad y amenaza

- **Amenaza o Peligro:** “Proceso, fenómeno o actividad humana que puede causar la pérdida de vidas humanas, lesiones u otros efectos sobre la salud, daños materiales, trastornos sociales y económicos o degradación del medio ambiente.” (UNDRR, 2017)

Los peligros pueden ser naturales, como los terremotos y erupciones volcánicas; antropogénicos, originados por actividades humanas; o socio-naturales, resultado de la interacción entre factores naturales y humanos, como las inundaciones y la sequía (UNDRR, 2017)

- **Inundación fluvial:** Una inundación fluvial es una subida, normalmente breve, del nivel del agua de un arroyo o masa de agua hasta un pico a partir del cual el nivel del agua retrocede a un ritmo más lento (OMM, 2012). Las inundaciones en los valles fluviales se producen principalmente en las llanuras de inundación como resultado de un flujo que excede la capacidad de los canales de los arroyos y se derrama sobre las orillas naturales o los diques artificiales (Fernández, 2015).
- **Vulnerabilidad:** *“Las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y medioambientales que aumentan la*

susceptibilidad de un individuo, una comunidad, bienes o sistemas a los impactos de las amenazas.” (UNDRR, 2017)

- **Riesgo:** *“La pérdida potencial de vidas, lesiones o bienes destruidos o dañados que podría sufrir un sistema, una sociedad o una comunidad en un periodo de tiempo específico, determinada de forma probabilística en función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación.” (UNDRR, 2017)*
- **Período de retorno:** En hidrología es el intervalo promedio de tiempo entre eventos de una magnitud específica o mayor, como una inundación. Se expresa en años (por ejemplo, una "inundación de 100 años") y no implica que el evento ocurra exactamente cada 100 años, sino que hay una probabilidad del 1% de que ocurra en cualquier año dado (Chow et al., 1988). Es una medida estadística basada en registros históricos, por lo que depende de la calidad y extensión de los datos (Linsley & Franzini, 1979).
- **Índices morfométricos:** Los índices morfométricos permiten caracterizar la forma y dinámica hidrológica de una cuenca, lo que ayuda a comprender su respuesta ante eventos de lluvia. El **índice de compacidad (Kc)** planteado por Gravelius (1914) y el **índice de circularidad (Ci)** planteado por Miller (1953) describen cuán cercana es la forma de la cuenca a un círculo, lo que influye en la rapidez con que el escurrimiento llega al cauce principal: cuencas más compactas tienden a generar respuestas

hidrológicas más rápidas (Strahler, 1964). El **factor de forma (Ff)**, relacionado con la razón entre el área y el largo de la cuenca, permite evaluar la tendencia a concentrar o dispersar los caudales: valores altos indican mayor probabilidad de picos de crecida más pronunciados (Horton, 1945). Por su parte, el **tiempo de concentración (Tc)**—el tiempo que tarda una gota de agua en desplazarse desde el punto más lejano de la cuenca hasta la salida—es fundamental para estimar los caudales máximos y diseñar infraestructura hidráulica segura (Chow, Maidment & Mays, 1988). Las valoraciones de cada índice según su rango se muestran en la Tabla N°2.

Tabla N° 2: Rangos de índices morfométricos

Índice	Valor bajo	Valor medio	Valor alto	Fuente
Índice de compacidad (Kc)	1.0 – 1.3	1.3 – 1.7	> 1.7	Gravelius (1914)
Índice de circularidad (Ci)	< 0.50 (cuenca alargada)	0.50 – 0.75	> 0.75 (cuenca circular)	Miller (1953)
Factor de forma (Ff)	< 0.25 (cuenca alargada)	0.25 – 0.50	> 0.50 (cuenca ancha)	Horton (1945)

Fuente: Elaboración propia en base a Gravelius (1914), Miller (1953) y Horton (1945)

El tiempo de concentración no tiene un rango universal, porque depende directamente del tamaño, pendiente y cobertura de la cuenca.

4.1.1. Factores condicionantes y detonantes de inundaciones

Existen múltiples factores físicos y antrópicos que influyen en la ocurrencia, duración, extensión y severidad de las inundaciones fluviales. Estos factores suelen clasificarse en dos grandes categorías: **condicionantes** y **detonantes**. Los primeros corresponden a las características y procesos que configuran el contexto hidrológico de base y crean las condiciones propicias para que se produzca una inundación, mientras que los segundos se refieren a los eventos específicos que actúan como desencadenantes. A continuación, se presentan ambas tipologías con sus principales características:

i. Factores condicionantes

En primer lugar, la morfología de la cuenca, asociada al tamaño, la forma, la pendiente, la red de drenaje y el relieve que condicionan la velocidad del flujo superficial y la capacidad de almacenamiento de agua en el sistema (Ward & Robinson, 2017). A esto se suman las condiciones del suelo: su estructura, permeabilidad, profundidad, contenido de materia orgánica, textura y humedad, que desempeñan un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico al facilitar la infiltración y el almacenamiento de agua, amortiguando así el impacto de los eventos de precipitación intensa (Saco et al., 2021).

Este efecto regulador se ve reforzado por la cobertura vegetal, especialmente en ecosistemas boscosos, donde la vegetación actúa como un filtro y un reservorio natural. Los bosques capturan el agua de lluvia y la liberan gradualmente, disminuyendo la velocidad del escurrimiento y atenuando los caudales máximos. Además, las raíces y la hojarasca favorecen la infiltración y reducen la escorrentía superficial (FAO, 2020).

A estas condiciones físicas se le suma el factor antrópico, destacando principalmente el uso del suelo: la expansión urbana reduce drásticamente la capacidad de infiltración. Un mayor porcentaje de suelo impermeable acorta los tiempos de respuesta de la cuenca y aumenta los volúmenes y picos de escorrentía (Shuster et al., 2005). En áreas rurales, prácticas como la agricultura intensiva, la compactación del suelo por maquinaria y la canalización de cauces modifican significativamente el comportamiento natural del agua (Bronstert et al., 2002). Finalmente, el reemplazo de la vegetación nativa por especies exóticas en monocultivos como *Eucalyptus globulus* intensifica estos efectos negativos, ya que altera las condiciones del suelo, afectando negativamente la capacidad de infiltración y la escorrentía superficial (Oyarzún et al., 2011). A continuación se presenta una tabla resumen de los factores condicionantes (Tabla N°3):

Tabla N° 3: Tabla resumen de factores condicionantes

Categoría	Descripción	Fuente
Morfología de la cuenca	Determinan la rapidez con la que el agua llega al cauce principal.	Ward & Robinson (2017); Chow et al. (1988)
Condiciones del suelo	Incluye estructura, profundidad, permeabilidad, contenido de materia orgánica, textura y humedad	(Saco et al., 2021).
Cobertura vegetal	Los bosques nativos amortiguan las crecidas. Los monocultivos de especies exóticas afectan negativamente.	FAO (2020); Oyarzún et al. (2011)
Usos del suelo	La impermeabilización del suelo aumenta el escurrimiento superficial.	Bronstert et al. (2002); Shuster et al. (2005)

Fuente: Elaboración Propia en base a Ward & Robinson (2017); Chow et al. (1988); Saco et al. (2021); FAO (2020); Oyarzún et al (2011); Bronstert et al (2002); Shuster et al (2005)

ii. Factores detonantes

Las inundaciones fluviales pueden desencadenarse por distintos factores que alteran el equilibrio hidrológico y provocan aumentos repentinos en el caudal de los ríos. Entre ellos, la **precipitación extrema** es uno de los más frecuentes, ya que lluvias intensas o prolongadas pueden superar la capacidad de infiltración del suelo y desbordar los cauces (IPCC, 2021). A esto se suma el deshielo rápido, especialmente cuando ocurre junto con lluvias sobre nieve (Isoterma 0°C alta), lo que libera grandes volúmenes de agua en poco tiempo y eleva bruscamente los caudales fluviales (Suriano & Leathers, 2018).

Por otra parte, eventos geológicos como deslizamientos de tierra, avalanchas o el colapso de hielo glaciar pueden bloquear ríos y formar embalses temporales

que, al romperse, liberan el agua acumulada de forma súbita y generan crecidas repentinas (Highland & Bobrowsky, 2008).

Finalmente, como factor antrópico puede darse el fallo en infraestructuras hidráulicas, como presas o diques, liberando grandes volúmenes de agua de manera repentina, ocasionando inundaciones catastróficas aguas abajo (US Bureau of Reclamation, 2015). A continuación se presenta una tabla resumen de los factores condicionantes (Tabla N°4):

Tabla N° 4: Tabla resumen de factores detonantes

Categoría	Descripción	Fuente
Precipitación extrema	Lluvias intensas o prolongadas superan la capacidad del sistema.	IPCC (2021)
Deshielo rápido	Incremento súbito del caudal por fusión de nieve o hielo.	Suriano & Leathers (2018)
Fallo de infraestructuras	Liberación repentina de agua acumulada (ej.: presas)	US Bureau of Reclamation (2015).
Obstrucciones naturales	Deslizamientos o represas naturales (ej. de castores) que colapsan o desvían el flujo.	Highland & Bobrowsky (2008)

Fuente: Elaboración propia en base a IPCC (2021); Suriano & Leathers (2018); US Bureau of Reclamation (2015); Highland & Bobrowsky (2008)

Es importante destacar que estos factores suelen interactuar, aumentando la probabilidad y severidad de las inundaciones fluviales. Un análisis de más de 3.500 cuencas (1981-2020) mostró que en más del 50 % de los eventos actúan al menos dos factores simultáneamente, y que las inundaciones más grandes se relacionan con una mayor interacción entre ellos, lo que evidencia la importancia

de considerar esta complejidad en los análisis de riesgo de inundación (Jiang et al., 2024).

4.2. Zonificación: Mapas de zonas inundables

Los mapas de zonas inundables son fundamentales para reducir el impacto de las inundaciones y proteger tanto a las personas como a sus bienes. Su principal función, la delimitación de zonas con amenaza de inundación, los hace una herramienta útil en la planificación y ordenamiento del territorio (Zapperi & Olcina, 2021), y permiten el desarrollo de estrategias de prevención y mitigación (como la construcción de infraestructuras de protección o la implementación de medidas de adaptación), y la gestión de emergencias. En 2007, el Parlamento Europeo estableció la necesidad de contar con estos mapas *“para el establecimiento de prioridades y la toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política relativas a la gestión del riesgo de inundación”* (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2007)

4.2.1. Metodologías disponibles

Según la *“Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables”* publicada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España (2011) los principales métodos son:

- **Análisis histórico:** Se basa en la recopilación y evaluación de registros de inundaciones pasadas, fotografías aéreas y documentos históricos para identificar patrones de inundación y zonas de riesgo.
- **Estudio geomorfológico:** Examina las características físicas del terreno, como la topografía y la composición del suelo, para determinar áreas propensas a inundaciones y la evolución de los cauces fluviales. Se clasifican las evidencias en tres tipos en función de su durabilidad en el tiempo: efímeras, topográficas y sedimentarias.
- **Análisis geomorfológico-histórico:** Integra los dos anteriores y genera una estimación de recurrencia de inundación para tres categorías de inundabilidad (muy alta, alta y media-baja).
- **Modelización hidráulica:** Emplea modelos matemáticos para simular el comportamiento del agua en los cauces y zonas inundables, considerando estructuras como puentes y diques.

4.3. Marco normativo nacional e instrumentos de planificación territorial existentes

Chile cuenta con una legislación recientemente actualizada respecto a la incorporación del riesgo de inundación fluvial en los instrumentos de planificación territorial, con 4 leyes especialmente relevantes al respecto, que se detallan a continuación:

En primer lugar y a nivel normativo, la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), establecen los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) existentes en el país:

- Plan Regulador Intercomunal (Art. 2.1.7. OGUC): regula el desarrollo físico de las áreas urbanas y rurales de diversas comunas, que, por sus relaciones, se integran en una unidad urbana.
- Plan Regulador Comunal (Art. 2.1.10. OGUC): IPT de carácter normativo que establece el límite de las áreas urbanas de las comunas, las condiciones de ocupación del territorio a través de normas urbanísticas, las vías estructurantes y las zonas o inmuebles de conservación histórica.
- Plan Seccional (Art. 2.1.15. OGUC): Constituye una modificación al Plan Regulador Comunal en los términos que prevé la Ley y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
- Límite Urbano (Art. 52° LGUC): Línea imaginaria que delimita las áreas urbanas y de extensión urbana que conforman los centros poblados, diferenciándolos del resto del área comunal.

(Fuente: MINVU)

Dentro de estos IPT, el más relevante para el caso de estudio (nivel comunal) es el Plan Regulador Comunal (PRC) ya que es capaz de zonificar y así incorporar el riesgo de inundación dentro de una planificación de carácter normativo. Desde

2021, a través de la Ley N°21.364 que Establece El Sistema Nacional De Prevención y Respuesta Ante Desastres (SENAPRED) y sustituye La Oficina Nacional De Emergencia (ONEMI) se integra definitivamente a los IPT el concepto de riesgo a través de los mapas de amenaza y mapas de riesgo. En el art. 35 establece que *“los Mapas de Amenaza deberán ser incorporados a los Planes para la Gestión del Riesgo de Desastres a nivel regional, provincial y comunal (...) El Mapa de Amenaza respectivo será utilizado para la elaboración de instrumentos de planificación territorial”* (MinInterior, 2021) estableciendo así una obligatoriedad de zonificar los distintos tipos de riesgo, dentro de los cuales están las inundaciones, e incluyendo este requerimiento en la LGUC para los planes reguladores comunales (Art. 42, letra c)).

Sin embargo, y como ocurre en el caso de estudio, muchas veces integrar esta zonificación de riesgo al PRC e implementarla en el terreno puede requerir intervenir áreas actualmente pobladas o con otros usos. En este contexto, la LGUC en su art. 80 letra a), da facultad a las municipalidades para *“Adquirir terrenos para la erradicación de poblaciones mal emplazadas, con riesgos de inundación o la imposibilidad de dotarlas de la infraestructura sanitaria”* (MINVU) lo que da a los municipios la capacidad legal de tomar medidas necesarias para una correcta zonificación. Para esto, deben declarar la zona de riesgo como de “Utilidad Pública” (siendo respaldada por estudios técnicos correspondientes) y seguir el proceso indicado en Decreto Ley 2.186 que “Aprueba Ley Orgánica de

Procedimiento de Expropiaciones” (Ministerio de Justicia, 1978). A pesar de esto, la expropiación de terrenos suele ser un proceso socialmente complejo, sobre todo en situaciones de asentamientos ilegales, lo que puede probar muy difícil la aplicación de este punto.

