

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXVII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**PROPUESTA METODOLÓGICA DE FILTRADO POR CAUDAL ESPECÍFICO
PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CAUCES NATURALES EN CHILE,
APLICANDO MODELOS HIDRODINÁMICOS DE PRECIPITACIÓN-
ESCORRENTÍA**

VALENTINA MARTÍNEZ O.¹
RAIMUNDO RODRÍGUEZ T.²

RESUMEN

Este trabajo propone una metodología de filtrado por caudal específico para identificar y delimitar cauces naturales en Chile a partir de resultados obtenidos de modelos hidrodinámicos bidimensionales de precipitación-escorrentía. Se aplicó la metodología propuesta a cuencas representativas del Norte, Centro y Sur del país, contrastando su desempeño con respecto al filtro tradicional de profundidad. Los resultados muestran que el filtro por caudal específico mantiene la continuidad hidráulica, recupera escurrimientos secundarios y mejora la coincidencia con observaciones de terreno y ortofotos, superando al criterio de profundidad en representatividad espacial.

Esta herramienta facilita la identificación automatizada de cauces no cartografiados, alineándose con las exigencias prácticas de fiscalización bajo la normativa chilena (Res. DGA 2116/2024). Se recomienda su aplicación como insumo preliminar en estudios de inundabilidad, complementado con validación en gabinete y terreno.

¹ Ingeniera Especialista en Hidrología y Cambio Climático, Edic Ingenieros SpA - email: vmartinez@edic.cl

² Ingeniero Especialista Hidráulico, Edic Ingenieros SpA - email: rrodriguez@edic.cl

1. INTRODUCCIÓN

La delimitación de los cauces naturales constituye un desafío para la gestión de recursos hídricos y la planificación territorial. Según el artículo 30 del Código de Aguas, el cauce se define como el terreno que el agua ocupa y desocupa en sus creces y bajas periódicas, definición que ha sido complementada por la Resolución DGA Exenta N°2116/2024, donde se establece que el evento de referencia para determinar la extensión de un cauce es la crecida de 100 años de período de retorno. Sin embargo, la falta de evidencia empírica directa de crecidas centenarias dificulta la aplicación práctica de este criterio normativo.

En respuesta a esta limitación, los modelos hidrodinámicos bidimensionales de precipitación–escorrentía, como IBER, se han consolidado como herramientas clave para simular crecidas de diseño bajo diversas condiciones climáticas. Estos modelos generan mapas detallados de variables hidráulicas como profundidad, velocidad y caudal específico en cada punto de la planicie de inundación. No obstante, los resultados brutos suelen incluir extensas áreas de acumulación de agua somera o flujos marginales que, si bien son hidráulicamente posibles, no representan cauces ni trayectorias activas de flujo, generando así una sobrestimación de la cantidad de vías de escurrimiento y la extensión de sus zonas de inundación.

Diversas guías internacionales, como las de FEMA (2018, 2020) en Estados Unidos y el método VID en España, recomiendan la aplicación de criterios de filtrado sobre los resultados de modelación para eliminar el “ruido” numérico asociado a inundaciones. Estos filtros pueden basarse en umbrales mínimos de profundidad, velocidad o, de manera más integral, caudal específico, permitiendo así destacar únicamente aquellas zonas donde el flujo es suficientemente concentrado y significativo. En particular, el uso de un umbral mínimo de caudal específico ha demostrado ser eficaz para identificar franjas activas de escurrimiento, incluso en sectores con baja profundidad, pero alta velocidad, alineando la representación cartográfica con el concepto técnico y legal de cauce.

A partir de esta necesidad técnica y normativa, el presente estudio propone una metodología de filtrado basada en caudal específico obtenido de los resultados de modelos bidimensionales de precipitación–escorrentía. El objetivo es desarrollar un criterio reproducible y objetivo que permita identificar el cauce natural asociado a la crecida de 100 años de período de retorno, facilitando su delimitación en proyectos hidráulicos y su evaluación regulatoria bajo la normativa vigente en Chile. Esta propuesta busca ser coherente con los estándares internacionales, adaptable a las distintas zonas del país y contribuir a una mejor toma de decisiones en la gestión de los cauces naturales.

