

# **SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

## **XXIV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

### **APLICACIÓN EN ALGUNOS RÍOS EN CHILE DE UNA METODOLOGÍA PARA CALIFICAR LA VULNERABILIDAD DE PUENTES EN RELACIÓN CON FACTORES HIDRÁULICOS**

**JUAN SOTO C.<sup>1</sup>**

**ALEJANDRA MUÑOZ M.<sup>2</sup>**

**MATÍAS CHÁVEZ A.<sup>2</sup>**

**RODRIGO CASTRO C.<sup>2</sup>**

**FELIPE NÚÑEZ D.<sup>3</sup>**

**ALEJANDRO LÓPEZ A.<sup>4</sup>**

#### **RESUMEN**

El presente trabajo da cuenta de la experiencia obtenida al aplicar una metodología de calificación de la vulnerabilidad de puentes en relación a los llamados factores hidráulicos (Farías, 2008) en 10 puentes de Chile central. Tal metodología califica la vulnerabilidad de una obra por el incumplimiento de condiciones que se consideran ideales para evitar el efecto de fenómenos hidráulicos perjudiciales para la estructura (socavación, impacto de cuerpos flotantes, etc.). En este sentido se muestra que los aspectos más relevantes para determinar la calificación de vulnerabilidad son el diseño de los elementos de la infraestructura (cepas y estribos), la inexistencia de obras de control de la erosión y acciones antrópicas. Se presenta la calificación estimada para los 10 puentes analizados, se exponen las dificultades que se presentaron para la aplicación de la metodología y se sugieren recomendaciones para la aplicación del método en un plan de seguimiento continuo de puentes.

---

<sup>1</sup>Estudiante Ingeniería Civil Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

<sup>2</sup>Ingeniero Civil Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

<sup>3</sup>Ingeniero Civil Universidad Andrés Bello.

<sup>4</sup>Ingeniero Civil. Académico Escuela de Ingeniería Civil Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Según estudios realizados en diversos lugares del mundo referente a fallas y colapsos de puentes implantados en cauces fluviales, entre el 62% y 82% se producen a causa de eventos asociados a problemas hidráulicos (Melville & Coleman, 2000; May et al, 2002).

Nuestro país no ha estado ausente de haberse visto enfrentado a este problema, el cual ha ido tomando una importancia cada día mayor, por lo cual es importante prevenir el comportamiento de estas obras, sean las existentes como las que se proyecten a futuro, ante eventos hidrológicos extremos, como son crecidas u otros problemas hidráulico-sedimentológicos, y los efectos de acciones antrópicas en los cauces, por ejemplo, explotación de áridos, alteración de riberas, etc.

En los últimos años se han propuesto metodologías para determinar la vulnerabilidad de estas estructuras ante la acción de los denominados factores hidráulicos (Farías, 2008), las cuales están siendo aplicadas con éxito en países como Argentina y España (Farías, 2008), experiencia que es de conocimiento de los autores.

Con estos antecedentes y conociendo la relevancia del problema, la Escuela de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, inició un estudio tendiente a establecer la aplicabilidad de esta metodología en nuestros cauces, llevando a la fecha revisada la situación de 10 puentes en diferentes cuencas, comenzando por verificar las actuales condiciones de ellos, recopilando la información requerida para la aplicación del método, y proponer lo que se requiere para fijar un seguimiento sistemático del comportamiento hidráulico de puente.

Actualmente se ha continuado con este programa de estudio y se encuentra en revisión la situación de 4 puentes de la V región.

## **2. METODOLOGÍA APLICADA**

### **Vulnerabilidad Hidráulica y Factores Hidráulicos**

El concepto de vulnerabilidad se entiende como la susceptibilidad a sufrir daño parcial o total en una estructura en un periodo de tiempo (Espinoza, 2010), debido a procesos que implican un deterioro en elementos del puente, siendo estos, en el aspecto hidráulico, consecuencia de crecidas y al propio emplazamiento de la estructura. Entre los procesos más destacables se encuentran los procesos erosivos, la posibilidad de desborde y el impacto de cuerpos flotantes con el puente. Es así como se ha introducido el concepto de factores hidráulicos (Farías, 2008), los cuales se enmarcan en 4 categorías fundamentales: hidrológicos, geomorfológicos, geotécnicos e hidráulicos propiamente tal. Tales factores inciden en los parámetros que finalmente se conjugan en el desarrollo de procesos riesgosos para la estructura.

