

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

VIII CONGRESO NACIONAL

EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE PROYECTOS DE
DEFENSA FLUVIAL. ANALISIS DE SU APLICABILIDAD
BASADO EN DOS CASOS DE ESTUDIO

Luis Ayala Riquelme, Ph.D. (1)

David González González (2)

RESUMEN

Se presenta un análisis crítico sobre la aplicabilidad de una metodología de evaluación técnico-económica para proyectos de obras de defensa fluvial la cual fue dada a conocer en el anterior congreso. La metodología permite determinar la rentabilidad óptima y período de retorno de diseño de las obras dentro de un marco de evaluación social de proyectos. El análisis que se presenta en esta oportunidad se basa en aplicaciones realizadas en proyectos de defensa para el río Cachapoal (VI Región) y el estero Lampa (Región Metropolitana). Estos cursos presentan características radicalmente distintas, particularmente en lo que se refiere a la morfología y conformación del cauce lo cual permite, mediante la contrastación de resultados, ilustrar el uso de la metodología así como su potencialidad práctica para situaciones diversas.

(1) Profesor e Investigador del Centro de Recursos Hidráulicos. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

(2) Ayudante de Investigación del Centro de Recursos Hidráulicos. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

INTRODUCCION

La evaluación de proyectos de obras de defensa fluvial es un tema complejo tanto desde un punto de vista técnico como económico, particularmente cuando se considera realidades geográficas y socio-económicas como las de nuestro país. En efecto, para realizar un análisis técnico-económico de este tipo de proyectos es necesario considerar en primer lugar, que por tratarse de obras con probable inversión estatal, la evaluación debe realizarse dentro de un marco de evaluación social considerando tanto los costos de las obras de defensa como los beneficios que reportan a la comunidad los daños evitados por dichas obras. Tanto costos como beneficios son variables de difícil cuantificación; los primeros por la complejidad que reviste la caracterización hidráulica y mecánico-fluvial de los ríos chilenos, basada en un escaso conocimiento de su comportamiento, y los segundos, por la dificultad que surge de la carencia de antecedentes sobre daños asociados a las inundaciones fluviales que impide identificar y cuantificar adecuadamente los beneficios del proyecto y por consiguiente, su rentabilidad.

El propósito del presente trabajo es mostrar los principales resultados que se obtienen de aplicar la metodología a dos proyectos de defensa fluvial en ríos de la zona central de características muy disímiles. Ello permite ilustrar la potencialidad de dicha metodología y poner de relieve las necesidades de información tanto técnicas como económicas que conlleva la evaluación de estos proyectos, los procedimientos y métodos de cálculo a emplear en ríos como los chilenos, algunos tipos de obras de utilización más factible y las consideraciones de orden práctico que es necesario hacer para evaluar la rentabilidad de este tipo de inversiones.

METODOLOGIA DE EVALUACION

La metodología empleada, que fue presentada en el VII Congreso Nacional (Ayala et. al., 1985), consiste de dos etapas interrelacionadas la primera de las cuales es propiamente técnica (Etapa A), en tanto la segunda tiene un carácter básicamente económico (Etapa B).

En la Etapa A se realiza un estudio paramétrico de las áreas inundables por

las crecidas del río en función del período de retorno, y se diseñan las obras requeridas para dar protección a dichas áreas. El objetivo del análisis es determinar un diseño que optimice la rentabilidad del proyecto, sujeto a la incertidumbre propia de los eventos hidrológicos solicitantes de las obras.

La definición de las áreas de inundación se basa en el análisis hidrológico de crecidas del río, del cual se obtiene como resultados una curva de frecuencia para el caudal máximo, y en el cálculo de ejes hidráulicos para distintos caudales máximos, estableciéndose una asociación entre niveles del agua y períodos de retorno. Por último, de los planos topográficos se obtiene las áreas de inundación asociadas a los anteriores niveles. El procedimiento de cálculo puede sintetizarse a partir de las siguientes relaciones funcionales:

- Curva de frecuencia de caudales máximos (Q):

$$Q = Q(T) \quad (1)$$

- Eje hidráulico (Z):

$$Z = Z(Q) \Leftrightarrow Z = Z(T) \quad (2)$$

- Areas de inundación (A):

$$Z = Z(A) \Leftrightarrow A = A(T) \quad (3)$$

En las relaciones funcionales anteriores T representa el período de retorno de la crecida.