2. MARCO TEÓRICO

Los modelos bidimensionales, como IBER, permiten definir un umbral de escurrimiento mínimo, el que permite eliminar “ruido” obtenido en los resultados. El umbral de profundidad es el criterio de filtrado más extendido y consiste en eliminar de la malla aquellas celdas donde la lámina de agua es menor a cierta profundidad predefinida, para evitar mostrar simples humedades superficiales. En contextos de gestión de riesgo, se suelen emplear umbrales de 30 cm, ya que este valor supera la incertidumbre vertical típica de los modelos de terreno (± 15 –20 cm en levantamientos LiDAR) y marca una diferencia significativa en términos de daño potencial. La agencia FEMA en Estados Unidos, por ejemplo, considera

que inundaciones de menos de 1 pie (≈ 30 cm) de profundidad promedio no califican como zonas de riesgo especial de inundación (FEMA, 2018).

Desde el punto de vista de la seguridad, la combinación de profundidad y velocidad resulta más representativa del nivel de peligro. Según la Environment Agency del Reino Unido, profundidades inferiores a 0,25 m con velocidades menores a 0,3 m/s corresponden a riesgo muy bajo para las personas, mientras que velocidades superiores a 2 m/s pueden resultar peligrosas incluso con láminas someras (UK Environment Agency, 2008).

El caudal específico (q), calculado como el producto de la profundidad y la velocidad en modelos 2D, representa la intensidad del escurrimiento por unidad de ancho ($m^3/s/m$). Este parámetro integra ambas variables hidráulicas y permite identificar zonas donde el flujo es verdaderamente significativo. El método de la “Vía de Intenso Desagüe” (VID), desarrollado en el contexto del modelo IBER en España, propone el uso de un umbral de caudal específico para resaltar las franjas de flujo concentrado dentro de la mancha de inundación, distinguiéndolas de zonas periféricas o de escurrimiento difuso. Este enfoque es especialmente útil para evitar la exclusión de tramos de flujo relevante que podrían ser descartados por un filtro de profundidad mínima, y ha sido incorporado en la delimitación de zonas de flujo preferente (ZFP) en normativas españolas.

Diversos organismos han publicado guías y estándares que respaldan la aplicación de criterios de filtrado en mapas de inundación. A continuación, se presentan algunos de los casos de mayor relevancia a nivel internacional:

- FEMA (EE. UU.): Para los mapas regulatorios del *National Flood Insurance Program* (NFIP), FEMA establece que inundaciones con profundidad media menor que 0,3 m se consideran de riesgo mínimo y no se mapean como zonas especiales de riesgo. Además, áreas con cuencas contributivas menores que 2,6 km² y sin historial de daños pueden ser excluidas de la cartografía oficial.
- España (Método VID, IBER): Se utiliza un umbral de caudal específico definido para cada caso de estudio, resaltando las zonas de flujo concentrado y evitando la omisión de sectores relevantes por tener baja profundidad, pero alta velocidad.
- México (CONAGUA): La legislación mexicana reconoce como cauce incipiente aquel que presenta una cárcava de al menos 2 m de ancho y 0,75 m de profundidad, estableciendo así un criterio morfológico cuantitativo para la existencia de un cauce.
- Reino Unido y Australia: Se emplean combinaciones de profundidad y velocidad para clasificar el riesgo, y en algunos casos se omiten de los mapas las áreas clasificadas como de riesgo insignificante, típicamente asociadas a profundidades y velocidades muy bajas.

Los criterios de filtrado no son arbitrarios, sino que se fundamentan en principios de análisis de riesgo de inundaciones:

- Seguridad de las personas: Estudios experimentales han determinado combinaciones críticas de profundidad y velocidad a partir de las cuales existe riesgo de arrastre o caída de personas y vehículos. Por ejemplo, profundidades menores que 20 cm con velocidades bajas no representan riesgo significativo, mientras que a partir de 30 cm de profundidad los vehículos livianos pueden perder tracción.