Como existen distintos tipos de procesos, los factores se pueden diferenciar por el contexto espacial y temporal en que actúan. Así, en la escala espacial se distingue un campo cercano, donde suceden procesos de erosión local en crecidas y degradación (erosión de largo plazo), y un campo lejano, asociado a fenómenos hidrodinámicos y morfológicos relacionados con el proceso de erosión general. Mientras que la escala temporal se refiere a la variabilidad de los caudales líquidos, los

que dependerán principalmente de las propiedades de la cuenca y los eventos hidrológicos extremos.

### **Resumen de la Metodología**

La metodología propuesta por Farías (2008) estima la vulnerabilidad hidráulica de un puente según la combinación de los factores que favorecen procesos fundamentalmente erosivos, especialmente en zonas de fundación de elementos de la estructura como cepas y estribos (socavación local y general). Esto se realiza en base a la comparación de características del caso estudiado con las de un concepto denominado Puente Hidráulicamente Ideal (PHI) consistente en una estructura y cauce cuyas condiciones óptimas de diseño, operación y mantenimiento hacen despreciable la vulnerabilidad hidráulica de la obra. Así, la metodología identifica el grado de vulnerabilidad hidráulica de un puente y las acciones correctivas necesarias según las causas que ocasionan su condición de riesgo.

### **Clasificación de la Vulnerabilidad Hidráulica de un Puente según la Metodología**

Se asigna una nota por el incumplimiento de condiciones ideales mediante una escala de 1 a 10, correspondiendo notas menores a una vulnerabilidad hidráulica mayor, y nota 10 para un PHI.

Se considera a puentes con nota menor o igual a 5 como hidráulicamente vulnerables, sugiriendo de forma indispensable inspecciones especializadas. Además, para calificaciones de 1 a 4 se recomienda implementar medidas a corto plazo para mitigar los procesos erosivos más influyentes para el caso estudiado, mientras que puentes con nota 5 se recomiendan medidas a mediano plazo.

Farías (2008), basado en Melville & Coleman (2000), propone algunas acciones correctivas en función del tipo de erosión. Para erosión general propone implementar umbrales de fondo, cubiertas de lecho o la modificación de la geometría de la obra (aumentar la luz del puente). Si el principal problema es la erosión local se recomiendan cubiertas de protección, dispositivos que alteren el patrón de flujo o terraplenes de guía, mientras que para el caso de erosión lateral se nombra la construcción de espigones, retardos y revestimientos.

### **Antecedentes Requeridos para Aplicar el Modelo**

Para la aplicación de la metodología resulta esencial la recopilación de ciertos antecedentes de origen instrumental y observacional. En la Tabla 1 se muestra el resumen de la información necesaria para su aplicación.

El modelado del flujo tiene como fin obtener las alturas de escurrimiento y anchos de planicie de inundación para distintos periodos de retorno. Además de datos topográficos e hidrológicos, se requiere la estimación de los coeficientes de rugosidad de Manning para las distintas zonas del cauce incluidas en el análisis, también, el conocimiento de la granulometría del material que conforma el lecho es indispensable para determinar la estabilidad morfológica del cauce, en cuanto a los procesos de socavación que puedan presentarse.

Para estimar el riesgo de socavación se necesitan, además de la información granulométrica, datos de la geometría de los elementos del puente, de su emplazamiento y de la distribución lateral del

flujo, poniendo atención en posibles corrientes turbulentas y el ángulo de incidencia en cepas y estribos.

**Tabla 1.** Antecedentes necesarios para aplicación de metodología.

<b>Objetivo</b>	<b>Antecedentes Requeridos</b>
Características del cauce	Sinuosidad del tramo
Cálculo de socavación	Granulometría
Efecto antrópico	Obras conflictivas Vegetación y residuos
Control de erosión	Obras de protección
Modelado	Perfiles transversales Rugosidad lecho y márgenes Datos Fluvio/Pluviométricos
Diseño puente	Geometría pilas y estribos Geometría puente Incidencia de filetes líquidos
Factor de Seguridad por socavación	Profundidad de fundación

Además, se debe tener información general del sector, especialmente del efecto de actividades humanas conflictivas (ejemplo: extracción de áridos o presencia de basurales), existencia de obras de control de erosión u otras obras, y presencia de vegetación en el tramo en estudio del cauce.