Por otra parte, el desarrollo de modificaciones o de nuevos IPT están sujetos a requisitos ambientales: la Ley N°19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente (LBMA) establece en el art. 7 bis. que los IPT *“siempre deberán someterse a Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)”* (MMA, 2010) y que, *“en la etapa de diseño, el organismo que dictará el plan deberá considerar la Ley N°21.455”*. (MMA, 2022)

La EAE corresponde a un Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) que tiene como objetivo *“que se incorporen las consideraciones ambientales del Desarrollo Sustentable, al proceso de formulación de las políticas y planes de carácter normativo general (..)”* (MMA, 2010). Esto es relevante ya que el desarrollo sustentable considera la gestión de riesgo de desastres, lo cual incluye a las inundaciones. Por su parte, la Ley N°21.455 corresponde a la Ley Marco de Cambio Climático, que integra el factor de cambio climático a la EAE y a los IPT, dentro del cual se contempla el riesgo de inundación (MMA, 2022). Además, la Ley establece la creación de Planes Sectoriales de Adaptación al Cambio Climático y Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas, que

contemplan, entre otras cosas, aumentar la resiliencia ante eventos de inundación y sequía.

A continuación, se presenta una tabla resumen de la legislación relacionada (Tabla N°5):

Tabla N° 5 Marco normativo nacional relacionado con las inundaciones

Ley	Relación con el riesgo de inundación
Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC)	Define los tipos de IPT y determina áreas de riesgo y permite a municipios adquirir terrenos en zonas de riesgo.
Ley N°21.364 (SENAPRED)	Asociado a la incorporación de mapas de amenaza y riesgo en los IPT, incluyendo zonas de inundación.
Ley N°19.300 de Bases del Medio Ambiente (LBMA)	Exige que los IPT pasen por EAE, asegurando que el riesgo de desastres sea considerado en el proceso.
Ley N°21.455 Marco de Cambio Climático	Requiere considerar riesgos climáticos (como inundaciones) en los IPT y promueve planes de adaptación hídrica y territorial.

Fuente: Elaboración Propia en base a MINVU, MMA, MinInterior

V. Materiales y Métodos

6.1. Área de Estudio

5.1.1. Entorno Físico

La ciudad de Curanilahue, cuyo nombre deriva del mapudungun *kurangilawe* (“vado pedregoso”), surge a finales del siglo XIX con motivación económica a partir de un asentamiento minero (Municipalidad de Curanilahue, s.f.) Está situada en la comuna del mismo nombre, en la Provincia de Arauco, VIII Región del Biobío, aproximadamente a 77 km al sur de la ciudad de Concepción.

La ciudad se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del río Curanilahue, que es una subcuenca del río Lebu, de tipo exorreica con vertiente en el Océano Pacífico y de régimen pluvial (DGA). Presenta, según la clasificación climática de Köppen, el clima mediterráneo de lluvia invernal (Csb) y el clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera (Csb (i)). El mes más lluvioso es junio con un promedio de 173 mm; y el mes con menos lluvia es enero, con un promedio de 17 mm (Weather Spark, 2025)

El entorno natural se caracteriza por los cordones montañosos que se desprenden de la Cordillera de Nahuelbuta. Un cordón montañoso, alto y compacto, con aspecto de muro, que alcanza altitudes que fluctúan entre los 800 y los 1.400 m.s.n.m., cuyas formaciones geológicas, presentan cumbres con

características de mesetas, esto dado por el proceso de erosión hídrica, el cual ha modelado el paisaje formando valles profundamente encajonados y otros más bien abiertos, en donde se ubican los poblados más importantes (PLADECO, 2011).

La parte de la cuenca en la que está situada la ciudad (Figura N°1), en adelante “la cuenca de estudio”, contiene tres cursos de agua principales: el río Curanilahue, el río Ranas, y el estero Plegarias.

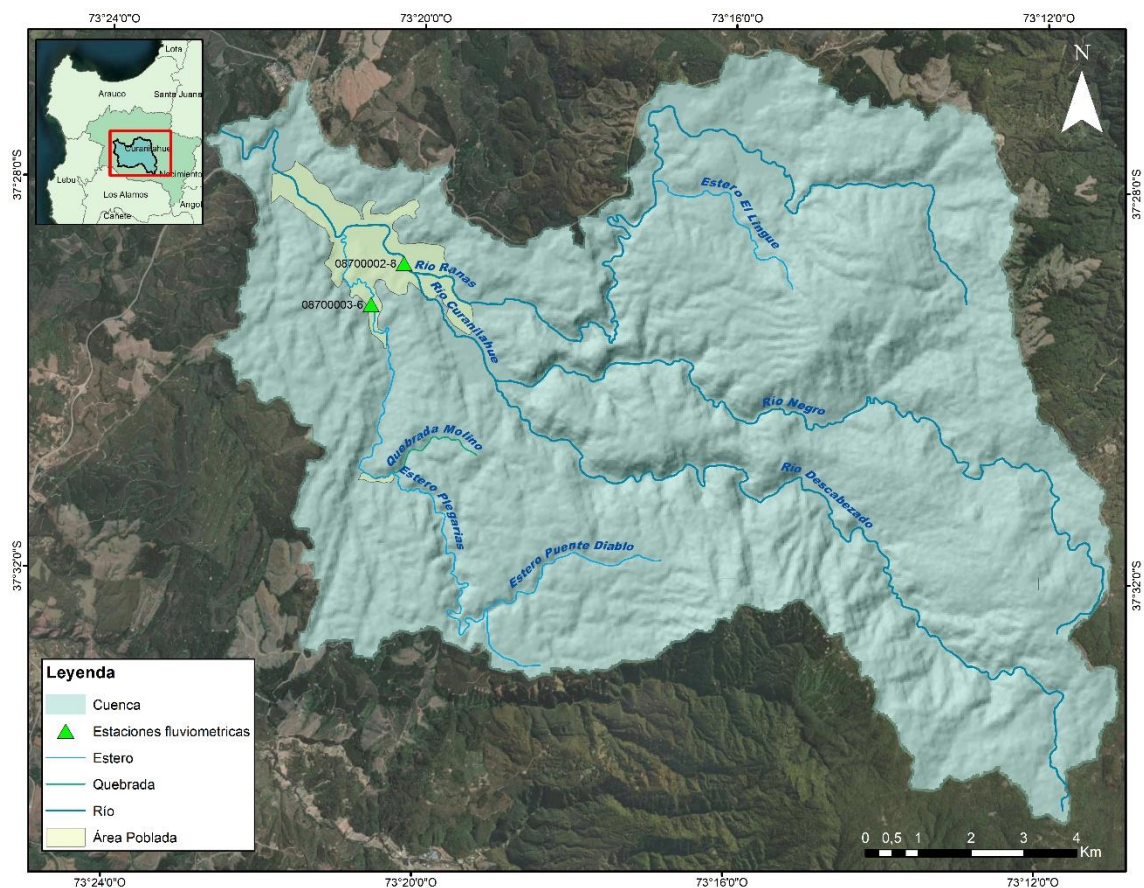


Figura N° 1: Cuenca Hidrográfica de la ciudad de Curanilahue

Fuente: Elaboración Propia.

Los usos de suelo (Figura N°2) en la cuenca se destacan por un amplio dominio forestal, con un 69,4% del área total, seguido de un 19% de bosque nativo, mientras que las ciudades, pueblos y zonas industriales abarcan un 3,1% de la superficie (CONAF, 2015).

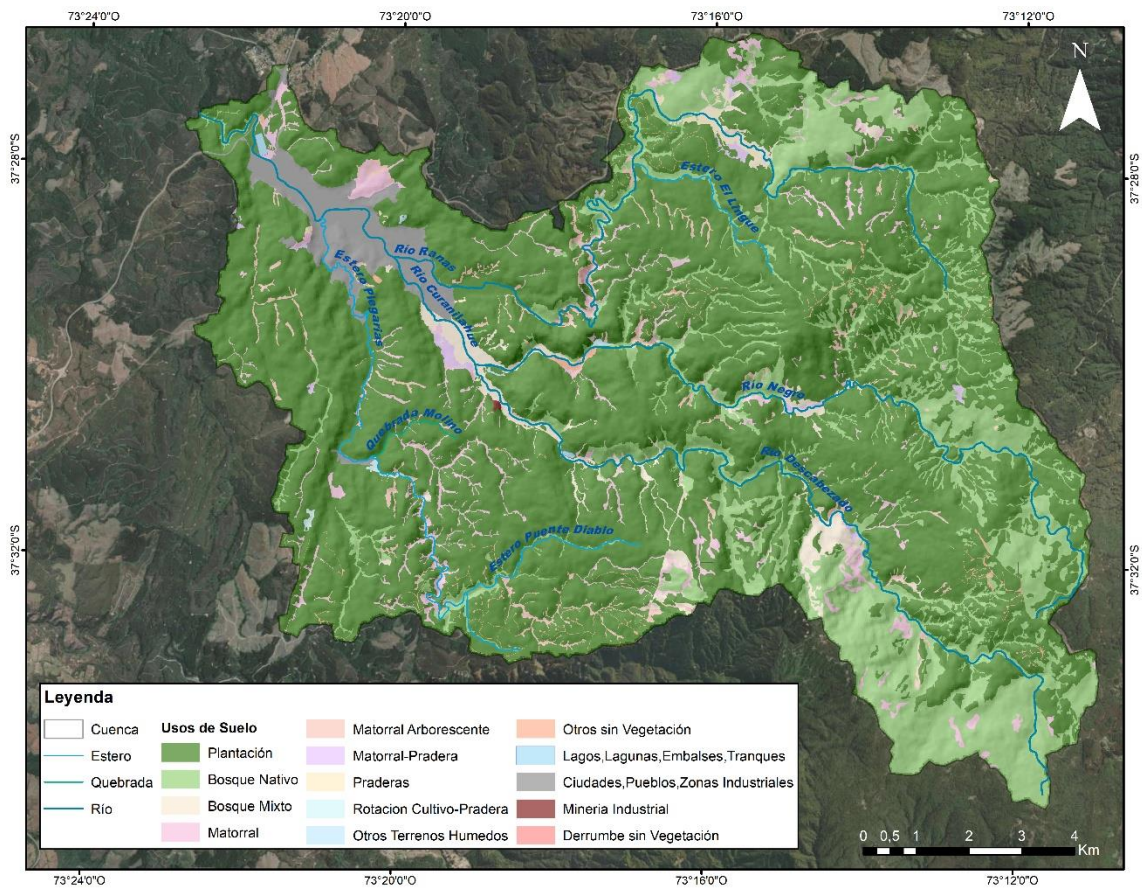


Figura N° 2: Usos de suelo de la cuenca de estudio
Fuente: CONAF (2015)

5.1.2. Factores condicionantes y detonantes

A nivel de cuenca, existe el factor condicionante topográfico, ya que la altitud varía de ~140 a 1010 m. s. n. m. con sólo 37 km de cauce principal de pendiente media 2,2%, un tiempo de concentración corto de aproximadamente 4 h 35 min, lo que indica que el agua escurre rápido por la cuenca.

En lo que respecta a la ciudad, la canalización de los ríos y la intensa urbanización directamente en sus riberas destacan como los condicionantes principales de inundación. En la Figura N°3 se puede observar cómo la ciudad está construida en el mismo lecho del río, sin dar espacio a la llanura de inundación, lo que provoca que ante las crecidas con bajo periodo de retorno el agua ingrese directamente a las edificaciones adyacentes.



Figura N° 3: Imagen área de la ciudad de Curanilahue
Fuente: Diario Concepción

5.1.3. Aspectos sociodemográficos

La comuna tiene una población de 33.942 habitantes según las Proyecciones de Población 2024 (INE), de los cuales 31.956 viven en la zona urbana, marcando sólo un 5,9% de ruralidad, por debajo del 10,9% de la Región del Biobío.

Los indicadores sociales (Ver Tabla N°6) indican que existe una alta vulnerabilidad socioeconómica, superando ampliamente los indicadores regionales y nacionales. Los altos niveles de pobreza multidimensional (19,8%), hacinamiento (11,4%) y falta de servicios básicos (15,4%) indican carencias estructurales en aspectos como vivienda, salud y educación.

Tabla N° 6: Indicadores sociales comparativos para la comuna de Curanilahue, la Región del Biobío y el País

<i>Unidad Territorial</i>	<i>Comuna de Curanilahue</i>	<i>Región del Biobío</i>	<i>País</i>
<i>Pobreza por ingresos (%)</i>	8,5	7,5	6,5
<i>Pobreza multidimensional (%)</i>	19,8	14,1	16,9
<i>Pueblos indígenas (%)</i>	9,8	7,2	9,0
<i>Extranjeros (%)</i>	0,5	1,7	6,4
<i>Personas en hogares carentes de servicios básicos (%)</i>	15,4	14,4	13,6
<i>Hogares hacinados</i>	11,4	8,6	8,5

Fuente: Encuesta CASEN 2022, Ministerio de Desarrollo Social

6.2. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se efectuó la caracterización del área de afectación y los daños; la estimación del período de retorno mediante el método indirecto indicado por la DGA; y un análisis de la afectación contrastado con el Plan Regulador Comunal.

5.2.1. Objetivo 1: Caracterizar las áreas afectadas por inundación fluvial para el entorno urbano de Curanilahue asociado a las crecidas del año 2024

Para el logro de este objetivo se realizaron 3 actividades: i) Identificación de las áreas afectadas, ii) Caracterización de los daños, iii) Caracterización del área afectada según los datos del Censo 2017. Estas se detallan a continuación:

i. Identificación del área de afectación

Para la identificación de las áreas afectadas se utilizó el software ArcGis ArcMap 10.8 con la siguiente información:

- Un shapefile proporcionado por la Municipalidad de Curanilahue que contiene una delimitación del área afectada por las inundaciones de 2024.
- 16 puntos georreferenciados que corresponden a encuestas realizadas a los vecinos en terreno por integrantes del laboratorio de Reducción de Riesgos Socio naturales LARRS con información de: profundidad y lámina

de agua, duración de la inundación, inundaciones en años anteriores, evacuación realizada, materialidad de las viviendas y daños.

- Modelo digital de terreno del valle capturado con un Sistema LiDAR Aerotransportado (ALS) Trimble Harrier 58i, levantado por Geoda Technology Ltda., con el cual se dibujaron curvas de nivel de 10 metros.

A partir de esto se realizó un análisis espacial del comportamiento de la inundación, considerando factores hidráulicos, geomorfológicos y antrópicos, y que derivó en la identificación de 4 tramos considerados: Tramo 1: tramo de entrada del río Ranas y confluencia con el río Curanilahue, Tramo 2: tramo central antes de la confluencia con el Estero Plegarias; Tramo 3: Confluencia con el Estero Plegarias y meandro más cerrado; y Tramo 4: Apertura del cauce después del meandro cerrado

ii. Caracterización de los daños

Se efectuó una de revisión artículos de prensa que abordaron lo ocurrido para identificar los daños mayores e impresiones de las autoridades y la ciudadanía sobre la situación, además de obtener registros fotográficos de los alcances de las inundaciones, complementado con imágenes tomadas en terreno, para formar un panorama general de los efectos de las inundaciones.

iii. Caracterización del área afectada según los datos del Censo 2017

Para caracterizar la afectación según estadísticas demográficas se utilizó la capa de “Afectación” para recortar el archivo shapefile de “Microdatos por Manzana” correspondiente al Censo 2017 obtenido del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y se obtuvo una nueva capa con la información pertinente a las áreas afectadas, con lo cual se realizó un análisis en Microsoft Excel de los datos según indica la Tabla N°7:

Tabla N° 7: Variables analizadas para la caracterización de los daños de la inundación de 2024, a partir de los datos del Censo 2017 (INE)

Ítem	Variables analizadas
Exposición	Cantidad de personas afectadas, por sexo y grupos etarios
Vulnerabilidad	Viviendas afectadas Materialidad de las viviendas (piso, paredes y techo) Acceso a servicio básico (agua)

Fuente: Elaboración propia

Debido a que la información del censo está distribuida por manzanas y el área afectada corresponde sólo a porciones de las mismas, para analizar los datos (suponiendo una distribución homogénea) se calculó el porcentaje de área afectada respecto de la superficie total de cada manzana, el cual fue luego utilizado para ponderar los resultados, de modo que se consideraron los datos censales proporcionales al área afectada.