- Daños a infraestructura: El daño económico asociado a la inundación se incrementa notablemente a partir de ciertos umbrales de profundidad, por lo que filtrar las inundaciones menores que 10 cm permite enfocar la atención en zonas con potencial de daño material relevante.
- Geomorfología y erosión: Desde la perspectiva de la dinámica fluvial, sólo los flujos con suficiente energía (profundidad y velocidad) son capaces de modificar el cauce o transportar sedimentos, justificando la exclusión de flujos marginales en la delimitación de cauces activos.

La revisión de la literatura y normativas internacionales muestra que la aplicación de filtros a los parámetros hidráulicos es una práctica consolidada y técnicamente justificada para depurar los resultados de modelación y mejorar la representación de los cauces en los mapas de inundación. En el contexto chileno, donde la normativa exige delimitar el cauce asociado a la crecida de 100 años de periodo de retorno, pero no especifica parámetros hidráulicos concretos, la adopción de un filtro basado en caudal específico ofrece una alternativa objetiva, reproducible y alineada con los estándares internacionales para la identificación de cauces naturales en proyectos de modelación hidrodinámica de precipitación-escorrentía.

3. METODOLOGÍA UTILIZADA

Selección de casos de estudio

Se seleccionaron cuencas de las principales macrozonas hidrológicas de Chile (norte, centro y sur), priorizando aquellas con:

- Topografía de alta resolución,
- Estudios hidrológicos con la estimación de crecidas de 100 años,
- Disponibilidad de capas oficiales de cauces naturales definidos por la autoridad (IGM, IDE y/o DGA).
- Imágenes del terreno.

Esta selección permite evaluar la aplicabilidad y robustez del método en distintos contextos geomorfológicos y climáticos.

Simulación hidrodinámica

a. Alcance de la modelación

Se desarrollaron cuatro modelos bidimensionales en IBER:

1. Modelo de calibración – Zona Centro (evento 5 al 6 de agosto de 2023)
2. Modelo Norte – Zona árida
3. Modelo Centro – Zona mediterránea
4. Modelo Sur – Zona templada-húmeda

El área de estudio correspondiente a la zona norte se ubica en la cuenca BNA Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar, subcuenca Quebradas. entre Quebrada de

Guanillos y Quebrada de Taltal, subsubcuenca Quebradas Entre Quebrada de Guanillos y Quebrada de Taltal, cercana al cauce DGA *Quebrada Anchuna*.

Por su parte, el área de estudio de la zona centro se ubica en la cuenca BNA del Río Rapel, subcuenca de Río Rapel y subsubcuenca Estero Cadenas hasta bajo Estero Chequen, cerca del cauce DGA denominado *Estero Yervas Buenas*.

Finalmente, el área de estudio de la zona sur se ubica en la cuenca BNA Río Bueno, subcuenca Río Negro, subsubcuenca Río Toro bajo junta Río Norte, cerca del cauce DGA denominado *Río Cañal*.

El Modelo 1 replica la tormenta observada de 2023 con base en el registro diario de precipitación (43,5 mm). Dado que sólo se disponía del acumulado diario, medido en estaciones cercanas, se supuso la distribución D4 de Benítez y Verni (1985), considerando que los suelos se encontraban saturados al haber existido lluvia los días anteriores. El modelo se ejecuta en régimen no permanente con este hietograma y sin alterar los parámetros hidráulicos de diseño; su única función es validar empíricamente el filtro que comparando la mancha filtrada con la huella real visible en una ortofoto tomada poco después de la precipitación y con los cauces oficiales de la DGA.

Los Modelos 2-4 se ejecutan con la crecida de 100 años en régimen permanente y sirven para evaluar el desempeño del filtro de caudal específico (q) en distintos entornos geomorfológicos y su comparación con la cartografía oficial, y datos levantados en gabinete y terreno.

b. Dominio y discretización

La topografía LiDAR de alta resolución (<0,5 m), permitió trabajar con celdas no estructuradas (triangulares), donde se requirió equilibrar detalle y tiempo de cómputo.

- Zona Norte y Centro: Celdas de lado 1 m.
- Zona Sur: Malla mixta, debido al área total de la cuenca y su costo computacional, se utilizó celdas de entre 2 y 3 m de lado.

IBER calcula el paso de tiempo (Δt) a partir del número de Courant, donde se utilizó el valor predeterminado de 0,45.

c. Condiciones Internas – Precipitación

La precipitación de diseño se definió a partir de estudios hidrológicos previos para cada zona de estudio, los cuales ya incorporan la crecida de 100 años de período de retorno. A partir del caudal, se aplicó el método racional invertido, con el fin de asegurar un egreso de caudal del modelo igual al calculado en la hidrología al alcanzar régimen permanente (Modelos 1 a 3). Luego, la intensidad efectiva (CI) de precipitación utilizada corresponde a:

$$CI_{100} = \frac{Q_{100}}{A} \quad (1)$$

Donde Q es el caudal para la crecida de 100 años de periodo de retorno [m^3/s], y A el área de drenaje de la cuenca [km^2]. De esta manera, se obtiene una intensidad efectiva de precipitación, la que se aplica de manera constante sobre toda la malla del modelo.

Aplicación de filtros hidráulicos

Para cada simulación, se exportaron las grillas de profundidad (h), y caudal específico (q). Sobre estos resultados, se aplicaron distintos criterios de filtrado para la comparación de los resultados:

- **Filtro tradicional por profundidad mínima:** Se mantienen zonas de inundación con valores de profundidad $h \geq 0,3$ m, de forma de comparar con enfoques tradicionales.
- **Filtro por caudal específico,** utilizando umbrales determinados a partir de la literatura internacional y ajustados para cada zona (norte, centro, sur). El umbral de q se calibró para maximizar la coincidencia con los cauces oficiales y asegurar la inclusión de zonas de flujo concentrado, incluso en sectores de baja profundidad, pero alta velocidad.

Validación frente a cauces oficiales y datos de gabinete-terreno

Los resultados filtrados se compararon con los cauces oficiales (IGM/DGA/IDE) mediante herramientas GIS, evaluando la coincidencia espacial entre los cauces simulados y los oficiales, e identificando falsos positivos (áreas clasificadas como cauce por el modelo, pero no reconocidas oficialmente) y falsos negativos (sectores oficiales no capturados por el filtro). También se contrastaron con trazas levantadas en gabinete y terreno no incluidas en la cartografía oficial, verificando su representación por parte del filtro.

Análisis de sensibilidad y ajuste de umbrales

La metodología para fijar el umbral de caudal específico comenzó con la calibración del modelo de referencia, obteniendo un valor inicial que luego se aplicó de forma uniforme en las tres macrozonas (Norte, Centro y Sur). A continuación, ese umbral se sometió a variaciones controladas para evaluar su efecto sobre la continuidad hidráulica de los cauces y su coincidencia con las trazas IDE-DGA/IGM y las observaciones de terreno. Para cada variante se realizó una inspección visual de los cauces resultantes, identificando discontinuidades o “ruido” numérico evidente.

4. RESULTADOS

Modelo de calibración (zona Centro, evento 2013)

La Figura 1 muestra una ortofoto de la zona de estudio levantada posterior al evento del 5-6 de agosto del 2023, junto con las siguientes referencias:

- Trazas de agua observables en la imagen (celeste),
- Eje de cauces DGA e IDE (negro),
- Eje de cauces IGM (rojo),
- Ubicación de una fotografía tomada en terreno, la cual se presenta posteriormente en la Figura 2.

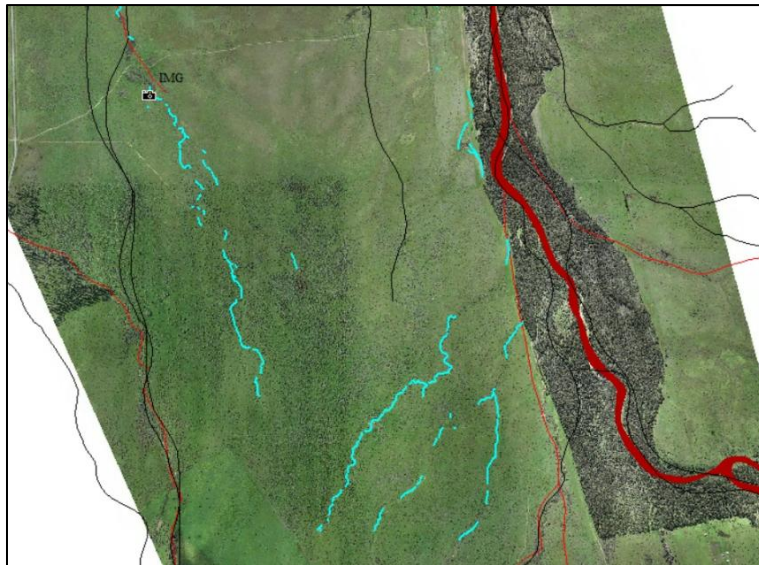


Figura 1: Área de modelo zona centro



Figura 2: Fotografía en Terreno inicio cauce según IGM

Se constata la ausencia de cauces oficiales dentro del dominio de estudio, con dos excepciones: (i) un trazado DGA el que, según la inspección en terreno y la simulación hidráulica, no coincide con la topografía real, y (ii) un trazado IGM cuyo inicio (Figura 2) se encuentra aguas abajo del nacimiento del cauce, evidenciado en las trazas visibles de agua en la ortofoto (líneas celestes) y la imagen en terreno. Estas diferencias muestran la necesidad de un procedimiento capaz de identificar cauces que no se observan en las cartografías oficiales, pero que sí poseen relevancia ambiental y regulatoria.

Se evaluó la capacidad de los dos criterios de filtrado para delimitar el cauce real dentro del área modelada. A los resultados brutos del modelo se aplicaron dos filtros distintos (Figura 3), a la izquierda se observa el filtro clásico de profundidades mayores o iguales a 30 cm, y a la derecha se presenta un filtro de caudal específico, de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, obtenido de la calibración.

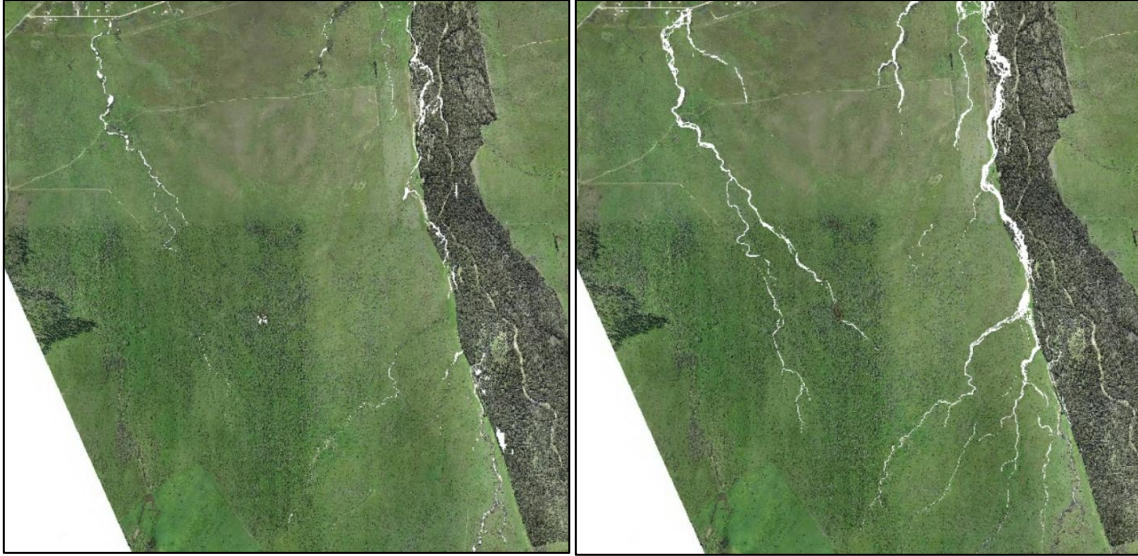


Figura 3: Resultados filtrado por profundidad (izquierda) y por caudal específico (derecha)

De la Figura 3 se tiene que, para el filtro de profundidad (izquierda), existen cauces segmentados o interrumpidos, debido a que la profundidad está por debajo del umbral seleccionado, perdiendo información de cauces y su continuidad. Por otro lado, la imagen de la derecha muestra una envolvente continua representando de mejor manera las trazas de escurrimiento presentes en el terreno y solo muestra tramos intermitentes en planicies de inundación, donde el flujo se dispersa.

Modelo zona Norte – Crecida centenaria

A continuación, se presentan los resultados de la crecida centenaria. En la Figura 4 se muestra la zona de estudio con los cauces oficiales IGM (en rojo) y DGA e IDE (en negro).

En la Figura 5 se presenta, a la izquierda, la delimitación obtenida con el filtro de profundidad clásico, mostrando las profundidades iguales o mayores a 30 cm y, a la derecha, se presentan los resultados aplicando un filtro de caudal específico, el que se determinó en $0,02 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, al igual que el modelo de calibración, al adaptarse de mejor manera a las trazas de cauces oficiales en la zona y las trazas de escorrentía observadas a partir de la imagen satelital.



Figura 4: Área de estudio Zona Norte y cauces oficiales



Figura 5: Zona Norte con filtro de profundidad (izquierda) y caudal específico (derecha)

Los resultados con el filtro clásico de profundidad no logran representar el cauce central mostrado en la Figura 4 como parte del IGM y de la DGA, ni reconocen un cauce secundario incorporado en la capa DGA-IDE. En cambio, el filtrado por caudal específico delimita de forma continua ambos cauces y reconoce escurrimientos concentrados adicionales coherentes con las trazas observadas a partir de imágenes satelitales.

Modelo zona Central – Crecida centenaria

La Figura 1 mostró los cauces oficiales en la zona de estudio, destacando el trazado IGM (rojo) y el DGA/IDE (negro).



Figura 6: Zona Centro con filtro de profundidad (izquierda) y caudal específico (derecha)

En la Figura 6 se presentan los resultados de la crecida centenaria. A la izquierda, la delimitación obtenida con el filtro de profundidad clásico, $h \geq 30$ cm y, a la derecha, se

presentan los resultados aplicando un filtro de caudal específico de $q=0,02 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, valor obtenido del modelo de calibración.

Se observa que el filtro de profundidad logra ajustarse a la cartografía IGM, pero no representa del cauce DGA/IDE (negro) presente en la zona de estudio. Por otro lado, el filtro por caudal específico representa ambos trazados y además coincide con los escurrimientos observados en terreno ortofotos detalladas, como se evidencio en el modelo de calibración.

Modelo zona Sur – Crecida centenaria

A continuación, se presentan los resultados de la crecida centenaria para la zona de estudio correspondiente a la macrozona sur. En la Figura 7 se muestra la zona de estudio con los cauces oficiales IGM (en rojo) y DGA e IDE (en negro):



Figura 7: Área de estudio Zona Sur y cauces oficiales

En la Figura 7 se observan cauces IGM, su mayoría correspondientes con cauces existentes, observables en imágenes satelitales y terreno, con excepción a algunas nacientes debido a la intervención actual del terreno. De igual forma, algunos cauces oficiales DGA/IDE calzan con las trazas observables en imágenes, con excepción de algunas que no se condicen con la topografía actual.



Figura 8: Zona Sur con filtro de profundidad (izquierda) y caudal específico (derecha)

El filtro de profundidad muestra buena coincidencia con algunos cauces oficiales y otros no cartografiados, sin embargo, no logra representar adecuadamente el inicio de algunos cauces, tal como fue verificado en terreno y ortofotos de detalle. En cambio, el filtrado por caudal específico presenta una mejor continuidad espacial y mayor coherencia con las trazas observadas, incluyendo además escurrimientos no oficiales levantados mediante gabinete-terreno.

5. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

La comparación entre el filtro clásico de profundidad mínima ($h \geq 0,30$ m) y el filtro propuesto de caudal específico ($q \approx 0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) revela diferencias significativas en la identificación de cauces naturales. En la macrozona Norte, el umbral de profundidad genera trazas discontinuas y omite un afluente reconocido oficialmente, mientras que el filtro por caudal específico delimita cauces continuos que coinciden con los oficiales e identifica escurrimientos adicionales con coherencia topográfica y lo observado mediante imagen satelital. En la zona Centro, el criterio de $h \geq 0,30$ m se ajusta al eje IGM, pero no representa adecuadamente el trazado IDE/DGA, mientras que el filtro por q reproduce ambos ejes y coincide con las trazas observadas en ortofotos, como se validó en el modelo de calibración. En la zona Sur, el filtrado por q mejora la continuidad hidráulica y la correspondencia con las huellas reales, especialmente en nacientes no cartografiadas.

Estas diferencias reflejan una limitación crítica del filtro por profundidad: no discrimina entre aguas estancadas y flujos activos. En contraste, el caudal específico, al integrar profundidad y velocidad, permite detectar zonas con suficiente energía para sostener un cauce, lo que lo alinea con metodologías reconocidas como el método VID en España y las recomendaciones de FEMA para eliminar "ruido numérico" en mapas de inundación.

Desde el punto de vista normativo, esta metodología ofrece una ventaja clave: la Resolución DGA 2116/2024 exige considerar cauces oficiales, pero en la práctica los fiscalizadores normalmente solicitan la inclusión de cauces no oficiales en los estudios de modificación de cauce. El filtro por caudal específico proporciona un criterio técnico reproducible, transparente y objetivo, facilitando la tramitación regulatoria, objetivando la identificación de cauces en la revisión de permisos, y agilizando la detección preliminar de éstos.

La implementación del método requiere topografía de alta resolución, modelación hidrodinámica bidimensional de precipitación-escorrentía robusta y validación eficiente en gabinete mediante ortofotos y complementada con inspecciones puntuales en terreno para verificación de la existencia de cauces naturales.

Para próximos estudios, se recomienda adaptar el umbral q a las características geomorfológicas de cada cuenca, y explorar su sensibilidad frente a la resolución de la malla, patrones de lluvia y distribución espacial del escurrimiento. Esta línea metodológica puede fortalecer el trazado automatizado de cauces naturales, mejorar la base técnica de los estudios de modificación de cauce, y contribuir a una evaluación e identificación de cauces naturales más precisa y eficiente en contextos normativos.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a Colbún S.A. por su valiosa colaboración al facilitar los datos e información técnica necesarios para la realización de este estudio. Su apoyo y disposición fueron fundamentales para llevar a cabo la modelación y el análisis hidrodinámico con el nivel de rigurosidad y detalle requerido.

Además, agradecemos sinceramente a Edic Ingenieros SpA por su apoyo institucional, especialmente por el espacio, recursos y colaboración técnica que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

Ball, J.E., Babister, M.K., Nathan, R., Weinmann, P.E., Weeks, W., Retallick, M., y Testoni, I. (2016). Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation. Commonwealth of Australia.

Benítez, R., y Verni, C. (1985). Distribución Porcentual de las Precipitaciones de Duración entre 12 y 72 horas. VII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, La Serena, Chile.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., y Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 30(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>

DGA. (2024). Resolución Exenta N° 2116: Determina obras y características que deben o no deben ser aprobadas según el artículo 41 del Código de Aguas. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

Dhillon, D. S., Bombardelli, F. A., Fleenor, W. E., & Zamani, K. (2014). On the issues associated with 2-D modeling for flood mapping purposes.

FEMA. (2018). Flood Depth and Analysis Grids Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping. Guidance Document 14. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

FEMA. (2020). Hydraulics: Two-Dimensional Analysis. Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping. Guidance Document 81. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

UK Environment Agency. (2008). Flood Risks to People: Phase 2. FD2321/TR2. Londres, Reino Unido.