### 3. ESTUDIOS REALIZADOS

Entre los años 2010 y 2018 se ha aplicado la metodología expuesta para analizar el estado de diversos puentes en 3 regiones del país, siempre en el contexto de trabajos para optar al título de Ingeniero Civil: Núñez (2010), Castro (2010) y Chávez y Muñoz (2018). Los puentes analizados corresponden a 2 puentes de la región Metropolitana, 2 de la región del Maule y 6 de la región de Valparaíso, totalizando 10 puentes, como se muestra en la Tabla 2, en donde se incluye también las características de los cauces en la sección donde se localizan los puentes estudiados, identificándose allí el nombre de dichas estructuras.

**Tabla 2.** Características de los cauces estudiados.

<b>Autor</b>	<b>Cauce</b>	<b>Puente</b>	<b>Pendiente i %</b>	<b>Granulometría (mm)</b>			
				<b>D<sub>50</sub></b>	<b>D<sub>84</sub></b>	<b>D<sub>m</sub></b>	<b>σ</b>
Núñez (2010)	Río Maipo	Naltahua	0,42	25,5	102,6	59,1	14,8
		Maipo	0,98	23,7	46,3	29,5	5,4
	Río Teno	Teno	0,67	7,3	42,5	21,8	11,6
	Río Maule	Maule	0,4	80	193,4	72	5,2
Castro (2010)	Estero Quilpué	Roosvelt	0,56	3,5	32	12,3	6,3
		Paso Hondo	0,62	1,7	45	16,8	13,4
	Río Maipo	Maipo	1,2	30,5	217,9	78,6	31,3
Chávez y Muñoz (2018)	Río Aconcagua	Colmo	0,23	22	40	27	2,9
		Concón	0,08	22	40	27	2,9
	Est. Mala Cara	Santa Julia	0,51	2,74	35,8	16,9	8,3
	Est. Lliu Lliu	Lo Chaparro	0,88	35,8	95,2	49,4	7,5

## Antecedentes Recopilados

Los antecedentes necesarios para aplicar la metodología, señalados en la Tabla 1, se obtuvieron de informes técnicos y publicaciones de estudios anteriores. El resumen de los antecedentes y la fuente de origen se muestran en las Tablas 3 y 4.

**Tabla 3.** Antecedentes recopilados.

Antecedentes Requeridos	Medio de obtención
Sinuosidad del tramo	Imágenes satelitales
Datos Fluvio/Pluviométricos	Base de datos online (DGA)
Obras conflictivas Vegetación y residuos Obras de protección Rugosidad lecho y márgenes Geometría pilas y estribos Geometría puente Incidencia de filetes líquidos	Visita a terreno
Topografía Granulometría	Estudios anteriores

**Tabla 4.** Antecedentes obtenidos de estudios anteriores.

Antecedentes Requeridos	Medio de obtención		
	Núñez (2010)	Castro (2010)	Chávez y Muñoz (2018)
Parámetros Granulométricos	López y Arenas (2004) y Estudio de Mecánica Fluvial en puente nuevo (Naltahua)	Arrau (1999)	Alvarado et al. (2002)
Perfiles transversales			Modelos de elevación Digital (DEM)
Profundidad de socavación	Calculado según Manual de Carreteras		

## 4. APLICACIÓN DEL MÉTODO

### Resultados

En la Tabla 5 se propone una clasificación de vulnerabilidad dada la calificación obtenida según la metodología. Cabe destacar que para puentes con nota 5 sí se sugieren medidas correctivas, pero al ser estas a mediano plazo se consideró vulnerabilidad media.