Definidas las áreas de inundación se procede al diseño y dimensionamiento de las obras, previa selección de la solución o soluciones que sean técnicamente factibles o atractivas. Este diseño se realiza a partir de las solicitaciones hidráulicas y sedimentológicas en condiciones "con proyecto" para diferentes períodos de retorno.

Terminado lo anterior se da comienzo a la Etapa B en la cual se realiza la evaluación de costos y beneficios del proyecto dentro de un marco de evaluación social. Los costos involucran las inversiones en obras físicas y los costos de reinversión. Por consiguiente es posible definir curvas de costos en función del período de retorno asociado a la obra específica que se evalúa. Con respecto a los beneficios, éstos se evalúan como los daños evitados por la construcción.

del proyecto: daños directos (originados por el contacto físico del agua), daños indirectos (que reflejan el impacto sobre el resto de la economía) y daños intangibles (daños indirectos difíciles de identificar y valorar monetariamente). Al igual que los costos, los beneficios se expresan en función del período de retorno.

La Etapa B incluye también la determinación de la rentabilidad del proyecto y la selección de la solución óptima la cual lleva implícita el período de retorno de diseño. El indicador económico utilizado para cuantificar la rentabilidad del proyecto es el beneficio neto actualizado (BNA). El cálculo del BNA tiene como dificultad principal la evaluación de los beneficios esperados por cuanto ellos son función no sólo del período de retorno de la crecida sino además del ordenamiento de la serie hidrológica solicitante de las obras. En efecto, el proyecto arrojará beneficios mientras los caudales de la serie no excedan aquel considerado como de diseño y como la serie es aleatoria, la excedencia puede producirse en cualquier año dentro del horizonte de evaluación adoptado (S años). Para hacer frente a esta incertidumbre, se procede a generar sintéticamente N series de caudales máximos anuales de S años de longitud, preservando la distribución de frecuencias histórica. Luego, con cada una de estas series se opera el sistema con las obras diseñadas para un período de retorno T dado, determinándose los beneficios anuales hasta el año M ($M \leq S$) en que se produce la excedencia del caudal de diseño. A continuación dichos beneficios anuales son actualizados y sumados. Finalmente se calcula el valor presente del beneficio esperado como la media aritmética de los beneficios totales actualizados de cada serie, de donde se obtiene el BNA del proyecto:

$$\text{BNA}(T) = \text{BA}(T) - \text{CA}(T) \quad (4)$$

donde BA es el beneficio esperado actualizado calculado a partir de la relación:

$$\text{BA}(T) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N B_j(T) \quad (5)$$

siendo $B_j(T)$ el beneficio total actualizado de la serie hidrológica j; $\text{CA}(T)$ corresponde al costo actualizado de las obras.

Cabe señalar que además de lo anterior, en la evaluación de beneficios se

considera: (1) la revalorización de terrenos ribereños los que se agregan sólo si al término del horizonte de evaluación no ha ocurrido una excedencia del caudal de diseño; (2) el valor residual de las obras para la misma situación anterior (3) los premios que asigna ODEPLAN por concepto de ocupación de mano de obra. En la evaluación de costos puede incorporarse también la reinversión en obras cuando éstas tienen una vida útil inferior al horizonte S.

CASOS DE ESTUDIO

La metodología anteriormente descrita fue utilizada en el estudio de regularización del río Cachapoal en el tramo comprendido entre Rancagua y Doñihue, y del estero Lampa en el sector Canoa Canal El Carmen a confluencia con el estero Colina. Ambos casos presentan características particulares y distintas entre sí lo cual permite realizar un análisis crítico de la metodología, contrastando los resultados que con ella se obtienen para sistemas fluviales y situaciones diferentes. Por la vía de estas aplicaciones también se pone de relieve los requerimientos de información que tiene la metodología.