5.2.2. Objetivo 2: Estimar el período de retorno asociado a los caudales máximos de las crecidas del año 2024 en Curanilahue

Para estimar el período de retorno de las crecidas de 2024, es necesario hacer un análisis estadístico de los caudales máximos diarios en un periodo de al menos 30 años. Al revisar las estaciones fluviométricas dentro de la cuenca, se notó que éstas no tienen datos suficientes, pues contaban con mediciones desde el año 2009. Dado esto, se procedió a hacer el cálculo de los caudales máximos mediante el método indirecto detallado en el “Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica” (MOP-DGA, 1995), que utiliza datos pluviométricos y algunos parámetros geomorfológicos para estimar los caudales mínimos y máximos mediante tres métodos distintos: Método DGA-AC, Método de Verni y King Modificado y Método de Fórmula Racional.

Dado esto, lograr este objetivo se realizaron 4 actividades: i) Cálculo de los parámetros geomorfológicos de la cuenca ii) Cálculo de la precipitación máxima diaria; iii) Cálculo de caudales máximos y iv) Estimación del período de retorno T para las inundaciones de 2024.

i. Cálculo de los parámetros geomorfológicos

Para calcular los parámetros geomorfológicos se ocupó un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) Alos Palsar de 12,5 x 12,5 m en el software ArcGis ArcMap

10.8, donde se utilizó la herramienta de Hidrología para calcular la cuenca con punto base al inicio de la ciudad. También se generó otra cuenca con punto base en la estación fluviométrica Río Curanilahue en Curanilahue (08700002) para poder hacer las comparaciones posteriores con datos empíricos de la estación. A partir de esto se calcularon los parámetros geomorfológicos con las herramientas respectivas de ArcMap 10.8.

Para los índices morfométricos, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- **Índice de compacidad o índice de Gravelius (Kc)**

$$k_c = 0,28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Donde P: perímetro de la cuenca en km; y A: corresponde al área de la cuenca en km²

- **Índice de circularidad de Miller (Ci):** corresponde la relación entre el área de la cuenca y el área del círculo de igual circunferencia (Miller, 1953)

$$C_c = \frac{4\pi \times A}{P^2}$$

Donde P: perímetro de la cuenca en m; y A: área de la cuenca en m²

- **Factor de forma de Horton (Ff):**

$$k_f = \frac{A}{L_c^2}$$

Donde: A: área de la cuenca en km² y L_c: longitud del cauce principal en km

▪ **Tiempo de concentración (tc)**

Se calculó mediante la fórmula del California Highways and Public Works de EE.UU. indicada en el “Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica” (MOP-DGA, 1995)

$$t_c = 0,95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde:

t_c: Tiempo de concentración de la cuenca, expresado en horas

L: longitud del cauce principal, expresado en km

H: Desnivel máximo de la cuenca, expresado en m

ii. Cálculo de precipitación máxima diaria

Los tres métodos descritos en el manual requieren en primer lugar el cálculo de la precipitación máxima en 24 horas (P_{24}) en períodos de retorno de 10 años (Método DGA-AC) y de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años (Métodos Verni-King y F. Racional). Existen tres estaciones dentro de la cuenca, indicadas la Tabla N°8:

Tabla N° 8: Estaciones meteorológicas y fluviométricas al interior de la cuenca

Estación	Código BNA	Tipo	Período de medición
Curanilahue	(08700001)	Meteorológica	1997-2020
Río Curanilahue en Curanilahue	(08700002)	Meteorológica y fluviométrica	2009 -
Estero Plegarias antes de jta Río Curanilahue	(08700003)	Meteorológica y fluviométrica	2009 -

Fuente: DGA

Ya que ninguna de las tres estaciones meteorológicas dentro de la cuenca cuenta con un mínimo de datos para análisis estadístico, se hizo una revisión de las estaciones cercanas. De las 18 estaciones encontradas, sólo 5 tienen 30 o más años de datos, y con estas se calcularon los Polígonos de Thiessen en ArcGis ArcMap 10.8 para identificar las que tuvieran influencia en la cuenca, determinando que sólo la estación Cañete (08821005-0) cumple con los criterios (Ver Figura N°4).

Con los datos de precipitación máxima diaria obtenidos de la página web de la DGA, se realizó un análisis de frecuencia con el software Hydrognomon 4, donde se pudo obtener funciones de distribución de probabilidad (*f.d.p*) que se ajustaran a los datos. Luego de realizar los test de bondad de ajuste Chi cuadrado y Kolmogorov-Smirnov, se seleccionó la mejor *f.d.p.* para continuar con la

estimación de la precipitación máxima diaria en distintos períodos de retorno. Esto fue luego comparado con las Isoyetas (P_{24}^{10}) establecidas por el MOP-DGA (1991) en el reporte “Precipitaciones máximas en 1, 2 y 3 días” que indica que para la cuenca de estudio se estima (P_{24}^{10}) entre 100 y 120 mm (Ver Figura N°4).

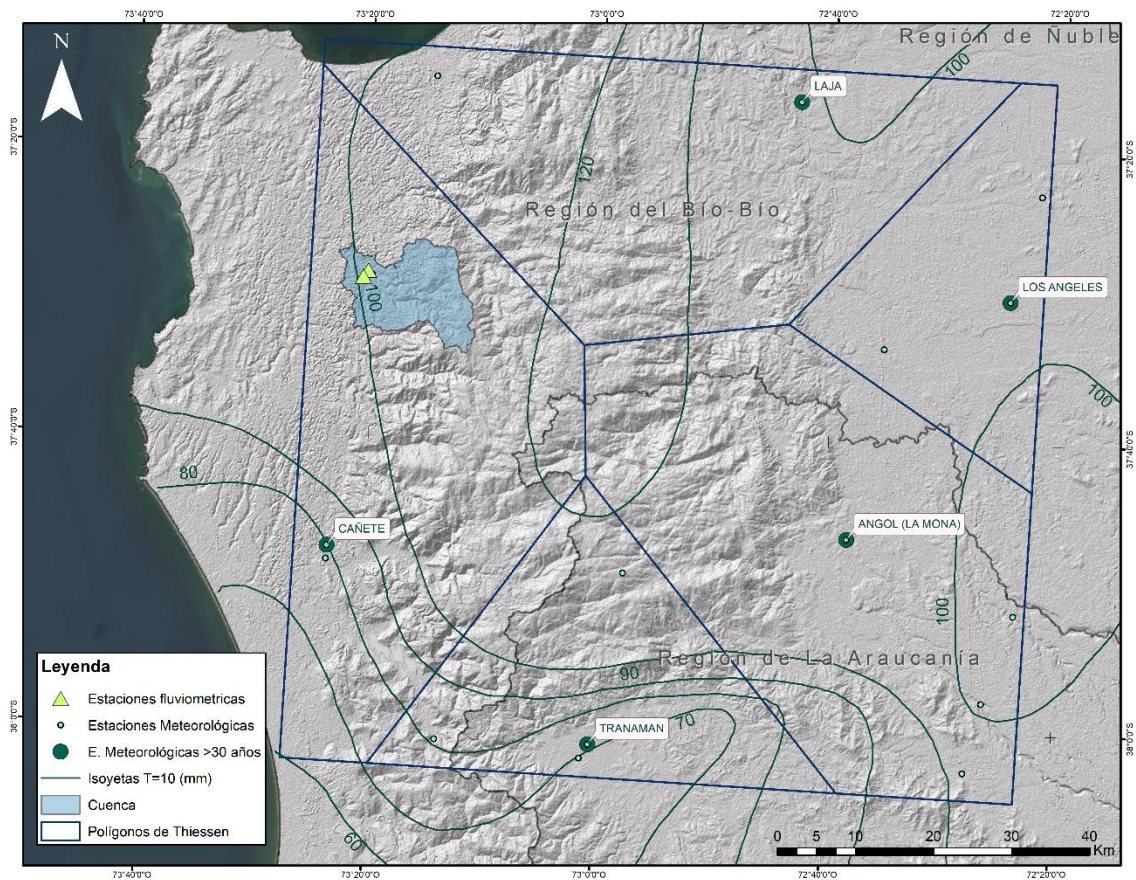


Figura N° 4: Estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca
Fuente: Elaboración propia con datos DGA-MOP

Sin embargo, al realizar la comparación, se encontró una diferencia importante de (P_{24}^{10}), por lo que se optó como alternativa realizar regresiones entre las estaciones para complementar los datos, repitiendo el análisis de frecuencias. Luego de probar distintas alternativas que incluían las estaciones cercanas y las

del interior de la cuenca, se determinó que la regresión de los datos de la estación Curanilahue (08700001) sobre Río Curanilahue en Curanilahue (08700002) daba el resultado para (P_{24}^{10}) más cercano al indicado por las isoyetas. Se seleccionó la f.d.p. EV1-Max (Gumbel) en base a este criterio y los niveles de aprobación en los test de bondad de ajuste.

iii. Cálculo de caudales máximos

El manual MOP-DGA establece los tres métodos presentados a continuación. Éstos son válidos para cuencas sin información fluviométrica, de régimen pluvial o pluvionival, y de entre 20 a 10.000 km² entre las regiones III y IX. Su uso se limita a estimaciones de caudales de períodos de retorno menores a 100 años.

- Método DGA-AC

Este método corresponde a un análisis regional de crecidas de origen pluvial, basado en datos de 234 estaciones de control fluviométrico desde la III a IX Región. El procedimiento se esquematiza en la Figura N°5:

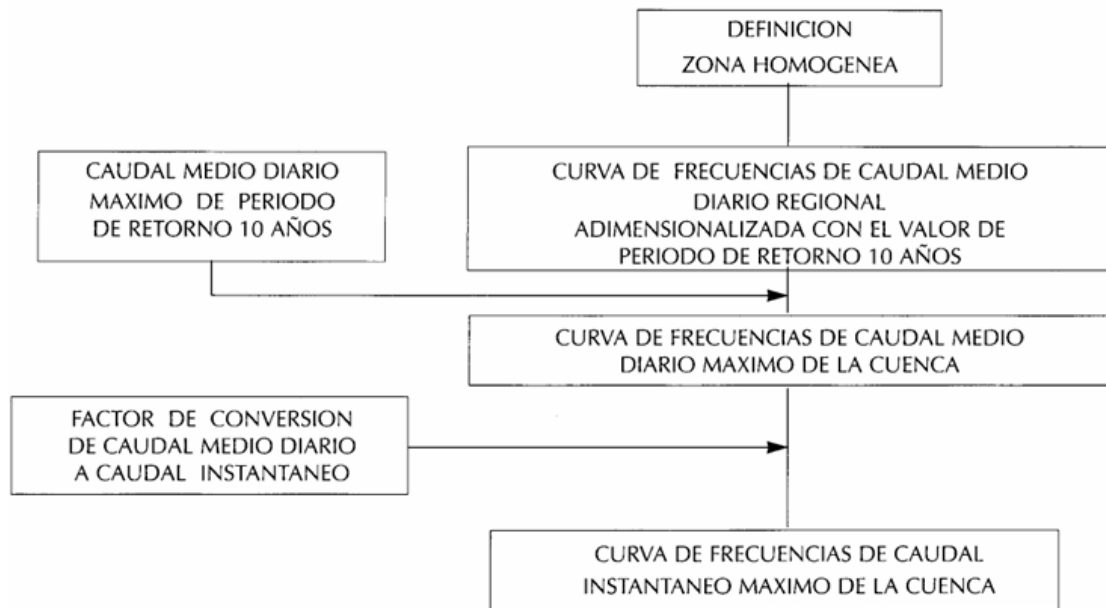


Figura N° 5: Esquema de cálculo del método DGA-AC para caudales instantáneos máximos pluviales

Fuente: MOP-DGA (1995)

- Definición de la zona homogénea: El manual define distintas zonas homogéneas separándolas por latitud y cuencas. La cuenca de estudio pertenece a la zona “Up”, como se indica en la Figura N°6.

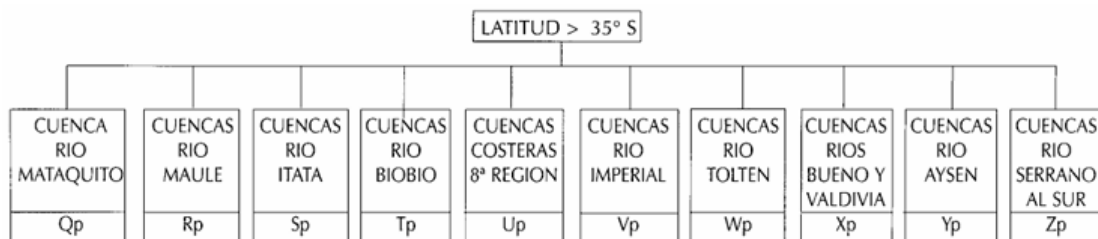


Figura N° 6: Zonas homogéneas ubicadas al sur de la latitud 35°S

Fuente: MOP-DGA (1995)

- Curva de frecuencias del caudal medio diario regional adimensionado: El manual establece tablas de curvas de frecuencia regionales para cada zona homogénea. La Tabla N°9 corresponde a la zona homogénea Up:

Tabla N° 9: Curva de frecuencia regional caudales medios diarios máximos zona homogénea Up pluvial – Gumbel – VIII Región – C. Costeras

PERIODO DE RETORNO "T" (años)	Q(T)/Q(10)		
	MEDIA	MAX	MIN
2	0,57	0,63	0,50
5	0,83	0,85	0,80
10	1,00	1,00	1,00
20	1,16	1,19	1,14
25	1,22	1,25	1,19
50	1,38	1,44	1,33
75	1,47	1,55	1,41
100	1,54	1,63	1,46

Fuente: MOP-DGA (1995)

- Curva de frecuencias de caudal medio diario máximo de la cuenca: El caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años Q10, es la variable usada para adimensionalizar las curvas de frecuencias regionales del método. La ecuación (1) para determinarlo en la VIII Región corresponde a:

$$Q_{10} = 2 \times 10^{-3} \times Ap^{0,973} (P_{24}^{10})^{1,224} (m^3/s) \quad (1)$$

Donde:

Q_{10} : Caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años, expresado en m^3/s

A_p : Área pluvial de la cuenca, expresada en km^2

P_{24}^{10} : Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años, expresada en mm

Luego, multiplicando Q_{10} por los valores de la Tabla N°5 se obtienen los valores de caudal medio diario máximo. Finalmente, este luego puede ser convertido a caudal instantáneo máximo utilizando el factor de conversión de la zona homogénea según indica el manual. Para la zona homogénea Up este factor corresponde a valores entre 1,2 y 1,5. Se optó por utilizar el valor de 1,5 ya que se están estudiando caudales máximos.

