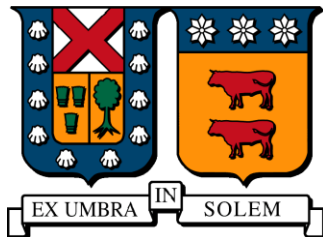


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO-CHILE



Aplicación de modelos de inundación en Chile central, basados en parámetros físicos y climatológicos y su relación con la transferencia de riesgo en el mercado asegurador.

Vicente Alejandro Morales Lara

Memoria para optar al título de
INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Profesor Guía : Daniel Ramírez Livingston

Ingeniero Correferente : Luis Meneses Álvarez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Aplicación de modelos de inundación en Chile central, basados en parámetros físicos y climatológicos y su relación con la transferencia de riesgo en el mercado asegurador.

Nombre del candidato(a): Vicente Alejandro Morales Lara

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Ambiental

Campus: Casa Central Valparaíso ; Departamento: Química y Ambiental

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Daniel Ramírez Livingston, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha:

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 04/09/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



Resumen

Esta memoria diseña y evalúa ocho modelos geoespaciales de riesgo ante inundaciones para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins, con el fin de aportar factores de riesgos claves que describan la probabilidad de ocurrencia de aquel fenómeno. Para la zona de estudio se compilaron variables climatológicas, topográficas, hidrológicas, de uso de suelo y 320 puntos catalogados como “críticos” ante inundaciones por SENAPRED. La necesidad de nueva información técnica a la hora de suscribir riesgos nace ante el aumento de pérdidas económicas asociados a catástrofes naturales (como las inundaciones), lo cual, a nivel mundial, desestabiliza el mercado asegurador al modificar el punto de equilibrio entre el costo de las primas y el monto de las indemnizaciones que deben pagarse tras cada siniestro.

El diseño de los modelos es elaborado mediante un esquema multicriterio realizado en ArcGIS Pro, que logra combinar los siguientes factores: elevaciones (EL), distancia a red hidrográfica (DR), densidad de drenaje (DD), pendiente (SL), índice topográfico de humedad (TWI), índice normalizado de vegetación (NDVI), uso de suelos (LU) e índice modificado de Fourier histórico (MFI). Los factores de riesgo son reclasificados, ponderados y sumados con la finalidad de obtener un modelo y mapa descriptivo de las zonas potenciales a inundación, formado por categorías ordinales (de muy bajo a muy alto riesgo). Aquel procedimiento se realizó para los ocho modelos mencionados.

Los resultados muestran que los modelos 3, 5, 6, 7 y 8 alcanzan tasas de acierto $\geq 90\%$ al confrontar las zonas de riesgo alto y muy alto con los puntos críticos. El desempeño mejora cuando DD, DR y EL reciben ponderaciones $\geq 0,125$; el TWI complementa eficazmente la clasificación, elevando los aciertos hasta 94 %. En cambio, ponderaciones elevadas del MFI amplían la dispersión estadística y reducen la exactitud (modelo 1: 78 %). Asimismo, incluir todos los efluentes con alto peso sobredimensiona el peligro, por lo que se recomienda clasificar la red hidrográfica antes de ponderar.

A modo de cuantificar el riesgo de inundaciones para el mercado asegurador, se propone integrar los factores de DD, DR, EL Y TWI en la “probabilidad de ocurrencia”, la cual es una variable clave a la hora de tarificar la prima pura de los riesgos. Esta formulación vincula directamente la exposición geoespacial con la tarificación, permitiendo que las aseguradoras asignen capital de forma proporcional al riesgo real y reduzcan la incertidumbre asociada a las inundaciones en la zona de estudio.



Agradecimientos

Al culminar esta etapa tan significativa de mi vida académica y personal, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a quienes hicieron posible que llegara hasta aquí.

En primer lugar, a mi madre y a mi abuela, pilares inquebrantables de mi formación y de mi carácter. Su amor incondicional, sus palabras de aliento y la fe que siempre depositaron en mí han sido la fuerza que me impulsó a superar cada obstáculo. Sin su compañía y respaldo, este logro no habría sido posible.

Extiendo mi gratitud a toda mi familia, por estar presente en cada momento decisivo, celebrando mis avances y brindándome apoyo cuando las circunstancias lo exigían. Saber que contaba con ustedes me otorgó la tranquilidad necesaria para avanzar con determinación.

A mi polola, **Isidora Goicochea**, gracias por acompañarme a lo largo de gran parte de la carrera. Tus consejos, tu paciencia y tu confianza constante iluminaron me ayudaron en los días más complejos y convirtieron este camino universitario en una experiencia mucho más linda y enriquecedora.

A **Luis Meneses**, mi sincero agradecimiento por presentarme y guiarme en este proyecto que finalmente dio fruto al cierre de mi carrera. Su orientación y confianza fueron claves para materializar esta investigación.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de carrera, quienes compartieron conmigo largas horas de estudio, proyectos y desvelos. Juntos afrontamos asignaturas que muchas veces nos hicieron sufrir, pero también nos brindaron la oportunidad de aprender y crecer. Valoro profundamente su compañerismo y el apoyo mutuo que siempre nos ofrecimos.

A todos ustedes, mi eterna gratitud. Este logro es también reflejo de su presencia y su compromiso en este viaje.



Índice de contenido

Resumen	2
Agradecimientos	3
Índice de Ilustraciones	6
Índice de tablas	7
1. Introducción	8
2. Objetivos	11
2.1. Objetivo General.....	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. Marco Teórico	12
3.1. Climatología de Chile.....	12
3.1.1. Zonificación climática	12
3.1.2. Cambio climático.....	13
3.1.3. Forzantes atmosféricos del clima chileno.....	14
3.2. Interpolación.....	16
3.2.1. Interpolación Lineal.....	16
3.2.2. Interpolación Espacial	16
3.3. Sistemas de referencia	19
3.3.1. Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)	19
3.3.2. Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)	19
3.4. Teledetección espacial.....	20
3.4.1. Sensores satelitales	21
3.5. Análisis de Sensibilidad	23
3.6. Mercado de los seguros	23
3.6.1. Fundamentos	23
3.6.2. Riesgos de la naturaleza	24
3.6.3. Modelación y tarificación.....	25
4. Metodología	26
4.1. Levantamiento de información.....	26
4.1.1. Precipitaciones.....	27
4.1.2. Modelo Digital de Elevación (DEM)	27



4.1.3.	Capas Vectoriales	27
4.1.4.	Imágenes multiespectrales Landsat	28
4.1.5.	Catastro de Inundaciones en zona central de Chile	28
4.2.	Depuración y preparación de información.....	28
4.2.1.	Capas vectoriales.....	28
4.2.2.	Precipitaciones.....	29
4.2.3.	Imágenes satelitales	29
4.3.	Generación de capas	30
4.3.1.	Elevaciones del terreno (EL).....	31
4.3.2.	Pendientes del terreno (SL)	31
4.3.3.	Índice Normalizado de Vegetación (NDVI).....	31
4.3.4.	Uso de Suelos (LU)	31
4.3.5.	Distancia a red hidrográfica (DR)	32
4.3.6.	Densidad de drenaje (DD)	32
4.3.7.	Intensidad de lluvia histórica (MFI)	33
4.3.8.	Índice topográfico de humedad (TWI)	34
4.4.	Reclasificación de magnitudes de riesgo.....	36
4.5.	Análisis de sensibilidad para parámetros de riesgo	36
4.6.	Generación de mapas con zonas potenciales de inundación	36
4.7.	Validación del modelo.....	37
5.	Resultados	38
5.1.	Modelos resultantes del análisis de sensibilidad.....	38
5.2.	Mapas de modelos con zonas potenciales de inundación.....	39
5.3.	Resultados de validación	41
6.	Análisis y discusión de resultados.....	43
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	45
8.	Referencias	47
9.	Anexos.....	52
9.1.	Anexo A	52
9.2.	Anexo B.....	67
9.3.	Anexo C.....	68
9.4.	Anexo D.....	70



9.5.	Anexo E	72
------	---------------	----

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Perdidas globales aseguradas producto de desastres naturales en billones de dólares.....	8
Ilustración 2: Perdidas aseguradas acumuladas por tipo de riesgo para el año 2024.	9
Ilustración 3: Pronostico de aumento del costo de los seguros (USD) para el área de property al año 2030 en USA.	9
Ilustración 5: Patrones de circulación de las forzantes atmosféricas a gran escala que afectan a Chile.	14
Ilustración 6: Incidencias de la presión en el clima terrestre.....	15
Ilustración 7: Patrones globales de vientos.	16
Ilustración 8: Vecindad de IDW para un punto seleccionado.....	17
Ilustración 9: Proceso de la radiación electromagnética incidente en la tierra proveniente del sol.	20
Ilustración 10: Espectro electromagnético de la radiación solar.	20
Ilustración 11: Combinaciones comunes de bandas en sensores Landsat	21
Ilustración 12: Diferencia de resolución espacial entre MODIS y Landsat.	22
Ilustración 13: Diferencia entre las bandas captadas con una imagen multiespectral (3-10) y una hiperspectral (centeras a miles).....	23
Ilustración 14: Ejemplo gráfico del relleno de celdas con ruidos.....	30
Ilustración 15: Ejemplo gráfico del funcionamiento de la herramienta "Direcciones de flujo"	32
Ilustración 16:Ejemplo gráfico de funcionamiento de acumulación de flujo.....	33
Ilustración 17: Flujo de trabajo para calcular Índice Topográfico de Humedad.	35
Ilustración 18: Mapeo de modelos con zonas potenciales de inundación para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins.....	40
Ilustración 20: Gráfico tipo caja o bigote de las distribuciones de cada modelamiento para los lugares catalogados como "puntos críticos ante inundaciones"	41
Ilustración 21: Mapa de elevaciones en m.s.n.m.	68
Ilustración 22: Mapa de pendientes en grados.	68
Ilustración 23: Mapa de índice normalizado de vegetación.	68
Ilustración 24: Mapa de usos de suelo.....	68
Ilustración 25: Mapa de distancia a efluentes en metros.	69
Ilustración 26: Mapa de densidad de drenaje en km/km ²	69
Ilustración 27: Mapa de MFI histórico en mm.	69
Ilustración 28: Mapa de índice topográfico de humedad.	69



Ilustración 29: Mapa modelo 1.....	70
Ilustración 30: Mapa modelo 2.....	70
Ilustración 31: Mapa modelo 3.....	70
Ilustración 32: Mapa modelo 4.....	70
Ilustración 33: Mapa modelo 5.....	71
Ilustración 34: Mapa modelo 6.....	71
Ilustración 35: Mapa modelo 7.....	71
Ilustración 36: Mapa modelo 8.....	71

Índice de tablas

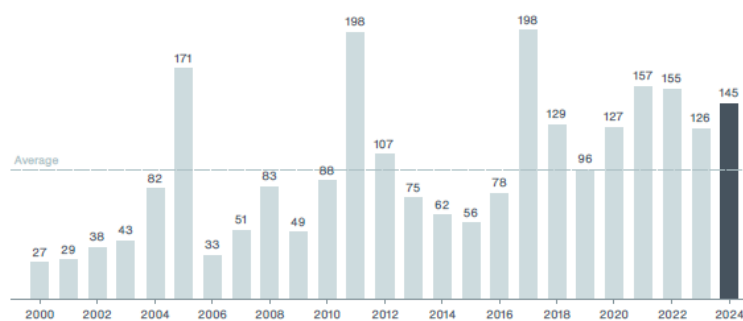
Tabla 1: Asignaciones de pesos para parámetros de riesgos en modelos 1,2 y 3.	38
Tabla 2: Asignaciones de pesos para parámetros de riesgos en modelos 4,5 y 6.	38
Tabla 3: Asignaciones de pesos para parámetros de riesgos en modelos 7 y 8.	39
Tabla 4: Análisis de resultados y factores que forman cada modelo de inundación.	42
Tabla 5: Puntos críticos ante inundaciones georreferenciados para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins.	52
Tabla 6: Reclasificación de factores en función de sus respectivos quintiles.	67
Tabla 7: Valores de modelos para puntos críticos de inundación georreferenciados.	72

1. Introducción

Actualmente el mercado asegurador está presenciando un aumento considerable de pérdidas económicas asociadas desastres naturales (ver ilustración N°1) (AON, 2025), aquel problema puede ser producto del cambio climático, ya que, este fenómeno aumenta la frecuencia y severidad de diversos eventos extremos (Bozkurt, Rojas, Boisier, & Valdivieso, 2017); (Product Hackers, 2025), ocasionando de esta forma grandes pérdidas económicas para el sector asegurador.

En consecuencia, el sector asegurador a nivel mundial se encuentra en una reconfiguración (Product Hackers, 2025), una de las razones de aquel estado, es el avance de ciertos peligros que históricamente han sido considerados como menos relevantes o de menor impacto (riesgos secundarios), estos corresponden a los peligros de inundaciones, incendios forestales, sequías, entre otros (AON, 2025).

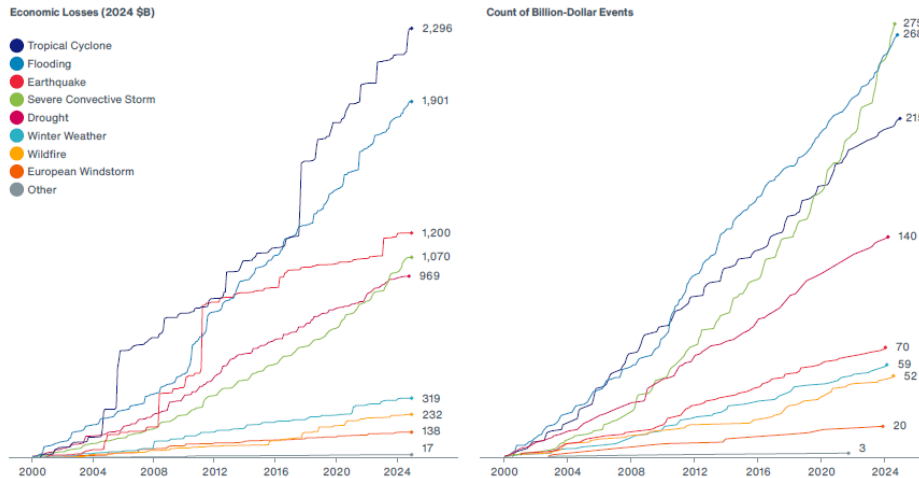
Ilustración 1: Pérdidas globales aseguradas producto de desastres naturales en billones de dólares.



Fuente: Climate Catastrophe Insight (2025)

Dentro de las pérdidas económicas generadas por catástrofes naturales, se ha presenciado un aumento en la cantidad de eventos en los riesgos secundarios, es decir aquellos que no se consideran como significativos, por lo cual, su modelación y posterior tarificación no se realiza de una forma tan detallada como la de los riesgos primarios (riesgo de terremotos en el caso de Chile), esto se puede apreciar al momento de observar las pérdidas asociadas a inundaciones en el año 2024, expuestas en la ilustración N°2.

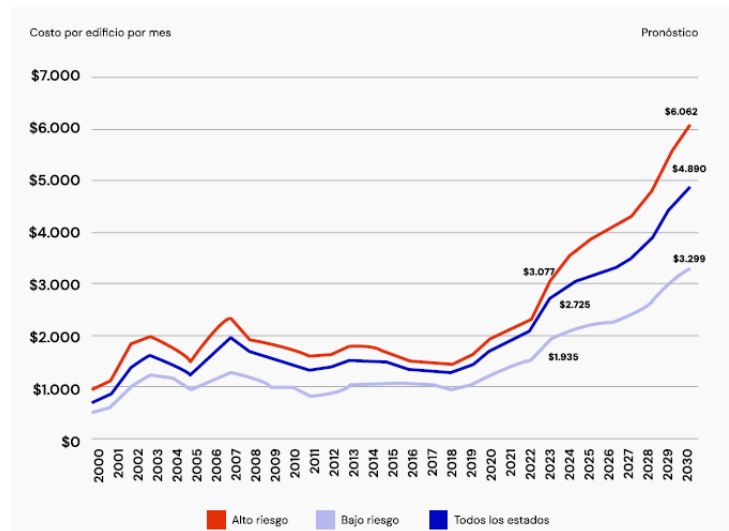
Ilustración 2: Perdas aseguradas acumuladas por tipo de riesgo para el año 2024.



Fuente: Climate Catastrophe Insight (2025)

Debido a lo anteriormente expuesto, se prevé que el costo de los seguros aumente considerablemente en los próximos años (ver ilustración N°3), para las zonas con mayor riesgo de presenciar climas extremos.

Ilustración 3: Pronostico de aumento del costo de los seguros (USD) para el área de property al año 2030 en USA.



Fuente: Climate change impacts elevate US commercial real estate insurance cost (2024)

La suscripción tradicional de riesgos de propiedad recae en especialistas llamados suscriptores, responsables de evaluar los riesgos de las pólizas y equilibrar las necesidades del cliente con la rentabilidad de la aseguradora (MAPFRE, 2021). Producto de este aumento de catástrofes naturales, es necesario complementar y apoyar con información técnica el proceso de suscripción, debido a que Chile presenta estas problemáticas y se prevé que



aumente los eventos extremos relacionados a inundaciones (Bozkurt, Rojas, Boisier, & Valdivieso, 2017); (Pinto Garay, 2022), la cual en la actualidad es considerado como un riesgo secundario por parte del sector asegurador.

La exposición de valores asegurados presenta una alta densidad en las zonas centrales de Chile, estas zonas a su vez son las que presentan un mayor nivel de exposición económica a catástrofes climáticas (A nivel país) (Dirección General de Aguas, 2017), una gran tasa de inundaciones (Rojas, Mardones, Arumi, & Aguayo, 2014); aumento en los caudales de efluentes (Pinto Garay, 2022) y una gran exposición a forzantes climáticas que afectan a Chile (Bozkurt, Rojas, Boisier, & Valdivieso, 2017). Por las razones anteriores se requiere generar de modelos técnicos que logren caracterizar las zonas potenciales de riesgo en las regiones centrales de Chile (Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins) para apoyar y complementar de esta manera el proceso de suscripción del riesgo de inundaciones, con la finalidad de poseer a futuro una cartera sana ante este riesgo secundario.



2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar modelos geoespaciales que describan el riesgo de inundación en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins, mediante el uso de parámetros físicos y climatológicos que logren delimitar y cuantificar el riesgo, fortaleciendo así el proceso de suscripción de riesgo de inundación en una compañía de seguros.

2.2. Objetivos específicos

- Recopilar desde fuentes de carácter público, conjuntos de datos climáticos, topográficos, hidrológicos y de usos de suelo que caracterizan las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins.
- Examinar, limpiar y procesar la información recopilada, estandarizando formatos y sistemas de referencias de los datos, con la finalidad de generar parámetros físicos y climatológicos de la zona de estudio.
- Desarrollar 8 modelos estadístico-espaciales y multicriterio que identifiquen las zonas potenciales con riesgo de inundación.
- Verificar la eficacia de los modelos, contrastando sus salidas con registros de inundaciones históricas.
- Generar recomendaciones que mejoren la suscripción y modelación del riesgo a inundaciones en las regiones de estudio.

3. Marco Teórico

3.1. Climatología de Chile

El clima es aquella variable que logra describir los fenómenos climáticos que interactúan en una zona en específico, los condicionantes de presenciar diversos climas son los patrones promedios de temperatura y las precipitaciones promedios de una zona en cuestión. (Meneses, Cabrera , De la Fuente, & Paneque Corrales , 2012); (Errázuriz K., 1998)

El clima puede ser estudiado a gran escala matizando principalmente en los valores de latitud, altitud y la cercanía al mar o de manera más localizada, influyendo en esta última variable como el relieve y la topografía del sitio, por ende, esto último ocasiona variaciones climáticas dentro de un mismo territorio. (Santibáñez & Uribe, 1990)

El territorio de Chile se extiende a lo largo de 38 paralelos (presentando aproximadamente 4.500 km.). Esta enorme extensión longitudinal exhibe una gran diversidad climática. En el norte del país es posible encontrar climas potencialmente áridos y desérticos, por otro lado, en la zona central de Chile es característico presenciar un clima del tipo templado y finalmente en el extremo sur se presentan climas húmedos y lluviosos. (Errázuriz K., 1998)

De esa misma manera es posible evidenciar como la temperatura va disminuyendo de norte a sur del país, donde la latitud juega un papel fundamental en esta variable, debido a que existen áreas del país donde la incidencia de los rayos solares es mayor.

El territorio chileno se caracteriza por tener una topografía con abruptos relieves, lo cual es una de las variables que modelan las condiciones atmosféricas en el territorio y lo que ocasiona diversos microclimas dentro del país. (Meneses, Cabrera , De la Fuente, & Paneque Corrales , 2012); (Santibáñez & Uribe, 1990)

Los climas de Chile pueden ser agrupados de manera general en 4 grandes grupos. (Meneses, Cabrera , De la Fuente, & Paneque Corrales , 2012), entre los cuales encontramos los Climas áridos subtropicales; Templados; Templado lluviosos y Climas fríos o de hielo. Enfocado a las regiones de estudio, se presenta un clima del tipo templado cálido.

3.1.1. Zonificación climática

Climas templados cálidos

Posterior a la ubicación de los climas áridos podemos encontrar los climas templados cálidos o templados con lluvias suficiente, donde este último término hace hincapié a que los sectores que presenten este tipo de clima puedan presentar periodos con deficiencias de precipitaciones durante el año y aquello caracteriza este tipo de climas que poseen una estación seca y una lluviosa (Errázuriz K., 1998). La envergadura de este tipo de clima la podemos encontrar desde la región de Valparaíso, que posee un tipo de clima cálido con una



estación seca prolongada (8 a 7 meses), hasta la región de La Araucanía la que, al contrario de la anterior región, presenta una estación seca corta (4 meses) pero, también se caracteriza por intensas lluvias durante el invierno. (Meneses, Cabrera , De la Fuente, & Paneque Corrales , 2012); (Santibáñez & Uribe, 1990)

Las regiones localizadas entre los límites del clima templado cálido presentan principalmente lluvias invernales, donde la estación seca o carentes de precipitaciones va disminuyendo a medida que nos acercamos a la región de La Araucanía. (Santibáñez & Uribe, 1990).

