

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**  
**XXVII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**HIDROLOGIA APLICADA AL DISEÑO DE PROYECTOS DE  
INFRAESTRUCTURA EN EL MARCO DE LA TRAMITACIÓN DE PERMISOS  
AMBIENTALES SECTORIALES**

**LUCAS GLASNER<sup>1</sup>**  
**JOAQUÍN MORENO<sup>2</sup>**  
**GONZALO MONTSERRAT<sup>3</sup>**  
**FELIPE NEGRETE<sup>4</sup>**

**RESUMEN**

Los extensos tiempos asociados a la evaluación y aprobación de proyectos en Chile, especialmente en lo relativo a tramitación de permisos ambientales sectoriales, han motivado una creciente discusión pública, técnica y legislativa en torno a la necesidad de modernizar la gestión de permisos y contar con herramientas más eficientes en etapas tempranas de diseño. En este contexto, se presentan los resultados de un análisis hidrológico e hidráulico aplicado a 966 cuencas menores interceptadas por el trazado de la Línea de Transmisión Eléctrica HVDC Kimal – Lo Aguirre. Los análisis se basan en metodologías convencionales, pero sistematizadas para su aplicación masiva, permitiendo estimar caudales de diseño y altura de escurrimiento de forma homogénea y trazable. A partir de estos resultados, se identifican relaciones empíricas útiles entre parámetros geomorfológicos, caudales y profundidades, lo que permitiría – en ciertas condiciones- realizar una evaluación preliminar de la afectación por cauces naturales sin requerir estudios individualizados para cada obra del proyecto. Se plantea así una herramienta práctica que, aplicada en etapas tempranas, permitiría orientar estratégicamente el diseño del proyecto para minimizar o evitar la afectación por cauces naturales y, con ello, reducir los tiempos asociados a su tramitación ambiental y sectorial.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Civil, MSc, Riverine SpA - email: lglasner@riverine.cl

<sup>2</sup> Ingeniero Civil, MSc, Riverine SpA - email: jmoreno@riverine.cl

<sup>3</sup> Ingeniero Civil, MSc, Riverine SpA – email: gmontserrat@riverine.cl

<sup>4</sup> Ingeniero Civil, Riverine SpA – email: fnegrete@riverine.cl

## 1. INTRODUCCIÓN

Entre 2016 y julio de 2025, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) ha aprobado 3.544 proyectos de inversión en Chile, con un monto total que supera los 198.000 millones de dólares (SEA, 2025). De ellos, 1.229 corresponden a proyectos energéticos –principalmente parques eólicos, fotovoltaicos y líneas de transmisión eléctrica–, consolidando a esta industria como uno de los principales motores del desarrollo económico del país. La ejecución de estos proyectos no solo requiere aprobar la evaluación ambiental, sino también gestionar los permisos sectoriales, en un proceso que ha sido objeto de creciente debate público y legislativo debido a su impacto en los plazos, la certeza jurídica y la viabilidad técnica de las iniciativas.

En respuesta a este diagnóstico, recientemente se ha aprobado en el congreso la Ley Marco de Permisos Sectoriales, que busca optimizar y reducir entre un 30% y un 70% los tiempos de tramitación mediante la simplificación y modernización de procesos administrativos. Esta ley ha generado preocupaciones legítimas respecto a la mantención de los estándares ambientales y la rigurosidad técnica de las evaluaciones. En este escenario, la disponibilidad de herramientas prácticas y objetivas que permitan anticipar la interacción de los proyectos con los cauces naturales, cobra especial relevancia.

Este trabajo se inscribe en dicho marco, proponiendo una metodología para apoyar el diseño estratégico de proyectos en etapas tempranas, orientada a evitar –cuando sea técnicamente viable– la afectación de cauces naturales menores. Lo anterior permitiría reducir o incluso eliminar la necesidad de gestionar los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS) del artículo 156 y 15 del Reglamento del SEIA (RSEIA), asociados a la intervención en cauces, cuya definición normativa se basa en la superficie potencialmente inundada por una crecida de 100 años de período de retorno.

Como caso de estudio, se presentan resultados del análisis hidrológico e hidráulico de 966 cuencas pequeñas interceptadas por el trazado de la Línea de Transmisión Eléctrica HVDC Kimal – Lo Aguirre, desarrollada por el titular Conexión Kimal Lo Aguirre S.A. Este proyecto se posiciona como uno de los más extensos del país, con una inversión estimada de 1.480 millones de dólares y una longitud total de 1.364 km, atravesando cinco regiones, desde la Región de Antofagasta hasta la Región Metropolitana. El presente estudio se centra en el tramo comprendido entre Copiapó y Santiago, cubriendo una longitud aproximada de 710 km (ver *Figura 1*).