- Método Verni-King modificado

Este método está basado en la fórmula de Verni y King, que relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias. A la fórmula original, establecida para períodos de retorno mayores que 30 años, se le ha agregado un coeficiente empírico variable con el período de retorno, que es producto de un proceso de ajuste y calibración a los resultados de los análisis de frecuencias realizados a un total de 130 estaciones limnigráficas ubicadas entre las regiones III y IX del país, inclusive. El procedimiento de cálculo se muestra en la Figura N°7:

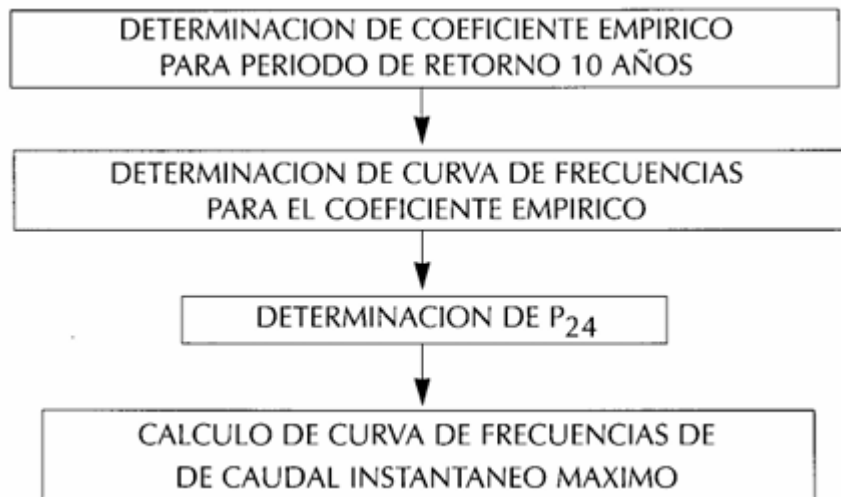


Figura N° 7: Esquema de cálculo del Método Verni-King Modificado

Fuente: MOP-DGA (1995)

- Determinación del coeficiente empírico para período de retorno 10 años:
El manual indica coeficientes empíricos para cada región, siendo el correspondiente a la VIII Región: $C(T=10) = 0,79$.
- Determinación de la curva de frecuencia del coeficiente empírico: $C(T)$ es función del período de retorno, y se obtiene multiplicando el coeficiente empírico del punto anterior por los valores del factor de frecuencia que dependen también de la ubicación geográfica y del período de retorno T que se desee calcular. En la Tabla N°10 se muestran los valores correspondientes a las VIII Región.

Tabla N° 10: Factores de frecuencia para la VIII Región

T (años)	$C(T) / C(T=10)$
2	1,04
5	1,04
10	0,91
20	0,99
25	1,00
50	1,01
100	1,02

Fuente: MOP-DGA (1995)

Finalmente, se utiliza la ecuación (2) para estimar los caudales de crecida asociado al período de retorno.

$$Q = C(T) \times 0,00618 \times P_{24}^{1,24} \times A_p^{0,88} \quad (2)$$

Donde:

Q : Caudal instantáneo máximo asociado a períodos de retorno T años, expresado en m^3/s

$C(T)$: Coeficiente empírico de período de retorno T años.

P_{24} : Precipitación diaria máxima de período de retorno de T años, expresada en mm

A_p : Área pluvial de la cuenca, expresada en km^2

- Método Fórmula racional

Este método incluye información de 130 estaciones limnigráficas ubicadas entre la III y IX Regiones de Chile, y relaciona el caudal instantáneo máximo con el coeficiente de escorrentía, el tiempo de concentración y la intensidad de la lluvia.

El procedimiento de cálculo se muestra en la Figura N°8:

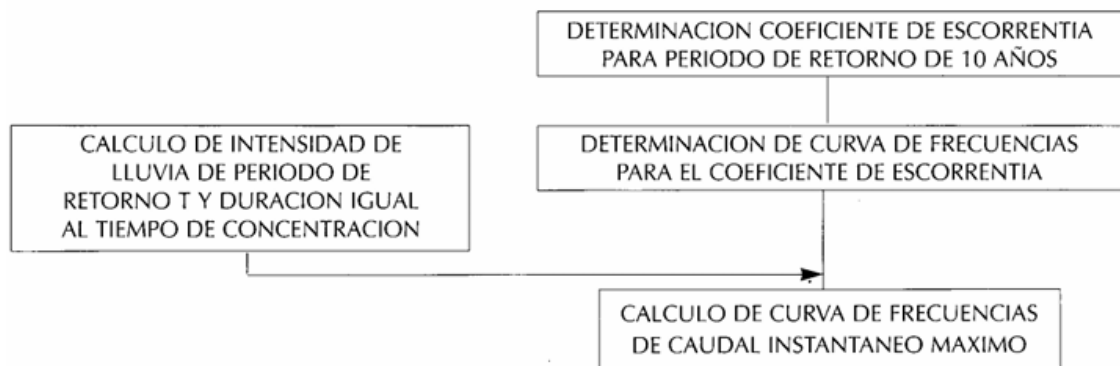


Figura N° 8: Esquema de cálculo del Método Fórmula Racional
Fuente: MOP-DGA (1995)

- Determinación del coeficiente de escorrentía de período de retorno 10: depende de la ubicación geográfica. Para la VIII Región, el manual establece $C(T=10) = 0,36$
- Determinación de la curva de frecuencia del coeficiente de escorrentía: Se debe multiplicar el coeficiente de escorrentía $C(T=10)$ por los factores de frecuencia establecidos en la Tabla N°11
- Cálculo de la intensidad de la lluvia de período de retorno T y duración igual al tiempo de concentración: se utilizaron los coeficientes de duración

por hora (Ver Tabla N°11) correspondientes a la localidad de Concepción, VIII Región, según indica el manual:

Tabla N° 11: Coeficientes de duración para la localidad de Concepción, VIII Región

Duración (horas)	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Coeficiente de duración (CD)	0,197	0,307	0,385	0,479	0,569	0,642	0,708	0,778	0,891	1

Fuente: MOP-DGA (1995)

Estos coeficientes se interpolaron con la función “PRONÓSTICO.LINEAL” en Microsoft Excel, utilizando el tiempo de concentración de la cuenca (T_c), en horas, como variable x , obteniendo así un coeficiente de duración correspondiente al tiempo de concentración de la cuenca (CD_{t_c}). Con esto, se aplicó la ecuación (3) para obtener la intensidad de la lluvia:

$$i^T = \frac{CD_{t_c} \times P_{24}^T}{t_c} \quad (3)$$

Donde:

i : Intensidad media de la lluvia, en mm/h

CD_{t_c} : Coeficiente de duración igual al tiempo de concentración

P_T^{24} : Precipitación máxima de 24h y período de retorno “T”, expresado en mm

t_c : Tiempo de concentración de la cuenca, expresado en horas

Finalmente, obteniendo todas las variables, se aplicó la ecuación (4) para el cálculo del caudal máximo:

$$Q = \frac{C^T \times i^T \times A}{3,6} \quad (4)$$

Donde:

Q : Caudal instantáneo máximo de período de retorno T , expresado en m^3/s

C^T : Coeficiente de escorrentía asociado al período de retorno T .

i^T : intensidad media de lluvia asociada al período de retorno T y a una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca pluvial, expresada en mm/h

A : Área pluvial aportante expresada en km^2

- Comparación con datos fluviométricos empíricos

Se utilizaron los datos de caudal medio máximo en 24h (m^3/s) medidos por la estación “Río Curanilahue en Curanilahue (08700002)” en el período 2009-2024 para generar un pronóstico para $T=10$ mediante el Método de Weibull.

Con esto, se hizo una comparación del resultado obtenido con los datos empíricos y cada uno de los métodos, en $T=10$, para finalmente seleccionar el método que más se acercara al valor empírico y utilizarlo para la estimación el período de retorno de las inundaciones de 2024.

iv. Estimación de T de las inundaciones de 2024

A partir de los valores de caudal máximo para períodos de retorno estimados con el método seleccionado en el punto anterior, se ajustó una función logarítmica en

Microsoft Excel con la cual fue posible estimar los períodos de retorno para las inundaciones de 2024.

5.2.3.Objetivo 3: Diagnosticar la Incorporación del riesgo de inundación en el Instrumento de Planificación Territorial comunal

i. Plan Regulador Comunal de Curanilahue

Se hizo una revisión del actual Plan Regulador Comunal de Curanilahue, identificando su zonificación, sus alcances, limitaciones y actualizaciones históricas.

ii. Áreas afectadas por las inundaciones de 2024 según zona del PRC

Se realizó un contraste del área afectada por la inundación identificada en el objetivo 1 con la zonificación del Plan Regulador Comunal del año 1982 para asociar las zonificaciones presentes en el área. Complementariamente se buscaron antecedentes asociados al contexto actual de la comuna en materia de IPT.

VI. Resultados

6.1. Objetivo 1: Caracterizar las áreas afectadas por inundación fluvial para el entorno urbano de Curanilahue asociado a las crecidas del año 2024

6.1.1. Identificación del área de afectación

Se observó una zona afectada de 460.780 m², distribuida a lo largo de 4,9 km de cauce inundado, principalmente del Curanilahue y de un tramo del río Ranas previo a la confluencia, con una distancia en línea recta entre extremos de 3,86 km (Ver Figura N°9). Esta diferencia evidencia la sinuosidad del Curanilahue, dominado por meandros amplios y estrechos, característicos de valles aluviales de pendiente moderada-baja (Ollero, 2000), lo que favorece la acumulación de caudales y el comportamiento lateral de la inundación durante crecidas (Gallegos, 2010).

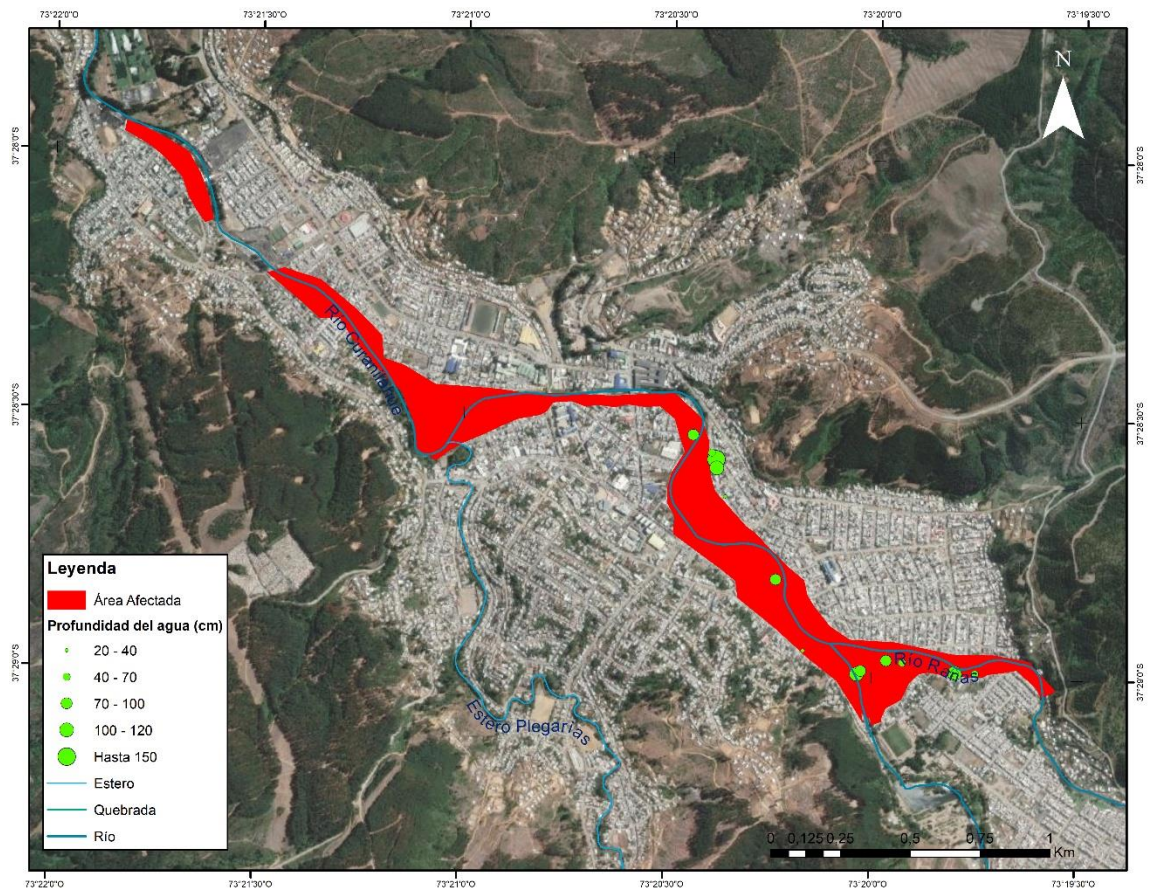


Figura N° 9: Área de afectación de las inundaciones de 2024

Fuente: Elaboración propia, Municipalidad de Curanilahue

El área inundada se produce en una depresión aluvial amplia donde el valle del río Curanilahue pierde pendiente y favorece la expansión lateral de la lámina de agua (Ver Figura N°10). La combinación de una topografía suavemente inclinada, amplias zonas deprimidas y la convergencia de caudales provenientes del río principal y sus tributarios explica la gran extensión de la superficie inundada y la persistencia de láminas de agua significativas en el sector.