3.1.2. Cambio climático

Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático

El efecto invernadero es un proceso natural de la tierra en el cual interactúan gases presentes en la atmosfera, los cuales absorben y proyectan parte de la energía infrarroja absorbida por la superficie terrestre, aquel proceso ocasiona variaciones en la tierra que van en promedio desde los -1.5°C hasta 1.5°C (The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021). Producto de actividades antropogénicas (quema de combustibles fósiles), las concentraciones de gases de efecto invernadero ha ido en aumento, por tanto, el efecto invernadero se ve intensificado, lo cual genera un incremento sostenido de la temperatura global, el proceso anterior se denomina calentamiento global (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).

El clima puede ser definido como el promedio a largo plazo de variables meteorológicas, las cuales se ven afectadas por las forzantes climáticas (efectos naturales ocurridos en la tierra) y las forzantes antropogénicas (cambios en el clima producto de la actividad humana). (Garreaud, 2011)

El termino cambio climático engloba aquellos fenómenos y la interacción de estos con la vida y fenómenos naturales, por ejemplo, producto del aumento de la temperatura se presentan océanos más cálidos lo cual refuerza la generación huracanes (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).

Cambio climático en Chile

Chile presenta una gran diversidad topográfica lo que hace que los impactos climáticos varíen notablemente entre macro regiones (Ministerio de Obras Públicas; Dirección General de Aguas; Universidad de Chile; Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017). Aunque, las evidencias observacionales y proyecciones hidrológicas coinciden en una disminución nacional de la precipitación media anual, destacan también una mayor frecuencia de eventos hidrológicos extremos (Ministerio de Obras Públicas; Dirección General de Aguas; Universidad de Chile; Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017); (Pinto Garay, 2022).

El 71% de las 227 inundaciones catalogadas entre 1574-2012 fue provocado por lluvias intensas, con un aumento reciente de crecidas “nivoglaciares” en la zona andina (Rojas,

3.1.3. Forzantes atmosféricos del clima chileno

A gran escala podemos distinguir a dos factores atmosféricos relevante que controlan el tiempo y el clima del territorio chileno, estos corresponden al anticiclón subtropical semipermanente sobre el pacífico sudeste (SEP) y el régimen de vientos que provienen del oeste en latitudes medias (Aceituno, Boisier, & Garreaud, 2021).

The diagram illustrates the atmospheric circulation patterns in the South Atlantic Ocean. Key features include the Continental Low Level Jet, the Saharan high (upper troposphere, summer only), the SE Pacific Anticyclone, the Midlatitude Westerlies and Storm track, the South Atlantic convergence zone, and the S. Atlantic Anticyclone. A legend indicates that light blue represents Midlatitude Precipitation, orange represents Tropical rainfall, and grey represents SCu and Cold SST. A compass rose indicates the North Pole.

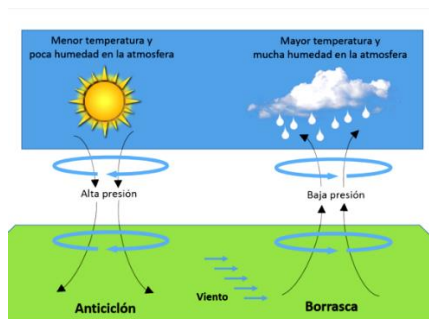
Página | 14

Anticiclón Subtropical del Pacífico Sudeste (SEP)

El SEP es un centro de alta presión semipermanente, es decir que su presencia se refuerza y se debilita según el ciclo anual en que nos encontremos, en el caso de Chile podemos ver que el SEP es más fuerte en verano y genera una mayor incidencia en el suroeste de Chile, en el caso contrario, el invierno debilita este centro de alta presión y hace que su nivel de incidencia sobre el continente se desplace más al noreste, lo cual permite el paso de frentes más al norte del país (Ancapichun & Garces Vargas, 2015); (Errázuriz K., 1998)

La dominancia de este centro de alta presión en la continente abarca en gran medida sobre la cuenca subtropical del pacífico sur, afectando localidades del sur del Perú y una gran porción del territorio chileno (, la incidencia de este forzante atmosférico ocasiona en el contiene corrientes de aire descendentes con bajo nivel de humedad, dicho movimiento de aire favorece los cielos despejados, una escasa nubosidad y baja humedad en la zona, lo cual explica la aridez del norte del país (ilustración 3) (Ancapichun & Garces Vargas, 2015).

Ilustración 5: Incidencias de la presión en el clima terrestre.



Fuente: Presión Atmosférica (s.f.)

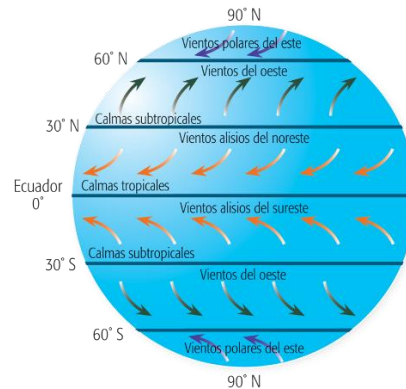
Cinturón de vientos del oeste

Desde el polo sur y alrededor de los 60°S hasta los 30°S del planeta (ilustración N°4), la mayor parte de la troposfera se mueve de oeste a este producto de la fuerza de Coriolis que afecta el planeta, originando de esta manera, vientos de aire frío, lo cual se conoce como cinturón de vientos del oeste, cuyo núcleo se concentra en el sur de pacífico y su desplazamiento controla la llegada de sistemas frontales. (Errázuriz K., 1998), (Aceituno, Boisier, & Garreaud, 2021), (Ancapichun & Garces Vargas, 2015)

La banda o cinturón se hace más ancha e intensa en invierno alcanzando los 40°S, lo cual ocasiona frentes fríos que al verse en contacto con frentes de aire caliente producen precipitaciones, al contrario, en el invierno el ancho de banda es menor, restringiéndose hasta

55°S lo que da paso a bajas precipitaciones en estaciones del año. (Ancapichun & Garces Vargas, 2015)

Ilustración 6: Patrones globales de vientos.



Fuente: Caricoos (s.f.)

3.2. Interpolación

La interpolación son diversos métodos numéricos que permiten estimar el valor de una variable dependiente $f(x)$ en un punto situado entre valores conocidos de x . Para ello se construye una función que reproduce exactamente los datos vecinos para luego evaluar en el punto deseado (Chapra & Canale, 2006).

3.2.1. Interpolación Lineal

La interpolación lineal es el método más sencillo para estimar el valor de una función $y = f(x)$, dentro de un intervalo definido por puntos continuos (x_k, y_k) y (x_{k+1}, y_{k+1}) , donde el primero se encuentra a la izquierda (menor) del punto a estimar y el segundo siendo mayor se encuentra a la derecha (Conesa, 2011). La función que representa este método de interpolación es la siguiente (Chapra & Canale, 2006); (Conesa, 2011):

$$y = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} * (x - x_k)$$

Donde:

- y = valor dependiente que se quiere estimar
- x = valor independiente que se encuentra dentro del rango interpolado

3.2.2. Interpolación Espacial

Es un proceso en el cual se construye una función matemática que, a partir de valores conocidos de una variable medida en puntos discretos de un territorio, se logra estimar

aquella misma variable en cualquier ubicación no muestreada dentro de la región de estudio (Li & Heap, 2008); (Mitas & Mitasova, 1999).

El objetivo de la interpolación espacial es lograr un campo continuo de la variable a estudiar en base a un conjunto de datos puntuales con valores registrados de manera experimental (Mitas & Mitasova, 1999), lo anterior con la utilización de diversos métodos numéricos de análisis espacial (Tsegaye Workneh, 2024).

Ponderación de distancia inversa (IDW)

La interpolación IDW determina el valor de una variable en un punto dado de manera lineal, afectando el valor de dicha variable en base a los puntos muestreados más cercanos a él, es decir cuanto más próximo esté el punto interpolado a un punto que si presenta una medición, mayor influencia tendrá dicho punto muestreado en la estimación (Li & Heap, 2008). La fórmula de IDW se representa de la siguiente manera:

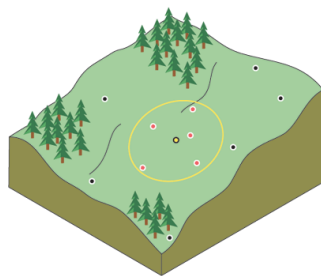
$$\lambda_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

Donde:

- d_i = distancia entre el punto de interés y el punto muestreado
- p = parámetro de potencia, que controla la rapidez con la que disminuye la influencia con la distancia
- n = número de puntos que poseen un valor muestreado
- λ_i = peso asignado al valor de locación i

El valor de la variable “ p ” juega un papel fundamental en la interpolación, dado que, la elección de este valor inducirá netamente en el tamaño del vecindario de la estimación (Ilustración N°5), siendo el valor predeterminado de este parámetro el de “2” haciendo referencia a una distancia inversa cuadrada. (Li & Heap, 2008)

Ilustración 7: Vecindad de IDW para un punto seleccionado.



Fuente: ArcGIS Pro (ESRI, 2020)

Método de Kriging

El modelo de Kriging, pertenece a los modelos de interpolación geoestadísticos, los cuales se caracterizan por estimar valores de una variable continua en ubicaciones donde no se dispone de mediciones. Una diferencia con los modelos determinísticos, como el IDW, es que la geoestadística modela explícitamente la estructura espacial del fenómeno y mediante esta modelación se reconoce que los datos más cercanos entre sí tenderán a presentar valores similares y dicha dependencia es la cuantificada. (Li & Heap, 2008)

El funcionamiento del método de Kriging depende directamente del semivariograma, el cual cuantifica cuanta varianza “ γ ” esperada existe entre dos puntos que se encuentren separados por una distancia “ h ”, en otras palabras, con el semivariograma se puede determinar cómo varía la similitud entre puntos en función de la distancia que los separa (Li & Heap, 2008). La definición matemática del semivariograma es la siguiente:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$$

Donde:

- $\gamma(h)$ =Semivariograma para una distancia “ h ”
- $Z(x_i)$ = Valor de la variable en la ubicación “ x_i ”
- $Z(x_i + h)$ = Valor en el punto ubicado a una distancia “ h ” desde “ x_i ”

Existen diversos modelos que logran formar el semivariograma empírico, siendo el modelo de tipo esférico el más útil cuando se quieren analizar en niveles de distancias grandes. (ESRI, s.f.)

En Kriging, se asume que la media es constante dentro de una ventana de búsqueda (es decir alrededor de un punto a estimar), pero dicha media es desconocida. El modelo de Kriging se define como:

$$Z(x_0) - \mu = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - \mu(x_0)]$$

Donde:

- $Z(x_i)$ = dato medido en una ubicación dada
- λ_i = peso asignado al dato que se quiere determinar
- $\mu/\mu(x_0)$ = media

Dentro de las modelaciones de Kriging, existen diversas modificaciones a la formula general, en las cuales se pueden asumir algunas variables de estudio.



En el modelo de Kriging ordinario se sigue la formula general de la interpolación de Kriging, pero se asume que la media es constante pero desconocida alrededor del punto que se quiere estimar, para lograr aquello se impone que todos los pesos de la formula sigan lo siguiente (Li & Heap, 2008):

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

3.3. Sistemas de referencia

El territorio chileno ocupa un lugar geográfico en el suroeste de América del Sur, su geolocalización generalmente es representada por dos sistemas de referencia.

Los sistemas de referencia se diferencian entre ellos principalmente por los estándares, parámetros, coordenadas y modelos que utilizan para la representación geométrica de la superficie terrestre (Infraestructura de Datos Geoespaciales, 2018).

3.3.1. Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)

Es un sistema de referencia global, el cual se basa en un elipsoide que se aproxima a la forma de la tierra y utiliza tres parámetros para ubicar puntos en el planeta, los cuales son: latitud, longitud y altura elipsoidal. La latitud y longitud son expresados en grados decimales por lo cual su funcionamiento es en base a un sistema de coordenadas geodésico.

3.3.2. Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)

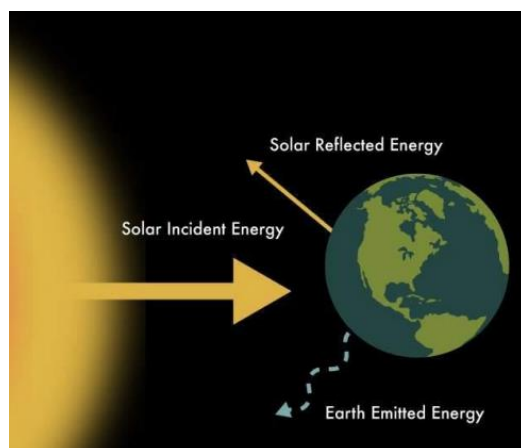
Es un sistema de referencia geocéntrico el cual es un producto de una red de estaciones GPS (Infraestructura de Datos Geoespaciales, 2018) En el caso de Chile se presentan un total de 200 estaciones a lo largo del país que logran describir con gran detalle la ubicación de cada punto medido en la superficie terrestre (Infraestructura de Datos Geoespaciales, 2018).

3.4. Teledetección espacial

Es una técnica que logra obtener información de la superficie terrestre mediante sensores localizados en plataformas remotas (satélites, aeronaves o vehículos pilotados a distancia), aquella información, proviene de la energía electromagnética que la Tierra recibe del Sol y que luego es reflejada, absorbida o emitida por los distintos materiales presentes en la superficie terrestre (Chuvieco, 1990). Aquellas capturas de información presentan una resolución espacial, temporal y espectral distinta a la que se lograría en un análisis terrestre.

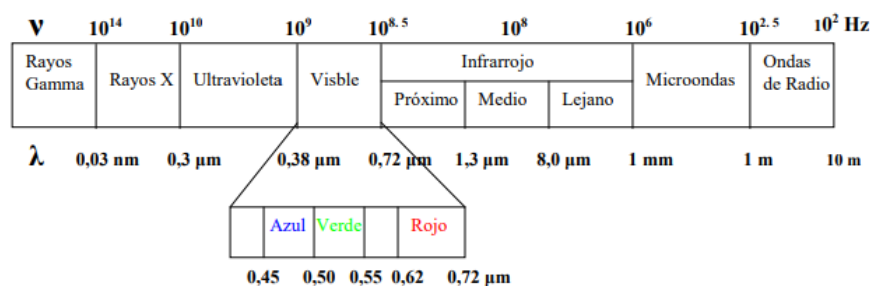
La interacción de la radiación solar con la superficie (Ilustración N°9) y la posterior obtención de las frecuencias y longitudes de ondas reflejadas (Ilustración N°10) constituyen las bases físicas de la teledetección (Chuvieco, 1990).

Ilustración 8: Proceso de la radiación electromagnética incidente en la tierra proveniente del sol.



Fuente: Fundamentos de teledetección (2023)

Ilustración 9: Espectro electromagnético de la radiación solar.

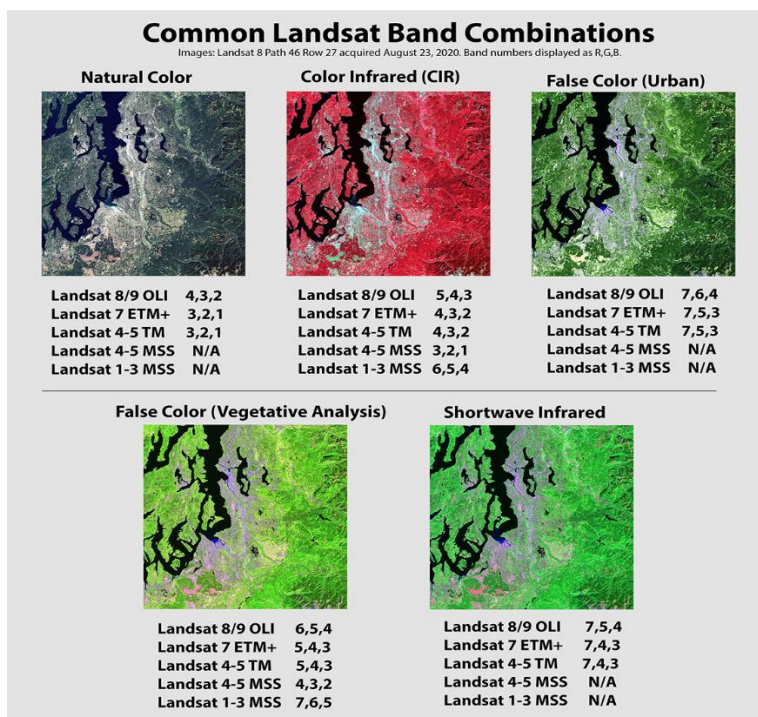


Fuente: Fundamentos de teledetección espacial (1990)

Diferentes materiales u objetos reflejan distintas longitudes de onda de manera selectiva, generando un patrón de reflectancia lo que es conocido como su firma espectral (NASA, 2023). Sin embargo, los sensores satelitales no logran capturar toda la firma espectral de los objetos, debido a razones técnicas (gran cantidad de volumen de información), pero si

capturan intervalos discretos del espectro, lo que se conoce como bandas espectrales (por ejemplo 0,64-0,67 μm para la banda “roja” de Landsat 8) (United State Geological Survey, s.f.). Con los datos de las bandas espectrales, es posible combinarlos y construir de esta manera la firma espectral original, lo cual permite en un análisis posterior, identificar materiales (ver ilustración N°8) e incluso inferir sobre su estado (si la resolución espectral lo permite) (Chuvieco, 1990); (Borengasser, Hungate, & Watkins, 2007)].

Ilustración 10: Combinaciones comunes de bandas en sensores Landsat



Fuente: Misiones Landsat (2021)

3.4.1. Sensores satelitales

Los sensores de satelitales principalmente pueden ser de dos tipos, pasivos o activos, los cuales se diferencian principalmente en la metodología de cómo funcionan y el principio en como interactúan con la fuente de señales (Chuvieco, 1990).

Los sensores pasivos no emiten alguna señal hacia el objeto que están monitoreando en cuestión, sino que, al contrario, su funcionamiento radica en la recepción de la energía electromagnética reflejada de la superficie terrestre. Estos sensores típicamente logran describir en gran medida objetos que interactúan con las longitudes de onda de la luz visible, la radiación infrarroja o las radiaciones de radio. (Chuvieco, 1990). Con el uso de estos

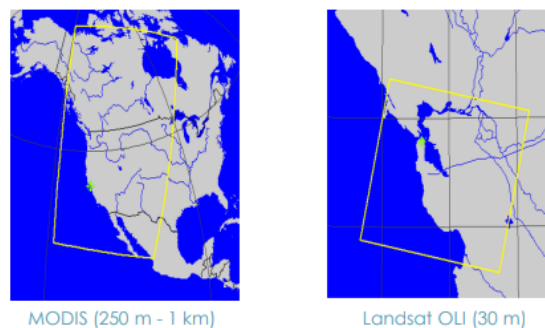
sensores se puede conocer el estado de la vegetación de un bosque, detectar cuerpos de agua, entre otros análisis geofísicos (Rodríguez Chávez & Arredonda Bautista, 2005).

Por el contrario, los sensores activos se caracterizan por emitir ellos su propia señal o energía hacia el área que estén monitoreando, esta señal puede ser luz, sonido, microondas u otro tipo de onda electromagnética artificial (Rodríguez Chávez & Arredonda Bautista, 2005). Presentan una variedad de aplicaciones relacionadas principalmente con el de conocer las condiciones atmosféricas, obtención de datos topográficos o relacionados a la superficie terrestre, detección de objetos mediante sonares náuticos, entre otros (Chuvieco, 1990).

Resolución espacial

Es aquella relacionada con el tamaño de píxel resultante que obtienen los sensores satelitales, en donde se puede apreciar una inversa proporción entre el tamaño de píxel y el área total analizada, debido a que, a una mayor resolución genera un píxel de menor cobertura espacial, pero aquel píxel es mucho más detallado en la zona monitoreada (ver ilustración N°9). La actual oferta de sensores ofrece una amplia gama de resoluciones espaciales, por lo que, podemos encontrar muy bajas resoluciones (como los sensores de satélites Meteosat que presentan una resolución espacial de 5000 metros), medias resoluciones (por ejemplo, Landsat con 30 metros y Sentil 2A con 10 metros) y altas resoluciones (Ikonos con 1 metro de resolución) (Navarro Cerrillo, Varo, & Ariza Salamanca, 2024). Dependiendo del análisis y detalle espacial que se necesite, dependerá del tipo a sensor a utilizar.

Ilustración 11: Diferencia de resolución espacial entre MODIS y Landsat.



Fuente: Fundamentos de teledetección (2023)

Resolución temporal

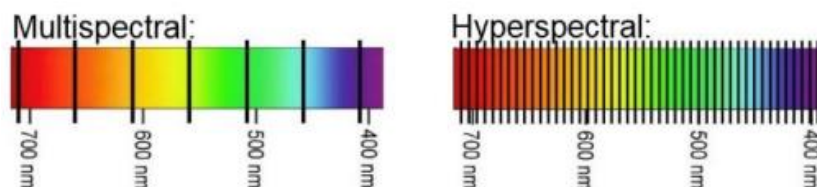
Es un concepto que alude a la frecuencia de cobertura que disponen los sensores, es decir, se refiere a la periodicidad temporal con la que se puede obtener imágenes de la misma proporción de superficie estudiada (Chuvieco, 1990); (Calle & Salvador, 2012).

Resolución espectral

Este parámetro indica la cantidad de bandas y ancho de estas, sobre las que el sensor puede capturar la radiación electromagnética reflejada por la tierra. Un mayor número de bandas

tenderá a disponer un mayor número de información capturada, pero, por otro lado, el ancho de banda idealmente debe ser bajo, debido a que, anchos de banda altos tenderán a recoger valores medios de lo monitoreado (ilustración N°9) (Borengasser, Hungate, & Watkins, 2007)]; (Calle & Salvador, 2012).