La metodología aplicada se basa en los criterios establecidos en la normativa vigente, en particular los manuales técnicos del Ministerio de Obras Públicas (MC, 2024; DGA, 2016; DGA, 1995), los cuales recomiendan, en la práctica, el uso preferente de la fórmula racional para estimar caudales de crecida en cuencas “pequeñas”. Estas se definen como aquellas con superficie menor a 10 km<sup>2</sup> (DGA, 1995) o 20 km<sup>2</sup> (DGA, 2016), según la fuente de referencia. A partir de los caudales estimados se definen las condiciones de borde para simulaciones hidráulicas bidimensionales, con el propósito de determinar las alturas de escurrimiento.

El objetivo de este trabajo es establecer relaciones empíricas entre parámetros morfológicos simples –como el área de drenaje– y variables hidráulicas relevantes, como el caudal de

diseño y la altura de escurrimiento. Esto busca facilitar la identificación temprana de sectores potencialmente vulnerables ante inundaciones, entregando una herramienta concreta y replicable que oriente la disposición de las partes y obras del proyecto, minimizando la exposición a trámites asociados a la modificación de cauces.

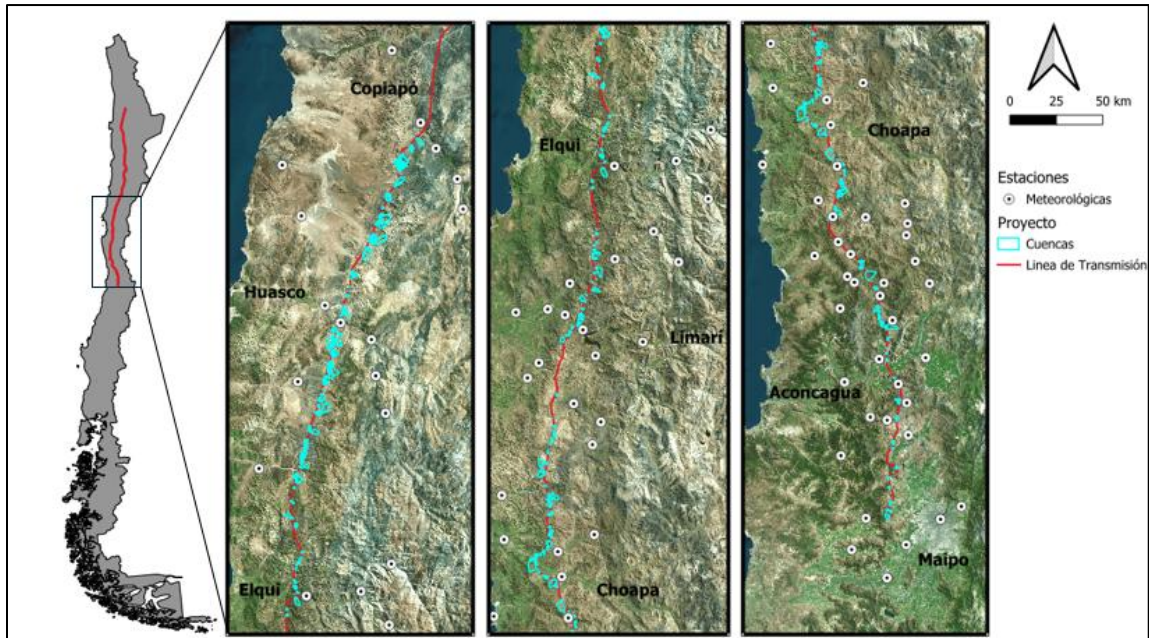


Figura 1: Trazado de la LTE Kimal-Lo Aguirre y detalle del tramo sujeto a análisis.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología aplicada, resumida en la Figura 2, se estructura en cuatro componentes principales: la caracterización de cuencas, el análisis de precipitaciones extremas, el cálculo de caudales de crecida y la simulación hidráulica.

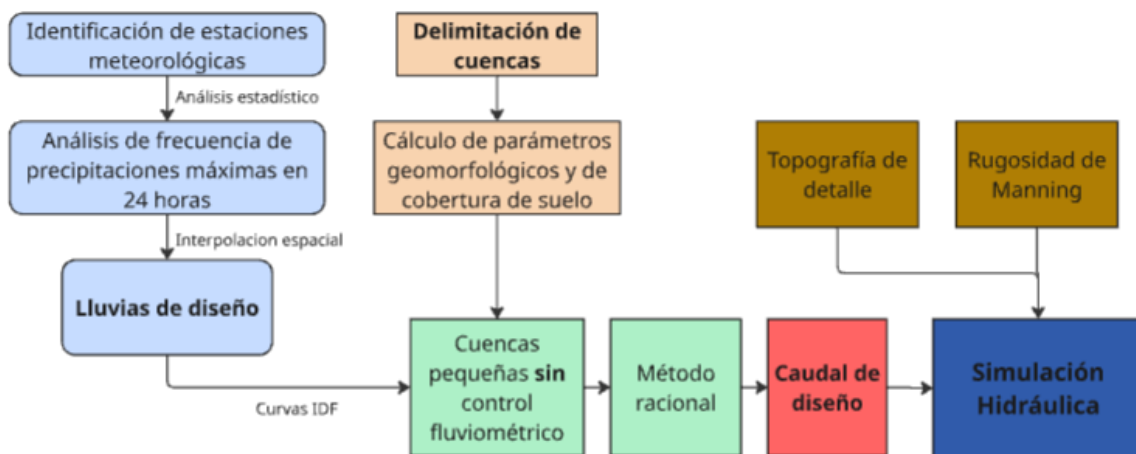


Figura 2: Esquema conceptual de la metodología empleada a lo largo del proyecto.