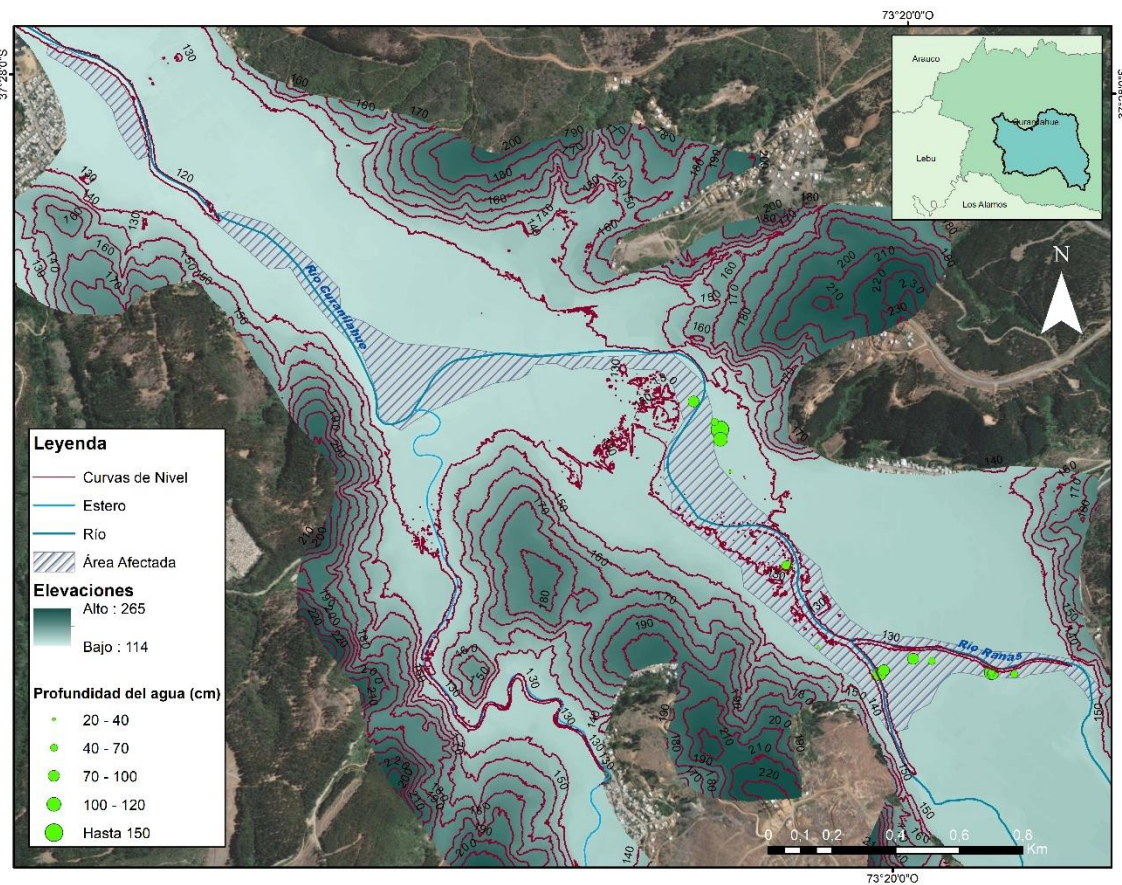


Figura N° 10: Elevaciones y curvas de nivel (10m) del valle de la ciudad de Curanilahue
Fuente: Elaboración propia

Interpretación por tramos

- **Tramo 1: tramo de entrada del río Ranas y confluencia con el río Curanilahue**

En el tramo de entrada, el río Ranas entra canalizado (Ver Figura N°11) con pendiente menor (0,76%) a la del Curanilahue (1,3%), generando una unión de caudales dentro de un entorno urbano completamente asentado sobre la planicie aluvial. Las profundidades de inundación en dicha zona alcanzaron hasta 120 cm, afectando directamente viviendas y calles contiguas al cauce. La canalización concentra el flujo y potencia la expansión inmediata hacia las áreas urbanas bajas situadas en los márgenes del cauce.



Figura N° 11: Canalización del río Ranas previo a la confluencia
Fuente: Google Earth Pro (2024)

- **Tramo 2: tramo central antes de la confluencia con el Estero Plegarias**

Aquí se presenta la mayor afectación del evento de 2024, con profundidades que alcanzan hasta 150 cm en sectores densamente urbanizados asentados sobre cotas bajas (120–140 m). El valle se abre, la pendiente disminuye y el agua se extiende ampliamente entre edificaciones, afectando de manera sostenida grandes sectores residenciales. En este tramo se observó claramente un efecto de remanso: las mayores profundidades se registran aguas arriba del meandro más cerrado, antes de la confluencia con el Estero Plegarias. Esto ocurre porque el nivel del agua sube en la zona donde se unen los cauces, y la curva cerrada junto con el canalizado dificultan el flujo, haciendo que el agua se acumule y retroceda hacia arriba, aumentando la profundidad en un tramo que ya es muy vulnerable por ser bajo y urbano. Este comportamiento es consistente con lo documentado por Hidayat et al. (2011), quienes muestran que en ríos meandriformes los aumentos de nivel aguas abajo y las restricciones geométricas generan efectos de remanso que elevan el tirante y provocan acumulación aguas arriba, tal como se observa en este sector.

- **Tramo 3: Confluencia con el Estero Plegarias y meandro más cerrado**

En este tramo, la incorporación del Estero Plegarias coincide con el meandro más estrecho del río, donde el cauce cambia bruscamente de dirección. A esta restricción geométrica se suma un factor topográfico clave: una mayor elevación

en la margen izquierda, que actúa como barrera física e impide que el agua se expanda hacia ese lado. Esta combinación genera nuevamente un efecto de remanso, lo que provoca que toda la sobrecarga de caudal se expanda hacia la derecha, donde existe una planicie urbana más amplia y baja.

- **Tramo 4: Apertura del cauce después del meandro cerrado**

Tras superar el meandro más cerrado, el río se abre y recupera una trayectoria más amplia, lo que permite que el flujo se distribuya con mayor uniformidad a lo largo de la planicie, pero mantiene una inundación extensa debido a las cotas bajas y la continuidad de la planicie aluvial. Al no existir restricciones geométricas fuertes como curvas cerradas o encajonamientos laterales, el flujo avanza lateralmente sobre una franja más ancha,

En conjunto, el análisis del área de afectación de las inundaciones de 2024 en Curanilahue evidencia que la magnitud y distribución del daño respondieron directamente a la interacción entre la morfología del valle, la forma del cauce y la ocupación del territorio. La pérdida de pendiente, los meandros, las depresiones aluviales y las confluencias condicionaron la expansión lateral del flujo y la aparición de remansos, explicando la amplitud y persistencia de la inundación. Estos factores permiten comprender por qué ciertos sectores resultaron más afectados y refuerzan la necesidad de interpretar estos eventos desde una visión territorial y geomorfológica integrada.

6.1.2. Caracterización de los daños

En junio, la ciudad de Curanilahue fue catalogada por la prensa como la “zona cero” de las inundaciones (La Tercera, 2024). Según reportes del municipio, se estimaron 5.000 viviendas y 2.000 personas afectadas (Radio Biobío, La Tercera, 2024). La alcaldesa Alejandra Burgos indicó a La Tercera que “hay daños mayores a los enseres del hogar, a la infraestructura de las viviendas y también en algunos otros casos daños más leves”.

Entre las infraestructuras afectadas, se cuentan pasarelas peatonales, puentes, caminos, veredas, obras en construcción como el Puente Prat y unas nueve remociones de masa considerables (Radio Biobío, 2024), como se muestra en la Figura N°12. Esta inundación provocó un corte de agua masivo para el 100% de la localidad debido a una rotura de aducción en el río Ranas debido a una remoción en masa, afectando a 9.816 clientes en el período del 12 al 16 de junio.



Figura N° 12: Imágenes de la inundación de junio 2024 en Curanilahue
Fuente: Radio Biobío, 2024

Según el catastro realizado por Sercotec, 135 comerciantes declararon pérdidas ocasionadas por las copiosas lluvias de junio.

A continuación, las figuras N°13 y N° 14 presentan imágenes tomadas en terreno luego de la crecida:



Figura N° 13 37°28'49.04"S, 73°20'15.52"O



Figura N° 14 37°28'48.77"S, 73°20'14.38"O
(Fuente: LARRS, EULA)

Durante el sistema frontal de agosto de 2024, Curanilahue recibió más de 280 mm, lo cual provocó desbordes, cortes de suministro eléctrico y daños en la infraestructura urbana. Esta vez, la alcaldesa declaró que “lo que tenemos es precipitaciones por sobre cualquier nivel que hayamos podido registrar anteriormente”. Además, “vecinos de la comuna han señalaron que -a diferencia del sistema frontal anterior ocurrido a inicios de junio- se inundaron de manera mucho más rápida” (Radio Biobío, 2024)

Se registraron desbordes y una rápida subida de los ríos, con centenares de viviendas anegadas, evacuaciones y suspensión de servicios básicos; las fuentes señalan “olas de inundación” que dejaron a barrios enteros bajo el agua y la declaración de alerta roja en la provincia, además de daños sostenidos al comercio local (EMOL, 2024; Diario Concepción, 2024; Radio Bío-Bío, 2024).

6.1.3. Afectación según datos del Censo 2017

▪ Exposición

Se estimó un total de 3.504 personas afectadas. En la Figura N°15 se muestra una distribución estimada de la cantidad de personas afectadas por manzana, donde se puede observar un elevado número de personas en manzanas más pequeñas, lo cual puede ser un indicador de hacinamiento, y por tanto vulnerabilidad.

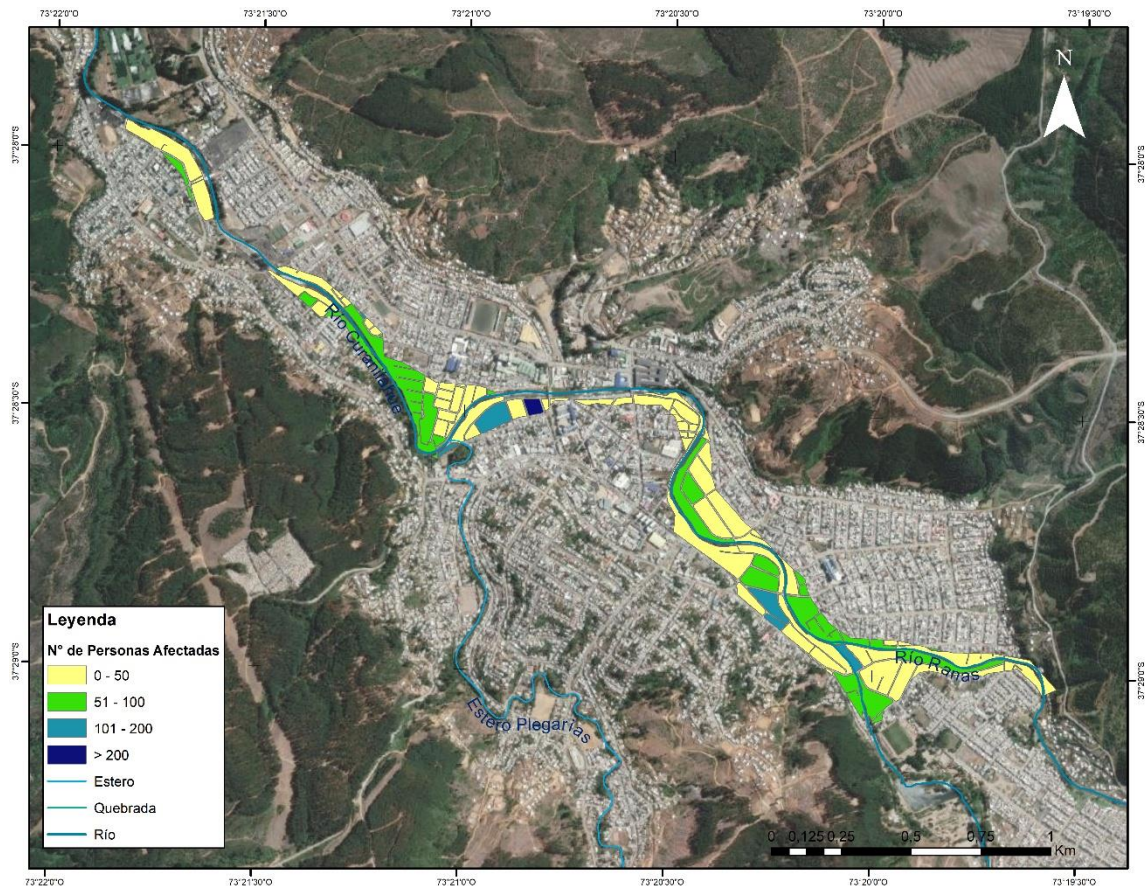


Figura N° 15: Número de personas afectadas por manzana
Fuente: Elaboración propia, Municipalidad de Curanilahue, Censo 2017 (INE)

Dentro de la población afectada existe un 17,1% de menores de 14 años y un 11% de mayores de 65, ambos grupos considerados de dependencia demográfica, y por lo tanto de mayor vulnerabilidad (INE, 2017). Además, se encuentra un 14,1% de población perteneciente a algún indígena u originario, que también se consideran un grupo de mayor vulnerabilidad (Ver Tabla N°12).

Tabla N° 12: Porcentaje de personas en el área de afectación según sexo, edad y origen

Sexo	Hombres	47,9%
	Mujeres	52,1%
Edad	0 a 5 años	6,8%
	6 a 14 años	10,3%
	15 a 64 años	68,0%
	65 y más años	11,0%
Origen	Migrantes que residen habitualmente en el territorio nacional	0,1%
	Que se consideran pertenecientes a algún pueblo indígena u originario	14,1%

Fuente: Elaboración propia en base a Censo 2017 (INE)

■ Viviendas

Se estimó un total de 1.201 viviendas afectadas, distribuidas por manzana como indica la Figura N°16, donde se observa que las demarcaciones siguen la misma tendencia en relación a las personas por manzana.

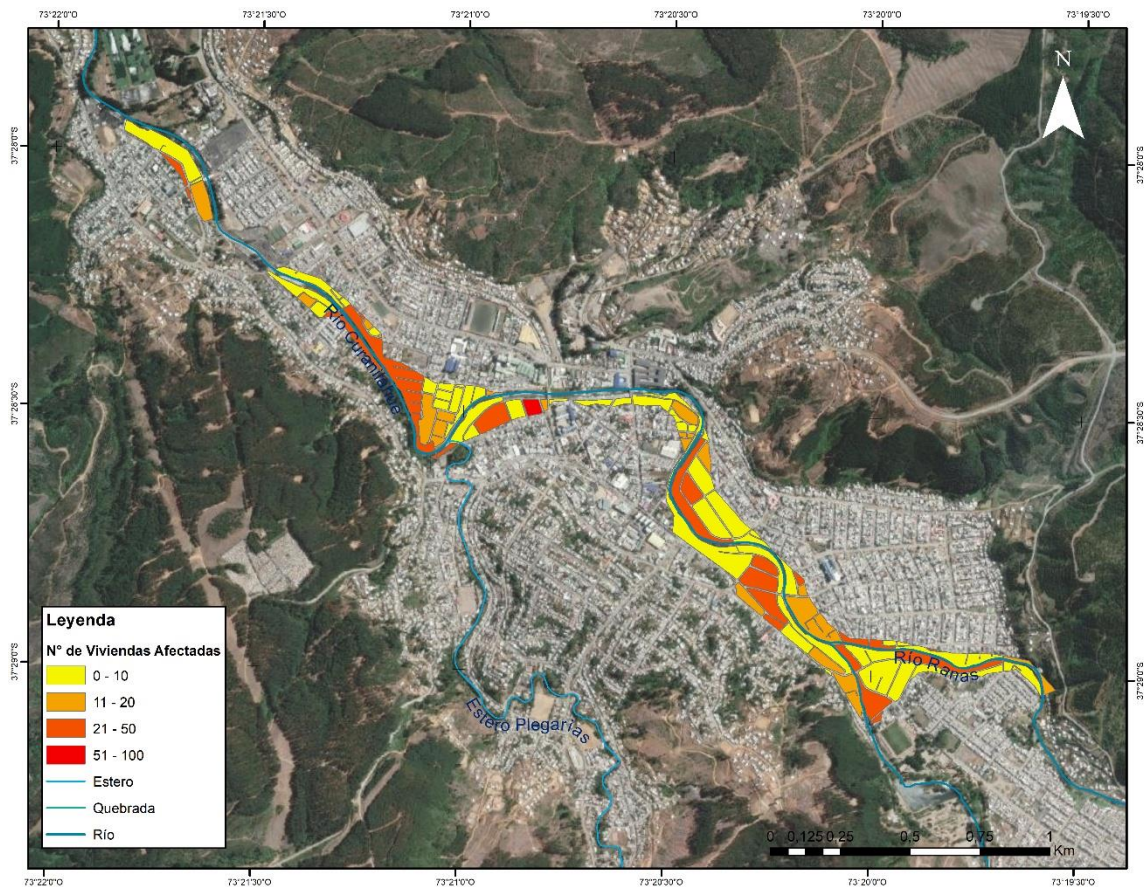


Figura N° 16: Número de viviendas afectadas por manzana

Fuente: Elaboración propia en base a Municipalidad de Curanilahue; Censo 2017 (INE)

- Materialidad de las viviendas

Al revisar la materialidad de las viviendas se detectó una prevalencia de viviendas construidas en base a tabiquería y madera (ver Figura N°17), lo cual las deja altamente vulnerables al daño por inundación.