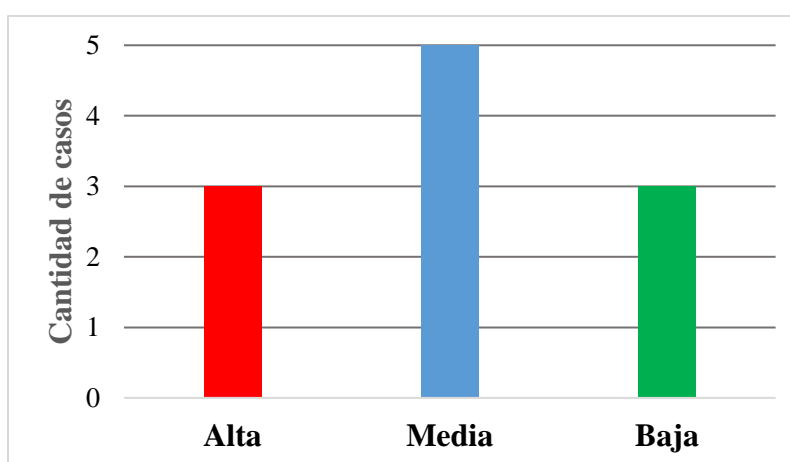
**Tabla 5.** Escala de evaluación cualitativa de vulnerabilidad hidráulica.

Calificación	Vulnerabilidad Hidráulica
1	Riesgo Extremo
2 – 4	Alta
5 – 6	Media
7 – 9	Baja
10	Nula

Los resultados obtenidos en los estudios realizados se pueden resumir en la Tabla 6, y una estadística global del estado de los puentes se muestra en Figura 1.

**Tabla 6.** Resumen calificación puentes.

Autor	Región	Cauce	Puente	Calificación	Vulnerabilidad
Felipe Núñez (2010)	RM	Río Maipo	Naltahua	3	<b>Alta</b>
			Maipo	5	<b>Media</b>
	VII	Río Teno	Teno	2	<b>Alta</b>
		Río Maule	Maule	4	<b>Alta</b>
Rodrigo Castro (2010)	V	Estero Quilpué	Roosvelt	5	<b>Media</b>
			Paso hondo	5	<b>Media</b>
Matías Chávez y Alejandra Muñoz (2018)	RM	Río Maipo	Maipo	6	<b>Media</b>
	V	Río Aconcagua	Colmo	7	<b>Baja</b>
		Estero Mala Cara	Concón	5	<b>Media</b>
		Estero Lliu Lliu	Santa Julia	7	<b>Baja</b>
		Lo Chaparro	7	<b>Baja</b>	



**Figura 1.** Agrupación de casos por vulnerabilidad hidráulica.

A continuación, en Tabla 7, se presentan las causas de la calificación en puentes de alta vulnerabilidad hidráulica.

**Tabla 7.** Causas de vulnerabilidad hidráulica de puentes altamente vulnerables.

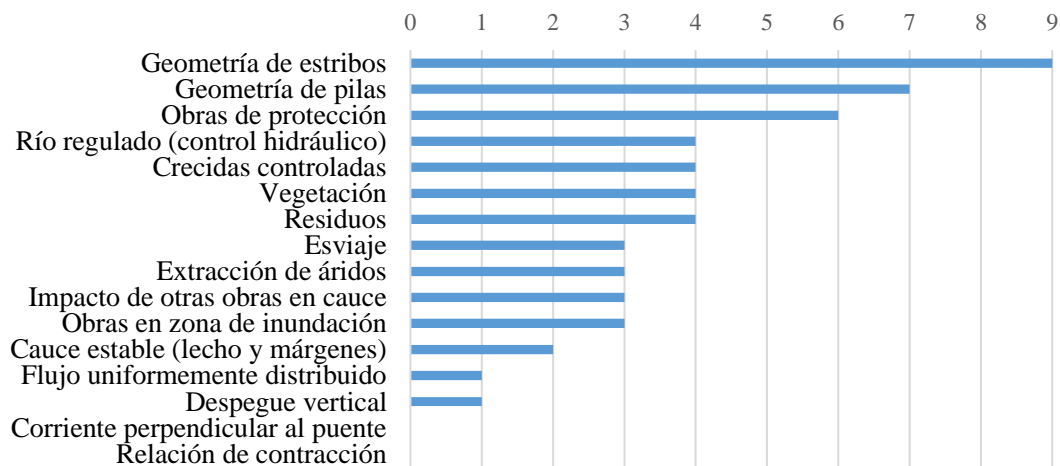
<b>PUENTE NALTAHUA</b>	
<b>Calificación</b>	3
<b>Vulnerabilidad</b>	Alta. Es probable que socavación sea mayor que profundidad de fundación.
<b>Causas</b>	
<b>Diseño del puente</b>	Esviaje. Pilas rectangulares y estribos sin extremos redondeados ni troncocónicos.
<b>Hidráulica</b>	No existen elementos de control hidráulico ni de regulación de crecidas.
<b>Mecánica Fluvial</b>	Sin obras de protección contra erosión.
<b>PUENTE TENO</b>	
<b>Calificación</b>	2
<b>Vulnerabilidad</b>	Alta. Es probable que socavación llegue a 80-100% de la profundidad de fundación.
<b>Causas</b>	
<b>Diseño del puente</b>	Esviaje, pilas rectangulares, estribos sin extremos redondeados ni troncocónicos.