### *Precipitaciones máximas*

Se utilizaron datos de precipitación de 73 estaciones meteorológicas seleccionadas desde la “Mapoteca Digital” (DGA, 2025), considerando su proximidad espacial (*Figura 1*) y registros disponibles desde al menos la década de 1990. Con los montos acumulados diarios se identifica la máxima precipitación del año, teniendo en cuenta sólo aquellos años con al menos el 70% de los registros completos, o bien el 90% de la temporada invernal definida entre abril y septiembre. Luego, se estima la máxima precipitación en 24 horas ponderando por un factor de 1,1. (MC, 2024). Los registros faltantes se completan mediante regresiones lineales simples, considerando las 10 estaciones más cercanas, ordenadas de mayor a menor correlación. El relleno se hace secuencialmente, siempre que la estación vecina cuente con datos disponibles. Si  $R^2 < 60\%$ , se opta por mantener el dato vacío. Las series se completan priorizando los años recientes, y verificando que los datos rellenos no superen el 30% del total (Stowhas, 2017).

Luego, se aplicó un análisis de frecuencia utilizando múltiples distribuciones probabilísticas (*Normal, LogNormal2, Pearson III, GEV, Gamma y Gumbel*). Los parámetros de cada modelo se estiman mediante el método de máxima verosimilitud (MLE), momentos ordinales (MME) y L-momentos (LMME), para luego evaluar el ajuste con las pruebas de bondad Chi-Cuadrado ( $\chi^2$ ) y Kolmogorov–Smirnov (Wilks, 2011). Para la selección de la distribución final de cada estación, se consideró además de los criterios estadísticos mínimos, un ajuste visual satisfactorio de la cola superior y la coherencia espacial con estaciones vecinas. Para estimar la precipitación media en cada cuenca, bajo un escenario de período de retorno T, se asumió de manera conservadora que todas las estaciones registran simultáneamente el valor correspondiente a dicho período de retorno. Luego, ésta se determinó interpolando con funciones de base radial (Fesshauer, 2007), incorporando así el efecto orográfico asociado a las diferencias de altitud y ubicación de los pluviómetros. Para ello, se consideró una escala horizontal-vertical (H:V) de 50:1.

### *Delimitación y caracterización de cuencas*

Mediante el modelo digital de elevación (DEM) ALOS-PALSAR (12.5 m x 12.5 m) y los algoritmos incluidos en GRASS-GIS (Jenson y Domingue, 1988) se delimitaron un total de 966 cuencas menores ( $A < 20\text{km}^2$ ) asociadas a los cauces naturales en análisis. Adicionalmente, cuando fue necesario se ajustaron manualmente cauces y límites apoyándose en ortofotos e imágenes satelitales. Cada cuenca fue caracterizada mediante parámetros geomorfológicos, tipos de suelos (Base de datos HYSOG; Ross et al.) y cobertura vegetal (Mapa de Cobertura de Suelos de Chile; Hernández et al., 2014). La estimación de la curva número se realizó utilizando la tabla propuesta por Toro et al. (2023). En las cuencas ubicadas en las regiones de Atacama (III) y Coquimbo (IV), se ajustó la curva número considerando una condición de humedad seca, de acuerdo con los criterios de Barrientos y Stowhas (2001).

### *Cálculos de caudales en cuencas menores ( $A < 20\text{ km}^2$ )*

Los caudales de crecida se estimaron mediante el método racional (MC, 2024), definido por la expresión:

$$Q_p = C(T) i(t_c, T) A \quad (1)$$

donde  $C$  es el coeficiente de escorrentía,  $i$  es la intensidad de precipitación para una duración igual al tiempo de concentración  $t_c$  y periodo de retorno  $T$ , y  $A$  el área de drenaje.

Considerando la Tabla 3.702.501.A del Manual de Carreteras (MC, 2024), el tiempo de concentración se estima como el promedio de cuatro fórmulas empíricas (California, Giandotti, Norma Española y SCS). Acorde a Stowhas (2017), la fórmula de Giandotti se considera siempre y cuando se cumpla la condición  $L/3.6 < t_c < L/5.4$ . Además, siguiendo las directrices de la (DGA, 2016) se adopta un valor mínimo de  $t_c$  igual a 10 minutos.