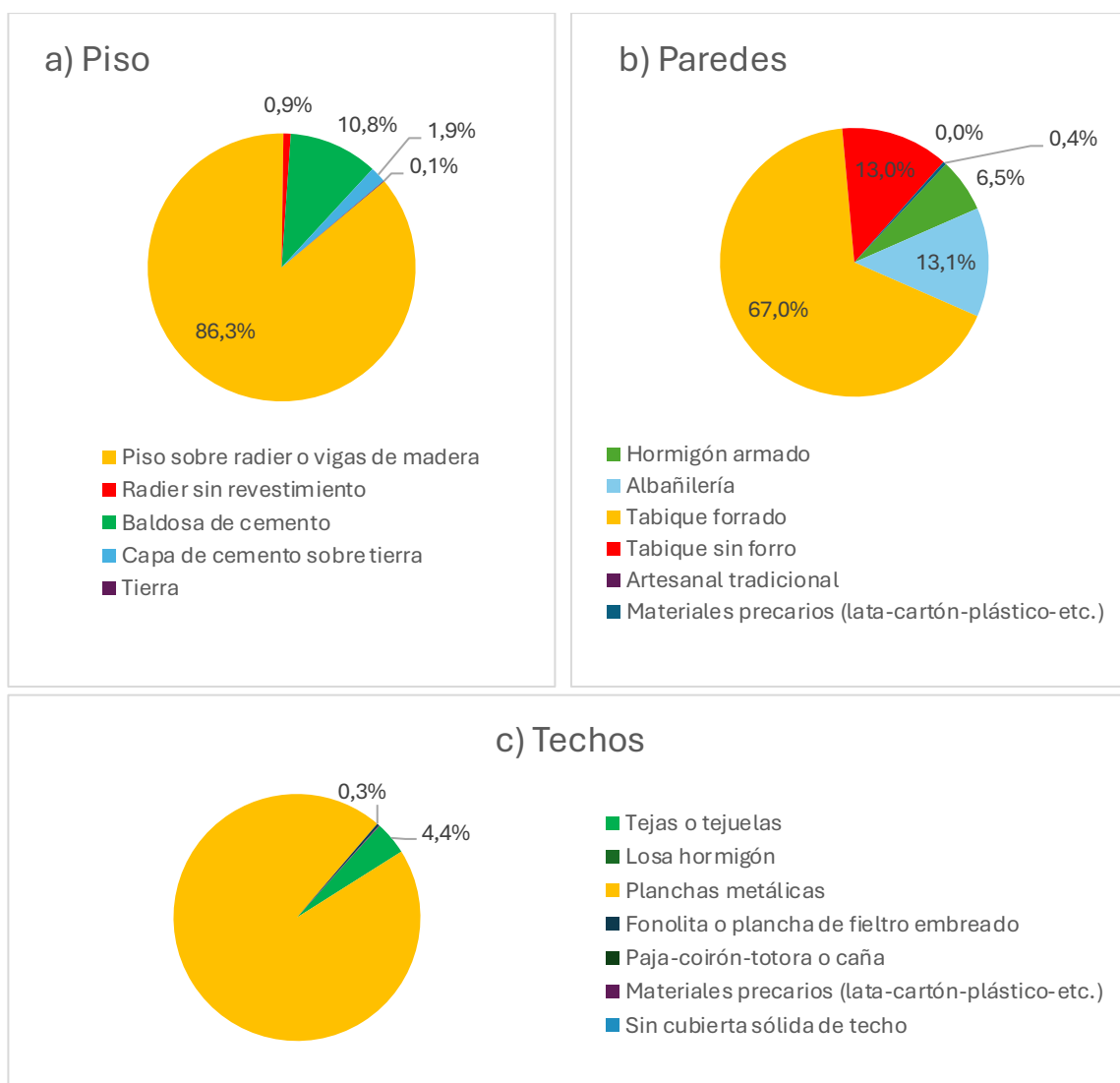


Figura N° 17 Materialidad de las viviendas
Fuente: Elaboración Propia

La vulnerabilidad en la “categoría de materialidad” (Figura N°18) supera ampliamente los índices nacionales, donde a nivel nacional la materialidad recuperable alcanza el 15% (INE, 2017), haciendo que en las áreas afectadas por la inundación en Curanilahue esto se sobrepase en casi 10 puntos porcentuales (24,9%).

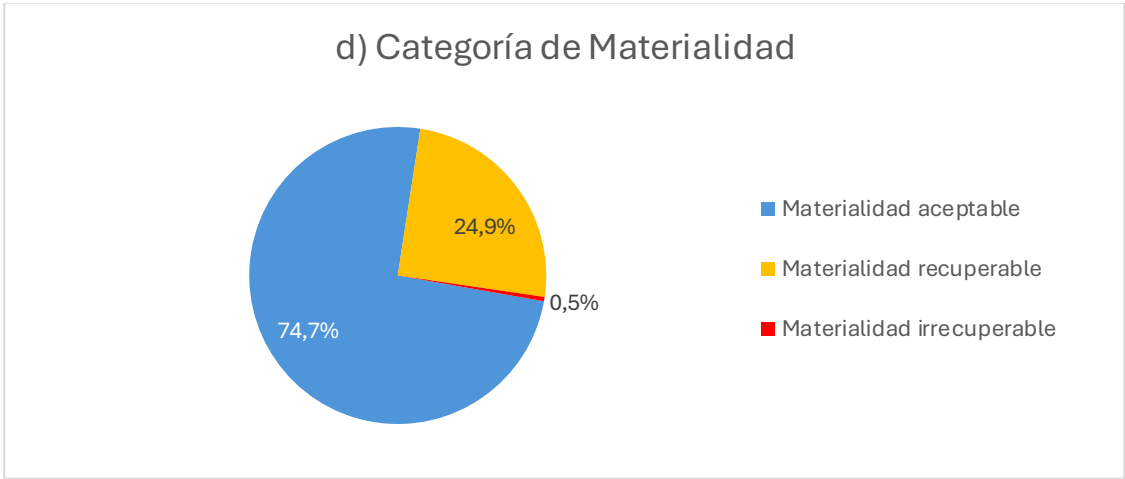


Figura N° 18: Categoría de Materialidad
Fuente: Elaboración propia

Respecto al acceso a servicios básicos (Tabla N°13), el 90,5% tiene acceso a agua potable de la red pública, lo cual es menor al 93% promedio nacional (INE, 2017).

Tabla N° 13: Porcentaje de viviendas según origen del agua consumida

Red pública	90,5%
Pozo o noria	0,2%
Camión aljibe	0,2%
Río, vertiente, estero, canal, lago, etc.	0,5%

Fuente: Elaboración propia, Municipalidad de Curanilahue, Censo 2017 (INE)

6.2. Objetivo 2: Estimación el período de retorno asociado a los caudales máximos de las crecidas del año 2024 en Curanilahue

6.2.1. Parámetros geomorfológicos

Los parámetros geomorfológicos (Tabla N°14) indican que se trata de una cuenca alargada y poco compacta ($K_c = 1,71$; $C_i = 0,34$; $F_f = 0,11$), lo que indicaría un bajo riesgo de inundaciones repentinas (flash-floods). Sin embargo, considerando la pendiente media del cauce de 2,2%, la respuesta hidrológica tiende a ser moderadamente rápida, pero no explosiva: la escorrentía no se concentra de forma súbita, pero tampoco es lenta debido a la pendiente del cauce, que favorece velocidades de flujo mayores. Por su parte, el tiempo de concentración de 4,58 h indica que, ante lluvias intensas de duración similar o superior, la cuenca puede generar crecidas fluviales significativas. Esto quiere decir que, bajo precipitaciones prolongadas, se pueden producir picos de caudal relevantes y crecidas sostenidas, especialmente si hay suelos saturados o baja infiltración, lo que se condice con los registros históricos que indican la tendencia a inundarse en eventos meteorológicos de ríos atmosféricos.

Tabla N° 14: Parámetros geomorfológicos de la cuenca de estudio

	<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuenca completa</i>	<i>Cuenca desde Estación</i>
<i>A</i>	Área de la cuenca	km ²	153	108
<i>P</i>	Perímetro de la cuenca	km	75	55
<i>L</i>	Longitud del cauce principal	km	37	32
<i>Hmin</i>	Altura mínima de la cuenca	msnm	140	140
<i>Hmax</i>	Altura máxima de la cuenca	msnm	1010	1010
<i>Havg</i>	Altura media de la cuenca	msnm	423	483
<i>H</i>	Desnivel máximo de la cuenca	m	870	870
<i>HLmax</i>	Altura máxima del cauce principal	msnm	958	958
<i>HLmin</i>	Altura mínima del cauce principal	msnm	140	140
<i>Savg</i>	Pendiente media del cauce principal	%	2,20	2,58
<i>Tc</i>	Tiempo de Concentración	hrs	4,58	3,8
<i>Kc</i>	Índice de compacidad	-	1,71	1,49
<i>Ci</i>	Índice de circularidad	-	0,34	0,45
<i>Ff</i>	Factor de forma	-	0,11	0,11

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Precipitación máxima en 24 horas

La Tabla N°15 muestra las precipitaciones máximas diarias estimadas en base las estaciones seleccionadas, con un (P_{24}^{10}) de 136,4 mm que resultó ser, con los datos disponibles, lo más cercano al (P_{24}^{10}) = 100 - 120 mm indicado según las isoyetas (MOP-DGA, 1991).

Tabla N° 15: Precipitación máxima diaria para períodos de retorno, en mm

T (años)	PP máx. 24h (mm)
2	91,2
5	118,4
10	136,4
20	153,7
25	159,1
50	176,0
100	192,8

Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Caudal máximo en 24 horas

Los caudales máximos diarios estimados según los métodos DGA-AC, Verni-King modificado y Fórmula Racional (Tabla N°16) dieron como resultado para el período de retorno de 10 años 117,6; 121,8 y 136 m³/s respectivamente.

Tabla N° 16: Caudal máximo diario para períodos de retorno según metodologías indirectas, en m³/s

Metodología	DGA-AC	Verni-King	Racional
T (años)	Q máx. 24h (m ³ /s)		
2	74,1	84,5	104,0
5	99,9	116,8	134,9
10	117,6	121,8	136,0
20	139,9	153,6	166,7
25	146,9	162,1	174,4
50	169,3	185,5	194,8
75	182,2	-	-
100	191,6	209,6	215,5

Fuente: Elaboración Propia

Los valores empíricos de caudales máximos diarios para el período 2009-2024 (Tabla N°17) generaron un pronóstico de $Q_{24}^{10} = 109,9 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el método DGA-AC ($Q_{24}^{10} = 117,6 \text{ m}^3/\text{s}$) resultó ser el más cercano a la base empírica y se seleccionó para continuar con la estimación de los períodos de retorno de las inundaciones de junio y agosto de 2024.

Tabla N° 17: Caudales medios máximos diarios medidos en la estación Río Curanilahue (2009-2024), en m³/s

Año	Q. medio máx. 24h (m³/s)
2009	105,6
2010	53,1
2011	31,3
2012	45,7
2013	29,6
2014	47,6
2015	46,8
2016	24,7
2017	103,8
2018	44,6
2019	33,3
2020	63,8
2021	29,7
2022	73,0
2023	54,4
2024	130,0

Fuente: Elaboración Propia, datos DGA

6.2.4. Período de retorno de las inundaciones de 2024 en Curanilahue

La curva generada por el Método DGA-AC se ajustó a una proyección logarítmica (Figura N°19) con un valor aceptable de $R^2 = 0,9983$, con lo que se utilizó la ecuación generada para calcular los períodos de retorno según los caudales de crecida de 154,5 m³/s (junio) y 176,4 m³/s (agosto) (Tabla N°18).

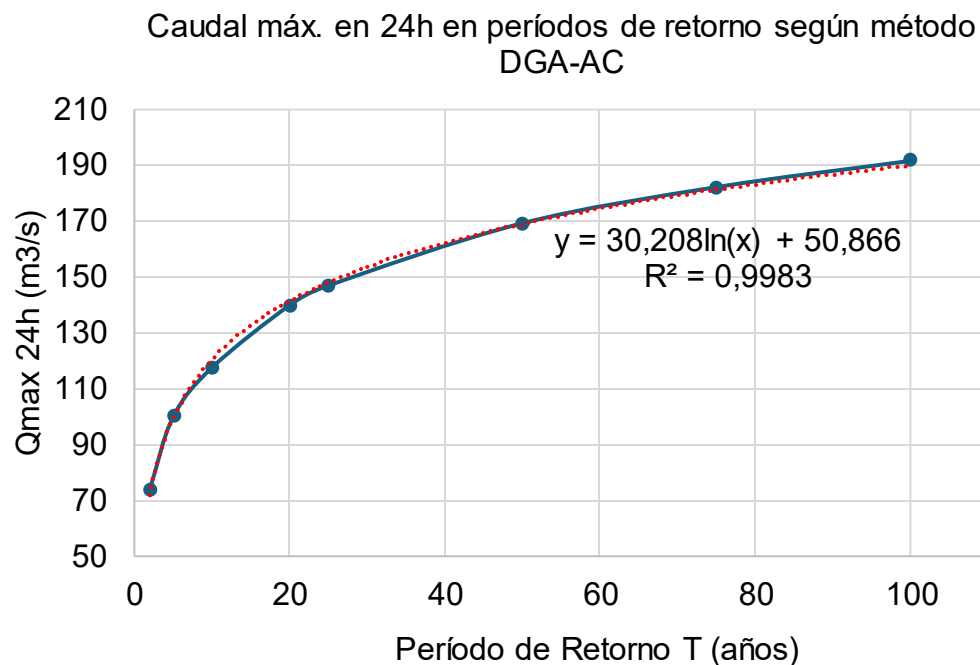


Figura N° 19: Proyección logarítmica de los caudales máximos para periodos de retorno en base a método DGA-AC

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 18: Caudales instantáneos máximos medidos en las crecidas de 2024 y su período de retorno estimado

Fecha	CAUDAL DE CRECIDA (M³/S)	Estimación período de retorno T (años)
junio 2024	154,5	30,9
agosto 2024	176,4	63,8

Fuente: Elaboración propia

El resultado de T=30 años para la crecida de junio se considera un período de retorno bajo, indicando que este tipo de crecidas se producen con mayor frecuencia. Por otra parte, el T=64 años estimado para la inundación de agosto, se condice con el nivel de precipitaciones y caudal más alto, y con los relatos de los pobladores de ser una inundación mucho más rápida e intensa que la de junio.