Caso del Río Cachapoal.

- Características generales del tramo estudiado y problemas de inundación.

El tramo que abarca el estudio se encuentra comprendido entre la ciudad de Rancagua y el pueblo de Doñihue (Fig. 1). En este sector el río presenta las características típicas de los ríos del Valle Central, cuyos cauces son amplios, inestables y con una configuración trezada debido a la sedimentación producida a la salida de la zona cordillerana y precordillerana andina. La capacidad de arrastre de sedimentos es relativamente baja salvo en épocas de crecidas en que dicha capacidad aumenta en forma significativa lo cual da origen a problemas de divagación, socavación de riberas, ataque a obras hidráulicas y desbordes.

En el tramo estudiado, las zonas inundables son principalmente agrícolas pero también existen múltiples construcciones agro-industriales, redes viales, eléctricas y de comunicaciones en general. Los sectores donde los problemas de inundación revisten un carácter más serio y por lo mismo requieren de la construcción de obras de defensa son tres:

(1) Rancagua-Punta Cortés; (2) Santa Cristina-Rincón de California, y (3) Sector Puente Coinco frente a Doñihue.

- Características hidrológicas, hidráulicas y mecánico-fluviales, y zonas de inundación.

Los caudales máximos que condicionan los problemas de inundaciones en el tramo de estudio son aquellos asociados a crecidas de origen pluvial. En la Tabla 1 se resumen las principales características hidrológicas que tienen interés para el estudio:

TABLA 1.
Principales características hidrológicas del Río Cachapoal en Rancagua y Doñihue

CUENCA	AREA APORTE (Km ²)			PRECIPITACION MEDIA ANUAL* (mm)	CAUDALES MAXIMOS* (m ³ /s)		
	TOTAL	PLUVIAL			T=10	T=100	T=500
		2.000 msnm	2.500 msnm				
Rancagua	3259	1085	1536	762	1100	1600	1870
Doñihue	4214	1920	2443	647	1500	2100	2350

* Corresponde a la isoterma 0°C situada a la cota 2.000 msnm.

Los ejes hidráulicos calculados demuestran que los niveles de las aguas son poco sensibles al período de retorno de la crecida y en consecuencia, también lo son las áreas de inundación. Por tal motivo, en orden a hacer un análisis comparativo para distintas condiciones de escurrimiento en este caso resulta justificable elegir períodos de retorno suficientemente diferentes. Dicha diferencia hace posible distinguir más fácilmente las áreas inundadas así como los daños asociados y los requerimientos de obras de defensa. En la Tabla 2 se presenta una síntesis de los resultados obtenidos.

El comportamiento mecánico fluvial del río Cachapoal en el tramo en estudio se caracteriza por tasas potenciales de arrastre significativamente variables de sección en sección lo que determina tendencias marcadas de socavación y depositación localizada. El material de arrastre es grueso y de granulometría extendida. La información básica a este respecto aparece consignada en la Tabla 3.

TABLA 2.

Áreas de inundación, daños y obras de defensa requeridas por sectores

AREAS, DAÑOS Y OBRAS REQUERIDAS		SECTOR								
		RANCAG. - PTA. CORTES			STA. CRISTINA-R. CALIF.			PTE. COINCO		
		T=10	T=100	T=500	T=10	T=100	T=500	T=10	T=100	T=500
Áreas Inundación	(há)	230	286	558	92	110	243	17	18	24
Bosques	(há)	5	8	23	16	18	29	-	-	-
Frutales	(há)	34	43	168	10	12	46	4	4	5
Cultivos	(há)	38	55	116	6	9	57	-	-	-
Arbustivos	(há)	16	17	19	-	-	-	2	3	3
Camino Interub.	(m)	1160	1300	7930	1700	2000	2400	500	500	500
Camino Rurales	(m)	600	650	3850	1350	2900	4250	-	-	-
Calles	(m)	810	1100	2300	-	-	-	-	-	-
Postaciones	(m)	1310	1450	2650	1500	2150	2900	-	-	-
Canales	(m)	5230	6770	14300	9800	10400	13100	230	260	300
Construcciones	(u)	220	245	423	57	101	170	-	-	-
Obras de defensa	(m)	7180	7950	9590	2100	2250	2400	40	440	720

TABLA 3.