La intensidad de precipitación se calcula a partir de las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF):

$$i(t, T) = \frac{C_d(t) \cdot P_{24}(T)}{t} \quad (2)$$

donde  $T$  es el periodo de retorno en años,  $P_{24}$  la precipitación máxima en 24 horas asociada a un periodo de retorno  $T$  y  $C_d$  el coeficiente de duración, estimado según las relaciones de Grunsky y Bell (MC, 2024; DGA, 1995):

$$C_d(t) = \begin{cases} \sqrt{t/24} & \text{para } t \geq 1 \text{ hr} \\ (0.54 \cdot (t \cdot 60)^{0.25} - 0.5) \cdot C_d(t = 1) & \text{para } t < 1 \text{ hr} \end{cases} \quad (3)$$

El coeficiente de escorrentía  $C$  se estima como la suma de cuatro componentes: relieve ( $C_r$ ), infiltración ( $C_i$ ), vegetación ( $C_v$ ) y almacenamiento superficial ( $C_a$ ), conforme a la Tabla 3.702.503.B del MC (2024).  $C_r$  se calcula a partir del promedio ponderado de las pendientes del DEM.  $C_i$  se estima según la proporción de grupos de suelo hidrológico presentes en cada cuenca (HYSOGs.), asignando valores de referencia según el grupo (A: 0.05, B: 0.07, C: 0.1, D: 0.14).  $C_v$  se define en función del porcentaje de cobertura vegetal presente en la cuenca, utilizando el mapa de uso de suelo de Hernández et al. (2014). Y, por último,  $C_a$  se estima acorde al porcentaje de depresiones identificadas en el DEM de las cuencas.

### *Simulaciones hidráulicas*

Los caudales estimados se usaron como condiciones de borde en simulaciones hidráulicas 2D con HEC-RAS 6.6, apoyadas en un DEM de alta resolución (20 cm), generado a partir de un levantamiento LiDAR a lo largo del trazado. La rugosidad de Manning ( $n$ ) se estimó con el método de Cowan (MC, 2024), ajustado con imágenes satelitales y calicatas. Dados los quiebres naturales del terreno, las simulaciones consideran una malla computacional sobre la cual se resuelven íntegramente las ecuaciones de aguas someras 2D (HEC, 2024), utilizando un esquema de volúmenes finitos y un paso de tiempo adaptativo, controlado mediante un número de Courant acotado entre 0.22 y 0.45.

Esta metodología permite estandarizar el cálculo de áreas de inundación para un número significativo de cuencas/cauces menores, garantizando trazabilidad y consistencia con los lineamientos técnicos establecidos en la normativa y manuales nacionales.

### 3. RESULTADOS

#### *Caracterización general de cuencas*

Se delimitaron y caracterizaron un total de 966 cuencas a lo largo del tramo comprendido entre Copiapó y Santiago, abarcando una amplia variedad de formas, parámetros geomorfológicos y coberturas de suelo (*Figura 3 y 4*). Las superficies oscilan entre 0.01 y 20 km<sup>2</sup>, concentrándose la mayoría entre 0.02 y 0.8 km<sup>2</sup>. Las longitudes del cauce principal se encuentran principalmente entre 0.2 y 3 km.

Las pendientes medias de las cuencas presentan una distribución aproximadamente normal, con valores típicos cercanos al 30%, y un rango entre 10% y 60%. Las pendientes medias del cauce principal muestran un rango similar, aunque con asimetría positiva, dominando valores cercanos al 15%. En cuanto a la elevación, las cotas máximas de las cuencas se encuentran, en su totalidad, por debajo de 2500 m.s.n.m, por lo que para efectos del diseño hidrológico se consideró un escenario meteorológico completamente pluvial.

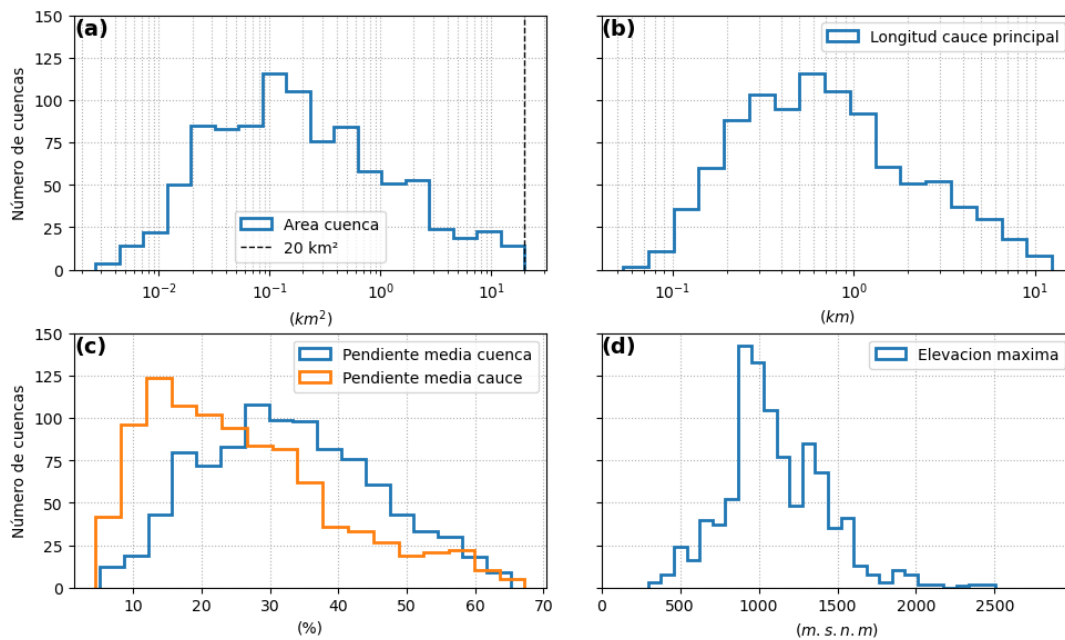


Figura 3: Parámetros geomorfológicos de las cuencas. (a) Áreas. (b) Longitud del cauce principal. (c) Pendiente media del cauce y cuenca. (d) Elevaciones máximas.