Según Jarpa (2020) existe una recurrencia histórica de inundaciones de 3,7 años, identificando 10 eventos entre 1980 y 2017, donde las áreas de inundaciones históricas (Ver Figura N°20) son similares a las áreas afectadas en 2024.

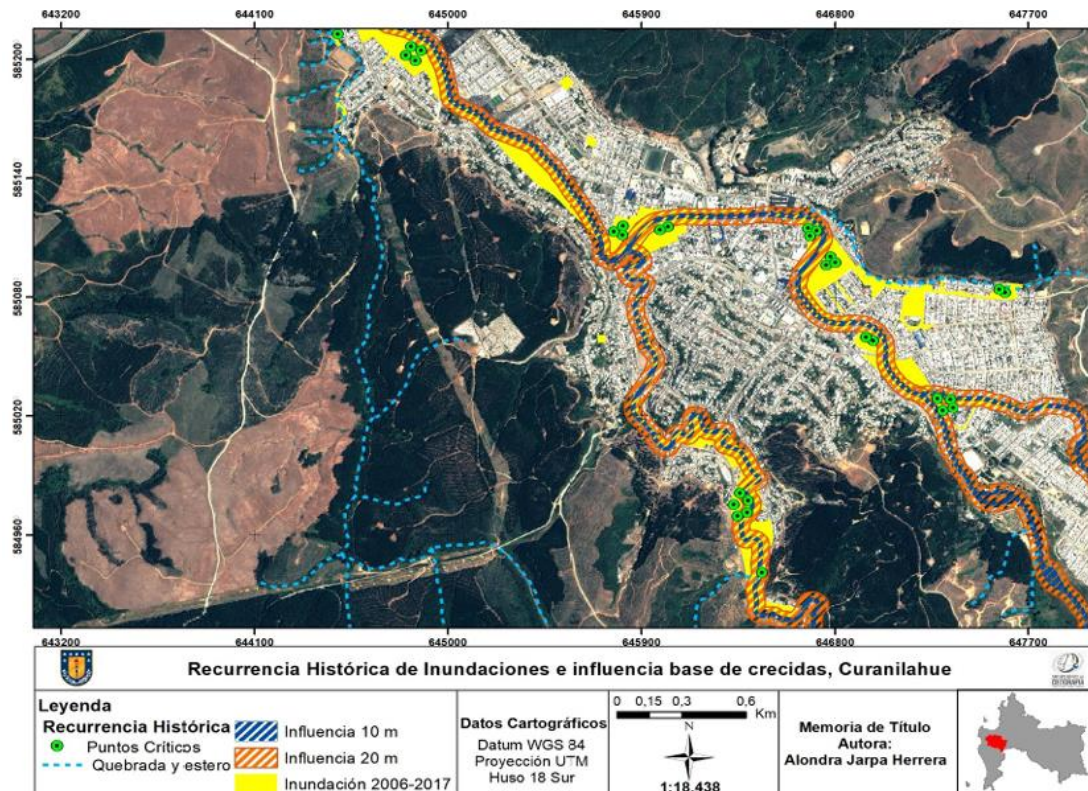


Figura N° 20: Recurrencia histórica de inundaciones e influencia base de crecidas, Curanilahue
Fuente: Jarpa, A. (2020)

El nivel de daños y frecuencia de estas inundaciones indican que existen otros factores asociados al daño generado que van más allá del aumento de caudales, como la expansión urbana descontrolada sobre el espacio fluvial.

6.3. Objetivo 3: Incorporación del riesgo en el instrumento de planificación territorial comunal

6.3.1. Plan Regulador Comunal de Curanilahue

El Plan Regulador Comunal (PRC) de Curanilahue original data del año 1982 (Ver Anexos N°1), y ha tenido una serie de modificaciones, siendo la más importante la del año 2013 que amplió el límite urbano y agregó zonas de riesgo de remoción en masa. Actualmente, el límite urbano presentado no contempla toda el área construida en la ciudad, donde existen múltiples asentamientos informales (tomas). La zonificación (Figura N°21) consta de sólo 4 zonas definidas según el tipo de actividad permitida y prohibida en el lugar (Tabla N°19). Estas delimitaciones no presentan mayores detalles, dando espacio a interpretaciones subjetivas y ambigüedades, además de no mostrar ningún tipo de zonificación de riesgo de inundaciones y permitiendo las edificaciones directamente en el lecho de los ríos.

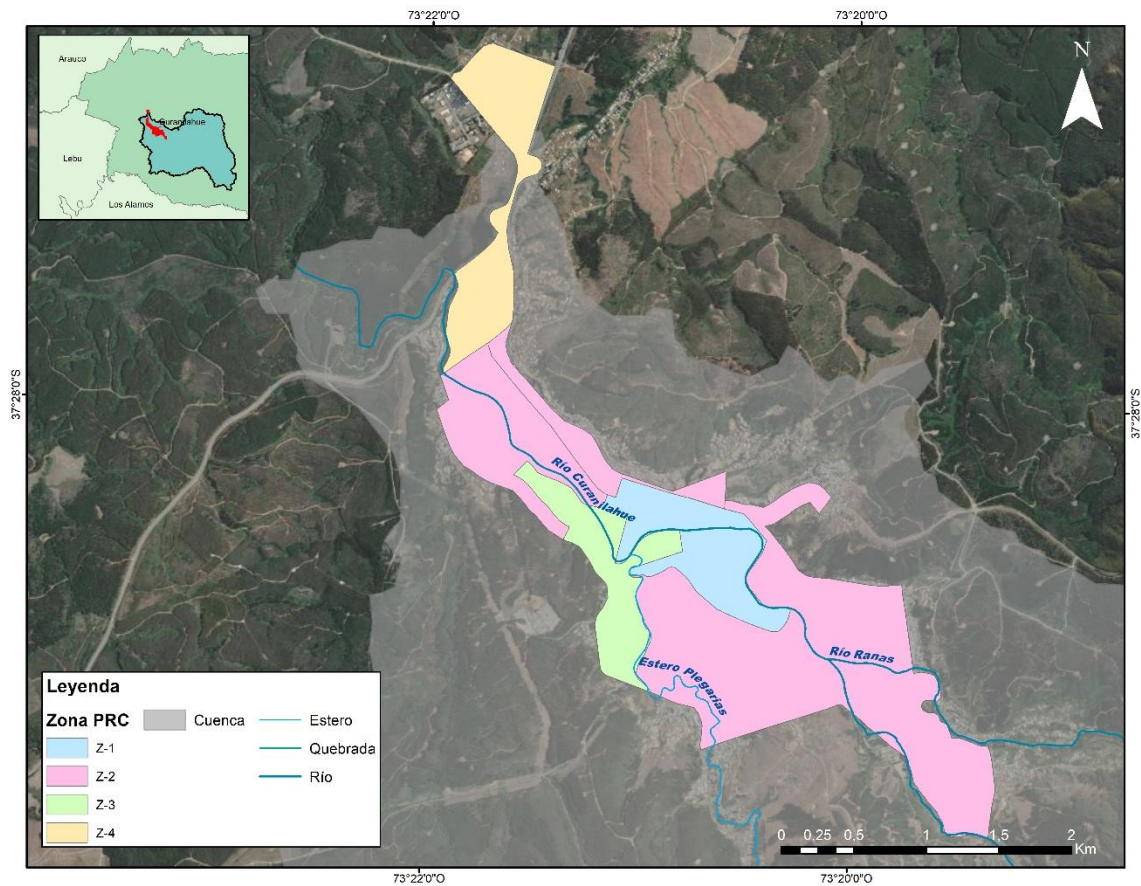


Figura N° 21: Zonificación del Plan Regulador de Curanilahue

Fuente: MINVU

Tabla N° 19: Usos de suelo de las zonas del Plan Regulador de Curanilahue

Zona	Se Permite	Se prohíbe
Z - 1	Vivienda, comercio, oficina, equipamiento, área verde y taller artesanal calificado por el organismo competente	Todo tipo de industria y bodega
Z - 2	Vivienda, comercio, oficina, equipamiento, área verde, taller artesanal e industria o bodega inofensiva calificada por el organismo competente	Industria y bodega molesta
Z - 3	Vivienda, comercio, oficina, equipamiento, área verde, taller artesanal e industria o bodega inofensiva y molesta no contaminante calificada por el organismo competente	Industria o bodega contaminante
Z - 4	Áreas verdes, taller artesanal, industria y bodega inofensiva o molesta	Vivienda, comercio, oficina y equipamiento

Fuente: D.S. N° 56/1982 (MINVU)

6.3.2. Áreas afectadas por las inundaciones de 2024 según zona del PRC

En relación a la inundación, toda el área afectada está en zonas del plan regulador que incluyen viviendas y comercio menores (Figura N°22), siendo la principal la Zona 2 con un 73% del área afectada (Tabla N°20). Esto refuerza la alta vulnerabilidad estructural que sufre la ciudad frente a las inundaciones fluviales.

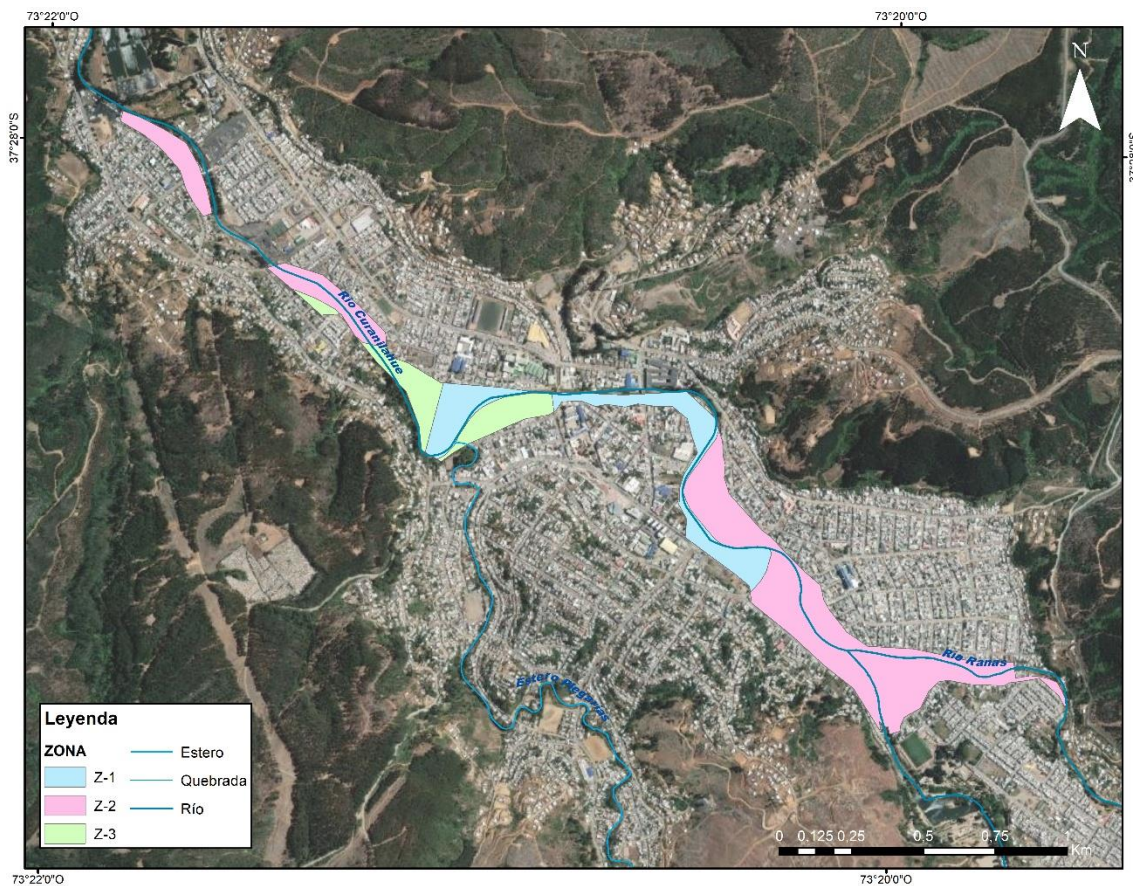


Figura N° 22: Áreas afectadas por las inundaciones de 2024, según zona del Plan Regulador Comunal

Fuente: Elaboración propia, MINVU

Tabla N° 20: Porcentaje de área afectada según zona del Plan Regulador Comunal

Zona	% del área afectada
Z – 1	15%
Z – 2	73%
Z – 3	12%

Fuente: Elaboración Propia, MINVU

En resumen, el PRC de Curanilahue se encuentra altamente desactualizado y es ineficaz en cumplir el objetivo requerido por la ley como instrumento de planificación territorial. En este contexto es importante destacar que se encuentra en un nuevo proceso de actualización: en 2023 se licitó la realización de un estudio para la actualización del PRC, fase actualmente en desarrollo a esperas de terminar el 2026. Para esto, la Municipalidad ya ha publicado la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) según lo requerido por la ley, indicando entre los objetivos ambientales que pretende alcanzar a través del plan: *"Disminuir la vulnerabilidad de riesgos de inundación (...) mediante la reconversión de usos de suelo residencial en los bordes de los Ríos Curanilahue, Ranas y estero Plegarias a uso de suelo por equipamiento y área verde."* Lo que indica que se está considerando de forma importante este riesgo, optando por una medida de mitigación no estructural complementaria a otros enfoques que deberían ser evaluados.

VII. Conclusiones

Los resultados muestran que la extensión y profundidad alcanzadas por la inundación no solo dependen del caudal generado durante el evento, sino también de las características geomorfológicas del valle y de la ocupación urbana sobre la planicie aluvial. La combinación de pendientes moderadas-bajas, meandros restrictivos, zonas deprimidas y confluencias de tributarios favoreció teóricamente la expansión lateral del flujo, afectando de manera significativa áreas densamente habitadas. Estos hallazgos subrayan la importancia de incorporar la dinámica natural del sistema fluvial en los procesos de planificación territorial y gestión de riesgo, priorizando estrategias que reduzcan la exposición y la vulnerabilidad de la población frente a futuras crecidas.

El moderado periodo de retorno estimado para la crecida que provocó la inundación de junio de 2024, junto con antecedentes de recurrencia histórica, evidencia que las inundaciones en Curanilahue se producen con una frecuencia mayor a la esperada si se consideran únicamente los caudales teóricamente estimados. Esta situación revela una falencia estructural en la planificación y desarrollo urbano de la ciudad, donde la canalización y desviación de los ríos, sumadas a la urbanización en zonas de ribera, han favorecido la ocurrencia de inundaciones incluso ante crecidas moderadas. En condiciones naturales, estos

eventos podrían haber sido absorbidos por el cauce original del río, sin generar los niveles de afectación observados.