Características Hidráulico-Fluviales del Río Cachapoal

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	CAPACIDAD DE ARRASTRE (ton/día) 10 ³								
	RANCAG.-P.CORTES			STA. CRISTI-R.CAL.			PTE. COINCO		
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX
10	37	87	131	36	116	180	57	104	139
100	62	124	180	72	157	237	52	132	189
500	69	146	198	85	177	256	41	141	215

D₅₀ = 49 mm

D_G = 27 mm

σ_g = 6.6

- Obras de defensa fluvial analizadas.

Las características que presenta el cauce (amplitud, inestabilidad, tendencia al ataque de riberas, etc.) así como la disponibilidad de material de tamaño adecuado y la existencia de canteras cercanas, condujo a la conclusión que las obras técnica y económicamente recomendables de construir en el tramo del río estudiado, son defensas longitudinales estructuradas con enrocados y gaviones protegidos con hormigón proyectado (Shotcrete). De acuerdo con el estudio hidráulico y de inundaciones efectuado se requieren 6 obras en la ribera norte y 3 en la ribera sur en el sector Rancagua-Punta Cortés, 2 obras en la ribera norte en el sector Santa Cristina-Rincón de California y, 1 obra en la ribera norte y 2 la ribera sur del sector Punta Coinco.

- Evaluación económica y selección de la solución óptima.

La evaluación de costos se hizo sobre la base de cuantificar volúmenes de obra (enrocados y gaviones) y precios unitarios. Para los muros de enrocado se consideró: excavación de fundaciones, construcción de terraplenes, explotación de cantera, transporte y colocación de enrocados, y suministro y colocación de geotextil. Además se supuso como costo de mantención 1.5% del valor total. En el caso de gaviones se incluyó: excavación de fundaciones, suministro de gaviones y alambre de amarre, mano de obra y revestimiento de Shotcrete y costo de mantención igual al 5% del costo total. Además se consideró que la vida útil de las obras era 15 años. (los costos de mantención son anuales).

La evaluación de beneficios se realizó considerando sólo daños directos; no se incluyó daños indirectos ni intangibles por la carencia de información al respecto y porque el objetivo central del análisis fue seleccionar la alternativa que comparativamente es más rentable, si bien al introducir esta simplificación la rentabilidad de los proyectos es subestimada. Los beneficios esperados se evaluaron mediante la generación de 50 series sintéticas de caudales, considerando un horizonte de evaluación de 30 años y una tasa de actualización de 12%. En la Tabla 4 se resumen los resultados obtenidos y en la Fig. 2 aparece graficada la curva de BNA en función del periodo de retorno, de donde se concluye que la solución óptima es la de enrocados, diseñados para un período de retorno entre 100 a 200 años cuyo BNA es cercano a \$800 millones.

TABLA 4.

Beneficios y costos actualizados (millones \$ Julio de 1987)

T (AÑOS)	TIPO DE SOLUCION					
	ENROCADOS			GAVIONES		
	BENEF	COSTOS	BNA	BENEF	COSTOS	BNA
10	794	422	414	908	468	440
100	1290	499	791	1291	590	701
500	1298	714	584	1300	762	538

Caso del Estero Lampa

- Características generales del tramo estudiado y problemas de inundación.