<b>Características del cauce</b>	Ancho de cauce y de inundación variables.
<b>Hidráulica</b>	No existen elementos de control hidráulico ni de regulación de crecidas. Flujo no uniforme en dirección lateral.
<b>Acción antropogénica</b>	Gran impacto de otras obras sobre cauce
<b>PUENTE MAULE</b>	
<b>Calificación</b>	4
<b>Vulnerabilidad</b>	Alta. Es probable que socavación llegue a 50-80% de la profundidad de fundación.
<b>Causas</b>	
<b>Diseño del puente</b>	Esviaje.
<b>Hidráulica</b>	No existen elementos de control hidráulico ni de regulación de crecidas.
<b>Mecánica Fluvial</b>	Sin obras de protección contra erosión. Vegetación en cauce.
<b>Acción antropogénica</b>	Extracción de material en cauce.

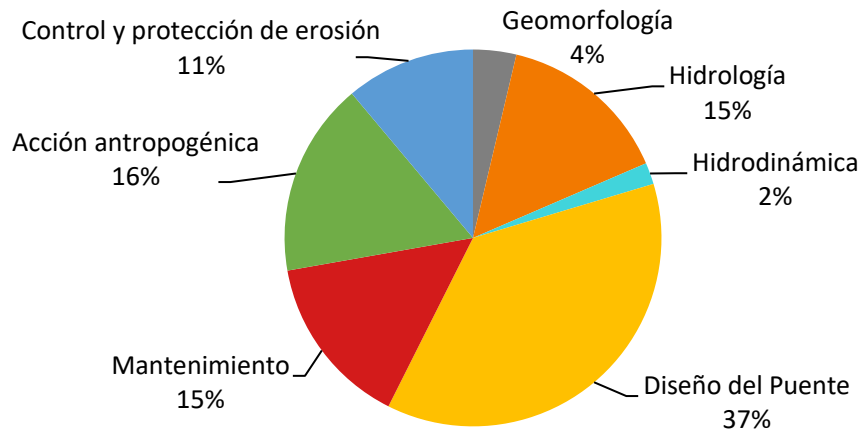
## Discusión de Resultados

Respecto a las causas que influyeron en la calificación de los puentes estudiados, en la Figura 2 se observa que las causas más frecuentes de vulnerabilidad de estos puentes son el diseño de sus estribos y cepas, presentando una geometría que favorece la socavación, y la inexistencia de obras de control de la erosión.

Además, si se ordenan las causas presentadas en Figura 2 según los aspectos hidráulicos considerados en la metodología, se puede observar la proporción en que estos aparecen influyendo en la calificación de vulnerabilidad de los puentes estudiados. Tal información se muestra en la Figura 3.



**Figura 2.** Frecuencia de causas de vulnerabilidad.



**Figura 3.** Proporción de factores hidráulicos en la calificación de vulnerabilidad hidráulica de puentes estudiados.

De lo anterior se extrae que la mayor parte de los parámetros asociados al riesgo de la obra tienen su origen en el diseño del puente (37%), lo que muestra la importancia de incluir los aspectos hidráulicos desde la etapa de diseño, sumado a los elevados costos que podría conllevar no hacerlo. Un 31% de las causas corresponden a los factores de mantenimiento y acción antropogénica, 2 sectores perfectamente corregibles si en el futuro se incluye el riesgo hidráulico en la inversión realizada periódicamente para la conservación de obras, por ejemplo, con el retiro de residuos y control de vegetación en los sectores del cauce cercano a los puentes. Mientras que un 19% representa situaciones algo más difíciles de optimizar ya que dependen de las condiciones del escurrimiento y el lecho (geomorfología e hidrología).