Respecto a la cobertura y tipo de suelo, la *Figura 4* evidencia el carácter natural de las cuencas analizadas, con una predominancia de suelos tipo C y B, con potencial de escorrentía medio-alto y medio-bajo, respectivamente. La mayoría de las cuencas presenta más del 90% de su superficie con presencia de vegetación. Los valores de curva número, bajo condiciones de humedad normal, oscilan en un rango entre 65 y 90, concentrándose en torno a 75. En cuanto al coeficiente de escorrentía estimado, se observa un rango entre 0,4 y 0,65, siendo más frecuente en el intervalo de 0,55 a 0,60.

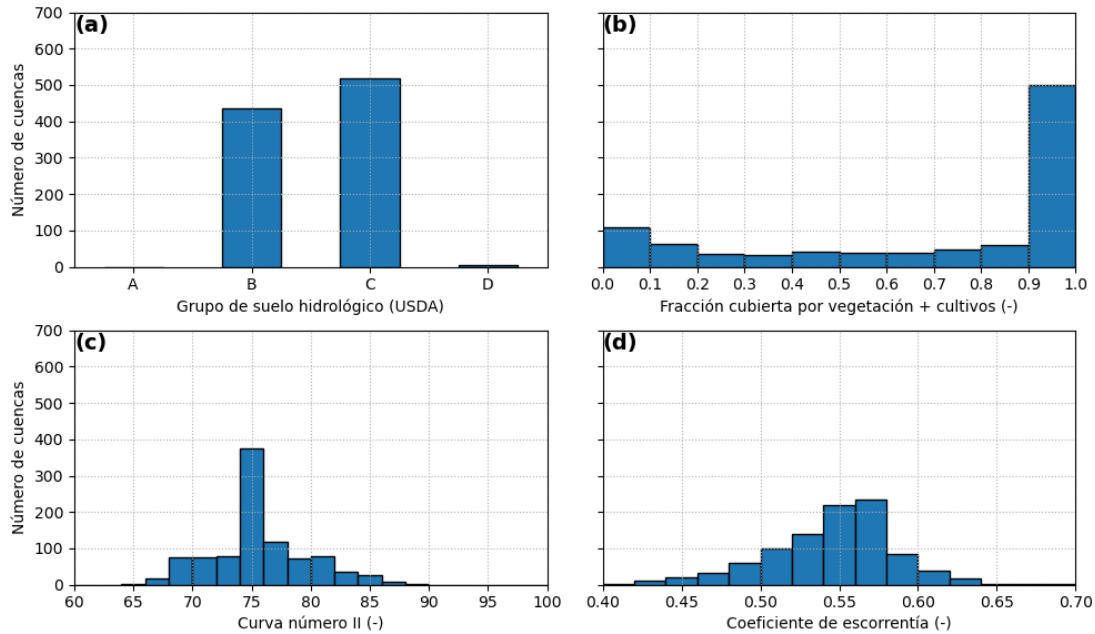


Figura 4: Características de suelo de las cuencas. (a) Grupos de suelo hidrológico. (b) Cobertura vegetal. (c) Curva número. (d) Coeficiente de escorrentía optado.

#### *Precipitaciones de diseño*

Se procesaron los registros de precipitación de las 73 estaciones pluviométricas seleccionadas, estimando las precipitaciones máximas en 24 horas para distintos periodos de retorno. Con esta información, se generaron mapas interpolados de precipitación para cada periodo de retorno, cubriendo completamente el área de las cuencas analizadas. En particular, la *Figura 5* muestra los resultados correspondientes al periodo de retorno de 100 años.

Se observa un marcado gradiente latitudinal, con valores cercanos a 90 mm en sectores desérticos del norte y hasta 200 mm en sectores altos de la zona central. Si bien la técnica de interpolación adoptada no garantiza una representación exacta de la distribución espacial en eventos extremos, permite capturar aproximadamente la dependencia orográfica característica de los eventos locales (Falvey & Garreaud, 2007).

#### *Cálculos de caudales en cuencas menores ( $A < 20 \text{ km}^2$ )*

A partir de las precipitaciones de diseño y parámetros geomorfológicos, se estiman los caudales de crecida mediante el método racional. La *Figura 6* presenta los caudales correspondientes a la crecida centenaria, diferenciando entre las cuencas según la precipitación máxima en 24 horas y considerando los casos en que el tiempo de concentración fue restringido al mínimo de 10 minutos. Para una misma área de cuenca, la variabilidad observada en los caudales estimados se explica principalmente por las diferencias de precipitación.

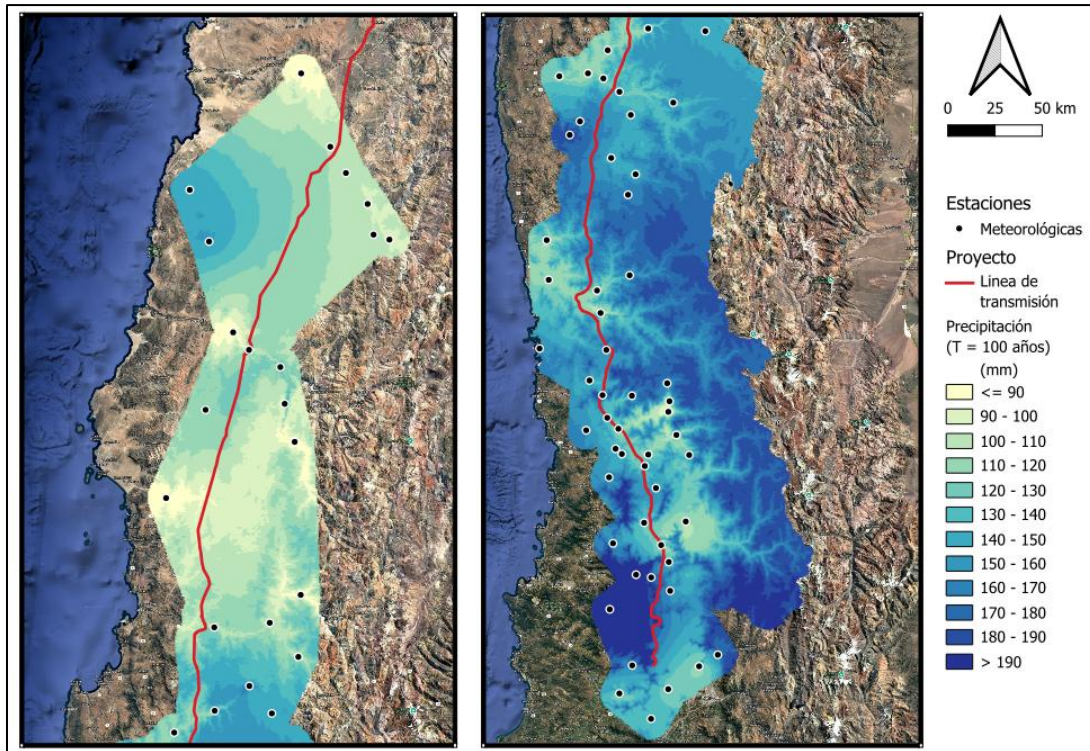


Figura 5: Precipitaciones máximas en 24 horas para 100 años de periodo de retorno.

Adicionalmente, para relacionar el caudal con el área aportante de la cuenca, se realizó un ajuste empírico inspirado en la fórmula de Creager (Stowhas, 2017). Sobre esta relación se propuso también una curva envolvente superior, definida como la curva que engloba el 99% de los datos (Figura 6), la cual podría utilizarse como una estimación preliminar en etapas tempranas de evaluación ingenieril.

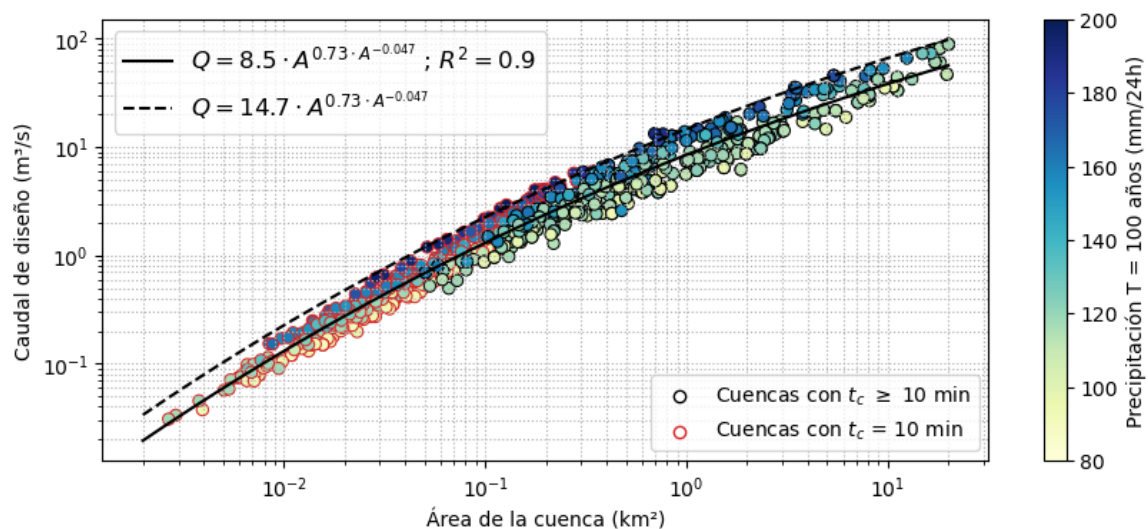


Figura 6: Dispersión entre caudal de diseño vs el área para las cuencas analizadas. Curva negra indica el ajuste por mínimos cuadrados y curva segmentada la envolvente superior.