Ilustración 12: Diferencia entre las bandas captadas con una imagen multiespectral (3-10) y una hiperspectral (centenas a miles)



Fuente: Fundamentos de teledetección (2023)

Resolución radiométrica

Se entiende como el número de bit que utiliza un sensor para cuantificar la radiancia (Calle & Salvador, 2012), por tanto, con la resolución radiométrica se determina la sensibilidad que posee un sensor para distinguir variaciones en la energía captada, por consiguiente, un sensor con una mayor resolución radiométrica (tenderá a identificar de mejor manera las variaciones y detalles de la zona monitoreada. (Navarro Cerrillo, Varo, & Ariza Salamanca, 2024).

3.5. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad es un marco metodológico el cual logra investigar de manera sistemática como se propaga la incertidumbre o variabilidad de datos en un modelo que se requiera ajustar, por tanto, es muy útil en la construcción de modelos matemáticos y numéricos descriptivos e incluso predictivos (Saltelli, Ratto, Terry, & Campolongo, 2008). Con la construcción de un análisis de sensibilidad podemos contestar las preguntas: ¿qué entradas de datos son realmente importantes y en qué proporción? (Hamby, 1994), ¿dónde se debe enfocar recursos para mejorar la fiabilidad del modelo? (Helton & Davis, 2003).

La sensibilidad puede evaluarse con técnicas locales, es decir que alteran un parámetro a la vez, o con técnicas globales que logran capturar interacciones entre todas las variables que componen el modelo afectando de esta forma el valor nominal de cada variabilidad (Saltelli, Ratto, Terry, & Campolongo, 2008).

3.6. Mercado de los seguros

3.6.1. Fundamentos

Los seguros son instrumentos financieros que se basan en la transferencia de riesgo entre dos entidades, el proceso de transferencia de riesgos es una estrategia de gestión que implica trasladar consecuencias financieras que podría ocasionar por ejemplo el siniestro de un bien,



por aquella razón, nace la necesidad de asegurar dicho bien, con la finalidad de que el contrato de un seguro garantice la indemnización total o parcial de la pérdida. Aquel traspaso del riesgo desde el cliente hacia la compañía de seguros es llevado a cabo mediante un valor económico, conocido como la prima del seguro (Ares, 2019).

En el contrato del seguro, se pueden extraer de manera general los siguientes elementos:

- **Proposición:** Consta que el contrato del seguro es de buena fe, donde la compañía acepta el riesgo que declara el asegurado, tomando aquella información como base para estimar el riesgo y determinar el alcance del seguro (Ares, 2019).
- **Compañías de seguros:** Son entes dentro de la industria aseguradora, que proporcionan al mercado diversos tipos de seguros, existiendo en Chile principalmente de dos tipos, como las compañías de seguros de vida, que promueven la venta de seguros de salud y vida principalmente y las compañías de seguros generales que ofrecen coberturas relacionadas a la afectación de un bien, por ejemplo, seguros contra incendios, terremotos, inundaciones, vehículos, entre otros (MAPFRE, 2021).
- **Póliza:** Es el contrato realizado entre ambas partes (asegurado y aseguradora) (Ministerio de Hacienda, 2025).
- **Prima:** Se trata del valor económico que el asegurado debe pagar a la compañía aseguradora para hacer válida la póliza (Ministerio de Hacienda, 2025); (Ares, 2019).
- **Riesgo:** Es la probabilidad de que ocurra un suceso que perjudique lo asegurado (Ministerio de Hacienda, 2025).
- **Severidad:** Costo medio de un siniestro (Ohlsson & Johansson, 2010)
- **Probabilidad de ocurrencia de un riesgo:** medida que resume la expectativa de cuantos siniestros ocurrirán por una unidad de exposición durante un periodo determinado (Ohlsson & Johansson, 2010).
- **Reaseguro:** Corresponde a una segunda operación de seguro (segunda transferencia del riesgo), donde el contratante es la compañía de seguros y el asegurador es una compañía de reaseguro. El reaseguro es el método principal que sirve para homogenizar los riesgos de la cartera de las aseguradoras, donde mediante esta nueva transferencia de riesgo, pueden ceder parte del riesgo asumido en la primera transacción por una comisión de la prima que va hacia las reaseguradoras (MAPFRE, 2021) (Ficovich, 2000).

3.6.2. Riesgos de la naturaleza en seguros

En el sector asegurador el riesgo se entiende como la incertidumbre ante la ocurrencia de un acontecimiento que pueda ocasionar pérdidas futuras (Feinman, 2025). A modo de gestionar dicha incertidumbre, el primer paso es caracterizar el riesgo y describir su patrón de frecuencia-severidad, aquellos patrones son recogidos de forma estándar por reaseguradoras



y organismos técnicos (Swiss Re., 2023). En base a la clasificación anterior, el mercado global logra diferenciar dos grandes clasificaciones para los riesgos de la naturaleza:

- Riesgos primarios: son aquellos riesgos que poseen una baja frecuencia, por tanto, una baja probabilidad de ocurrencia, pero una alta severidad cuando ocurren (huracanes en USA, terremotos en Chile, grandes temporales invernales en Europa, entre otros). El potencial de pérdida de los riesgos primarios concentra la mayor parte del capital de solvencia (en reaseguradoras superior al 250%), por lo mismo, la modelación de este tipo de riesgos es muy robusta (Swiss Re., 2023); (AON, 2025); (Swiss Re., 2025)
- Riesgos secundarios: fenómenos de mayor recurrencia y severidad baja-media por evento. Estos pueden ocurrir como eventos independientes (tormentas convectivas severas, incendios forestales, inundaciones, sequías, deslizamientos) o producirse por efecto de la ocurrencia de un riesgo primario, por ejemplo, las inundaciones fluviales desencadenadas por un huracán (Swiss Re., 2025) (Swiss Re., 2023) (AON, 2025).

3.6.3. Modelación y tarificación

La asignación del coste de la prima en base a la gestión y estudio de los riesgos en los seguros no de vida, nace de un análisis de la prima pura, el cual es un principio técnico que se obtiene a partir del producto cruz entre el número de siniestros y la severidad de estos (Ohlsson & Johansson, 2010), su principal distinción con la prima (prima que paga el asegurado) es que está última considera los recargos necesarios para la operación del mercado asegurador.

$$PP_i = \tau_i \times \mu_i$$

Donde:

- τ_i = Número de siniestros de i
- μ_i = Severidad del riesgo i

Por otro lado, la prima pura debe responder a una proporcionalidad económica directa del riesgo(R) esperado ($R \approx PP$), donde el riesgo es definido como (Ohlsson & Johansson, 2010) :

$$R_i = Po_i \times \mu_i$$

Donde:

- R_i = Riesgo i
- Po_i = Probabilidad de ocurrencia del riesgo i
- μ_i = Severidad del riesgo i

Con la finalidad de estimar correctamente ambas variables (Po_i y μ_i), las líneas actuariales de las compañías de seguros utilizan los Modelos Lineales Generalizados (GLM) (Hotti, 2020); (Ohlmann, Hardin, Schnedler, & Helmer, 2023), siendo de bastante interés para el presente estudio la forma de modelación para la probabilidad de ocurrencia, debido a que, el modelamiento de la siniestralidad está enfocado en factores intrínsecos del riesgo y que tanto impacto puede tener este sobre el bien analizado.

Probabilidad de ocurrencia

El utilizar un GLM para describir la probabilidad de ocurrencia, permite incorporar factores de riesgo que pueden aumentar o disminuir dicha probabilidad (año de construcción de una casa, estado de un auto, entre otros) (Ohlsson & Johansson, 2010). La ecuación que modela este parámetro es la siguiente (Ohlmann, Hardin, Schnedler, & Helmer, 2023); (Hotti, 2020).

$$\log Po_i = \sum_j \alpha_j * x_{ij} + \alpha_0 \quad ; \log(Po_i) \sim \text{Poisson}(Po_i)$$

Donde:

- x_{ij} =Valor del j-ésimo factor de riesgo para el riesgo i (por ejemplo: zona geográfica, materialidad de una casa, etc.)
- α_j =Coeficiente que mide la influencia del factor “ x_{ij} ” sobre la probabilidad del riesgo.
- α_0 =Error asociado.

4. Metodología

En este punto del presente trabajo se consolidan los conceptos expuestos en el marco teórico en un flujo de trabajo práctico que permitió transformar la información pública disponible en insumos útiles para la gestión de riesgos en una compañía de seguros. En términos generales, el proceso se articuló en cuatro etapas: (i) recopilación de datos climáticos, topográficos e históricos pertinentes a las regiones de estudio; (ii) preparación y estandarización de esos datos, además de asegurar su coherencia espacial; (iii) desarrollo de modelos espaciales que traduzcan los factores físicos y climatológicos en cartografía temática de peligro; y (iv) verificación de la validez de dichos modelos mediante la comparación con registros documentados de inundaciones.

4.1. Levantamiento de información

El proceso de recopilación de información se caracterizó por obtener datos públicos, garantizando de esta forma transparencia del proceso. El territorio por modelar corresponde



a tres regiones centrales de Chile (Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins).

4.1.1. Precipitaciones

Mediante una petición en la plataforma del Portal de Transparencia dirigido a la Dirección General de Aguas (DGA), el cual es un organismo público chileno que dentro de sus funciones está la de monitorear y medir el recurso hídrico del país, se logró obtener un registro histórico de las magnitudes de precipitaciones de todo el territorio nacional, donde cada magnitud medida presentaba una periodicidad de medición igual a un día.

De esta forma se consiguieron datos de 1094 estaciones de monitoreo distribuidas a lo largo de todo el territorio chileno, los datos incluyen el nombre de la estación de monitoreo, región, comuna y coordenadas geográficas que posee el punto medición, por otro lado, al respecto de la medición se especificaba el año, mes, día y magnitud de la precipitación en milímetros.

4.1.2. Modelo Digital de Elevación (DEM)

Por medio de la plataforma online de la NASA (EARTHDATA SEARCH) (NASA, s.f.) fue posible tener acceso a las imágenes satelitales rasterizadas provenientes del sensor ASTER (Radiómetro espacial avanzado de emisión térmica y reflexión), el cual es un sensor pasivo que logra procesar 14 longitudes de onda para posteriormente proporcionar Modelos Digitales de Elevación con una resolución espacial de 30 metros (NASA, 2025). Con la finalidad de capturar la topografía de las regiones de interés, se descargaron 52 escenas.

4.1.3. Capas Vectoriales

Red Hidrográfica de Chile

A través de la plataforma online del ente público de Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE), la cual tiene como función poner a disposición información geoespacial actualizada y confiable del país, se descargó una capa vectorizada de los distintos efluentes que presenta el país (ríos, esteros, canales, entre otros.). La capa está formada por polilíneas con atributos que identifican el tipo de efluente en el espacio (ríos, esteros, canales, entre otros). Por otro lado, su actualización es al año 2022 con una escala de representación igual a 1:25.000 (Infraestructura de Datos Geoespaciales, 2018).

Distribución Política Administrativa de Chile

Se obtuvo la división política administrativa de Chile a través de la plataforma de IDE, la cual consiste en archivo vectorizado compuesto por polígonos con las diversas comunas, regiones y comunas que componen al país. La capa en cuestión presenta una actualización al año 2023 y su escala de representación es de 1:50.000 (Infraestructura de Datos Geoespaciales, 2023).



Tipo y uso de suelos en el territorio chileno

Desde la plataforma de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), enfocándonos en el área asociada al sistema de información territorial disponible, se descargaron tres capas descriptivas de las regiones de estudio, las cuales presentan información asociada al “uso de la tierra y sus recursos”, estas se encuentran actualizada al año 2020 en cada región respectivamente.

4.1.4. Imágenes multiespectrales Landsat

Con el uso de la plataforma web del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) fue posible acceder a la colección de imágenes multiespectrales y bandas espectrales rasterizadas del sensor satelital Landsat 8/9, las cuales presentan una resolución espacial de 30 metros y una resolución temporal entre 14 y 16 días para Chile (USGS EROES, 2020), las imágenes descargadas para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O’Higgins debieron poseer un porcentaje de nubes del 0%, para evitar problemas posteriores asociados al estudio de la superficie (Li, Shen, Weng, & Zhang, 2022), por lo mismo, para cumplir con aquel parámetro, se descargaron imágenes respectivas a días del verano 2025 con nubosidad de “0”.

Para representar la totalidad de la zona estudiada, se obtuvieron un total de 13 escenas.

4.1.5. Catastro de Inundaciones en zona central de Chile

A partir de la página web del Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), servicio encargado de gestionar, prevenir y mitigar los peligros de caracteres nacionales, como pueden ser las inundaciones dentro del país. Se logró recopilar información de puntos críticos dentro de las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O’Higgins, Aquella información corresponde al “Programa de Invierno 2025 de SENAPRED” (SENAPRED, 2025).

En la información rescatada se poseen 320 puntos con datos sobre la comuna, el sector y las coordenadas geográficas de los lugares que comúnmente se inundan por “crecimiento de caudales” y “anegamiento producto de las precipitaciones y saturación del suelo” (Ver Anexo B).

4.2. Depuración y preparación de información

4.2.1. Capas vectoriales

División política administrativa de Chile

La capa de polígonos fue desplegada en ArcGIS Pro, la cual, mediante una extracción de atributos de la capa, se pudo obtener la información asociada a las regiones de Valparaíso,



Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins, produciendo así, una nueva capa con la información necesaria.

Red hidrográfica de Chile

Una vez que la red de polilíneas fue desplegada en el software geoespacial, se utilizó la herramienta de “selección por ubicación” donde se pudo obtener los efluentes que están dentro de la zona de estudio, para realizar lo anterior se utilizó la capa con los límites político administrativos de las regiones de estudio. Una vez pudieron ser identificados los efluentes, se generó una capa de información con la red hidrográfica de interés.

4.2.2. Precipitaciones

Mediante una revisión preliminar se evidenció que cada estación de monitoreo poseía diversas cantidades de registros anuales, continuidad de los registros y lo más preocupante fueron las anomalías en las magnitudes medidas. Por lo mismo se procedió a realizar una corrección de aquellas anomalías que representaban errores como valores tipo “texto” en las magnitudes de precipitación o con un valor igual a “9.999”. Dicho error perjudicó las mediciones del año 2020 para las estaciones de monitoreo de las comunas de Calama, Camigna, Colchane y Huará. (6 estaciones de monitoreo en total), por lo cual no se vieron afectadas las regiones de interés. Lo anterior se pudo detectar mediante filtros a la base de datos, los cuales evocaban a realizar un orden de mayor a menor de los registros e identificación de tipo dato que presentaba cada columna de información.

Con los registros diarios validados se calculó la precipitación acumulada mensual para cada estación. El procedimiento fue: agrupar los datos por estación-año-mes y sumar las precipitaciones diarias de cada grupo; adicionalmente se calculó un indicador (N° de meses por estación-año) para documentar la cantidad de información presente por año para cada estación de monitoreo, lo cual con posterioridad servirá para conocer el Índice Modificado de Fourier.

También se realizó una conversión de unidades geográficas a los datos, pasando de coordenadas sexagesimales a centesimales, la conversión se realizó en función de la siguiente fórmula (Snyder, 1926).

$$\text{Coordenada decimal} = \text{Grados} + \frac{\text{minutos}}{60} + \frac{\text{segundos}}{3600}$$

4.2.3. Imágenes satelitales

DEM

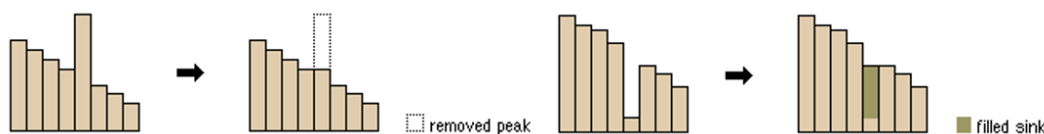
Se desplegaron las 72 escenas descriptivas de la zona de estudio en el software de ArcGIS Pro, donde las distintas imágenes fueron unificadas en una sola, aquel procedimiento de unificación fue realizado con la herramienta “De mosaico a nuevo ráster” perteneciente a las

herramientas de “Administración de datos” que posee ArcGIS. Como entrada a la herramienta se dieron las 72 escenas que poseían una única banda espectral y con resolución radiométrica de 16 bit, aquella configuración fue mantenida en el mosaico resultante.

Dicho ráster unificado, fue necesario limpiarlo de posibles errores, debido a, la utilización de un sensor satelital compuesto por una única banda y con una resolución espacial de 30 metros (Navarro Cerrillo, Varo, & Ariza Salamanca, 2024), la cual presenta una probabilidad de 0.9 a 4.7 porciento de presentar ruido en sus celdas (Planchon & Darboux, 2002).

Mediante la herramienta “relleno” presente en ArcGIS Pro, se pudo solucionar el problema de las celdas redondeadas (dato errado) y así mediante algoritmos informáticos identificar las celdas con ruido y corregirlas en base a la pendiente y elevaciones de las celdas vecinas (ver ilustración N°11) (Navarro Cerrillo, Varo, & Ariza Salamanca, 2024).

Ilustración 13: Ejemplo gráfico del relleno de celdas con ruidos.



Fuente: Herramienta relleno-ArcGIS Pro (s.f.)

Finalmente se utilizó la herramienta de “extracción por máscara” con la finalidad de tener presentar la información únicamente asociada a las regiones de estudio, para aquello se adjuntó como máscara la capa de límites de regiones de Chile generada con anterioridad.

Escenas Landsat 8/9

A través de un despliegue de las 13 imágenes multiespectrales descargadas con anterioridad, se realizó una unificación con el uso de la herramienta “de ráster a nuevo mosaico” que posee ArcGIS Pro, la cual permitió generar una superficie continua de la zona de estudio, con la información de las diversas bandas espectrales albergadas en las imágenes multiespectrales unificadas.

Por otro lado, el mosaico resultante de la unificación de imágenes multiespectrales fue utilizado como uno de los insumos para la herramienta de “extracción por máscara” sumado a la capa de polígonos de división político administrativo, ya que, se necesitaba ajustar la información a los límites de estudio.

4.3. Generación de capas

Con la finalidad de obtener un mapa caracterizador de las potenciales zonas con riesgo a ser inundadas fueron desarrollados 8 parámetros que logran caracterizar el riesgo en cuestión, para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O’Higgins.



Para aquello se utilizó una herramienta de Sistema de Información Geográfica (SIG), en específico ArcGIS Pro, en la cual se desplegó la información trabajada con anterioridad mediante el sistema de referencia “WGS-1984 Mercator”.

4.3.1. Elevaciones del terreno (EL)

La capa de elevaciones del territorio de estudio corresponde al DEM corregido. (Visualizar mapa en “Anexo C”).

4.3.2. Pendientes del terreno (SL)

Con el objetivo de calcular la pendiente del territorio de estudio, se utilizó la herramienta “Pendientes” del software ArcGIS Pro, disponible en la caja de herramientas “Análisis espacial”. Esta herramienta permitió determinar el grado de inclinación de cada celda en una superficie ráster, para dicha superficie se utilizó la capa de elevaciones

La herramienta fue configurada para obtener la pendiente en grados sexagesimales, utilizando el método planar. Este método opera sobre un sistema de coordenadas cartesianas bidimensionales (2D) y calcula la pendiente como la tasa de cambio entre la dirección vertical y la horizontal, considerando la celda central y sus ocho celdas vecinas. (Planchon & Darboux, 2002)

En cuanto a la configuración del entorno, se definió un tamaño de celda de 30 metros, en concordancia con la resolución espacial del DEM empleado, lo cual permitió mantener la consistencia en los resultados. Además, el parámetro “z” se mantuvo en 1, al tratarse de un análisis sobre una capa bidimensional donde no fue necesario aplicar un factor de escala vertical (Visualizar mapa en “Anexo C”).

4.3.3. Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)

A partir de la utilización del mosaico de imágenes Landsat y el uso de la función “NDVI” que dispone ArcGIS Pro, fue posible procesar aquella información satelital y disponerla con datos asociados a la cantidad y calidad de la vegetación en las regiones de interés (ESRI, s.f.). Dentro de la función “NDVI” se especifica la composición exclusivamente de la banda 5 (infrarrojo cercano), asociada a la reflectancia del material vegetal, y la banda 4 que está asociada a la absorción de luz por el pigmento clorofílico, característico de la vegetación y su estado (USGS EROES, 2020).

El ráster obtenido de la composición de bandas es posible visualizarlo en el “Anexo C”.

4.3.4. Uso de Suelos (LU)

Las tres capas poligonales descargadas de la CONAF fueron desplegadas en ArcGIS Pro y luego unidas mediante la herramienta “unir” del mismo software, la cual entregó como

resultado una capa única con polígonos según el uso de suelo que se presenta en cada lugar de estudio (Visualizar mapa en “Anexo C”).

4.3.5. Distancia a red hidrográfica (DR)

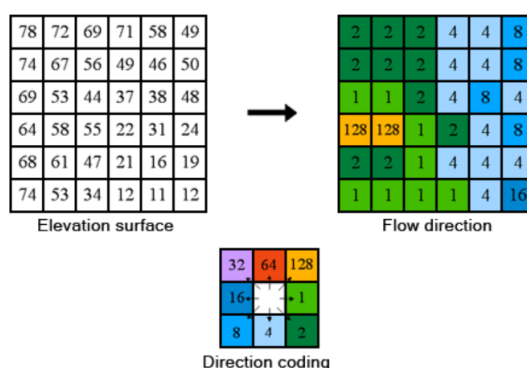
Utilizando la capa de red hidrográfica de Chile ya procesada y ajustada a las regiones de estudio, se utilizó la herramienta de “distancia euclidiana” disponible en ArcGIS Pro (AON, 2025), la cual logró calcular la distancia que presentaba cada celda hacia algún vector representativo de un efluente. Se marcó como distancia máxima de estudio 2000 metros tal como se plantea en (Chen, 2022) (Visualizar mapa en “Anexo C”).

4.3.6. Densidad de drenaje (DD)

La densidad de drenaje se define como la longitud total de los cursos de agua por unidad de superficie y la manera de obtención que se utilizó en el presente estudio, se basó en el procesamiento y utilización de la capa del Modelo Digital de Elevación (DEM) que representa las regiones a estudiar.