### **Dificultades Encontradas en la Aplicación de la Metodología**

La mayor dificultad para aplicar la metodología consiste en contar con los antecedentes requeridos por el método, en particular lo concerniente a estudios granulométricos y topográficos en el sector de emplazamiento de las obras. Esto debido a que usualmente la información generada en la etapa de estudios para el diseño de la obra es de muy difícil acceso considerando la antigüedad de los puentes y de los mecanismos de almacenamiento de información. Para suplir esta deficiencia se recogió información obtenida en visitas a terreno pero que podría haber sido recabada desde los planos de la estructura, como la geometría del puente y sus elementos.

Respecto a la recopilación de antecedentes, se han tenido distintas experiencias en los estudios realizados. Núñez (2010) y Castro (2010) consiguieron datos de estudios representativos de las obras y de la zona, mientras que Chávez y Muñoz (2018) obtuvieron la información granulométrica de datos provenientes de un estudio de características granulométricas de ríos chilenos realizado con anterioridad (Alvarado et al., 2002); además, debieron recurrir al procesamiento de información de modelos de elevación digital (DEM), proveniente de imágenes satelitales, para obtener los perfiles transversales necesarios en el proceso de modelado.



Además, la profundidad de socavación máxima se calculó utilizando los métodos recomendados en el Manual de Carreteras (vol.3, 2018), pero resulta recomendable, para aumentar la seguridad de los resultados, contrastar este cálculo con lo que ocurre en la realidad.

Todo lo anterior evidencia la ausencia de un sistema público de datos y gestión de puentes en el territorio nacional.

Los estudios de Felipe Núñez (2010) y Rodrigo Castro (2010) son simultáneos y arrojaron una nota distinta para un mismo puente estudiado (puente Maipo), esto puede deberse a diferencias en la información recopilada, ya sea por los métodos de obtención de antecedentes o por el criterio de los autores. En este aspecto, y en futuras modificaciones del método, se deben hacer esfuerzos para lograr un menor espacio a subjetividades. Sin embargo, por el criterio de urgencia de obras necesarias, la vulnerabilidad se considera media en ambos casos.

## **5. PROPUESTA DE SEGUIMIENTO CONTINUO**

### **Mediciones Requeridas**

Como se abordó en puntos anteriores, para realizar una estimación óptima del grado de riesgo en que se encuentra un puente usando la metodología propuesta por Héctor Farias, la obtención de información más precisa se vuelve fundamental. En el afán de minimizar la cantidad de estimaciones y parámetros de apreciación, se llega irremediablemente a la necesidad de realizar algunas mediciones de forma periódica y otras que serán invariables en el tiempo.

### **Formación de un Banco de Datos**

Existen algunos parámetros que son constantes en el tiempo y que además se pueden obtener de manera precisa, como la geometría de la estructura y sus elementos o la profundidad de fundación.

En este sentido, considerando la época actual, el valor de las obras y el grado de desarrollo al que aspira llegar el país, resulta de vital importancia implementar un sistema de gestión de puentes que contenga la información de su diseño y entorno, además de una calificación para priorizar la futura inversión en obras públicas de este tipo. Además, parte de la información de este banco de datos (especialmente el diseño) podría ser de acceso público, tomando en cuenta la relevancia y utilidad de algunos estudios realizados por organismos, como universidades e institutos, o para la formación de futuros ingenieros, como sucede, por ejemplo, con el banco de datos de diversas estaciones de la DGA.

### **Campañas de Terreno y Seguimiento**

Los puentes y obras fluviales están en contacto, y, por lo tanto, a merced de los efectos producidos por el flujo de agua, cuya naturaleza es dinámica, por lo que el monitoreo de la evolución de ciertos aspectos brindará información clave en la estimación del riesgo estructural. Esto cobra aún mayor importancia si se incluye en el análisis los efectos del cambio climático, que, por experiencias recientes, suelen ser catastróficos.