El tramo que abarca el estudio comprende las secciones del estero Lampa ubicadas entre el cruce de la canoa del Canal El Carmen (Cerrillos) y la confluencia con el estero Colina (Fig. 3). El estero Lampa es el principal cauce de drenaje del sector norte de Santiago y el más importante afluente del río Mapocho. En el tramo analizado, el cauce se presenta con un lecho arenoso y con secciones amplias e indefinidas, conformado por una serie de canales pequeños que son continuamente rebasados por crecidas de mediana y gran magnitud. Esta configuración morfológica se debe a la geomorfología local de la cuenca cuyos rasgos principales son conos aluviales que coalescen frecuentemente lo cual da origen a una zona depresionaria, de muy baja pendiente y muy mal drenaje de las aguas. Los continuos rebases del cauce en este sector se han repetido históricamente en varias oportunidades, pero en el último tiempo han adquirido más importancia por la mayor recurrencia de eventos hidrológicos extremos y por el aumento de los asentamientos humanos. Las áreas inundables por el estero Lampa son bastantes extensas y principalmente agrícolas aunque existen también construcciones y obras de infraestructura vial y de riego que es preciso considerar en el análisis (canales y pozos).

- Características hidrológicas, hidráulicas y mecánico-fluviales, y zonas de inundación.

La cuenca hidrográfica del estero Lampa cuya área receptora de aguas lluvias es de 771 km² y tiene una altitud media 700 msnm, consta de una red de drenaje constituida por diversos esteros entre los cuales destacan los esteros Runge y Tiltill por el norponiente y poniente, respectivamente, y los esteros Chacabuco

y Peldehue por el nororiente y oriente, respectivamente. En la cuenca se encuentran localizados dos embalses de riego, Rungue y Huechún, que actúan como elementos de regulación de las crecidas de los esteros del mismo nombre. Los caudales máximos que caracterizan las crecidas del estero Lampa en el sector en estudio son los que se indican en la Tabla 5.

TABLA 5.
Caudales máximos del Estero Lampa en confluencia con Estero Colina

PERIODO RETORNO (Años)	5	10	50	100	200
CAUDAL (m^3/s)	410	560	860	1000	1190

El cálculo de ejes hidráulicos, análogamente a lo ocurrido para la aplicación anterior, demuestra que los niveles de agua y las áreas de inundación son poco sensibles al período de retorno de la crecida. Sin embargo, en este caso, las áreas de inundación resultan extremadamente extensas dejando en evidencia la falta de encauzamiento que caracteriza al estero Lampa en este sector. En la Tabla 6 se consigna la información referente a áreas de inundación y daños asociados.

TABLA 6.
Áreas de inundación y daños.

AREAS Y DAÑOS	PERIODO DE RETORNO (Años)	PERIODO DE RETORNO (Años)		
		5	50	200
Area (há)		548	814	1007
Area s/ tipo suelo:				
Area riego (há)		26	71	100
Area secano arable (há)		77	151	211
Area secano no arable (há)		118	264	369
Lecho río (há)		328	328	328
Area s/ cultivo:				
Hortícolas y forrajeros (há)		224	358	536
Arbustos y pastos (há)		323	456	471
Infraestructura física:				
Construcciones (u)		13	22	30
Postaciones (m)		1000	1900	2000
Camino (m)		1600	2950	3400
Canales (m)		800	1200	1500
Pozos (u)		5	7	10

En cuanto a las características mecánico-fluviales del estero, es necesario mencionar que se trata de un cauce arenoso de $D_{50} = 0.35$ mm, $D_g = 0.34$ mm y $v_g = 1.6$ cuyas tasas de arrastre de material tienen los valores medios y extremos consignados en la Tabla 7.

TABLA 7.
Gasto sólido afluente al tramo en estudio ($ton/día \times 10^3$)

PERIODO DE RETORNO (Años)	GASTO SOLIDO ($Ton/día \times 10^3$)		
	MINIMO	MEDIO	MAXIMO
5	3	10	33
10	5	12	39
50	7	16	44
100	9	17	44
200	11	21	44

- Obras de defensa fluvial analizadas.

Las obras de defensa estudiadas consisten en una semi canalización mediante rebaje de fondo y apretillamiento de las riberas protegida con enrocados (en este caso la solución de gaviones fue descartada a partir de un preestudio de alternativas) la cual sigue aproximadamente el recorrido del brazo principal actual sin modificar una curva existente aguas abajo del cauce con el canal El Carmen (Cerrillos). Se desecharon otras alternativas por tener varios inconvenientes entre los cuales cabe destacar la ocupación de terrenos agrícolas actualmente en explotación y las condiciones hidráulicas desfavorables en la zona de la confluencia con el estero Colina. La pendiente de la canalización (1.5%) se definió sobre la base de dar a ésta una capacidad de arrastre similar a la del flujo afluente y considerando una revancha suficiente en la confluencia con el estero Colina. El ancho de sección se consideró como parámetro del análisis económico.

- Evaluación económica y selección de la solución óptima.

Las componentes básicas del costo total del proyecto son los costos de inversión en obras requeridas, el costo anual de mantenimiento (1.5% del costo total) y el costo de los terrenos a ocupar por la semicanalización. Los volúmenes y precios unitarios de obra incluyen los siguientes ítems principales: excavación (rebaje de fondo, fundaciones), transporte de excedentes, relleno, enrocado y geotextil. Los costos se evaluaron para anchos de sección de

60, 80, 100, 200 y 300 m, y períodos de retorno de 5, 50 y 200 años. La evaluación de beneficios se realizó al igual que en el caso del río Cachapoal, considerando sólo los daños directos: deterioro de suelos, pérdidas de cosechas y pérdidas o daño en la infraestructura física existente. También se consideró la revalorización y recuperación de terrenos. Los beneficios esperados fueron calculados considerando 50 series sintéticas de caudales, un horizonte de 30 años y una tasa de descuento de 10%. En la Tabla 8 se incluye la información sobre costos y beneficios actualizados, éstos últimos evaluados para dos áreas de cultivos potencialmente dañables: una máxima y otra mínima. Los resultados presentados, que aparecen también graficados en la Fig. 4, revelan que la solución óptima en esta aplicación corresponde a un ancho de canalización de 100 m y períodos de retorno de alrededor de 50 años. Anchos de sección inferiores a 80 m y superiores a 200 m no arrojan beneficios netos para ningún período de retorno y ninguna solución da BNA positivos por $T \leq 5$ años.

TABLA 8.
Beneficios y costos actualizados
(millones \$ Julio 1987)

ANCHO SECCION (m)	T = 5 AÑOS						T = 50 AÑOS						T = 200 AÑOS					
	Beneficios		Costos	BNA		Beneficios		Costos	BNA		Beneficios		Costo	BNA				
	MIN	MAX		MIN	MAX	MIN	MAX		MIN	MAX	MIN	MAX		MIN	MAX			
60	126	140	268	-	-	372	415	527	-	-	415	466	718	-	-			
80	123	135	211	-	-	367	410	403	-	-	412	458	530	-	-			
100	118	130	164	-	-	356	399	314	42	85	398	447	442	-	5			
200	113	129	330	-	-	341	384	357	-	27	381	430	376	-	54			
300	111	127	585	-	-	331	375	598	-	-	370	417	611	-	-			

ANÁLISIS COMPARATIVO

Los casos de estudio permiten ilustrar la forma cómo se aplica la metodología de evaluación técnico-económica de proyectos de defensas fluviales propuesta, en particular, los estudios básicos que es preciso realizar, la información hidrológica, hidráulica y mecánico-fluvial sobre la cual se fundamenta el diseño de las obras, las consideraciones necesarias de hacer para plantear y seleccionar soluciones alternativas, los antecedentes de tipo económico que se requieren y los resultados que se obtienen.