Por esto, es fundamental implementar diversas medidas que fortalezcan la resiliencia de Curanilahue frente a eventos de inundación. La ciudad debe estar preparada para enfrentar estos niveles de crecida del río, adoptando tanto medidas de mitigación reactivas como preventivas, a fin de reducir el impacto de estos eventos.

En este contexto, es necesario considerar la alta vulnerabilidad del territorio, donde los índices de vulnerabilidad socioeconómica en Curanilahue superan tanto los promedios regionales como nacionales, reflejando condiciones de mayor precariedad que dificultan la capacidad de recuperación ante desastres. A ello se suma la baja calidad en la materialidad constructiva de gran parte de las viviendas, lo que incrementa aún más su exposición y fragilidad frente a fenómenos como las inundaciones, donde los principales lugares afectados son las viviendas y las actividades comerciales o industriales de menor escala, lo que agrava las consecuencias de cada evento. En consideración de esto, se debería explorar la posibilidad de establecer subsidios orientados al mejoramiento de la calidad constructiva de las viviendas existentes, así como evaluar la viabilidad técnica y social de incorporar segundos pisos como medida de adaptación ante futuras crecidas.

Así, resulta importante que el riesgo de inundación sea incorporado de manera explícita en los instrumentos de planificación territorial comunal. El desafío es de alta complejidad, ya que requiere un reordenamiento territorial significativo. Una estrategia fundamental consiste en ampliar el espacio fluvial mediante la incorporación de áreas verdes, tal como se plantea en la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) del proceso de actualización del Plan Regulador Comunal (PRC). No obstante, esta medida conlleva el traslado de población desde las zonas más expuestas, lo que representa una dificultad considerable, especialmente si se considera la necesidad de garantizar procesos de relocalización adecuados y socialmente viables. Aun así, este enfoque integral debe ser considerado como una prioridad en el nuevo PRC, con el fin de avanzar hacia una ciudad más segura, resiliente y socialmente equitativa, en concordancia con lo indicado por el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11: *"Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles"*.

VIII. Referencias

- Banco Mundial. (2011). *The World Bank Supports Thailand's Post-Floods Recovery Effort*. <https://encr.pw/J7Z3M>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2024). *Reporte Comunal de Curanilahue*. <https://tinyurl.com/2un2hwnh>
- Bronstert, A., Niehoff, D., & Bürger, G. (2002). Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 27(23–24), 1245–1255.
[https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00138-6](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00138-6)
- Cabrera, M., & Hernández, F. (2024). Sistema frontal: casas nuevamente inundadas dejan más de 280 mm de agua caída en Curanilahue. *Biobío Chile*. <https://encr.pw/wEi5D>
- Carrasco, J. (2025). Las históricas inundaciones del sur de Brasil “crearon nuevas formas de vulnerabilidad”. *El País América*. <https://l1nq.com/6nekx>
- Chilevisión. (2024, 13 de junio). Así fue el paso del sistema frontal por Curanilahue, la zona más afectada por las intensas lluvias. Chilevisión Noticias. <https://www.chilevision.cl/noticias/nacional/curanilahue-la-zona-mas-afectada-pro-el-gran-sistema-frontal>

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2015). Catastro Vegetacional 08. Región del Biobío Actualización 2015. Sistema de Información Territorial - CONAF. SIT CONAF. <https://sit.conaf.cl>

De Silva, M. M. G. T., & Kawasaki, A. (2020). A local-scale analysis to understand differences in socioeconomic factors affecting economic loss due to floods among different communities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101526. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101526>

Diario Concepción. (2024). Declaran Alerta Roja en Curanilahue y Arauco por desborde. Diario Concepción. <https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2024/06/21/alerta-roja-regional-curanilahue-sufre-nuevo-desborde-de-rios-y-en-arauco-el-viento-afecto-6-casas.html>

Emol. (2024). Curanilahue, la zona cero de la emergencia: Tres afluentes se desbordaron e inundaron a casi toda la ciudad. <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2024/06/13/1133642/curanilahue-zona-cero-emergencia-lluvias.html>

EMOL. (2024). Otra vez Curanilahue: Desborde de río en Región del Biobío deja más de 700 viviendas inundadas y siete albergados. EMOL. <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2024/08/02/1138538/desborde-rio-curanilahue.html>

Fernandez, J. (2015). *Strengthening Community Resilience to Climate-induced Disasters in the Dili to Ainaro Road Development Corridor, Timor-Leste: Design of a Model EWS and SOPs*. United Nations Development Programme. <https://l1nq.com/7GfY8>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Managing the Forest-Water Nexus and Mitigating Flood Events*. FAO.

Galilea Ocon, S. (2020). *Cambio climático y desastres naturales: una perspectiva macrorregional*. Instituto de Asuntos Públicos, Universidad de Chile. Disponible en <https://doi.org/10.34720/ghpt-jy35>

Gallegos, A. (2010). Los estudios de peligrosidad en la delimitación del Dominio Público Hidráulico y las zonas inundables. Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga. Recuperado de https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11046/Los_estudios_de_peligrosidad_en_la_delimitaci%C3%B3n_del_DPH_y_zona_inundable.pdf

Garreaud, R. D. (2024). Análisis CR2 | Junio versus junio. Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. <http://www.dgf.uchile.cl/noticias/219071/analisis-cr2--junio-versus-junio>

Gravelius, H. (1914). Grundriß der gesamten Gewässerkunde. Band I: Flußkunde. Berlin: Goschen'sche Verlagshandlung.

Hidayat, H., Vermeulen, B., Sassi, M. G., Torfs, P. J. J. F., & Hoitink, A. J. F. (2011). Discharge estimation in a backwater-affected meandering river. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(9), 2717–2728. <https://doi.org/10.5194/hess-15-2717-2011>

Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey Circular 1325.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275–370.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2025). *Mapas de inundación de Colombia*. SIAC. <https://l1nq.com/YjbRs>

Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). (2017). *Resultados Censo 2017*. <https://encr.pw/e6rhe>

Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). (2018). *Conceptos Indicadores:*

Tablas y Gráficos - Resultados Censo 2017. INE. <https://encr.pw/AowcY>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change*

2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change*

2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

Jarpa, A. (2020). Evaluación de factores condicionantes vinculados a procesos de inundación fluvial en el río Curanilahue, región del Biobío, Chile. Universidad de Concepción, marzo de 2020.

Jiang, S., Tarasova, L., Yu, G., & Zscheischler, J. (2024). Compounding effects in flood drivers challenge estimates of extreme river floods. *Science Advances*, 10(13), eadl4005. DOI: [10.1126/sciadv.adl4005](https://doi.org/10.1126/sciadv.adl4005)

Linsley, R. K., & Franzini, J. B. (1979). *Water-resources engineering* (3rd ed.). McGraw-Hill.

López-Martínez, Francisco. (2020). Análisis y evolución de la cartografía de zonas inundables en España, desde un marco jurídico de referencia nacional a uno europeo. *EURE (Santiago)*, 46(139), 277-284. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612020000300277>

Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee (Technical Report No. 3). New York: Department of Geology, Columbia University, for the Office of Naval Research.

Ministerio de Agricultura de Chile. (2019). *Planificación catastral*. IDE Minagri. <https://encr.pw/f28vj>

Ministerio de Hacienda de Chile. (2023). *Ministerio de Hacienda cifra en US\$759 millones el daño económico de los temporales en zona centro sur del país*. <https://encr.pw/9OIYm>

Ministerio de Justicia. (1978). Decreto Ley N° 2186: Aprueba ley orgánica de procedimiento de expropiaciones. Diario Oficial de la República de Chile, 9 de junio de 1978. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=6848>

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2011). *Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables*. Secretaría General Técnica, España. ISBN: 978-84-491-1136-5.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. (1982). Decreto 56: Aprueba Plan Regulador de Curanilahue. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. <https://l1nq.com/wNhdsd>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. (2021). *Instrumentos de Planificación Territorial*. IDE Minvu. <https://encr.pw/X17cy>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1976). Decreto 458: Aprueba nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. <https://encr.pw/JX8W8>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1992). Decreto 47: Fija nuevo texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. <https://encr.pw/FrCFj>

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2021). Ley 21.364: Establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, sustituye la Oficina Nacional de Emergencia por el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, y adecúa normas que indica. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. <https://encr.pw/zcU5C>

Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Subsecretaría del Interior. (2024). Decreto 199: Declara como zona afectada por catástrofe a la Región del Biobío, ratifica medidas que señala y designa autoridad con atribuciones

que indica. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*.

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1204173>

Ministerio del Interior, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.

(2006). DFL 1: Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. <https://encr.pw/wyGf7>

Ministerio del Medio Ambiente. (2022). Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. <https://l1nq.com/Xfs0z>

Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. (1995). Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica. Agosto de 1995. Santiago, Chile.

Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. (1991). Precipitaciones máximas en 1, 2 y 3 días. Ministerio de Obras Públicas, República de Chile.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (1994). Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. <https://encr.pw/b8Rwh>

Mora, H. (2024). Curanilahue, la segunda comuna más afectada por la lluvia: alcaldesa dice que la zona colapsó y no descarta pedir toque de queda. *La Tercera*, 14 de junio de 2024. <https://tinyurl.com/3v7be5sx>

Municipalidad de Curanilahue. (s.f.). Línea de tiempo: contexto histórico y urbano. Municipalidad de Curanilahue. <https://munichue.com/wp/historia/>

Municipalidad de Curanilahue. (). Extracto e inicio del procedimiento de evaluación ambiental estratégica relativa a la actualización del plan regulador de Curanilahue. Municipalidad de Curanilahue. <https://planreguladorcuranilahue.cl/eae/>

Noticias ONU. (2024). Asciende a 163 muertos y unos 580.000 desplazados por las inundaciones de Brasil, mientras se teme continúen las lluvias. *Noticias ONU*. 24 de mayo de 2024. Organización de las Naciones Unidas. <https://news.un.org/es/story/2024/05/1530036>

Ollero, A. (2000). Primera aproximación a una clasificación de cursos fluviales desde criterios hidrogeomorfológicos y paisajísticos y aplicable a la ordenación Lurralde: *Investigación y Espacio*, 23, 125–133. <https://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur23/rios/rios.html>

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2021). *Atlas de la OMM sobre mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos*,

climáticos e hidrológicos extremos (1970–2019). OMM-Nº 1267.

<https://encr.pw/2agle>

Oyarzún, C. E., Frêne, C., Lacrampe, G., Huber, A., & Hervé, P. (2011).

Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal. *Bosque (Valdivia)*, 32(1), 10-19.

<https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000100002>

Oyarzún, C., Godoy, R., & Sepúlveda, A. (2011). Impacto de plantaciones de

Eucalyptus globulus sobre la hidrología de pequeñas cuencas en el sur de Chile. *Bosque*, 32(3), 219–228. [https://doi.org/10.4067/S0717-](https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300003)

[92002011000300003](https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300003)

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2007). *Directiva*

2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.

Diario Oficial de la Unión Europea, L 288, 27-34.

Radio Bío-Bío. (2024, 2 de agosto). Sistema frontal: casas nuevamente

inundadas dejan más de 280 mm de agua caída en Curanilahue. Radio

Bío-Bío. [https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-](https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2024/08/02/sistema-frontal-casas-nuevamente-inundadas-dejan-mas-de-280-mm-de-agua-caida-en-curanilahue.shtml)

[bio/2024/08/02/sistema-frontal-casas-nuevamente-inundadas-dejan-mas-](https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2024/08/02/sistema-frontal-casas-nuevamente-inundadas-dejan-mas-de-280-mm-de-agua-caida-en-curanilahue.shtml)

[de-280-mm-de-agua-caida-en-curanilahue.shtml](https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2024/08/02/sistema-frontal-casas-nuevamente-inundadas-dejan-mas-de-280-mm-de-agua-caida-en-curanilahue.shtml)

- Reid, C. (2024, 13 de junio). Desbordamiento en Curanilahue: vecina arremete contra las forestales. *The Clinic*. <https://l1nq.com/83FsQ>
- Ribera Masgrau, L. (2004). *Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas*. Universitat de Girona. <https://l1nq.com/U3hCs>
- Robinson, M., & Ward, R. C. (2017). *Hydrology: Principles and Processes*. IWA Publishing. ISBN: 9781780407296
- Rogel, Á. (2017, 18 de junio). Más de 2 mil 800 damnificados deja mal tiempo en Curanilahue. *Diario Concepción*. <https://encr.pw/kPVNt>
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J. L., & Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 57, 5-24. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>
- Saco, P. M., McDonough, K. R., Rodríguez, J. F., Rivera-Zayas, J., & Sandi, S. G. (2021). The role of soils in the regulation of hazards and extreme events. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1834), 20200178. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0178>
- Sarricolea, P., Herrera, M. J., & Meseguer-Ruiz, O. (2017). *Climatic regionalization of continental Chile*. *Journal of Maps*, 13(2), 66-73.

- Shuster, W. D., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. R. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, 2(4), 263-275. <https://doi.org/10.1080/15730620500386529>
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In V. T. Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2025). *Curanilahue*. Gobierno de Chile. <https://l1nq.com/Kpr3A>
- Suriano, Z. J., & Leathers, D. J. (2018). Hydrologic implications of projected changes in rain-on-snow melt events. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), 1755–1770. <https://hess.copernicus.org/articles/22/1755/2018/>
- Tariq, M. A. U. R., Farooq, R., & van de Giesen, N. (2020). A critical review of flood risk management and the selection of suitable measures. *Applied Sciences*, 10(23), 8752. <https://doi.org/10.3390/app10238752>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2004). Guidelines for Integrated Flood Management. Disponible en: <https://encr.pw/ld604>

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2009). Terminología de la reducción del riesgo de desastres.

https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2021). Conceptos y enfoques básicos. UNDRR. [6-Conceptos y enfoques básicos 2.pdf](#)

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2017). The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction.

<https://www.undrr.org/drr-glossary/terminology>

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2021). De las palabras a la acción: Soluciones basadas en la naturaleza para la reducción del riesgo de desastres. Oficina de las Naciones Unidas para la

Reducción del Riesgo de Desastres. <https://www.undrr.org/words-action-nature-based-solutions-disaster-risk-reduction>

United States Bureau of Reclamation. (2015). Downstream Hazard Classification Guidelines. U.S. Department of the Interior.

<https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/documents/RCEM/RCEM-Chap13.pdf>

Vallance, J. W., & Iverson, R. M. (2015). Lahars and their deposits. En H. Sigurdsson (Ed.), *The Encyclopedia of Volcanoes* (2ª ed., pp. 649–664).

Academic

Press.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00037-7>

Weather Spark. (2025). El clima en Curanilahue, el tiempo por mes, temperatura promedio (Chile). <https://tinyurl.com/3kphr5sh>

World Meteorological Organization (WMO) & United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2012). International Glossary of Hydrology (3rd ed.). WMO-No. 385. Geneva: *World Meteorological Organization*.
<https://library.wmo.int/viewer/35589/download>

Zapperi, P. A., & Olcina, J. (2021). Cartografía de inundaciones en la planificación territorial. Estudio comparado entre Argentina y España. *Revista de Geografía Norte Grande*, 79, 1-23. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022021000200183>

IX. Anexos

1. Plan Regulador de Curanilahue (Original 1982)