Se utilizó la herramienta “Dirección de flujo”, la cual creó a partir del archivo DEM un ráster, donde cada celda que lo compone determina hacia que dirección se dirigirá el flujo. Para estimar dicha dirección se utilizó el modelo de flujo de ocho direcciones (D8) (Jenson & Domingue, 1988), el cual determina la dirección de salida por el sentido del descenso más pronunciado, una vez encontrada la dirección del flujo, se codifica mediante la asignación de valores (Jenson & Domingue, 1988), los cuales están tabulados y expresan una dirección en particular dentro del espacio.

Ilustración 14: Ejemplo gráfico del funcionamiento de la herramienta "Direcciones de flujo"

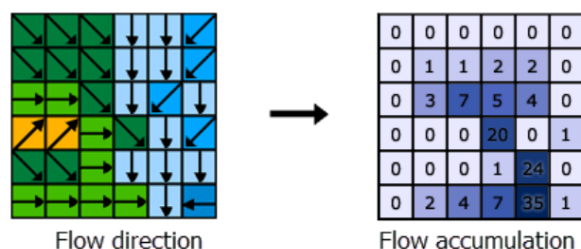


Fuente: Herramienta dirección de flujo – ArcGIS Pro (s.f.)

Una vez obtenido el ráster con las distintas direcciones de flujo, se debe utilizar este mismo y determinar los índices de acumulación que presenta cada celda, para aquello, se utiliza la herramienta de análisis espacial “Acumulación de flujo” que posee ArcGIS Pro, dicha herramienta es alimentada con el ráster de direcciones de flujo y utilizando el mismo modelo

de trabajo (D8) pero esta vez enfocando a determinar la cantidad de celdas que fluyen hacia una en particular.

Ilustración 15: Ejemplo gráfico de funcionamiento de acumulación de flujo.



Fuente: Herramienta acumulación de flujo – ArcGIS Pro (s.f.)

Posterior aquello, el cálculo y la clasificación de los diversos arroyos se realizó en función del método de Strahler y su clasificación de los efluentes, para lograr llevar a cabo el método acabilidad, se usaron las herramientas de “extracción de la red de corrientes”, “definición del orden de flujo” y finalmente “cálculo de la densidad de drenaje” disponibles en ArcGIS Pro (Jarrín Campaña, 2020); (Gökgöz, Ulugtekin, Basaraner, & Gülgen, 2022) (Visualizar mapa en “Anexo C”).

4.3.7. Intensidad de lluvia histórica (MFI)

Para cuantificar la intensidad de las precipitaciones en distintas zonas del país se utilizó el Índice Modificado de Fournier (MFI) (Chen, 2022). Este índice permite caracterizar y clasificar la distribución de las lluvias a lo largo del año, permitiendo identificar áreas que, si bien registran baja pluviosidad de manera general, pueden experimentar eventos meteorológicos puntuales de alta agresividad. El MFI considera las precipitaciones de todos los meses del año, por lo que es imprescindible contar con registros anuales completos, sin lagunas de datos (ESRI, s.f.); (Tiwari, 2015). El cálculo de este índice se basa en la siguiente fórmula:

$$MFI_{x-año} = \sum_{i=1}^{12} \frac{(p_i^2)_{x-año}}{P_{x-año}}$$

Donde:

- x = estación meteorológica
- p_i = precipitación acumulada mensual
- P = precipitación acumulada anual

Como primer paso, se filtraron aquellos registros de estaciones meteorológicas que presentaban datos incompletos (estaciones con años conformados por menos de 12 meses de información), lo que redujo el conjunto de datos a 147 estaciones meteorológicas distribuidas

en las regiones de estudio, representando un 79,45% del total de estaciones meteorológicas localizadas en la zona de interés.

Posteriormente, se implementó la fórmula del MFI en una nueva columna para calcular el índice por cada estación y año disponible. Dado que cada estación contaba con múltiples años de registros, se promediaron los valores anuales del MFI para cada una, siguiendo lo propuesto por (Nikolova, Nikolova, Stefanova, & Matev, 2024). Este promedio permitió obtener un único valor representativo de agresividad pluvial por estación, útil para el análisis espacial posterior.

Una vez obtenidos los valores del índice, se integraron las coordenadas geográficas correspondientes a cada estación meteorológica. Estas fueron importadas como tabla en ArcGIS Pro y posteriormente desplegadas en el espacio geográfico como puntos con atributos asociados al valor medio de MFI.

Para representar espacialmente la variabilidad del índice, se aplicó una interpolación mediante el método de “Kriging Ordinario”, utilizando un modelo de semivariograma esférico, siendo esta combinación y método de interpolación bastante efectivo para datos con una gran separación espacial y provenientes de eventos climáticos (Chen, 2022); (Ears & Dixon, 2007); (Tsegaye Workneh, 2024). Además, se definió un tamaño de celda de salida de 200 metros, y se utilizó la capa referida a los límites regionales como máscara para restringir la interpolación al área de interés (Visualizar mapa en “Anexo C”).

4.3.8. Índice topográfico de humedad (TWI)

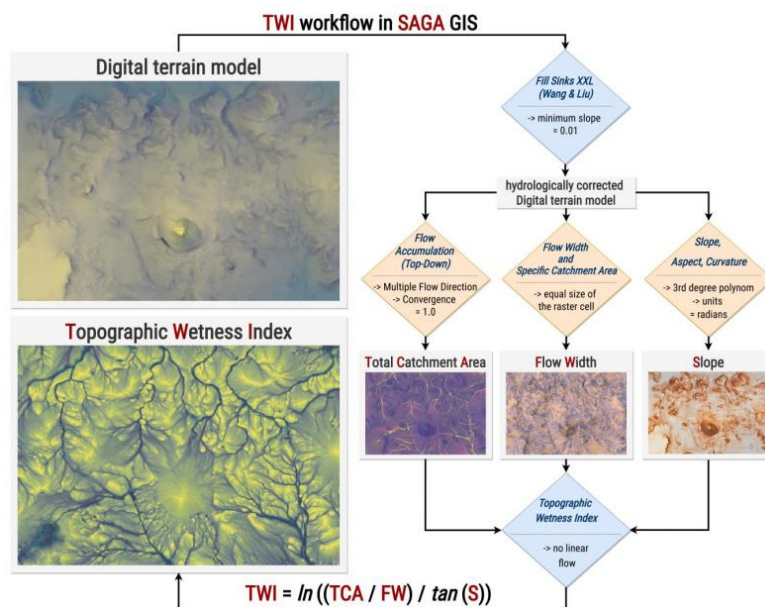
El TWI es un indicador de la susceptibilidad de una zona (celda del ráster) a la acumulación de agua (Baeribameng Yiran, Kwang, & Blagogie, 2024), donde la ecuación de dicho índice es la siguiente:

$$TWI = \ln \left(\frac{\text{área de contribución}}{\tan(\text{Pendiente})} \right)$$

Las variables de manera física representan lo siguiente:

- Área de contribución = es el área de terreno o cantidad de celdas vecinas que drenan hacia un punto.
- Pendiente = pendiente del terreno en radianes

Ilustración 16: Flujo de trabajo para calcular Índice Topográfico de Humedad.



Fuente: Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition (2021)

Para obtener el índice topográfico de humedad de todas las celdas que componen el territorio de estudio, se utilizaron las capas de acumulación de flujo (obtenida en la generación de la capa de densidad de drenaje) y la capa de pendientes (generada con anterioridad).

Por medio de la utilización de la capa obtenida en “Pendientes” y el uso de la herramienta “calculadora de ráster” presente en ArcGIS Pro, se pudo cambiar los valores en grados de cada celda por valores en radianes, tal como se indica en (Baeribameng Yiran, Kwang, & Blagogie, 2024); (Rahmati, Zeinivand, & Reza Pourghasemi, 2015). Con la capa de pendientes modificada a radianes, se aplicó la función de la tangente a cada celda estudiada, teniendo de esta forma el denominador de la ecuación que describe el TWI.

Como se mencionó con anterioridad, se logra determinar el área de contribución de la siguiente forma (Rahmati, Zeinivand, & Reza Pourghasemi, 2015):

$$\text{Área de contribución} = \text{Acumulación de flujo} + 1$$

Mediante la herramienta “calculadora ráster” se logró aplicar la ecuación anterior a todas las celdas descritas por la capa de acumulación de flujo.

Con todo lo anterior conocido, se estaba en las condiciones de conocer los valores de TWI de las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O’Higgins, utilizando nuevamente la herramienta “calculadora ráster” se logró aplicar la ecuación de TWI



planteada con anterioridad (Rahmati, Zeinivand, & Reza Pourghasemi, 2015) (Visualizar mapa en “Anexo C”).

4.4. Reclasificación de magnitudes de riesgo

A modo de estandarizar los riesgos de todas las capas generadas y debido a que, cada una de estas presenta diversas naturalezas del riesgo, unidades y rangos distintos. Las capas fueron reclasificadas a una escala ordinal común de 1 (muy bajo riesgo) a 5 (muy alto riesgo). Siendo aquella reclasificación muy utilizada para estandarizar parámetros, cuando se quiere estudiar un fenómeno que presenta diversas dimensiones y fuentes del riesgo (Negese, Worku, & Shitaye, 2022); (Chen, 2022); (Zainab, Hussein, & Abood, 2024). Aquel procedimiento fue llevado a cabo con la herramienta “reclasificar” de ArcGIS Pro y es un paso previo y necesario para con posterioridad generar el mapa potencial de inundaciones ponderado tal como en (Negese, Worku, & Shitaye, 2022); (Zainab, Hussein, & Abood, 2024); (Chen, 2022).

La reclasificación anteriormente se basó en el uso de quintiles para cada rango, donde las categorías resultantes van desde el 20% más bajo (cola izquierda del histograma de los datos) para el valor de “1” hasta el 20% superior (es decir el 80%-100% de los datos) para la categoría de “5” (Waleed & Sajjad, 2025).

Para apreciar los rangos que fueron reclasificados en cada parámetro de riesgo, se recomienda ver el “Anexo B”

4.5. Análisis de sensibilidad para parámetros de riesgo

A modo de generar modelos que representen la forma en la que interactúan los distintos parámetros de riesgo, se realizó un análisis de sensibilidad con técnicas globales (Saltelli, Ratto, Terry, & Campolongo, 2008), es decir, se fueron modificando el valor ponderado de cada factor en el modelo resultante, con la finalidad de obtener 8 modelos que representan el peligro potencial de inundación, con diversas ponderaciones de cada factor de riesgo.

4.6. Generación de mapas con zonas potenciales de inundación

Para cada modelo propuesto en el análisis de sensibilidad, se generaron mapas con la utilización de la herramienta “calculadora ráster” que ejemplifican de manera descriptiva y georreferenciada las zonas con riesgos potenciales de inundación (Zainab, Hussein, & Abood, 2024); (Chen, 2022) y (Negese, Worku, & Shitaye, 2022).

Dentro de la función de “calculadora ráster”, se integra una ecuación que logra ponderar la interacción de los factores de riesgo (Chen, 2022), donde dicha interrelación se encuentra en función de cada modelo generado en el análisis de sensibilidad. La ecuación como tal es la siguiente:



$$Riesgo = \sum_{i=1}^8 \alpha_i * F_i$$

Donde:

- α_i = Parámetro ponderador obtenido del análisis de sensibilidad para cada factor de riesgo
- F_i = Valor de un factor de riesgo i para un lugar geográfico en específico

Los productos esperados de aquel procedimiento son mapas con las zonas potenciales con riesgo a inundaciones, con valores ordinales para cada celda, dichos valores obedecen la siguiente ponderación del riesgo a inundación (Zainab, Hussein, & Abood, 2024):

- Riesgo muy bajo (color verde) = [0-1,00[
- Riesgo bajo (color verde) = [1,00-2,00[
- Riesgo medio (color amarillo) = [2,00-3,00[
- Riesgo alto (color naranja) = [3,00-4,00[
- Riesgo muy alto (color rojo) = [4,00-5,00]

4.7. Validación del modelo

Para poder comparar el desempeño de los modelos generados, se llevó a cabo una validación espacial, en la cual se comparó los resultados obtenidos por cada modelo en los lugares geográficos de los “puntos críticos” definidos por SENAPRED, este procedimiento de validación se llevó a cabo en ArcGIS Pro y contempló las siguientes etapas.

- Extracción de valores en zonas de puntos críticos: se superpusieron los mapas obtenidos por cada modelo asociado a las zonas potenciales de inundaciones con las ubicaciones geográficas de los puntos críticos (320 puntos) y mediante la herramienta de “extracción de multi valores a puntos” se logró determinar el valor del mapa correspondiente a cada punto. Aquel procedimiento se realizó para todos los mapas.
- Definición del umbral de riesgo: tomando los rangos de riesgos de cada mapa generada, se definió que todos los valores mayores o iguales a “3” están presentes en la categoría de “Riesgo alto” o “Riesgo muy alto”, por lo que, aquellos valores que se encuentren dentro de aquel límite serán considerados como un acierto de modelación.
- Cálculo de porcentaje de acierto:

$$\text{Acierto} = \frac{\text{Puntos con valor} \geq 3}{\text{Total de puntos críticos}} * 100$$

- Análisis estadístico de las distribuciones de valores: Los valores de aciertos obtenidos para cada modelo se representaron en diagramas de caja y bigotes, lo cual permite comparar la dispersión y las tendencias entre los modelos. Además, se levantó información asociada a los valores de media y desviación estándar para cada modelo en cuestión.
- Identificación de factores de riesgos dominantes: para cada mapa generado se levantaron los factores de riesgos que presentan una influencia superior al promedio de ponderación que debiesen tener.
- Cuantificación de la cobertura espacial por categoría de riesgo: se obtiene la cantidad porcentual de cobertura espacial para las categorías de i) muy bajo y bajo riesgo, ii) medio riesgo, iii) alto riesgo y iv) muy alto riesgo.

5. Resultados

5.1. Modelos resultantes del análisis de sensibilidad

Producto del análisis de sensibilidad realizado, se generaron los siguientes modelos asociados a las diversas ponderaciones de los factores de riesgos en la ocurrencia de una inundación:

Tabla 1: Asignaciones de pesos para parámetros de riesgos en modelos 1,2 y 3.

Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
Parámetro	Ponderación en mapa	Parámetro	Ponderación en mapa	Parámetro	Ponderación en mapa
Distancia a efluentes	0,230	Distancia a efluentes	0,180	Distancia a efluentes	0,130
MFI	0,310	MFI	0,200	MFI	0,10
Densidad de drenaje	0,100	Densidad de drenaje	0,200	Densidad de drenaje	0,150
Pendiente	0,130	Pendiente	0,060	Pendiente	0,180
Elevación	0,060	Elevación	0,140	Elevación	0,150
TWI	0,030	TWI	0,060	TWI	0,180
NDVI	0,030	NDVI	0,080	NDVI	0,030
Uso de suelos	0,100	Uso de suelos	0,080	Uso de suelos	0,080

Tabla 2: Asignaciones de pesos para parámetros de riesgos en modelos 4,5 y 6.

Modelo 4		Modelo 5		Modelo 6	
Parámetro	Ponderación en mapa	Parámetro	Ponderación en mapa	Parámetro	Ponderación en mapa
Distancia a efluentes	0,180	Distancia a efluentes	0,180	Distancia a efluentes	0,150
MFI	0,170	MFI	0,120	MFI	0,160

Densidad de drenaje	0,200	Densidad de drenaje	0,190	Densidad de drenaje	0,200
Pendiente	0,080	Pendiente	0,120	Pendiente	0,100
Elevación	0,140	Elevación	0,140	Elevación	0,140
TWI	0,100	TWI	0,100	TWI	0,100
NDVI	0,050	NDVI	0,050	NDVI	0,050
Uso de suelos	0,080	Uso de suelos	0,100	Uso de suelos	0,100

Tabla 3: Asignaciones de pesos para parámetros de riesgos en modelos 7 y 8.

Modelo 7		Modelo 8	
Parámetro	Ponderación en mapa	Parámetro	Ponderación en mapa
Distancia a efluentes	0,150	Distancia a efluentes	0,125
MFI	0,150	MFI	0,125
Densidad de drenaje	0,150	Densidad de drenaje	0,125
Pendiente	0,050	Pendiente	0,125
Elevación	0,150	Elevación	0,125
TWI	0,150	TWI	0,125
NDVI	0,050	NDVI	0,125
Uso de suelos	0,150	Uso de suelos	0,125

5.2. Mapas de modelos con zonas potenciales de inundación

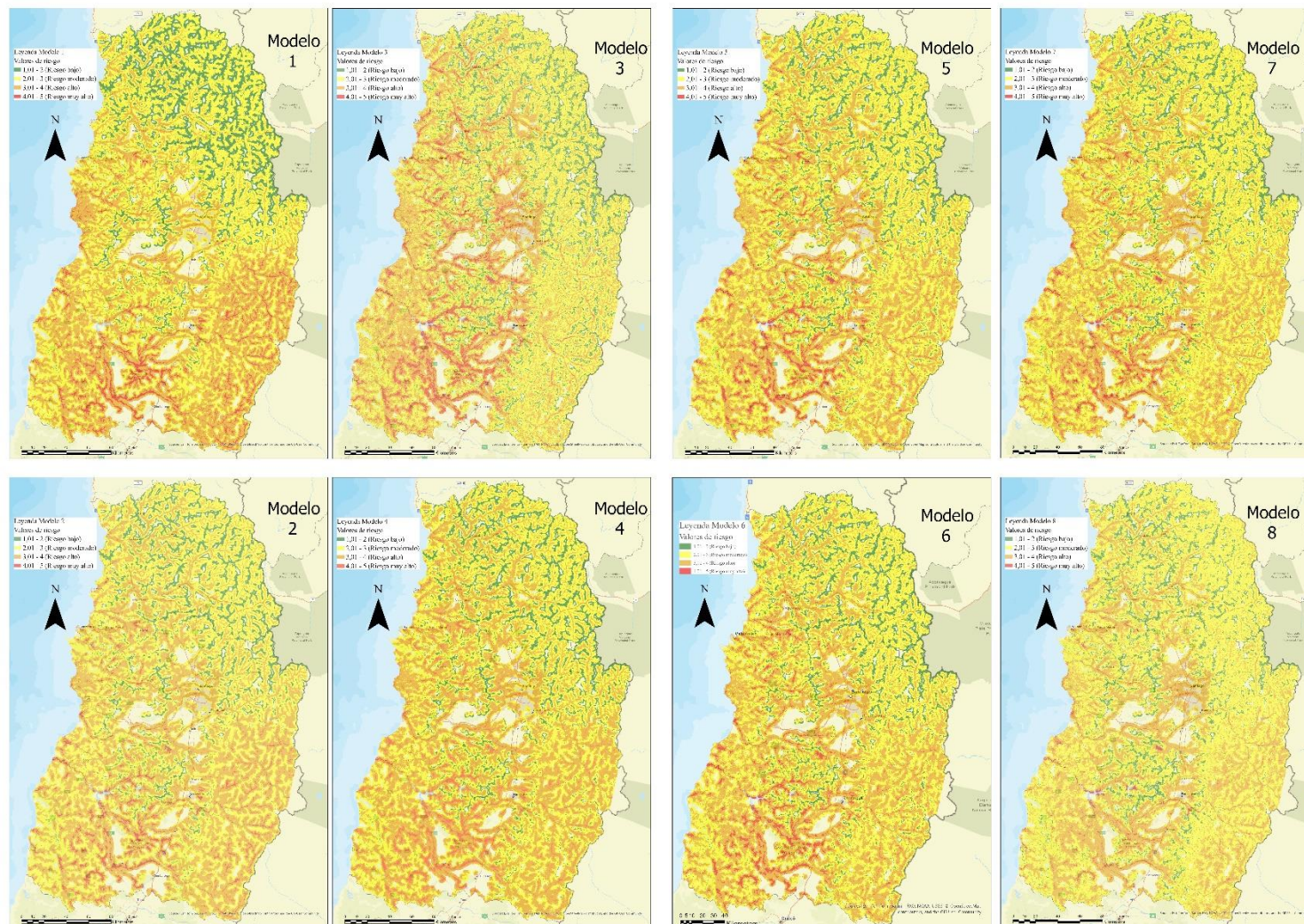
En base a los diversos modelos propuestos y sus respectivas interacciones para cada factor de riesgo, se lograron obtener lo propuesto en la ilustración N° 18 y Anexo D.



Aplicación de modelos de inundación en Chile central, basados en parámetros físicos y climatológicos y su relación con la transferencia de riesgo en el mercado asegurador.



Ilustración 17: Mapeo de modelos con zonas potenciales de inundación para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins.



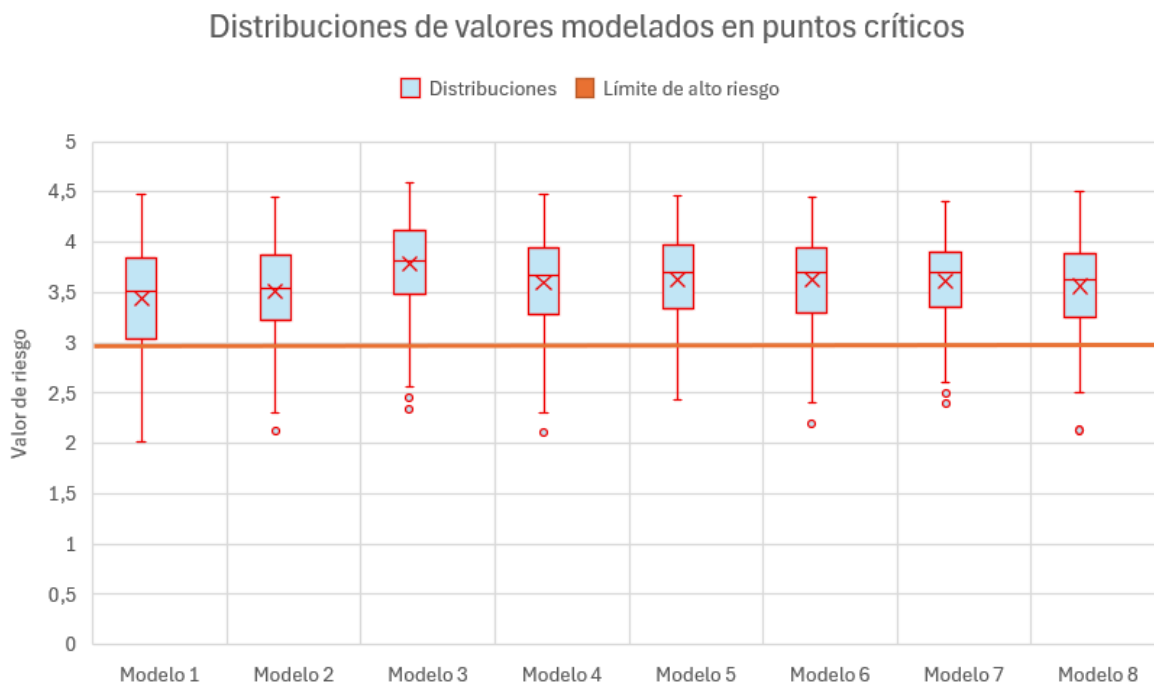
Fuente: Elaboración propia



5.3. Resultados de validación

En función del proceso de validación de desempeño de los modelos, descripción del comportamiento estadístico de estos e identificación de las variables con mayor influencia para cada uno, se obtuvo lo propuesto en la ilustración N°20 y tabla N°4.