### Simulaciones hidráulicas

Los caudales de las 966 cuencas delimitadas corresponden a las condiciones de borde de 381 simulaciones hidráulicas, de las cuales a la fecha (julio 2025) sólo se disponen de resultados preliminares para 162 modelos. A partir de estas simulaciones la *Figura 6* explora la relación entre la altura máxima de escurrimiento simulada y el área total aportante a los cauces de cada simulación.

Pese a la alta dispersión, se observa que los datos pueden ser acotados aproximadamente por la expresión  $h_{max} = \log_{10}(A) + 2$ , donde  $A$  es el área en  $\text{km}^2$  y  $h_{max}$  la máxima altura de escurrimiento en metros. La curva indica que, pese a la variabilidad hidráulica, existe a priori un límite superior condicionado por el área aportante y, en menor medida, por la precipitación de diseño. Dada esta observación, se sugiere conservadoramente aumentar en 1 metro el desnivel al cauce, con el fin de proponer una relación práctica para el diseño de proyectos en zonas escarpadas.

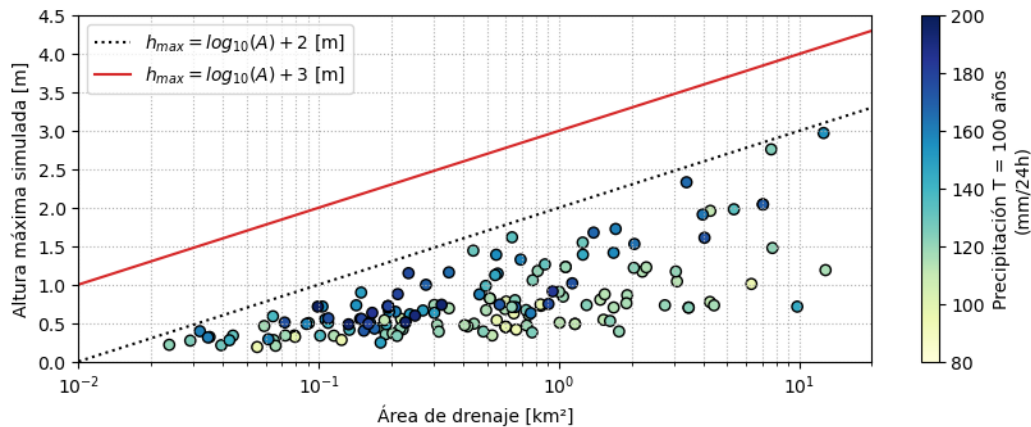


Figura 4: Relación entre la máxima altura de escurrimiento simulada en HECRAS-2D y el área total aportante a los cauces de cada simulación. Recta negra segmentada indica la envolvente y recta roja continua sugiere un factor de seguridad de 1 m.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se han presentado resultados del análisis hidrológico e hidráulico asociado al proyecto Línea de Transmisión Eléctrica HVDC Kimal–Lo Aguirre, enfocado en la evaluación de 966 cuencas menores interceptadas por su trazado. Todas estas cuencas presentan áreas reducidas y pendientes altas (>10%), lo que las hace representativas de condiciones típicas en zonas precordilleranas y de transición en Chile.

Independiente de la incertidumbre climática, el método racional presenta limitaciones conocidas, especialmente por la estimación subjetiva de  $C$  y  $t_c$  (Grimaldi & Petroselli, 2015; Grimaldi et al., 2012). En este estudio,  $C$  se intentó estimar objetivamente mediante productos satelitales, obteniéndose valores coherentes con las cuencas analizadas y la experiencia nacional ( $C (T = 10) \approx 0,5-0,6$ ). Estos avances, junto con el desarrollo de productos basados en percepción remota (Dinamarca et al., 2023; Brown et al., 2022; Krishnan et al., 2011), sugieren factible una estimación a nivel nacional. En cuanto a  $t_c$ , la falta de un método universal y la coexistencia de fórmulas disímiles genera resultados

divergentes, obligando en la práctica a promediar resultados o aplicar un criterio particular. Si bien este enfoque resulta operativo, evidencia la falta de estandarización y refuerza la necesidad de tener metodologías específicas para el contexto nacional.

A pesar de sus limitaciones, el método está validado por la experiencia, especialmente por su simpleza y carácter conservador (MC, 2024; Stowhas, 2017; Chow, 1988), lo que lo hace cumplir con las necesidades iniciales del diseño, donde es preferible sobrestimar a subestimar los caudales. No obstante, en proyectos de mayor alcance, la estimación de caudales mediante criterios subjetivos puede generar inconsistencias, principalmente debido a la incertidumbre del coeficiente de escorrentía, al desconocimiento del tiempo de respuesta real de la cuenca (i.e tiempo de concentración) y a la variabilidad inherente de las precipitaciones. En este contexto, los resultados de este estudio permiten identificar patrones útiles para cauces pequeños, como la relación caudal-área (Figura 8) y la envolvente de alturas de escurrimiento (Figura 9). Aunque ambas presentan dispersión y no se basan en datos observacionales, sugiere la existencia de límites acotados y conservadores que pueden orientar el diseño preliminar de proyectos con el objetivo de evitar la intervención de cauces.