En cuanto al análisis propiamente técnico de los proyectos, lo más relevante es quizás lo que concierne a los antecedentes y caracterización hidráulico-fluvial requerida, y la relación de ésta con las soluciones a adoptar. En el caso del río Cachapoal, cuyo cauce es inestable, divagante y con gran capacidad de arrastre durante crecidas, se adoptó como solución la construcción de muros longitudinales de conglomerado fluvial protegidos con enrocados o gaviones identificando los sectores de desborde, y las zonas de embanque y socavación probable; dichos muros siguen el trazado y mantienen aproximadamente el ancho natural del cauce. En el caso del estero Lampa, cuyo cauce es arenoso e indefinido en el sector en estudio, fue preciso analizar diferentes alternativas de trazado, pendiente de fondo y secciones, formadas mediante rebaje del lecho y apretillamiento protegido con enrocados; estas últimas quedaron definidas finalmente a partir del análisis económico de las soluciones una vez que se las compatibilizó con los gastos sólidos de arrastre afluentes a la canalización en proyecto. Todo lo anterior pone de relieve la necesidad de analizar cuidadosamente y en profundidad las características propias de cada cauce, considerando todos los aspectos del problema y muy especialmente aquellos de carácter mecánico fluvial, cuando se estudian soluciones de defensa para evitar desbordes e inundaciones. No obstante, subsiste un alto grado de incertidumbre al tener que basar estos estudios solamente en métodos teóricos sin disponer de antecedentes ni mediciones sistemáticas sobre el comportamiento hidráulico-fluvial de nuestros ríos.

Por otro lado, el análisis económico del proyecto, que requiere cuantificar costos y beneficios (daños), es también incierto por cuanto se dispone de escasa o nula información acerca de daños por inundaciones. Ello obliga a realizar ciertas simplificaciones en el análisis que por lo general conducen a una subestimación de la rentabilidad de los proyectos. Sin embargo, esto puede ser suplido parcialmente realizando análisis de sensibilidad para las variables más difíciles de evaluar. El principal mérito de la metodología, no obstante las limitaciones señaladas, reside en que permite definir las condiciones de diseño y rentabilidad óptima de estos proyectos dentro de un marco de evaluación social que considera en forma explícita una realidad insoslayable, cual es que el inversionista principal es el Estado y el beneficiado, la comunidad. De los resultados presentados, se concluye que en general no parece posible definir a priori condiciones de diseño (período de retorno) ya

que éstas varían de acuerdo a las características propias del río y del proyecto a implementar. En el caso del río Cachapoal el período de retorno de diseño resultó comprendido entre 100 y 200 años, y para el estero Lampa dicho período resultó cercano a 50 años.

CONCLUSIONES

- Las aplicaciones a dos casos de estudio de la metodología propuesta por Ayala et. al. (1986) ilustran la forma en que debe realizarse la evaluación técnico-económica de proyectos de defensa fluvial dentro de un marco de evaluación social de proyectos.
- Los casos de estudio (río Cachapoal y estero Lampa) presentan diferencias significativas en cuanto a características hidráulicas y mecánico-fluviales de los cauces, y a las soluciones técnicas adoptadas para resolver problemas de desborde e inundaciones. Ello permite enfatizar los aspectos más importantes de la metodología y las consideraciones que deben hacerse para abordar estos proyectos, teniendo especialmente presente la carencia de información existente acerca del comportamiento hidráulico de nuestros ríos y de los daños y consecuencias de las inundaciones.
- Los resultados de las aplicaciones realizadas demuestran que no parece posible definir a priori las condiciones de diseño de estos proyectos, ya que ellas dependen de la situación particular analizada.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar sus reconocimientos al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile que financió el proyecto y al Departamento de Obras Fluviales del M.O.P. que facilitó parte de la información básica utilizada en el estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ayala R., L., Ayala R., J.C. y Cisneros M., R. (1986). Metodología para el Estudio y Evaluación Económica de Proyectos de Defensa Fluvial. Aplicación al Río Cachapoal entre Rancagua y Doñihue, Centro de Recursos Hidráulicos-

Departamento de Ingeniería Civil- Universidad de Chile, Pub. CRH 86-35-I.

Ayala R., L. y González G., D. (1987). Estudio de Factibilidad Técnico-Económico de regularización del Estero Lampa. Sector Canoa Canal El Carmen a confluencia con Estero Colina-Centro de Recursos Hidráulicos- Departamento de Ingeniería Civil-Universidad de Chile, Pub. CRH 87-41-I.