Ilustración 18: Gráfico tipo caja o bigote de las distribuciones de cada modelamiento para los lugares catalogados como "puntos críticos ante inundaciones".



Fuente: Elaboración propia



Aplicación de modelos de inundación en Chile central, basados en parámetros físicos y climatológicos y su relación con la transferencia de riesgo en el mercado asegurador.



Tabla 4: Resumen de análisis de resultados para cada modelo.

	Resultados en zonas críticas		Principales factores	Porcentaje de distribución espacial de modelo			
	$\bar{x} \pm \sigma$	Aciertos		Riesgo muy bajo y bajo	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto
Modelo 1	$3,4 \pm 0,5$	78,12%	MFI – DR – SL	12%	47%	35%	6%
Modelo 2	$3,5 \pm 0,46$	85,00%	DD – MFI – DR – EL	8%	47%	42%	3%
Modelo 3	$3,8 \pm 0,46$	94,68%	DR – SL – TWI – DD – EL	14%	45%	32%	10%
Modelo 4	$3,6 \pm 0,47$	87,81%	DD – DR – MFI – EL	9%	46%	38%	7%
Modelo 5	$3,6 \pm 0,44$	92,50%	DD – DR – EL	9%	48%	39%	4%
Modelo 6	$3,6 \pm 0,45$	91,12%	DD – DR – MFI – EL	9%	47%	40%	4%
Modelo 7	$3,4 \pm 0,43$	92,18%	TWI – DD – EL – MFI – DR – LU	9%	51%	37%	3%
Modelo 8	$3,6 \pm 0,41$	91,12%	Todos con igual influencia	8%	58%	33%	1%

Fuente: Elaboración propia



6. Análisis y discusión de resultados

Al momento de comparar las distintas formas con la que fueron generados los modelos y relacionando aquello, con los resultados obtenidos por cada uno, se puede inferir lo siguiente:

- La densidad de drenaje se confirma como un factor relevante para delimitar con precisión las zonas potencialmente inundables en el territorio de estudio. Cuando este índice recibe una mayor ponderación, los modelos resultan ser más precisos en las categorías de “Riesgo alto” y “Riesgo muy alto”, elevando su capacidad predictiva. La diferencia salta a la vista al contrastar el modelo 1 que otorga a la densidad de drenaje el peso más bajo y alcanza apenas un ~78 % de aciertos. En caso contrario, con los modelos restantes, donde este factor recibe un peso superior, la precisión sube desde 85% a un 94 %.
- El índice topográfico de humedad presenta elevados valores de ponderación en los modelos 3 y 7, presentando estos modelos distribuciones dentro de los rangos de “Riesgo alto” y “Riesgo muy alto”, además, ambos modelos poseen altas tasas de aciertos, lo cual justifica la importancia de poseer modelos con una ponderación relevante para el índice topográfico de humedad en zonas con similares características del territorio de estudio.
- Ponderaciones elevadas del índice modificado de Fourier conllevan a disminuir el porcentaje de aciertos de los modelos y además al asignar un mayor peso al MFI, las cajas de los diagramas se alargan (el rango intercuartílico se amplía y los bigotes se extienden), señal de que la distribución de valores cubre un dominio estadístico más amplio. Lo anterior se comprueba al observar que el modelo 1, al que se asigna el mayor peso de dicho índice (31%), exhibe un rango intercuartílico más amplio que los otros modelos (ver ilustración N°20), lo que se traduce a poseer la mayor desviación estándar dentro de los modelos y una de las medias más pequeñas, sumado a lo anterior, el modelo presenta el porcentaje de aciertos más bajo (Ver tabla N°4).
- A partir de un análisis de los porcentajes de áreas asociadas a las distintas categorías de riesgo de cada modelo, resulta imprescindible clasificar la red hidrográfica previamente al proceso de ponderaciones, de esta manera, es posible aislar únicamente aquellos cauces que influyen de manera directa en las crecidas. Incluir indiscriminadamente todos los efluentes y otorgarles un peso elevado puede sobredimensionar el peligro, como se aprecia al contrastar el modelo 1 (con alta ponderación en la distancia a efluentes) frente al modelo 8, donde ese factor se mantiene en el valor medio de referencia. El primero señala una proporción mucho mayor de superficie en las categorías de Riesgo alto y Muy alto (sobredimensionamiento del riesgo), además presenta el menor valor de aciertos; el



segundo, en cambio, ofrece más aciertos con una representación más ajustada de las zonas realmente expuestas (modelo más preciso y asertivo).

- A partir de los análisis de resultados anteriormente expuestos, se puede extraer la importancia de la combinación de los factores de riesgo: densidad de drenaje, distancia a red hidrográfica y elevaciones. Dicha combinación sobre ponderada (ponderación $\geq 0,125$), es la base de todos los modelos con una tasa de asertividad igual o mayor al 85%.

7. Conclusiones y recomendaciones

En base a los resultados anteriores, es posible notar que los modelos 3,5,6,7 y 8 presentan porcentajes por sobre el 90% de asertividad al comparar las zonas potenciales a ser inundadas con los puntos críticos de inundación.

Los resultados, además, demuestran que los modelos con mayor porcentaje de aciertos para el territorio de estudio presentan como factores principales: densidad de drenaje (DD), distancia hidrográfica (DR) y elevaciones del territorio (EL), todos ellos con un valor de ponderación por sobre 0,125 en los modelos resultantes. Por otro lado, el factor de índice topográfico de humedad (TWI), logra buenos resultados cuando se está sobre ponderado en los modelos de riesgos, lo anterior es posible visualizarlo en las distribuciones de los modelos 3 y 7 (94% y 92% respectivamente), ya que, este índice describe con precisión la dinámica de la escorrentía superficial: al integrar la pendiente local y el área de contribución, identifica los sectores donde el agua converge y el suelo alcanza rápidamente su capacidad de almacenamiento, dicho índice para territorios con las características topográficas de las regiones analizadas, es de bastante utilidad.

En base a la identificación de los factores de riesgos que ayudan en mayor proporción a la descripción de las zonas con posibilidad a ser inundadas (densidad de drenaje, elevación, distancia a efluente e índice topográfico de humedad) se plantea que aquellos factores de riesgo debiesen ser incluidos a la hora de obtener la “prima pura”, específicamente dentro del cálculo de la variable de “probabilidad de ocurrencia”, de la siguiente manera:

$$\log Po_i = E + \alpha_{DD} * DD + \alpha_{EL} * EL + \alpha_{DR} * DR + \alpha_{TWI} * TWI + \alpha_j * x_{ij} + \sum_{j=1}^N \alpha_j * x_{ij}$$

Donde:

- Po_i = Probabilidad de ocurrencia de inundación en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O’Higgins.
- α_{DD} ; α_{EL} ; α_{DR} ; α_{TWI} = Coeficientes específicos para cada factor de riesgo de inundaciones
- E = Error de modelación
- DD ; EL ; DR ; TWI = Factores de riesgos
- x_{ij} = Otros factores de riesgos
- N = Número de factores de riesgos

Aplicando lo anterior se espera una mejora en la modelación de la tarificación para este riesgo secundario, mediante la descripción de las zonas geográficas con mayor tendencia a ser inundadas en las regiones de estudio. El incluir estos factores como descriptivos del riesgo a



inundación, lograría presentar una mejor proporcionalidad entre el riesgo y la prima pura, permitiendo a las aseguradoras disminuir la incertidumbre ante estos fenómenos.

Por otro lado, el índice Modificado de Fourier Histórico no logró lo esperado, debido a que, no se logró presenciar una relación directa entre un mayor valor de MFI (lo que se traduce en una mayor erosividad y agresividad de la lluvia) y una mejor descripción de las zonas que presentan inundaciones.

Con la finalidad de mejorar las modelaciones y también el método de comprobar la exactitud de estas, se recomienda lo siguiente:

- Presentar un modelo digital de elevaciones (DEM) con una mayor resolución espacial, con la finalidad de generar las capas de elevaciones, pendientes, densidad de drenaje e índice topográfico de humedad con un mejor detalle lo cual se traduce en una mayor similitud a la realidad.
- Levantar información de las zonas inundadas, pero estas en formato de polígonos, con la finalidad de comparar entre áreas realmente inundadas y áreas inundadas obtenidas de la modelación, lo anterior, dará una mayor robustez al momento de determinar que modelos son mejores que otros.
- A modo de no sobredimensionar el riesgo, se recomienda encontrar una manera discriminar aquellos efluentes que no proporcionan un peligro directo a presentar crecidas, por consiguiente, se obtendrá una red hidrográfica mucho más representativa en los aportes a inundaciones.
- Generar una mayor cantidad de modelos, con la finalidad de establecer la importancia relativa de todos los factores de riesgo, mediante la identificación de patrones asociados a las ponderaciones que estos puedan presentar en los modelos generados
- Con la finalidad de estudiar el impacto del cambio climático de forma más precisa y para saber como este aumenta en teoría la frecuencia de precipitaciones extremas, se propone generar Índices Modificados de Fourier que consideren un menor registro, con la finalidad que los valores de MFI representen aquella modificación del clima.



8. Referencias

- Aceituno, P., Boiesier, J., & Garreaud, R. (2021). Climate and Weather in Chile. doi:10.1007/978-3-030-56901-3_2
- Ancapichun, S., & Garces Vargas, J. (2015). Variability of the Southeast Pacific Subtropical Anticyclone and its impact on sea surface temperature off north-central Chile. Obtenido de <https://doi.org/10.7773/cm.v4i1l.2338>
- AON. (2025). *Climate and Catastrophe Insight*. AON.
- Ares, J. M. (2019). *GESTIÓN DE RIESGOS EN LAS COMPAÑÍAS ASEGURADORAS*. Universidad de Cantabria.
- Baeribameng Yiran, G. A., Kwang, C., & Blagogie, L. (2024). Optimizing flood risk modelling with high-resolution remote sensing data and analytic hierarchy process. *SN Social Sciences*. doi:10.1007/s43545-024-00909-6
- Bozkurt, D., Rojas, M., Boiesier, J. P., & Valdivieso, J. (Enero de 2017). Climate change impacts on hydroclimatic regimes and extremes over Andean basins in central Chile. *Earth Syst. Sci. Discuss.*
- Calle, A., & Salvador, P. (2012). *Revisando el concepto de resolución en teledetección*. Asociación Española de Teledetección.
- Chapra, S., & Canale, R. (2006). *Metodo numéricos para ingenieros*. McGraw Hill.
- Chen, Y. (2 de Agosto de 2022). Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques. *Journal of Hydrology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128268>
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw Hill.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. CIREN.
- Conesa, J. (2011). *Interpolación*. Universidad de Alicante, Ingeniería Química. Alicante: Repositorio de la Universidad de Alicante. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/16958>
- Dirección General de Aguas. (2017). *Actualización del balance hídrico nacional 1985-2015*. Ministerio de Obras Públicas.
- Ears, J., & Dixon, B. (2007). Spatial Interpolation of Rainfall Data Using ArcGIS: A Comparative Study. *University of South Florida*.
- Errázuriz K., A. (1998). *Manual de Geografía de Chile*. Santiago.



- ESRI. (s.f.). *Como funciona Kriging - ArcGIS Pro*. Obtenido de ESRI:
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
- ESRI. (s.f.). *Como funciona pendiente - ArcGIS Pro*. Obtenido de ESRI :
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-slope-works.htm>
- ESRI. (s.f.). *Función NDVI - ArcGIS Pro*. Obtenido de ArcGIS Pro:
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/ndvi-function.htm>
- Ficovich, M. L. (2000). *El Reaseguro*. El Salvador: Universidad del Salvador.
- Gökgöz, T., Ulugtekin, N., Basaraner, M., & Gülgen, F. (2022). Watershed delineation from grid DEMs in GIS: effects of drainage lines and resolution. *10th International Conference on Diffuse Pollution und Sustainable Watershed Management, International Water Association, DipCon 2006*. Turkey: International Water Association.
- Hamby, D. (1994). *A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models*. Environ Monit Assess.
doi:<https://doi.org/10.1007/BF00547132>
- Helton, J., & Davis, F. (2003). Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 23-69. doi:[https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(03\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(03)00058-9)
- Infraestructura de Datos Geoespaciales. (2018). *Geodesia en Chile, teoría y aplicación del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*. IDE.
- Infraestructura de Datos Geoespaciales. (29 de septiembre de 2023). *Geoportal de Chile*. Obtenido de Geoportal de Chile:
<https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/download/912598ad-ac92-35f6-8045-098f214bd9c2>
- Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile. (31 de Diciembre de 2022). *Geoportal de Chile*. Obtenido de Geoportal de Chile:
<https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/download/5c781642-c351-3a15-bbb3-1e850ce3e52d>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global Warming of 1.5 °C: Summary for Policymakers*. World Meteorological Organization.



- Jarrín Campaña, A. (2020). *Análisis de modelos digitales de terreno para la obtención de un mapa de densidad de drenaje mediante softwares fotogramétricos y sistemas de información geográfica para imágenes obtenidas con UAV, resultados aplicados a estudios morfométricos en laderas*. Quito, 2020. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21313>
- Jenson, S., & Domingue, J. O. (1988). *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis*.
- Li, J., & Heap, A. (2008). *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*. Australia: Geoscience Australia.
- Li, Z., Shen, H., Weng, Q., & Zhang, Y. (2022). Cloud and cloud shadow detection for optical satellite imagery: Features, algorithms, validation, and prospects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. doi:10.1016/j.isprsjprs.2022.03.020
- MAPFRE. (2021). *Diccionario MAPFRE de seguros*. Obtenido de Diccionario MAPFRE de seguros: <https://www.fundacionmapfre.org/publicaciones/diccionario-mapfre-seguros/>
- Meneses, J. U., Cabrera, R., De la Fuente, A., & Paneque Corrales, M. (2012). *Atlas bioclimático de Chile*. Santiago. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178567>
- Ministerio de Hacienda. (22 de Mayo de 2025). Decreto 251: COMPAÑIAS DE SEGUROS, SOCIEDADES ANONIMAS Y BOLSAS DE COMERCIO. *DFL 251*. Chile: Biblioteca del Congreso Nacional.
- Ministerio de Obras Públicas; Dirección General de Aguas; Universidad de Chile; Pontificia Universidad Católica de Chile. (2017). *Actualización del balance hídrico nacional*. Dirección General de Aguas. Obtenido de <https://repositoriodirplan.mop.gob.cl/biblioteca/handle/20.500.12140/32653>
- Mitas, L., & Mitsova, H. (1999). *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. Wiley.
- NASA. (2023). *EARTH SCIENCE APPLIED SCIENCES*. Obtenido de ARSET: <https://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/english/arset-fundamentals-remote-sensing>
- NASA. (19 de Mayo de 2025). *EARTH DATA SEARCH*. Obtenido de ASTER: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/aster>



NASA. (s.f.). *EARTH DATA SEARCH*. Obtenido de NASA:

<https://search.earthdata.nasa.gov/search>

Navarro Cerrillo, R., Varo, M., & Ariza Salamanca, A. (2024). *Sensores, acceso y procesamiento de imágenes multiespectrales y térmicas de interés forestal*. Córdoba: Universidad de Córdoba.

Negese, A., Worku, D., & Shitaye, A. (2022). Potential flood-prone area identification and mapping using GIS-based multi-criteria decision-making and analytical hierarchy process in Dega Damot district, northwestern Ethiopia. *Applied Water Science*, 255. doi:<https://doi.org/10.1007/s13201-022-01772-7>

Pinto Garay, D. A. (2022). *Proyecciones de eventos extremos bajo nuevos escenarios de cambio climático CMIP6 en la zona central de Chile para el periodo 2025-2085*. Santiago. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/186897>

Planchon, O., & Darboux, F. (2002). A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena*, 159-176.

Product Hackers. (2025). *El futuro de los seguros 2025-2026: Cómo crecer y liderar en un mercado en transformación*. The Grow Company.

Rahmati, O., Zeinivand, H., & Reza Pourghasemi, H. (2015). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*. doi:<https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559>

Rodríguez Chávez, O. E., & Arredonda Bautista, H. A. (2005). *Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto Modis de la Nasa, aplicado en estudios de Ingeniería Civil*. Pontificia Universidad Javeriana. doi:<https://doi.org/10.60794/evgz-8y15>

Rojas, O., Mardones, M., Arumi, 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*.

Saltelli, A., Ratto, M., Terry, A., & Campolongo, F. (2008). Global Sensitivity Analysis. The Primer. *Wiley*. doi:10.1002/9780470725184.ch6

Santibáñez, F., & Uribe, J. M. (1990). Atlas agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. *Facultad de ciencias agrarias y forestales*.

SENAPRED. (2025). *SENAPRED*. Obtenido de Puntos Críticos Programa Invierno 2025: <https://web.senapred.cl/puntos-criticos-programa-invierno/>

Snyder, J. (1926). *Map Projections A Working Manual*. U.S. GEOLOGICAL SURVEY.



- The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis* .
- Tiwari, H. R. (2015). Rainfall erosivity factor for India using modified Fourier index. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 83-91.
doi:<https://doi.org/10.1080/23249676.2015.1064038>
- Tsegaye Workneh, H. (Febrero de 2024). Comparison of IDW, Kriging and orographic based linear interpolations of rainfall in six rainfall regimes of Ethiopia. *Journal of Hydrology Regional Studies*. doi:10.1016/j.ejrh.2024.101696
- United State Geological Survey. (s.f.). *USGS science for a changing world*. Obtenido de Landsat 8: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
- USGS EROES. (4 de marzo de 2020). *Earth Resource Observation and Science Center*. Obtenido de Earth Resource Observation and Science Center:
<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-9-operational-land-imager-and>
- Vicuña, S., Girónas, J., Meza, J., Cruzat, M. L., & Jelinek, M. (2013). *Exploring possible connections between hydrological extreme events and climate change in central south Chile*. *Hydrological Sciences Journal*.
doi:<https://doi.org/10.1080/02626667.2013.840380>
- Waleed, M., & Sajjad, M. (2025). High-resolution flood susceptibility mapping and exposure assessment in Pakistan: An integrated artificial intelligence, machine learning and geospatial framework. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105442>.
- Zainab, M., Hussein, L., & Abood, M. (2024). Potential Flood Hazard Mapping Based on GIS and Analytical Hierarchy Process. *chijournal*.
doi:<https://doi.org/10.14796/JWMM.C528>

9. Anexos

9.1. Anexo A

Tabla 5: Puntos críticos ante inundaciones georreferenciados para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins.

Comuna	Sector	Causa	longitud	latitud
MACHALÍ	Alto Lo Castillo	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-34,2
TIL TIL	Barros Arana con Victor Moya (Callejón del Diablo)	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-33,1
SAN JOSÉ DE MAIPO	maitenes	Inundación por desborde de cauce	-70,3	-33,5
CABILDO	BADEN ALICAHUE	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-32,3
LA ESTRELLA	las chacras	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-34,3
PICHILEMU	Canal El Bajo sector La Concepcion	Inundación por desborde de cauce	-72,0	-34,4
VILLA ALEMANA	Provia	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
RENGO	RIO CLARO	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,4
PLACILLA	LA DEHESA (SANTUARIO)	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-34,6
SAN VICENTE	CENTRO DE SAN VICENTE	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,1	-34,4
CODEGUA	ESTERO CODEGUA	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,0
VILLA ALEMANA	Parque Civico Belen	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-33,0
NAVIDAD	Licancheu Abajo	Inundación por desborde de cauce	-71,8	-33,9
LAMPA	Campamentos Dignidad/ Campamento Marichiwueo	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,8	-33,2
RANCAGUA	Camino San Ramón, ruta H-240	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,2
CODEGUA	El Romeral	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,1
BUIN	Bajos de Matte esq/ Límite Urbano	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,7
QUILICURA	Volcán Villarrica / Volcán Calbuco	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,4
PLACILLA	EL CORTE	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,0	-34,6

QUINTA NORMAL	Brisas del Rio / Federico Engel	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,4
COLTAUCO	Parral	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-34,3
PUDAHUEL	PAPA SAN PEDRO - CALETERA AMERICO VESPUCIO	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,8	-33,5
DOÑIHUE	FUNDO EL BOSQUE	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,2
COLTAUCO	El Almendro	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,1	-34,3
VILLA ALEMANA	Vicente Martinez	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
SAN BERNARDO	PASO NIVEL REGINA GALVEZ	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
COLTAUCO	Montegrande Arriba	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,3
PUCHUNCAVÍ	La Laguna	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-32,6
VALPARAÍSO	Tranque Tomas Ramos Sup.	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,0
VILLA ALEMANA	Peña Blanca	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
LAS CABRAS	Las Parcelas, Las Cabras Urbano	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-34,3
CONCÓN	ACONCAGUA MAGGI	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,9
MARÍA PINTO	VILLA FUTURO	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-33,5
EL TABO	Quillaicillo	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-33,5
LAMPA	Peralillo poniente	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,4
LIMACHE	Los Laureles Sector el Maqui Altura poste 131	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,3	-33,0
VALPARAÍSO	Estero Las Tablas Placilla	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,1
NAVIDAD	Rucatalca	Inundación por desborde de cauce	-71,8	-33,9
CONCÓN	ACONCAGUA PARQUE INDUSTRIAL	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,9
PLACILLA	Villa Alegre	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-34,6
SAN JOSÉ DE MAIPO	san jose de maipo	Inundación por desborde de cauce	-70,4	-33,6
COLTAUCO	Parral de Puren	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-34,3
VILLA ALEMANA	Lientur	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-33,0



LAMPA	Lo Fontecilla	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,2
CODEGUA	VILLA PADRE ALBERTO HURTADO	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,0
VILLA ALEMANA	La Alborada	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
TIL TIL	Los Litres	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,9	-33,1
VILLA ALEMANA	Peña Blanca	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
VALPARAÍSO	Estero Las Cenizas Placilla	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,1
LOS ANDES	Villa Bellavista 2	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-32,8
SAN FERNANDO	LOS HUERTOS	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,6
PEÑALOLÉN	EL VALLE / SANCHEZ FONTECILLA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
MACHALÍ	Camino Huinganes	Inundación por desborde de cauce	-70,5	-34,3
VILLA ALEMANA	Valencia	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
SAN BERNARDO	Fray Jorge con area verde, villa Aires del Valle	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
VALPARAÍSO	Estero El Peral Placilla	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,1
MACHALÍ	El Pantanito	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,2
SAN JOAQUÍN	Pasaje Pedro Prado Calvo	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
SAN BERNARDO	General Urrutia con Nueva Espejino	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
QUINTA NORMAL	Radal / Martinez de Rozas	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,4
RANCAGUA	Pasaje Las Pilastras, Camino San Ramón	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,2
SAN JOSÉ DE MAIPO	maitenes	Inundación por desborde de cauce	-70,3	-33,6
LAS CABRAS	Cabaña Blanca Carretera	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-34,3
LA ESTRELLA	QUEBRADA DE LA VIRGEN	Inundación por desborde de cauce	-71,7	-34,2
MARÍA PINTO	LO OVALLE	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-33,5
VILLA ALEMANA	Parque Central	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0

LIMACHE	Canal aguas lluvias 18 de Sep. - El Alamo. - Calle Olmos.	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-33,0
RINCONADA	Villa Mina Caracoles	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-32,8
VILLA ALEMANA	Barrio Norte	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
RANCAGUA	Av. El Sol con Camino La Cruz	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,1
SAN PEDRO	loica abajo villa pratt	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-34,0
VALPARAÍSO	Tranque Kaiser Inferior	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,1
LA FLORIDA	Santa Raquel con General Arriagada	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,6
MARÍA PINTO	LO OVALLE CALLEJON PATICO	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-33,5
VILLA ALEMANA	PRAT	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
SAN JOAQUÍN	Av. Lo Ovalle con Haydn	Inundación por desborde de cauce	-70,6	-33,5
SAN BERNARDO	Avda. Padre Hurtado con Manuel Magallanes, Villa Mauel Magallanes Moure	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
PUCHUNCAVÍ	Las Ventanas	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,7
MACHALÍ	Villa Mirador Andino	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,2
VALPARAÍSO	Tranque Capilla	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,0
PICHILEMU	El Maqui	Inundación por desborde de cauce	-71,9	-34,5
PICHILEMU	Pasaje Rosa Becerra (Cahuil)	Inundación por desborde de cauce	-72,0	-34,5
PEÑALOLÉN	Ensenada con El arrayan poniente	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
RANCAGUA	Av. Ursa Mayor con Delta	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,2
CODEGUA	Puente Santa Gemita	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,0
SAN JOAQUÍN	Av. Lo Ovalle con Vecinal	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
VILLA ALEMANA	Los Olivos	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
VILLA ALEMANA	Ignacio Carrera Pinto	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-33,0
SAN BERNARDO	CALDERON DE LA BARCA Y LUGARES ADYACENTES	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6

PUDAHUEL	CUMBRES BLANCAS - MAR DE SUEÑO	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,8	-33,5
LO ESPEJO	PASO DESNIVEL LO SIERRA AV. LO ESPEJO	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
PUDAHUEL	ESTERO LAS CRUCES -PUENTE ROQUE PEREZ	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,4
PICHILEMU	la Villa - El Bronce	Inundación por desborde de cauce	-72,0	-34,5
VILLA ALEMANA	Benito Juarez	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
SAN FERNANDO	ESTERO ROMA	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-34,6
SAN BERNARDO	Calderon de La Barca y lugares adyacentes	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
MARÍA PINTO	ISLA DE ROJAS AFUERA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,1	-33,5
MOSTAZAL	CAMPAMENTO RIO PEUCO	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,9
SAN PEDRO	Los Culenes	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,9
MELIPILLA	Rinconada Oriente (Inca)	Inundación por desborde de cauce	-71,2	-33,7
PUCHUNCAVÍ	La Greda	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,8
CABILDO	LA QUINTRALA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,1	-32,4
PUCHUNCAVÍ	Las Ventanas Caleta	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,7
PUDAHUEL	NARCISO ORTEGA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,8	-33,4
CHIMBARONGO	TINGUIRIRICA LOS ARENEROS	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,6
LO PRADO	AVDA. DORSAL / IBIS	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
MELIPILLA	PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA - LOS JAZMINES	Inundación por desborde de cauce	-71,2	-33,7
LA ESTRELLA	EL CLARO	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,6	-34,3
LO PRADO	AVDA. ECUADOR / ISLA DECEPCION	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,5
PUDAHUEL	JOSE MIGUEL CARRERA	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-33,4
QUINTA NORMAL	San Pablo / Gaspar de Orense	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,4

VALPARAÍSO	Tranque Yervas Buenas la posada	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,1
LOS ANDES	El Sauce Las Viscachas	Inundación por desborde de cauce	-70,5	-32,9
MACHALÍ	El Álamo Bajo	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,5	-34,2
RANCAGUA	Libertador Bernardo O'Higgins con Viña del Mar	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,8	-34,2
VIÑA DEL MAR	Sausalito	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-33,0
COLTAUCO	Av. Ramon Lecaros	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,1	-34,3
LOS ANDES	Av. Arturo Prat esquina Bejares	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-32,8
SAN BERNARDO	Paso bajo nivel O'higgins	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
NAVIDAD	Las Brisas	Inundación por desborde de cauce	-71,8	-33,9
RINCONADA	Casuto	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-32,9
PUCHUNCAVÍ	Población San Sergio	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-32,7
NAVIDAD	Rapel	Inundación por desborde de cauce	-71,7	-33,9
VIÑA DEL MAR	Estero de Viña (Marga-Marga)	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,0
QUINTA NORMAL	Radal / Nva Imperial	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,4
EL TABO	El Tabo	Inundación por desborde de cauce	-71,7	-33,4
PUMANQUE	ORILLA LO SILVA	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-34,6
LOS ANDES	Villa Alto Aconcagua	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-32,8
PICHILEMU	La Plaza	Inundación por desborde de cauce	-72,0	-34,5
HIJUELAS	LA PUNTILLA, PUREHUE.	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-32,8
CALLE LARGA	Estero Pocuro cruce San Martin	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-32,9
GRANEROS	Pobl. Santa Rosa	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-34,1
LA FLORIDA	Campamento Central Hidroelectrica	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5

MACHALÍ	Barrio Colonial	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,2
EL BOSQUE	Paso Inferior Las Ovejas	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
VILLA ALEMANA	Vicente Martinez	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
VILLA ALEMANA	PRAT	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-33,1
PICHILEMU	Barrancas	Inundación por desborde de cauce	-72,0	-34,5
VILLA ALEMANA	Palmilla Baja	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
PUCHUNCAVÍ	Eatero Puchuncaví, La Laguna	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-32,6
PUTAENDO	Los Patos Estero el chalaco	Inundación por desborde de cauce	-70,6	-32,5
LAMPA	Cerrillos	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,3
VILLA ALEMANA	Fundo Viñas del Bosque	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
RECOLETA	uv21 - Las Torres con El Roble	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,4
LO PRADO	AVDA. NEPTUNO ENTRE AVDA BONILLA Y AVDA DORSAL	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
VILLA ALEMANA	Quebrada Aguas Frias	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-33,1
VILLA ALEMANA	Barrio Norte	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
VILLA ALEMANA	Eucaliptus	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
BUIN	VILLASECA FRENTE COLEGIO	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,7
LA FLORIDA	Paso Bajo Nivel Walker Martinez	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
MALLOA	ALTO DE PELEQUEN	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-34,5
SAN JOSÉ DE MAIPO	Las vertientes	Inundación por desborde de cauce	-70,5	-33,6
SAN BERNARDO	LOS SUSPIROS, ENTRE LOS VIÑEDOS Y RINCONADA DE NOS	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
PIRQUE	El Principal / Los Corrales	Inundación por desborde de cauce	-70,6	-33,7
TIL TIL	Daniel Moya con Manuel Rodríguez	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,9	-33,1
LOS ANDES	Villa La Gloria	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-32,9

BUIN	LINEROS	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,8
VILLA ALEMANA	Jose Miguel Carrera	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
LO ESPEJO	AMPLIACIÓN VILLA SUR	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
SAN JOSÉ DE MAIPO	san alfonso	Inundación por desborde de cauce	-70,3	-33,7
BUIN	VILLA REINA JULIANA	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,7
SAN ANTONIO	Gabriela Mistral	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,6	-33,6
VILLA ALEMANA	Palermo	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-33,0
BUIN	LINDEROS	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,8
LAMPA	Las Turbinas	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,8	-33,4
EL BOSQUE	Multicancha Lo Montoya	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
SAN MIGUEL	paso bajo nivel departamental/gran avenida	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
CERRILLOS	Calle Alaska sector pajonal	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
LO PRADO	GABRIELA MISTRAL / CORONA SUECA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
BUIN	LINDEROS	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,8
SAN JOSÉ DE MAIPO	el manzano	Inundación por desborde de cauce	-70,4	-33,6
LO BARNECHEA	Refugios de Arrayán	Inundación por desborde de cauce	-70,5	-33,4
VILLA ALEMANA	Fuentes	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
SAN FERNANDO	POLONIA	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-34,5
VALPARAÍSO	Tranque San Francisco	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,0
BUIN	VILLASECA EL MOLINO	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,7
QUINTA NORMAL	Costanera/Balmaceda (frente a los estacionamientos del Parque de La Familia)	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,4
RECOLETA	uv27 -Eisenhower con escalera presidente Lincoln	Inundación por desborde de cauce	-70,6	-33,4

CALLE LARGA	Villa Lomas Santa Rosa	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-32,9
SAN PEDRO	cruce las arañas	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,9
LIMACHE	Avenida Eastman, desde calle el Esfuerzo hasta calle TTE. Merino	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,2	-33,0
TIL TIL	Rungue, Calle Eleodoro Moreno	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,9	-33,0
CODEGUA	Callejones - Los Platanos	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,0
CASABLANCA	Villa San Gabriel, calle Roberto Loyola	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,3
MACHALÍ	Sanchina 02	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,2
PUTAENDO	Canal Cartagena	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-32,6
NAVIDAD	La Vega de la Boca	Inundación por desborde de cauce	-71,8	-33,9
VILLA ALEMANA	Gumeriendo	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
LIMACHE	Calle Colon	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-33,0
CARTAGENA	SAN SEBASTIAN (Humedal)	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,5
CODEGUA	Estero Leonera - Canales	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,1
PLACILLA	Villa Alegre	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-34,6
PICHIDEGUA	PATAGUAS ORILLA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,3	-34,3
MARÍA PINTO	ISLA DE ROJAS AFUERA	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-33,5
CERRILLOS	Avenida Presidente Salvador Allende Gossens & Calle El Mirador	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
ZAPALLAR	laguna de zapallar	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-32,6
PEÑALOLÉN	ANTUPIREN / SANCHEZ FONTECILLA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
BUIN	LINDEROS	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,8
BUIN	VUELTA LA ARENA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,8	-33,8
PUDAHUEL	SIMON BOLIVAR - CAMINO NOVICIADO	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-33,4
VILLA ALEMANA	Peña Blanca Norte	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0

VILLA ALEMANA	Paso peatonal, Sector Centro	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-33,0
CODEGUA	Cuesta San Joaquín	Inundación por desborde de cauce	-70,6	-34,1
MALLOA	SALSIPUEDES	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,4
QUINTA NORMAL	Sergio Valdovinos / San Pablo	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,4
CABILDO	ARTIFICIO PARADERO 4	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-32,4
PUDAHUEL	ESTERO LAS CRUCES	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,4
SAN BERNARDO	PASO BAJO NIVEL BALMACEDA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
LO PRADO	JONH DOS PASOS / JACK LONDON	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
SAN JOSÉ DE MAIPO	melocoton bajo	Inundación por desborde de cauce	-70,3	-33,7
COLTAUCO	Lo Bronces	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,2
GRANEROS	Fundo Las Mercedes (Los Chinos)	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,1
MAIPÚ	Camino El Toqui Entre Camino Lonquen y Las Industrias	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,5
CONCÓN	DESEMBOCADURA BOCA	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,9
LO BARNECHEA	Pastor Fernández	Inundación por desborde de cauce	-70,5	-33,4
BUIN	MAIPÚ / ERRÁZURIZ	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,7
RENGO	CERRILOS TUPAUME	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,4
RANCAGUA	Sector Chancón, Ruta H-188 con Huilmay	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,1
SAN FERNANDO	LOS HUERTOS	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,6
COLTAUCO	Avda O'Higgins, Coltauco Centro	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,1	-34,3
VILLA ALEMANA	Gumerindo	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
LOS ANDES	Av. Allende - Las Juntas	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-32,8
SAN BERNARDO	AVDA. PORTALES PARADERO 5 FRENTE A VICENTE PEREZ ROSALES	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
CONCÓN	PARQUE INDUSTRIAL GULMUE	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,9

LA ESTRELLA	EL PIHUELO 2	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-34,2
HIJUELAS	POBLACION SVEN KRARUP	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-32,8
LAS CABRAS	Vuelta El Rio, El Carmen	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-34,3
RANCAGUA	Sector Santa Elena, ruta H-200	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,1
SAN JOSÉ DE MAIPO	san gabriel	Inundación por desborde de cauce	-70,2	-33,8
MELIPILLA	SAN RAMÓN - ESTERO LA HIGUERA	Inundación por desborde de cauce	-71,2	-33,6
BUIN	FRENTE AL COMPLEJO DEPORTIVO	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,7
VIÑA DEL MAR	Cauce calle Los Castaños	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-33,0
VILLA ALEMANA	Villa El Bosque - Carlos Villalobos	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
COLTAUCO	Loreto	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,0	-34,3
CABILDO	INTERSECCION IGNACIO DOMEYKO- AVENIDA HUMERES	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,1	-32,4
BUIN	Valdivia de Paine	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,9	-33,8
CALLE LARGA	EL CASTILLO	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-32,9
PUDAHUEL	PUENTE EL MEMBRILLO	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,4
VALPARAÍSO	TRANQUE LOS AROMOS	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,1
RANCAGUA	Av. Las Torres con Ruta Travesía	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-34,2
MALLOA	Los Altos de Pelequén	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-34,5
PUDAHUEL	ESTERO LAMPA - PUENTE EL NOVICIADO	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-33,4
MELIPILLA	PADRE DEMETRIO - OSTOLAZAS	Inundación por desborde de cauce	-71,2	-33,7
NANCAGUA	Diego de Almagro villa Suiza	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,2	-34,7
COLTAUCO	Av. Ramon Lecaros	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,1	-34,3
LA ESTRELLA	CHUCHUNCO	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,6	-34,2
VILLA ALEMANA	Los Profesores	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0

PAREDONES	Ruta I-560 (Las Papas - El Perdiguero)	Inundación por desborde de cauce	-71,9	-34,8
VALPARAÍSO	Tranque Francia	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,1
VILLA ALEMANA	La Alborada	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-33,0
VILLA ALEMANA	Colector Pasaje El Roble	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
QUINTA NORMAL	Santo Domingo / Gaspar de Orense	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,4
QUILPUÉ	BELLOTO CENTRO	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
VALPARAÍSO	Estero Laguna Verde	Inundación por desborde de cauce	-71,7	-33,1
TIL TIL	Independencia con José Manuel Aguilar	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,9	-33,1
QUILICURA	Estero Las Cruces	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-33,3
MACHALÍ	El Polo de Machalí 02	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,2
VILLA ALEMANA	DUPRE	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,1
DOÑIHUE	Compuertas Lo Miranda	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,2
CONCÓN	ENAP ACONCAGUA	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,9
CODEGUA	CARLOS VALENZUELA RIOS	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-34,0
HIJUELAS	MAITENES, CANCHA LA ESTRELLA	Inundación por desborde de cauce	-71,1	-32,8
PALMILLA	VILLA PUENTE TAPADO	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-34,5
DOÑIHUE	Sector Puente Coinco	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,2
CODEGUA	Puente Santa Teresa - Estero Leonera	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,1
SAN FERNANDO	PEDEHUE	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-34,6
LIMACHE	Estero Limache, desde puente Gamboa hasta Poblacion CCU.	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-33,0
MELIPILLA	LORENZO ACEITON - VILLA EL PORTAL	Inundación por desborde de cauce	-71,2	-33,7
LAS CABRAS	Cruce Santa Clarisa, Acceso Inés de Suarez	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-34,1
RANCAGUA	Avenida Uruguay con Avenida Circunvalación Norte	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,2
HIJUELAS	CALLEJON SAN ANTONIO	Inundación por desborde de cauce	-71,2	-32,8

LAMPA	Central Labbe/Estero Seco	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-33,3
CASABLANCA	av Alejandro Galaz	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,3
MACHALÍ	Vista Al Valle 01	Inundación por desborde de cauce	-70,6	-34,2
TIL TIL	ARTURO PRAT CON CALLEJON DE LOS DIAZ	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,9	-33,1
ISLA DE MAIPO	Sector Monte Las Mercedes - Riveras del rio Maipo	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-33,8
LAS CABRAS	Santa Ana, El Carmen	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-34,3
CONCÓN	LA BOCA	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,9
PUENTE ALTO	Las Hortensias con Peumo (Asentamiento Millantu)	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,5	-33,6
TIL TIL	Manuel Rodríguez con Daniel Moya	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,9	-33,1
PUDAHUEL	PUENTE MAPOCHO VILLA COUSO	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,4
LIMACHE	Canal Waddington, desde hotel las Tortolas, hasta calle Cai Cai.	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-33,0
LIMACHE	Canal aguas lluvias 18 de Sep. - El Alamo. - Calle Olmos.	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-33,0
PICHILEMU	La Plaza	Inundación por desborde de cauce	-72,0	-34,5
PUCHUNCAVÍ	La Greda	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,7
NAVIDAD	Piuchen	Inundación por desborde de cauce	-71,7	-33,9
CODEGUA	La Leonera - Aguas Arriba Hotel	Inundación por desborde de cauce	-70,6	-34,0
LAS CABRAS	Villa Gabriela Mistral, Las cabras urbano	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-34,3
SAN BERNARDO	PASO BAJO NIVEL LO SIERRA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,5
CATEMU	CATEMU URBANO	Inundación por desborde de cauce	-71,0	-32,8
MACHALÍ	Condominio Solar de Sanchina	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,2
SAN BERNARDO	PASO BAJO NIVEL SAN JOSE LINEA FERREA	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,6
VALPARAÍSO	Tranque Chilectra Superior	Inundación por desborde de cauce	-71,6	-33,1
VILLA ALEMANA	Villa Los Olivos	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,0
QUINTERO	Ruta F210 acceso tunel FACH	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,5	-32,8

MELIPILLA	Villa el Portal	Inundación por desborde de cauce	-71,2	-33,7
SAN JOAQUÍN	Pasaje Tito Mundt	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
LIMACHE	Estero Pelamote Poblacion Bernardo Ohiggins, Poblacion Orval y calle Rancagua.	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-33,0
RANCAGUA	Camino La estrella ruta H-260	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-34,2
LAS CABRAS	Puente Cimbra, Cocalán (Estero Las Palmas)	Inundación por desborde de cauce	-71,3	-34,2
LA FLORIDA	Paso Bajo Nivel Serafin Zamora	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
MALLOA	MALLOA PLAZA	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-34,4
PICHILEMU	El Maqui	Inundación por desborde de cauce	-71,9	-34,5
LO BARNECHEA	Camino Huallalolén	Inundación por desborde de cauce	-70,5	-33,3
BUIN	ESQUINA LAS CANOAS	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-33,7
VILLA ALEMANA	ROSENQUITS	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-33,1
CONCÓN	PARQUE INDUSTRIAL BITUMIX	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,9
LO BARNECHEA	Camino El Alto	Inundación por desborde de cauce	-70,5	-33,4
LIMACHE	Sector La Victoria	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-71,4	-32,9
RANCAGUA	Ruta 5 con H-188	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-34,1
NAVIDAD	Rapel	Inundación por desborde de cauce	-71,7	-33,9
GRANEROS	Población Santa Rosa	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,7	-34,1
PUDAHUEL	PUENTE AGUAS CLARAS	Inundación por desborde de cauce	-70,8	-33,4
LA FLORIDA	Avenida la Florida con Walker Martinez	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,6	-33,5
RANCAGUA	Camino Santa Mónica	Inundación por desborde de cauce	-70,9	-34,2
PUDAHUEL	Esparta con Fideas	Anegamiento de caminos/pasos a desnivel	-70,8	-33,4
GRANEROS	Villa Doña Elvira/Puente La Zorra	Inundación por desborde de cauce	-70,7	-34,1



Aplicación de modelos de inundación en Chile central, basados en parámetros físicos y climatológicos y su relación con la transferencia de riesgo en el mercado asegurador.



CONCÓN	LA ISLA ACONCAGUA	Inundación por desborde de cauce	-71,5	-32,9
CASABLANCA	PASAJE MICHIMALONGO	Inundación por desborde de cauce	-71,4	-33,3
PEÑALOLÉN	LOS CARTEROS OTE 5985	Inundación por desborde de cauce	-70,6	-33,5

Fuente: Puntos Críticos Programa Invierno 2025 (SENAPRED, 2025)



Aplicación de modelos de inundación en Chile central, basados en parámetros físicos y climatológicos y su relación con la transferencia de riesgo en el mercado asegurador.



9.2. Anexo B

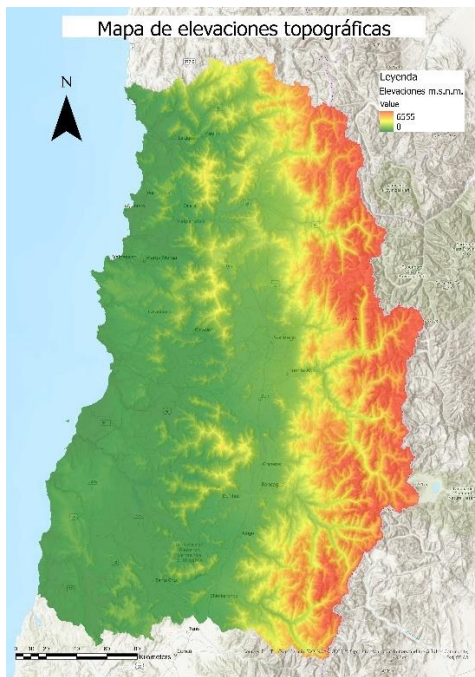
Tabla 6: Reclasificación de factores en función de sus respectivos quintiles.

Reclasificación	Densidad de drenaje km/km ²	Elevación m.s.n.m.	Distancia a efluentes	Pendientes en grados)	Tipos de suelo	MFI	TWI	NDVI
1	[0-0,1468]	>2538	2000	<=78	Bosques, Zonas con nieves y Glaciares	<=118	<=5,35	<=1
2	]0,1468-0,1879]	[1104 - 2538]	1300	<=25	Praderas y matorrales	<=152	<=6,16	<=0,169
3	]0,1879-0,2285]	[581 - 1103]	800	<=16	Terrenos agrícolas	<= 200	<=7,06	<=0,129
4	]0,2285-0,2789]	[300 - 580]	500	<=8	Ciudades, Pueblos, Industrias Zonas carentes de vegetación	<=237	<=8,53	<=0,099
5	>0,2789	[0 - 300]	200	<=2	Cuerpos de agua Humedales	<=394	<=23,3	<=0,0554

Fuente: Elaboración propia

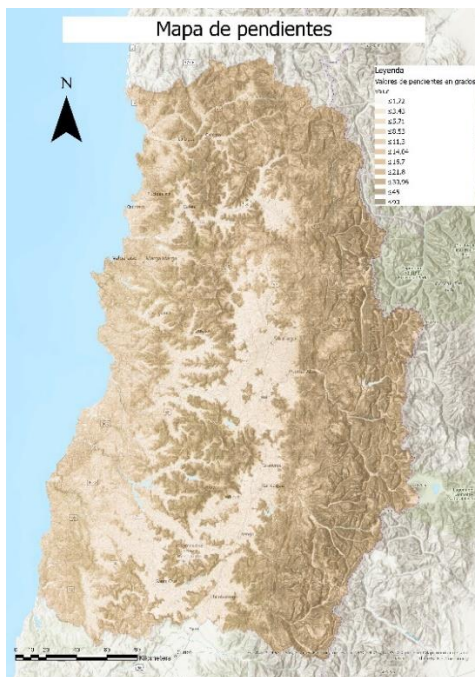
9.3. Anexo C

Ilustración 19: Mapa de elevaciones en m.s.n.m.



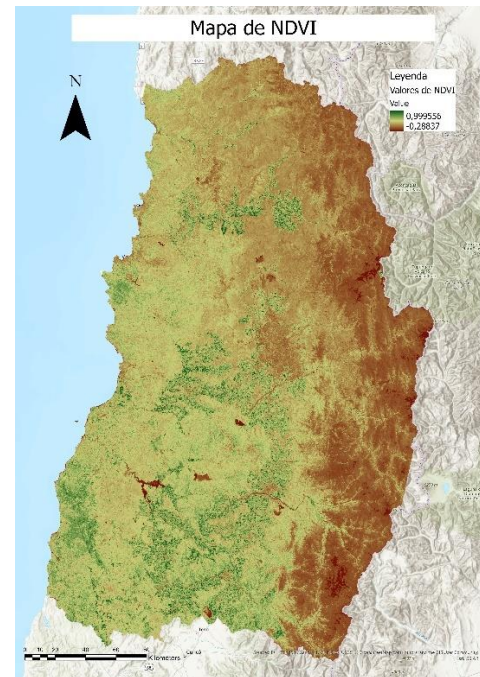
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20: Mapa de pendientes en grados.



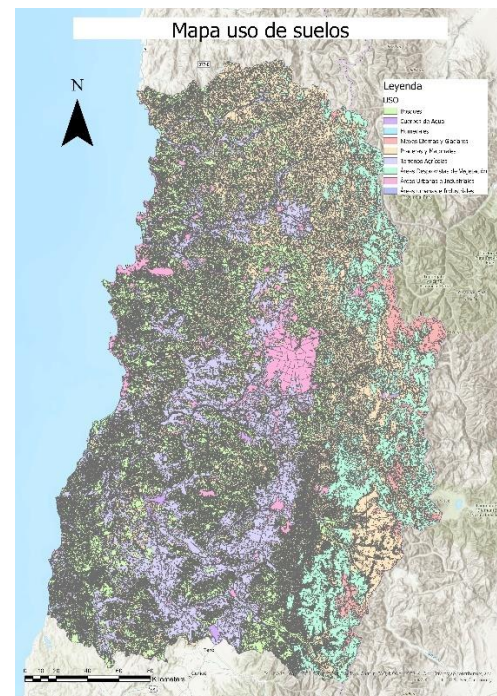
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21: Mapa de índice normalizado de vegetación.



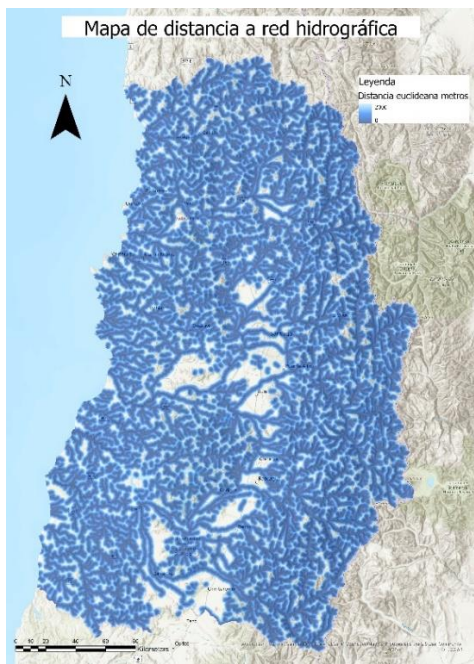
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22: Mapa de usos de suelo.



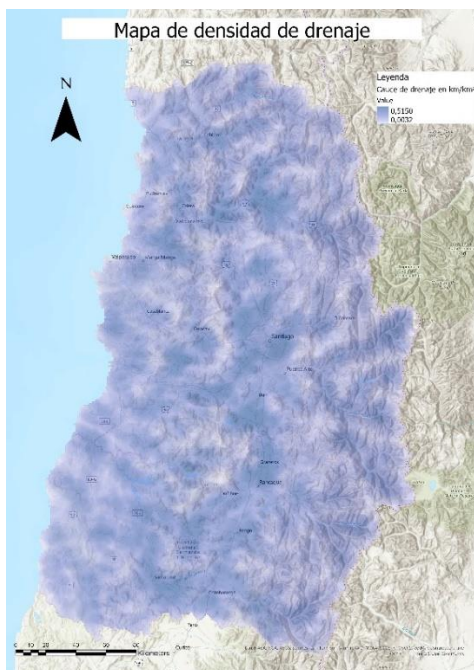
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23: Mapa de distancia a efluentes en metros.



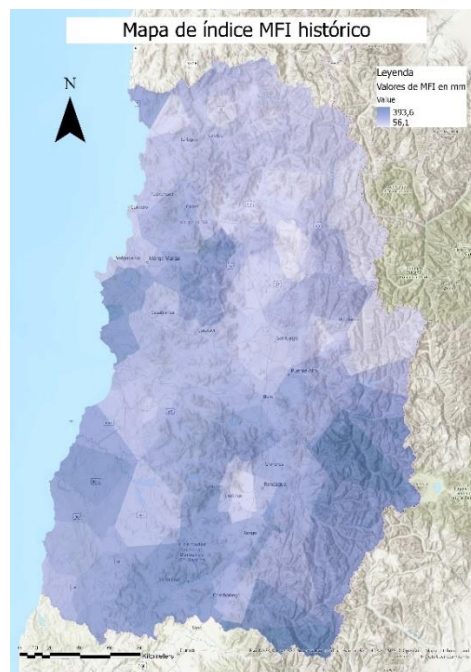
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24: Mapa de densidad de drenaje en km/km^2 .



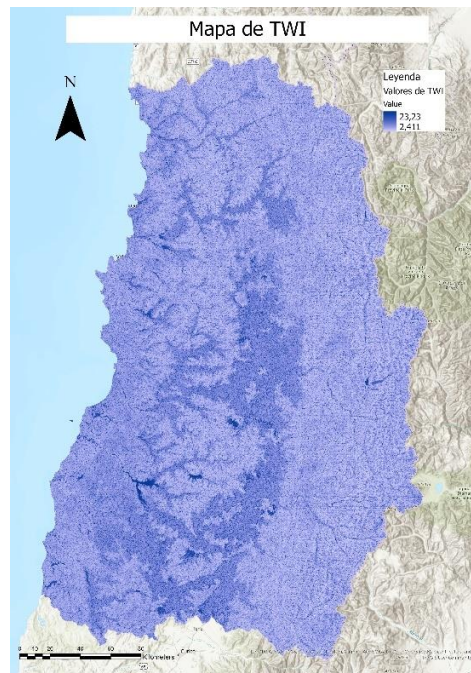
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25: Mapa de MFI histórico en mm.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26: Mapa de índice topográfico de humedad.

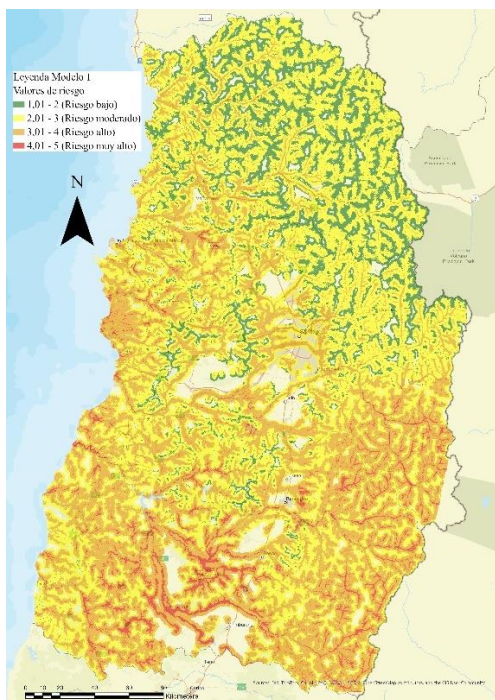


Fuente: Elaboración propia



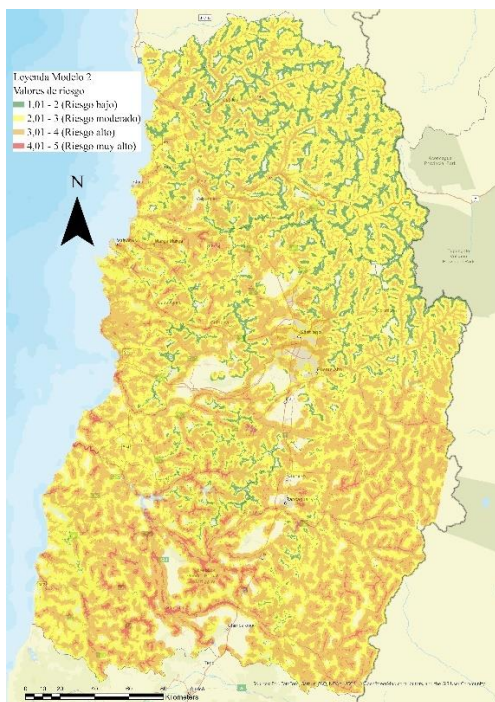
9.4. Anexo D

Ilustración 27: Mapa modelo 1.



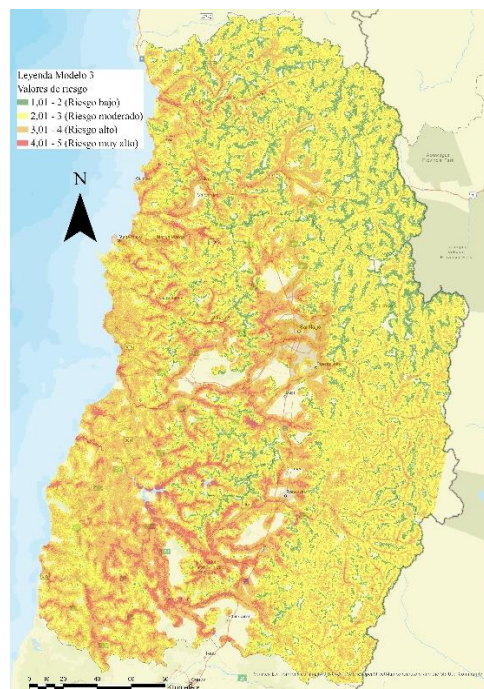
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 28: Mapa modelo 2.



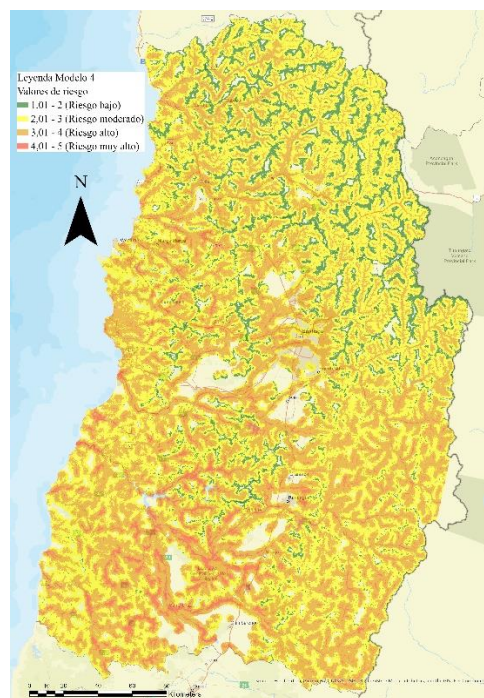
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 29: Mapa modelo 3.



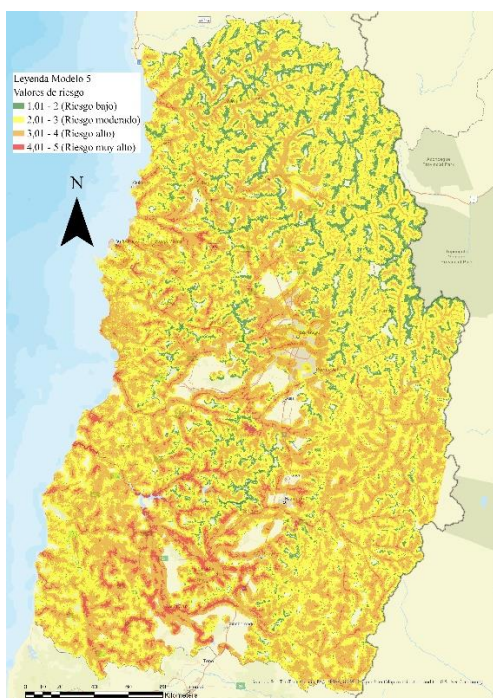
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 30: Mapa modelo 4.



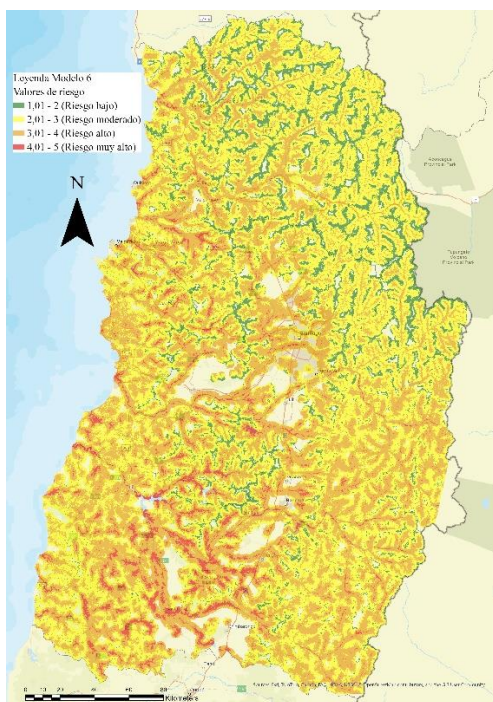
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 31: Mapa modelo 5.



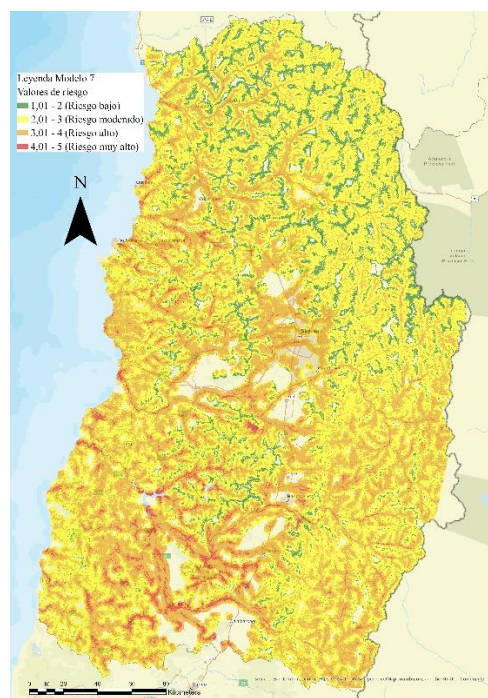
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 32: Mapa modelo 6.



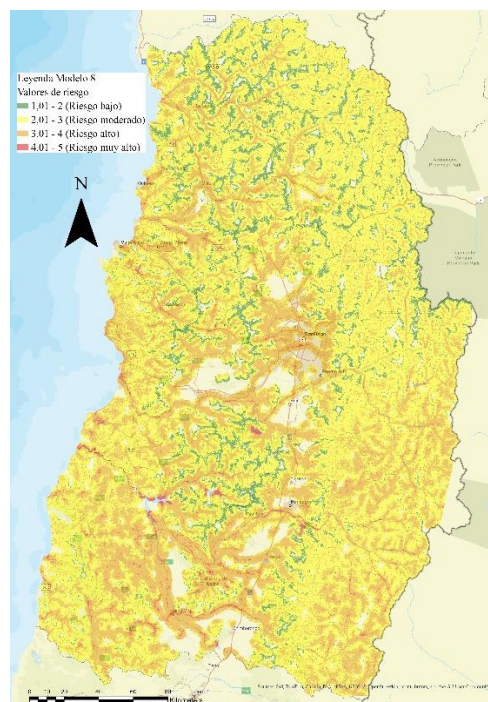
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 33: Mapa modelo 7.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 34: Mapa modelo 8.



Fuente: Elaboración propia.



9.5. Anexo E

Tabla 7: Valores de modelos para puntos críticos de inundación georreferenciados.

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
2,93	3,48	3,56	3,55	3,47	3,5	3,35	3,38
3	3,38	3,74	3,54	3,5	3,5	3,35	3,38
3,19	3,54	4,02	3,73	3,74	3,75	3,75	3,63
3,68	4,12	4,57	4,27	4,35	4,35	4,35	4,38
3,22	3,8	4,18	3,93	3,98	4	4	4
2,73	3,34	3,53	3,39	3,43	3,45	3,25	3,38
2,94	3,26	3,44	3,35	3,31	3,3	3,1	3,25
3,43	3,52	3,78	3,58	3,61	3,6	3,7	3,75
3,34	3,28	3,69	3,43	3,46	3,45	3,55	3,38
2,61	2,68	3,46	2,92	3,04	3	3	3
2,38	2,54	2,93	2,56	2,72	2,7	2,8	3
3,8	4	4,5	4,21	4,25	4,25	4,2	4
2,83	2,9	3,29	3,03	3,05	3,05	3,25	3,13
2,99	3,02	3,65	3,21	3,27	3,25	3,45	3,38
3,32	3,8	4,18	3,91	4	4	3,9	4
3,61	4,12	4,52	4,24	4,3	4,3	4,25	4,38
2,01	2,12	2,12	2,11	2,18	2,2	2,25	2,13
3,07	3,48	3,74	3,54	3,59	3,6	3,55	3,63
3,04	3,56	3,99	3,69	3,78	3,8	3,8	3,75
2,61	2,78	3,41	2,89	3,08	3,05	3,1	3,25
2,41	2,6	3,4	2,78	2,93	2,9	2,9	3
2,56	2,68	2,89	2,72	2,81	2,8	2,7	2,75
2,55	2,76	3,25	2,94	3,01	3	2,95	2,88
2,82	3,1	3,25	3,22	3,23	3,25	3,2	3
2,55	2,96	2,89	2,98	2,93	2,95	2,7	2,75
3,04	3,36	3,82	3,55	3,6	3,6	3,6	3,5
3,41	3,08	3,65	3,25	3,35	3,3	3,45	3,38
2,29	2,4	2,87	2,54	2,67	2,65	2,65	2,63
2,47	2,74	3,42	2,89	3,04	3	3	3,25
2,65	3,08	3,18	3,14	3,18	3,2	3,15	3,13
3,36	3,58	3,72	3,66	3,68	3,7	3,55	3,38
2,31	2,52	3,01	2,66	2,71	2,7	2,85	2,88
3,01	3,28	3,79	3,5	3,55	3,55	3,55	3,38
3,17	3,24	3,87	3,48	3,53	3,5	3,45	3,38
2,92	3,14	3,12	3,22	3,18	3,2	3,05	2,88
2,65	2,6	2,85	2,72	2,71	2,7	2,75	2,63
2,87	3,24	3,82	3,42	3,52	3,5	3,4	3,5
3,49	3,62	4,12	3,71	3,83	3,8	3,95	4,13
3,72	3,8	4,25	3,89	3,98	3,95	4,1	4,25



3,6	3,72	4,27	3,93	3,96	3,95	3,9	3,75
3,27	3,18	3,71	3,35	3,38	3,35	3,3	3,25
3,3	3,36	3,96	3,57	3,57	3,55	3,45	3,38
3,63	4,02	4,3	4,15	4,13	4,15	4,1	4
3,17	3,24	3,77	3,4	3,46	3,45	3,6	3,5
3,5	3,66	3,75	3,68	3,7	3,7	3,7	3,75
2,85	3,34	3,24	3,33	3,31	3,35	3,15	3,13
3,08	3,46	3,65	3,54	3,58	3,6	3,45	3,38
2,37	2,38	2,53	2,37	2,45	2,45	2,5	2,5
2,4	2,48	2,7	2,49	2,56	2,55	2,4	2,5
2,89	2,8	3,43	2,96	3,07	3,05	3,25	3,13
3,93	3,98	4,26	4,09	4,15	4,15	4,05	3,88
3,71	3,72	4,05	3,8	3,87	3,85	3,85	3,88
3,71	3,52	4,07	3,7	3,73	3,7	3,75	3,63
3,28	3,4	3,59	3,49	3,46	3,45	3,35	3,38
3,34	3,68	4,06	3,77	3,87	3,85	3,8	4
3,81	3,94	4,05	3,95	4,01	4	3,9	4
3,74	4	4,23	4,07	4,09	4,1	4,15	4,13
3,58	3,94	4,22	4,04	4,08	4,1	4,1	4
2,99	2,98	2,79	2,97	2,92	2,95	3	2,75
3,89	4,24	4,59	4,36	4,4	4,4	4,35	4,38
3,76	4,18	4,41	4,28	4,28	4,3	4,3	4,25
2,89	2,88	3,63	3,06	3,23	3,2	3,3	3,25
2,93	2,9	3,07	2,91	3,01	3	3	3
3,19	3,12	3,53	3,24	3,31	3,3	3,4	3,25
3,22	3,22	3,41	3,24	3,31	3,3	3,35	3,38
2,99	3	3,58	3,16	3,26	3,25	3,4	3,25
2,99	3	3,58	3,16	3,26	3,25	3,4	3,25
3,41	3,42	3,8	3,47	3,58	3,55	3,6	3,75
3,29	3,26	3,33	3,29	3,29	3,3	3,4	3,25
3,84	3,68	4,18	3,83	3,88	3,85	3,95	3,88
3,41	3,4	3,95	3,52	3,63	3,6	3,7	3,75
3,44	3,48	3,98	3,57	3,68	3,65	3,75	3,88
3,44	3,48	3,98	3,57	3,68	3,65	3,75	3,88
3,19	3,34	3,53	3,41	3,43	3,45	3,55	3,38
3,51	3,6	4,1	3,72	3,82	3,8	3,85	3,88
3,09	3,24	3,43	3,26	3,35	3,35	3,35	3,38
3,55	3,28	3,64	3,4	3,42	3,4	3,55	3,38
3,97	3,96	4,36	4,08	4,12	4,1	4,15	4,13
3,74	3,78	4,23	3,9	3,97	3,95	4	4
3,54	3,68	4,13	3,77	3,87	3,85	3,9	4
3,51	3,6	4,1	3,72	3,82	3,8	3,85	3,88

3,78	3,8	3,67	3,75	3,75	3,75	3,7	3,75
3,22	3,2	3,56	3,29	3,36	3,35	3,45	3,38
3,97	3,98	4,21	4,03	4,07	4,05	4,05	4,13
3,78	3,78	3,82	3,8	3,8	3,8	3,8	3,75
3,91	3,8	4,3	3,98	4,02	4	4,05	3,88
3,85	3,9	3,94	3,95	3,94	3,95	3,9	3,75
3,85	3,9	3,94	3,95	3,94	3,95	3,9	3,75
3,81	3,86	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,88
3,82	3,84	3,76	3,85	3,84	3,85	3,75	3,63
3,39	3,46	3,48	3,49	3,48	3,5	3,55	3,38
3,85	3,88	4,09	4	3,99	4	4	3,75
3,72	3,86	3,61	3,82	3,77	3,8	3,75	3,63
3,52	3,76	3,51	3,69	3,67	3,7	3,65	3,63
2,5	2,52	2,79	2,55	2,65	2,65	2,8	2,75
3,78	3,8	3,67	3,75	3,75	3,75	3,7	3,75
3,87	4,06	4,41	4,15	4,21	4,2	4,2	4,25
3,42	3,62	3,71	3,64	3,69	3,7	3,65	3,63
3,16	3,32	3,05	3,21	3,23	3,25	3,2	3,25
3,54	3,68	4,13	3,77	3,87	3,85	3,9	4
3,41	3,62	3,95	3,69	3,75	3,75	3,85	3,88
3,94	3,88	4,33	4,03	4,07	4,05	4,1	4
3,28	3,42	3,97	3,54	3,67	3,65	3,7	3,75
3,31	3,5	4	3,59	3,72	3,7	3,75	3,88
2,93	2,82	2,87	2,81	2,85	2,85	2,95	2,88
3,88	4	3,82	3,95	3,94	3,95	3,85	3,88
3,52	3,52	3,66	3,57	3,6	3,6	3,6	3,5
3,81	3,94	4,22	4,07	4,04	4,05	4,05	3,88
3,08	3,24	3,67	3,31	3,41	3,4	3,55	3,63
2,99	3,04	3,28	3,06	3,16	3,15	3,2	3,25
3,39	3,54	3,68	3,59	3,64	3,65	3,6	3,5
2,79	2,9	3,48	3,03	3,16	3,15	3,3	3,25
2,4	2,48	2,7	2,49	2,56	2,55	2,4	2,5
3,2	3,34	3,29	3,36	3,37	3,4	3,35	3,13
2,97	3,08	2,96	3,08	3,06	3,1	3,15	2,88
3,89	3,94	4,09	4,06	4,04	4,05	4	3,75
3,63	3,7	3,78	3,78	3,79	3,8	3,7	3,5
3,89	3,94	4,09	4,06	4,04	4,05	4	3,75
4,04	4,32	4,39	4,36	4,34	4,35	4,35	4,38
3,89	3,94	4,09	4,06	4,04	4,05	4	3,75
4,11	4,22	4,51	4,34	4,36	4,35	4,3	4,25
3,52	3,62	3,69	3,7	3,7	3,7	3,6	3,5
3,56	3,66	3,86	3,73	3,81	3,8	3,65	3,63

3,96	3,48	3,74	3,55	3,59	3,55	3,6	3,5
3,59	3,7	4,19	3,88	3,96	3,95	3,9	3,75
4,01	4,24	4,36	4,31	4,29	4,3	4,3	4,25
3,95	3,86	4,3	4,04	4,07	4,05	4,05	3,88
2,9	2,94	3,39	3,09	3,12	3,1	3,15	3,13
3,04	3,08	3,41	3,22	3,26	3,25	3,25	3,13
3,82	3,5	4	3,62	3,69	3,65	3,8	3,75
3,85	3,58	4,03	3,67	3,74	3,7	3,85	3,88
3,57	3,54	4,08	3,72	3,78	3,75	3,8	3,75
3,13	3,48	4,07	3,69	3,76	3,75	3,65	3,63
3,95	3,6	4,05	3,72	3,74	3,7	3,8	3,75
3,09	3,24	3,41	3,34	3,34	3,35	3,4	3,25
3,06	3,12	3,17	3,21	3,14	3,15	3,05	2,88
3,34	3,06	3,75	3,27	3,35	3,3	3,45	3,38
3,55	3,68	3,87	3,8	3,8	3,8	3,75	3,63
3,32	3,42	3,54	3,52	3,49	3,5	3,55	3,38
3,19	3,16	3,21	3,22	3,2	3,2	3,25	3,13
3,6	3,76	4,03	3,84	3,87	3,85	3,75	3,88
3,64	3,8	4,12	3,94	3,96	3,95	3,8	3,75
2,29	2,44	2,82	2,49	2,62	2,6	2,6	2,75
2,65	3,06	3,41	3,12	3,25	3,25	3,25	3,38
3,11	3,48	4,02	3,63	3,76	3,75	3,7	3,75
3,54	3,58	4,12	3,79	3,82	3,8	3,75	3,63
3,74	3,86	4,35	4,07	4,11	4,1	4,05	3,88
3,67	3,86	4,3	4,04	4,06	4,05	3,95	3,88
2,66	2,86	3,19	2,97	3,05	3,05	2,95	2,88
2,8	3,16	2,58	3,07	2,89	2,95	2,75	2,63
3,38	3,54	3,96	3,71	3,76	3,75	3,6	3,5
3,74	3,88	4,2	4,02	4,06	4,05	3,95	3,88
3,64	3,88	4,2	4,04	4,04	4,05	4,05	3,88
2,27	2,6	2,34	2,52	2,51	2,55	2,65	2,63
2,97	2,94	3,58	3,06	3,2	3,15	3,3	3,5
2,48	2,52	3,14	2,6	2,8	2,75	2,85	3,13
3,28	2,94	3,39	3,07	3,15	3,1	3,15	3,13
3,64	3,78	4,27	3,99	4,01	4	3,9	3,75
2,97	3,24	3,78	3,33	3,48	3,45	3,5	3,75
3,14	3,26	3,85	3,41	3,53	3,5	3,55	3,63
3,2	3,12	3,71	3,24	3,35	3,3	3,45	3,63
3,34	3,62	3,65	3,61	3,65	3,65	3,6	3,75
3,21	3,1	3,62	3,24	3,34	3,3	3,35	3,38
3,3	3,24	3,66	3,34	3,38	3,35	3,55	3,63
3,31	3,54	3,62	3,56	3,6	3,6	3,55	3,63

3,73	3,9	4,29	4,02	4,07	4,05	4,05	4,13
2,35	2,44	3,11	2,57	2,73	2,7	2,9	3
2,45	2,46	2,96	2,5	2,7	2,65	2,7	3
4,29	3,98	4,11	3,99	3,97	3,95	4,15	4,13
2,68	2,86	3,09	2,85	2,97	2,95	3	3,25
3,58	3,76	3,9	3,85	3,85	3,85	3,8	3,75
3,51	3,72	3,98	3,8	3,87	3,85	3,75	3,88
3,55	3,68	3,87	3,8	3,8	3,8	3,75	3,63
3,07	3,24	3,89	3,42	3,52	3,5	3,5	3,5
2,75	2,96	3,36	3,05	3,16	3,15	3,2	3,25
3,27	3,34	3,99	3,55	3,62	3,6	3,6	3,5
3,01	2,98	3,61	3,15	3,28	3,25	3,3	3,25
2,88	3,24	3,6	3,31	3,41	3,4	3,45	3,63
3	3,1	3,09	3,19	3,09	3,1	2,9	2,75
2,79	2,9	3,14	2,97	2,94	2,95	2,95	2,88
2,78	3,12	3,65	3,21	3,38	3,35	3,35	3,63
3,74	3,9	4,11	3,98	4,02	4	3,9	4
3,41	3,52	3,83	3,6	3,68	3,65	3,6	3,75
3,07	3,42	4,02	3,57	3,71	3,7	3,7	3,75
3,75	3,68	4,08	3,74	3,83	3,8	3,9	4
3,46	3,48	3,54	3,56	3,56	3,55	3,45	3,38
2,84	2,9	3,25	2,93	3,03	3	3,15	3,38
3,25	3,42	3,78	3,61	3,55	3,55	3,4	3,25
4,18	3,84	4,24	3,93	3,99	3,95	4,15	4,13
2,77	3,1	2,46	2,98	2,8	2,85	2,65	2,63
3,17	3,56	3,88	3,63	3,7	3,7	3,75	3,88
2,62	2,98	3,44	3,08	3,21	3,2	3,25	3,38
2,84	3,26	3,8	3,35	3,52	3,5	3,5	3,75
3,86	3,86	4,12	4,02	4	4	4	3,75
3,53	3,52	3,54	3,54	3,56	3,55	3,5	3,5
2,91	3,38	3,92	3,5	3,66	3,65	3,6	3,75
2,94	3,46	3,95	3,55	3,71	3,7	3,65	3,88
2,69	3,14	3,2	3,12	3,24	3,25	3,1	3,25
3,66	3,8	3,72	3,79	3,8	3,8	3,7	3,75
3,02	3,22	3,34	3,24	3,31	3,3	3,25	3,38
3,88	4,02	4,47	4,2	4,25	4,25	4,2	4
2,81	3,2	3,62	3,25	3,42	3,4	3,35	3,63
3,92	3,92	4,25	4,07	4,07	4,05	3,95	3,88
3,02	3,08	3,71	3,29	3,38	3,35	3,3	3,25
4,11	3,96	3,71	3,94	3,9	3,9	3,75	3,63
2,55	2,66	3,28	2,82	2,92	2,9	3	3
2,79	2,82	3,46	2,94	3,09	3,05	3,1	3,25



3,5	3,46	3,36	3,44	3,46	3,45	3,35	3,38
3,33	3,12	2,94	3,11	3,1	3,1	3,05	2,88
2,93	3,06	3,7	3,24	3,37	3,35	3,3	3,25
4,48	4,28	4,23	4,32	4,26	4,25	4,25	4,13
3,53	3,62	3,7	3,7	3,69	3,7	3,55	3,38
3,75	3,76	4,14	3,9	3,96	3,95	3,9	3,75
3,43	3,58	3,83	3,7	3,74	3,75	3,7	3,5
3,49	3,62	4,11	3,8	3,86	3,85	3,75	3,63
3,71	3,62	4	3,75	3,76	3,75	3,9	3,75
3,71	3,52	4,07	3,7	3,73	3,7	3,75	3,63
4,09	4,3	4,14	4,31	4,21	4,25	4,2	4
3,86	4	4,23	4,13	4,08	4,1	4	3,75
3,88	4,04	4,38	4,16	4,21	4,2	4,15	4,13
4,25	4,2	4,5	4,32	4,31	4,3	4,25	4,13
4,22	4,12	4,47	4,27	4,26	4,25	4,2	4
3,98	3,96	4,18	4,04	4,07	4,05	4	4
3,18	3,32	3,05	3,29	3,2	3,25	3,15	2,88
3,92	3,52	4,02	3,67	3,69	3,65	3,75	3,63
3,96	4,04	4,44	4,19	4,25	4,25	4,2	4
4,06	4,18	4,24	4,24	4,23	4,25	4,2	4
4,1	4,08	3,9	4,09	4,03	4,05	3,85	3,63
3,68	3,84	4,17	3,97	3,99	4	4,05	3,88
3,52	3,22	3,52	3,31	3,33	3,3	3,45	3,38
3,62	3,52	3,08	3,47	3,33	3,35	3,05	2,88
3,71	3,46	3,61	3,44	3,5	3,45	3,5	3,75
4,22	4,28	4,36	4,31	4,27	4,25	4,1	4,25
3,19	2,92	3,44	3,03	3,15	3,1	3,2	3,25
2,79	2,7	3,39	2,82	3	2,95	3,1	3,25
2,63	2,58	3,32	2,76	2,89	2,85	2,85	2,88
3,05	3,08	3,26	3,13	3,2	3,2	3,1	3
3,96	4,04	4,1	4,13	4,03	4,05	3,85	3,63
3,56	3,7	3,73	3,75	3,74	3,75	3,6	3,5
3,3	3,16	3,22	3,2	3,21	3,2	3,1	3
3,99	3,68	3,9	3,73	3,74	3,7	3,7	3,75
3,62	3,52	3,89	3,68	3,66	3,65	3,7	3,5
3,69	3,74	4,06	3,88	3,91	3,9	3,75	3,63
3,09	3,34	3,65	3,43	3,49	3,5	3,45	3,38
4,07	4	3,93	4,05	3,99	4	3,85	3,63
3,03	3,36	3,72	3,48	3,58	3,6	3,55	3,38
3,88	3,88	4,1	3,96	3,97	3,95	3,85	3,88
3,85	4	4,22	4,13	4,09	4,1	4,05	3,88
2,72	2,72	3,19	2,74	2,9	2,85	2,9	3,25



4,04	4,22	4,46	4,31	4,31	4,3	4,2	4,25
3,98	3,88	3,68	3,91	3,83	3,85	3,8	3,5
2,44	2,3	2,56	2,31	2,43	2,4	2,4	2,5
4,1	4,06	4,11	4,15	4,09	4,1	4	3,75
4,01	4,14	4,43	4,26	4,26	4,25	4,15	4,13
3,55	3,54	3,39	3,57	3,48	3,5	3,35	3,13
3,02	3,3	3,79	3,39	3,52	3,5	3,45	3,63
3,14	2,98	3,45	3,11	3,17	3,15	3,25	3,13
3,9	3,66	3,81	3,75	3,71	3,7	3,7	3,5
3,79	3,46	3,84	3,59	3,57	3,55	3,7	3,5
3,73	3,96	3,36	3,83	3,75	3,8	3,75	3,63
3,85	3,74	3,42	3,73	3,63	3,65	3,5	3,25
3,61	3,58	3,67	3,67	3,6	3,6	3,4	3,25
3,95	3,98	4,37	4,16	4,16	4,15	4,05	3,88
3,85	4	4,16	4,12	4,08	4,1	4	3,75
3,95	3,98	4,37	4,16	4,16	4,15	4,05	3,88
3,29	3,3	3,63	3,37	3,36	3,35	3,35	3,38
2,99	2,84	3,36	2,97	3,03	3	3,15	3,13
3,63	3,52	3,03	3,48	3,25	3,3	3,25	2,88
4,01	3,92	4,14	3,97	4,03	4	4,05	4,13
3,26	3,38	3,63	3,47	3,5	3,5	3,45	3,38
4,02	3,84	4,24	3,99	3,97	3,95	3,9	3,75
4,09	4,06	4,29	4,19	4,14	4,15	4,15	3,88
3,02	2,98	3,68	3,16	3,28	3,25	3,3	3,25
3,99	3,92	3,98	3,96	3,91	3,9	3,65	3,63
3,76	3,64	4,14	3,79	3,87	3,85	3,9	3,75
3,66	3,32	3,58	3,41	3,37	3,35	3,4	3,25
3,51	3,26	3,69	3,37	3,39	3,35	3,35	3,38
3,3	3,28	3,88	3,43	3,57	3,55	3,6	3,5
4,32	4,2	4,55	4,35	4,36	4,35	4,35	4,13
4,26	4,08	4,19	4,15	4,16	4,15	4,05	3,88
3,27	3,16	3,35	3,18	3,26	3,25	3,3	3,25
3,92	4,02	4,06	4,1	4,08	4,1	4	3,75
4,09	4,14	4,49	4,29	4,3	4,3	4,2	4
3,72	3,92	4,1	3,91	4,01	4	3,95	4,13
3,66	3,56	4,06	3,71	3,77	3,75	3,75	3,63
3,47	3,38	3,52	3,43	3,45	3,45	3,4	3,25
3,79	3,74	3,94	3,86	3,85	3,85	3,85	3,63
4,05	4,06	4,45	4,24	4,26	4,25	4,2	4
4,22	4,12	4,47	4,27	4,26	4,25	4,2	4
3,81	4,08	3,85	4,02	3,97	4	4	4
3,76	3,9	3,84	3,86	3,89	3,9	3,85	3,88



4,22	4,22	4,4	4,32	4,29	4,3	4,35	4,13
3,54	3,28	3,66	3,35	3,42	3,4	3,6	3,5
3,54	3,68	3,77	3,73	3,78	3,8	3,7	3,5
4,16	4,08	4,19	4,17	4,14	4,15	4,15	3,88
3,76	3,76	4,21	3,91	3,96	3,95	3,9	3,75
4,34	4,44	4,59	4,47	4,46	4,45	4,4	4,5
3,75	3,7	3,79	3,75	3,75	3,75	3,75	3,63
4,32	4,2	4,35	4,23	4,17	4,15	4,05	4,13
4,13	4,12	4,29	4,25	4,19	4,2	4,15	3,88
3,71	3,76	4,21	3,94	3,91	3,9	3,75	3,63
3,39	3,64	3,9	3,76	3,78	3,8	3,7	3,5
3,55	3,76	4,26	3,94	4	4	3,9	3,75
4	3,86	3,96	3,95	3,9	3,9	3,85	3,63
3,32	3,7	3,57	3,7	3,61	3,65	3,45	3,38
4,22	4,12	4,47	4,27	4,26	4,25	4,2	4
3,79	3,78	4,18	3,93	3,91	3,9	3,75	3,63
4,27	4,28	4,41	4,38	4,33	4,35	4,3	4
4,4	4,36	4,44	4,41	4,4	4,4	4,25	4,13
3,97	3,88	3,98	3,95	3,96	3,95	3,75	3,63
3,98	3,64	3,91	3,72	3,78	3,75	3,75	3,63
4,14	3,8	4,14	3,92	3,93	3,9	3,9	3,75
4,18	3,8	3,73	3,82	3,76	3,75	3,7	3,5
4,33	3,84	3,96	3,83	3,85	3,8	3,9	4
3,73	3,34	3,48	3,39	3,37	3,35	3,4	3,25
4,07	4,02	3,86	3,93	3,96	3,95	3,75	3,88
4,03	4,1	4,35	4,13	4,21	4,2	4,2	4,25
3,84	3,96	4,31	4,05	4,15	4,15	4,1	4
3,68	3,66	3,82	3,72	3,74	3,75	3,7	3,5
3,26	3,28	3,35	3,29	3,35	3,35	3,3	3,25

Fuente: Elaboración propia.