En conjunto, se propone una metodología técnica y replicable que puede aplicarse en etapas tempranas de proyectos extensos en cuencas escarpadas, orientada al diseño estratégico de obras con el fin de minimizar la intervención de cauces naturales menores y, en consecuencia, reducir o evitar la necesidad de gestionar permisos ambientales sectoriales, como los PAS 156 y 157 del Reglamento del SEIA. Esta aproximación no sustituye los estudios hidráulicos requeridos a nivel de ingeniería de detalle para la tramitación de dichos permisos, sino que aporta criterios preliminares que permiten, en fases tempranas de diseño, descartar la necesidad del permiso mediante la adecuada localización de las obras fuera de los cauces.

En el contexto actual de discusión y modernización de la tramitación de permisos en Chile, este tipo de herramientas puede contribuir significativamente a compatibilizar el desarrollo de infraestructura con la intervención de cauces naturales, promoviendo al mismo tiempo mayor eficiencia en los procesos de evaluación. Finalmente, para avanzar hacia soluciones más robustas, resulta fundamental fortalecer la colaboración entre la industria, la academia y las instituciones públicas, con el fin de validar y perfeccionar estos enfoques y estándares adaptados a las distintas realidades hidrológicas del país.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la empresa Conexión Kimal-Lo Aguirre por permitir el uso de los resultados para efectos de investigación. Asimismo, se agradece a todos los ingenieros y dibujantes del equipo de Riverine SpA que permiten realizar este tipo de proyectos.

## **REFERENCIAS**

Barrientos, M. A., & L. Stowhas (2001), Condiciones antecedentes de humedad en tormentas chilenas, XV Congreso Nacional de Hidráulica, Concepción, Chile.

Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., ... & Tait, A. M. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific data*, 9(1), 251.

Chow Ven, T., Te, C. V., RC, M. D., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill Book Company.

Dinamarca, D. I., Galleguillos, M., Seguel, O., & Faúndez Urbina, C. (2023). CLSoilMaps: A national soil gridded database of physical and hydraulic soil properties for Chile. *Scientific Data*, *10*(1), 630.

Dirección de Vialidad. Manual de carreteras (MC). 2024. Ministerio de Obras Públicas (MOP), Chile

Dirección General de Aguas (DGA). 2025. Mapoteca Digital. Visitado el 11 de junio de 2025, de <https://dga.mop.gob.cl/mapoteca-digital>.

Dirección General de Aguas (DGA). 2016. Guías metodológicas para presentación y revisión técnica de proyectos de modificación de cauces naturales y artificiales (GMC). Ministerio de Obras Públicas (MOP), Gobierno de Chile.

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

Falvey, M., & Garreaud, R. (2007). Wintertime precipitation episodes in central Chile: Associated meteorological conditions and orographic influences. *Journal of Hydrometeorology*, *8*(2), 171-193.

Fasshauer, G. E. (2007). Meshfree approximation methods with Matlab (Vol. 6). World Scientific Publishing Company.

Grimaldi, S., & Petroselli, A. (2015). Do we still need the rational formula? An alternative empirical procedure for peak discharge estimation in small and ungauged basins. *Hydrological Sciences Journal*, *60*(1), 67-77.

Grimaldi, S., Petroselli, A., Tauro, F., & Porfiri, M. (2012). Time of concentration: a paradox in modern hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, *57*(2), 217-228.

H. Jaime Hernández, Mauricio Galleguillos, y Cristián Estades. 2016. Mapa de Cobertura de Suelos de Chile 2014: Descripción del producto. Laboratorio GEP, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, 2015:1-4.

Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, *54*(11), 1593-1600.

Krishnan, S., Crosby, C., Nandigam, V., Phan, M., Cowart, C., Baru, C., & Arrowsmith, R. (2011, May). OpenTopography: a services-oriented architecture for community access to

LIDAR topography. In Proceedings of the 2nd international conference on computing for Geospatial Research & Applications (pp. 1-8).

Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J., Kumar, S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). HYSOGs250m, global gridded hydrologic soil groups for curve-number-based runoff modeling. *Scientific data*, 5(1), 1-9.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2025. <https://www.sea.gob.cl>. Visitado el 23 de julio de 2025.

Stowhas, L. (2017). Fundamentos de hidrología aplicada. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles.

Toro, I., Morales, H., Gonzáles, R., & Vargas, X. 2023. CN30-CL, Curva número grillada de 30 metros de resolución para Chile continental. Congreso XXVI – Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID).

U.S. Army Corps of Engineers. (2024). *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual* (Version 6.6) [Manual].

Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.