Por esto, se debe impulsar una campaña de seguimiento del estado de puentes mediante salidas a terreno con cierta frecuencia, la que dependerá del entorno de emplazamiento (mayor riesgo de socavación implica visitas más frecuentes) y de la vulnerabilidad del puente.

Entre los aspectos a tener en cuenta en cada visita, prestando atención a su evolución, se cuentan: uniformidad del flujo (ángulo de incidencia de filetes líquidos respecto a ejes de cepas), presencia de vegetación en lecho y márgenes, estado y eficacia de obras de protección de erosión, presencia de residuos en el entorno, y especialmente la acción del ser humano en el cauce, como la extracción de áridos, que suelen realizarse en periodos acotados pero que generan un gran efecto negativo en la estabilidad del lecho (produciendo socavación), u otras obras que afecten a las condiciones de escurrimiento, como surgimiento de corrientes por descargas de caudal aguas arriba de la obra.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El riesgo asociado a factores hidráulicos es la causa más frecuente de falla en puentes, por lo que es esencial estudiar y monitorear la vulnerabilidad de estas obras desde el punto de vista hidráulico, prácticas que hasta la fecha no se han normalizado en Chile, generando una situación crítica respecto a los colapsos estructurales ocurridos recientemente, y al aumento de eventos extremos producto del cambio climático.

En este ámbito, con el objetivo de implementar en el corto-mediano plazo un sistema de gestión de puentes que pueda ser útil al momento de dar prioridad al mantenimiento de obras, es necesario crear una base de datos que facilite el acceso a la información de las obras, y a su vez resulta prioritario digitalizar tal información, que, por la fecha de la realización de los estudios, actualmente solo son almacenadas en formato físico.

La aplicación de la metodología propuesta por Farías en los estudios llevados a cabo hasta el momento en Chile ha sido útil para visualizar el estado altamente vulnerable de un puente de la región Metropolitana y 2 de la región del Maule. Se recomienda seguir aplicando esta metodología incorporando los cambios propuestos por los autores para la adaptación de esta al caso chileno, e incluirla en un eventual plan de monitoreo de puentes.

Es recomendable adaptar la definición original de puente hidráulicamente ideal a la realidad chilena, para lo cual se debe dar mayor importancia a efectos de socavación, necesitando para esto una medición de parámetros que no se realiza en el país.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen debidamente a los ingenieros civiles Sra. Mireya Parrini J. y Sr. Fernando Cancino A. de la Dirección de Vialidad V Región y al ingeniero civil Sr. Gabriel Castro A. por haber proporcionado información proveniente de estudios anteriores realizados en los puentes analizados lo que facilitó el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Alvarado, L., Garcés, E. y López, A. 2002. Características granulométricas de los ríos aluviales chilenos. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, La Habana, Cuba.
- Arrau, L. 1999. Estudio de zonas de inundación en el estero Quilpué, en las comunas de Quilpué y Villa Alemana, V región. Chile.
- Castro, R. 2010. Análisis de la vulnerabilidad hidráulica de puentes ante la acción de crecidas. Aplicación en cuencas de la zona central. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- Chávez, M., Muñoz, A. 2018. Estudio de la vulnerabilidad hidráulica de puentes de la quinta región. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- Dirección de Vialidad. 2018. Manual de Carreteras, Vol. 3. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.
- Espinoza, D. 2010. Vulnerabilidad por socavación de puentes carreteros ante avenidas. Universidad Autónoma Metropolitana. México DF, México.
- Fariás, H. D. 2008. Metodología para la calificación de puentes en relación a los factores hidráulicos. XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia.
- López, A. y Arenas, A. 2004. Análisis de una de las pilas del puente Naltahua en el río Maipo, Chile. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Pedro, Estado de Sao Paulo, Brasil.
- May, R., Ackers, J., Kirby, A. 2002. Manual on scour at bridges and other hydraulic structures. CIRIA Publication C551, Construction Industry Research and Information Association, London, U.K.
- Melville, B. W. & Coleman, S. E. 2000. Bridge Scour. Water Resources Publications, LLC, Highlands Ranch, Colorado, USA.
- Núñez, F. 2010. Metodología para la determinación de la vulnerabilidad hidráulica de puentes ante el efecto de crecidas aplicado en algunos ríos de Chile. Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile.