

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

XIX CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE DISTINTOS ESCENARIOS DE REGISTRO HISTÓRICO EN LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE CRECIDA. APLICACIÓN A OBRAS HIDRÁULICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MAULE

CLAUDIO ARIAS R.¹
XIMENA VARGAS M.²
RICARDO GONZÁLEZ V.³
ARTURO JORQUERA A.⁴

RESUMEN

Las obras hidráulicas diseñadas con una cierta seguridad hidrológica, quedan determinadas en gran medida por la disponibilidad y calidad de la información hidrológica de la zona de interés.

El presente trabajo consiste en detectar la variabilidad que puede llegar a existir en las estimaciones de caudales máximos instantáneos asociados a períodos de retorno preestablecidos, en función de la longitud y temporalidad de los registros. Para ello, se recopilaron antecedentes sobre el diseño de seis obras hidráulicas de la cuenca alta del río Maule.

Los resultados indican un comportamiento generalizado en las crecidas de origen pluvial, observándose para el mismo período de retorno, un aumento sistemático en la magnitud de los caudales estimados, a medida que se utiliza un período del registro histórico actualizado más corto. Si bien en las crecidas de origen nival no se detectó el mismo comportamiento para todas las cuencas analizadas, los caudales máximos instantáneos de períodos de retorno altos tienden a disminuir a medida que se utilizan sólo los últimos años de la estadística hidrológica, aunque de forma más atenuada.

¹ Ingeniero Especialidad Hidráulica, ENDESA – mail: csar@endesa.cl

² Profesor Asociado, Universidad de Chile – mail: xvargas@ing.uchile.cl

³ Ingeniero Especialidad Hidráulica, ENDESA – mail: rjgv@endesa.cl

⁴ Jefe de Especialidad Hidráulica, ENDESA – mail: aja@endesa.cl

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de las obras de seguridad de bocatomas y presas de embalses, se realiza típicamente a partir de las estimaciones de caudales de crecida asociados a diversos períodos de retorno, los que se obtienen mediante de un análisis de frecuencia utilizando registros hidrológicos.

El supuesto implícito de este análisis, es que las variables hidrológicas quedarán representadas en forma adecuada, si se utiliza una serie histórica de longitud suficiente y que permita considerar que dicha serie será además extrapolable a las condiciones futuras esperadas durante la vida útil de la obra. Sin embargo, en muchos casos donde existen registros hidrológicos de gran extensión, se ha observado la existencia de tendencias que pueden modificar en forma importante, los principales parámetros estadísticos de una muestra.

Teniendo en cuenta que en la actualidad se dispone de un registro hidrológico más extenso, resulta interesante analizar cómo cambian las estimaciones de los caudales de diseño para distintas obras hidráulicas ubicadas en la cuenca del río Maule, según el manejo de la información estadística. Esto quiere decir, considerando el impacto que tiene la longitud y temporalidad de los registros hidrológicos. De acuerdo a lo anterior, se establecerán escenarios donde se utilizan los últimos 30, 40, 50, 60 y hasta 70 años (según la información disponible), que son períodos utilizados frecuentemente para la estimación de los caudales de diseño en las obras de seguridad de presas y bocatomas.

Las obras a analizar, de acuerdo a la información disponible, serán las siguientes:

- Presa de laguna del Maule
- Presa de laguna Invernada
- Bocatoma Maule de central hidroeléctrica Isla
- Bocatoma Maule de central hidroeléctrica Pehuenche
- Presa del embalse Melado
- Presa de la presa del embalse Colbún

2. INFORMACIÓN UTILIZADA

La cuenca del Maule Alto posee una de las redes de registros hidrográficos más completas del país, debido al temprano interés en el aprovechamiento de los recursos hídricos de esta zona. Para este estudio, se privilegió el uso de estaciones fluviométricas, las que en general superan los 50 años de registros. La Tabla 2.1 muestra una lista con las estaciones fluviométricas utilizadas en el presente trabajo.

Por otra parte, la estimación de caudales máximos instantáneos (Q_{mi}) en algunas cuencas nivales sin información fluviométrica, se realizó a partir de un análisis regional que relaciona las producciones específicas (Q/A), con las áreas de deshielo aportantes, en cuencas de similares características a las analizadas en este estudio. Las estaciones fluviométricas utilizadas para la realización de este análisis regional, se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.1. Estaciones fluviométricas utilizadas.

Estación	Nombre	UTM Norte (*) (m)	UTM Este (*) (m)
1	Río Maule en desagüe laguna del Maule	6.013.297	359.684
2	Río Maule en Los Baños	6.034.242	340.750
3	Río Cipreses en desagüe laguna Invernada	6.043.273	339.030
4	Río Maule bajo bocatoma Maule C. Pehuenche	6.039.030	318.833
5	Canal aducción Maule C. Pehuenche	6.036.454	319.489
6	Río Melado en Zona de Presa	6.040.905	311.158
7	Río Melado en La Lancha	6.030.342	313.164
8	Río Melado en El Salto	6.026.641	317.531
9	Río Guaiquivilo en Guaiquivilo	5.995.460	325.902
10	Río Claro en San Carlos	6.047.103	312.659
11	Río Maule en Armerillo	6.046.394	308.400
12	Río Maule en Colbún	6.050.336	287.144

(*) Las coordenadas se muestran en UTM (*Universal Transversal de Mercator*), Huso 19 (72°W-66°W Hemisferio Sur), Datum Sudamericano 1969.

Tabla 2.2. Estaciones fluviométricas utilizadas en análisis regional para crecidas de origen nival.

Estación	Nombre	Área* (km ²)
1	Melado en La Lancha	1.567
2	Cuenca intermedia entre Des. de Lag. del Maule y Maule en Los Baños	774
3	Guaiquivilo en Guaiquivilo	874
4	Puelche en Junta con Maule	280
5	Claro en San Carlos	264
6	Campanario en Junta con Maule	134
7	Vallecito en Embalse Vega Larga (**)	62
8	Quemazones en Captación (**)	52
9	Quebrada El Toro en Junta con Laja (**)	15

(*) Área nival considerando una línea de nieves ubicada a 1.700 msnm.

(**) Pertencientes a la cuenca del Alto Pocura, VIII Región del Biobío.

3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE Y METODOLOGÍA UTILIZADA

Para observar la variabilidad que puede llegar a existir en la estimación de Q_{mi} en un mismo punto, dependiendo del manejo de los registros hidrológicos, se han construido series de Q_{mi} pluviales, nivales y anuales, según corresponda.

Se analizarán las cuencas afluentes a seis obras hidráulicas de importancia. Estas cuencas pueden agruparse de acuerdo al origen de las crecidas que definen la condición más crítica para su diseño, así como también se indica el período de tiempo analizado (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Clasificación de las cuencas afluentes a las obras hidráulicas según origen de las crecidas y escenarios analizados en cada caso.

Origen de crecidas	Obra hidráulica	Cód (*)	Est (**)	Período analizado				
				U30	U40	U50	U60	U69
				1980/81 - 2009/10	1970/71 - 2009/10	1960/61 - 2009/10	1950/51 - 2009/10	1941/42 - 2009/10
Pluvial	Presa E. Melado	MZP	6, 7, 8	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Presa E. Colbún	COL	11, 12	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Nivo-Pluvial	B. Maule de C. Isla	BTMCI	2	Sí	Sí	Sí	-	-
	B. Maule de C. Pehuenche	MBTP	4, 5	Sí	Sí	Sí	-	-
Nival	Presa laguna del Maule	AFLM	1, Análisis regional	Sí	Sí	Sí	-	-
	Presa laguna Invernada	AFLI	3, Análisis regional	Sí	Sí	Sí	-	-

(*) Nomenclatura usada para identificar las secciones donde se ubican las obras hidráulicas.

(**) Estaciones de la Tabla 2.1 utilizadas para formar las series de tiempo de caudales afluentes a las obras hidráulicas analizadas.

3.1 CUENCAS CON CRECIDAS DE ORIGEN PLUVIAL

En las cuencas donde predominan las crecidas de origen pluvial, la serie de Qmi anuales es casi idéntica a la serie de Qmi pluviales, salvo en años demasiado secos. Por esta razón, se han completado las series de Qmi anuales en las secciones de Melado en zona de presa (MZP) y presa del embalse Colbún (COL), tal como se muestra en la Figuras 3.1 y 3.2. En estas series se incluyó el promedio móvil de período 10 y 30 años, lo que permite disminuir la dispersión de los datos. En efecto, es posible apreciar las tendencias que incrementan los promedios móviles de Qmi al utilizar información de años más recientes.

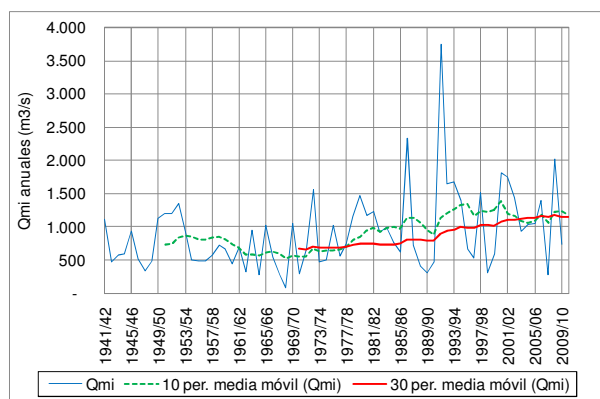


Figura 3.1. Serie de Qmi anuales en MZP. Período 1941/42 - 2009/10

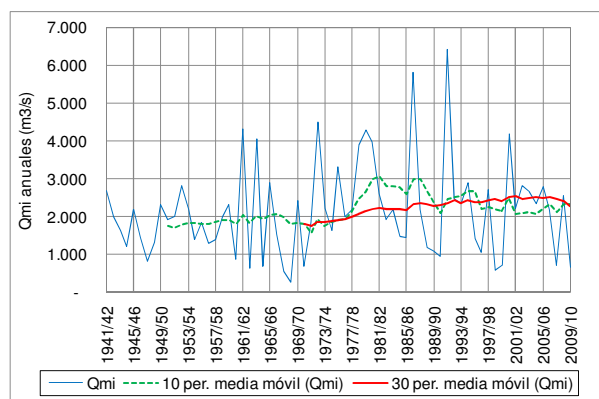


Figura 3.2. Serie de Qmi anuales en COL. Período 1941/42 - 2009/10

3.2 CUENCAS CON CRECIDAS DE ORIGEN NIVO-PLUVIAL

Los Qmi anuales afluentes a las bocatomas de las centrales Isla y Pehuenche, se alternan entre aquellos de origen pluvial y nival. Por esto motivo, se estudiaron por separado las series correspondientes a Qmi pluviales y Qmi de deshielo, en las secciones de la bocatoma Maule de

central Isla (BTMCI) (ver Figuras 3.3 y 3.4), y en Maule en bocatoma Pehuenche (MBTP) (ver Figuras 3.5 y 3.6).

En las series de Qmi mencionados anteriormente, se aprecian claras tendencias al alza de los valores de origen pluvial a medida que se calculan promedios con años más recientes, tanto en BTMCI como en MBTP (Figura 3.3 y Figura 3.5). Por el contrario, en las series de Qmi de origen nival para las mismas secciones, no se detectan tendencias considerables (Figura 3.4 y Figura 3.6, respectivamente).

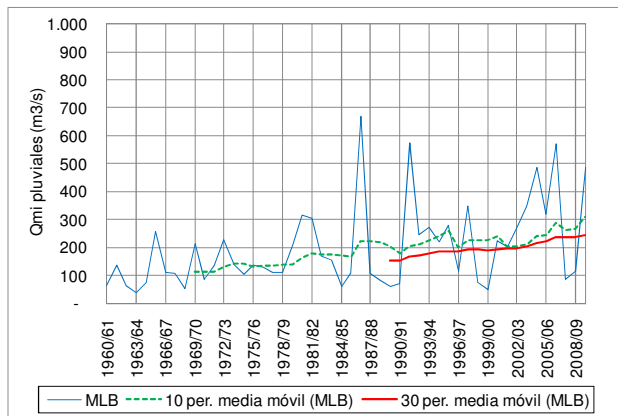


Figura 3.3. Serie de Qmi pluviales en BTMCI. Período 1960/61 - 2009/10

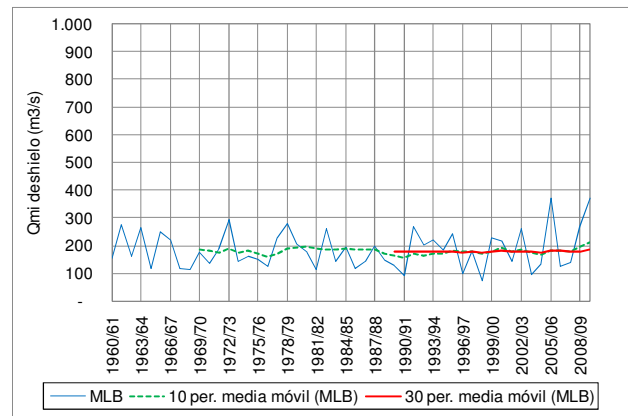


Figura 3.4. Serie de Qmi deshielo en BTMCI. Período 1960/61 - 2009/10

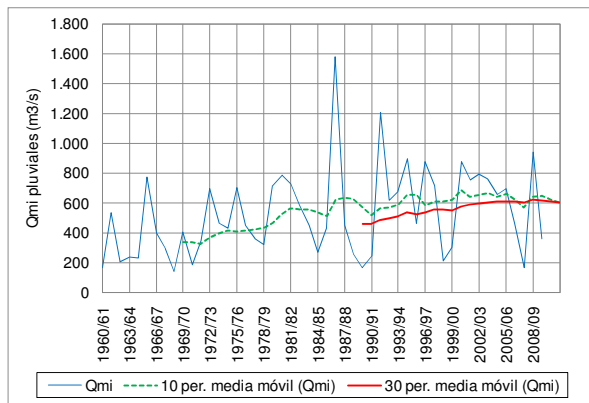


Figura 3.5. Serie de Qmi pluviales en MBTP. Período 1960/61 - 2009/10

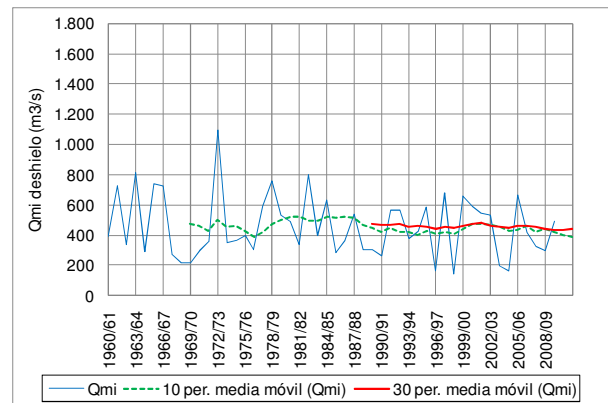


Figura 3.6. Serie de Qmi deshielo en MBTP. Período 1960/61 - 2009/10

3.3 CUENCAS CON CRECIDAS DE ORIGEN NIVAL

La inexistencia de estaciones fluviométricas en la parte alta de la cuenca del Maule, impide obtener en forma directa, series de Qmi en las secciones donde se ubican las presas de las laguna del Maule e Invernada. De acuerdo al marcado componente nival de las cuencas aportantes, se consideró un análisis regional que relaciona la producción específica ($P.E.=Q_T/A_c$) con el Área de la cuenca nival aportante (A_c). De esta forma, considerando series de Qmi anuales de origen nival o de deshielo, se realizaron estimaciones de los Qmi para períodos de retorno de 10 y 1.000 años mediante análisis de frecuencia, para cada una de las estaciones fluviométricas indicadas en la Tabla 2.2.

Posteriormente, se trazaron los puntos asociados a cada estación fluviométrica en un gráfico de P.E. versus A_c , para períodos de retorno de 10 y 1.000 años, lo que permite esquematizar tendencias. En particular, utilizando las áreas aportantes de las cuencas afluentes a las secciones donde se encuentran las presas de las lagunas del Maule e Invernada, es posible obtener una P.E. en función del tamaño de la superficie aportante, para los períodos de retorno de 10 y 1.000 años en los escenarios U30, U40 y U50 (ver Figuras 3.7, 3.8 y 3.9).

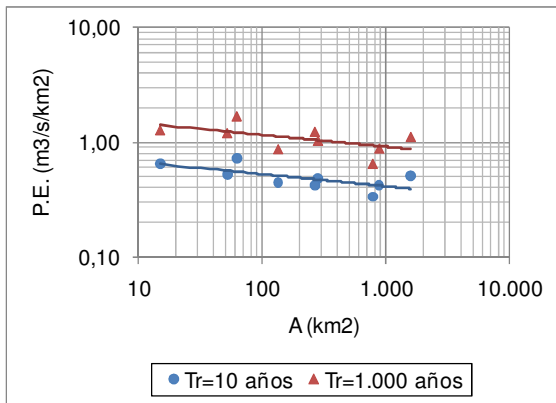


Figura 3.7. Relación entre P.E. y A aportante. Escenario U30.

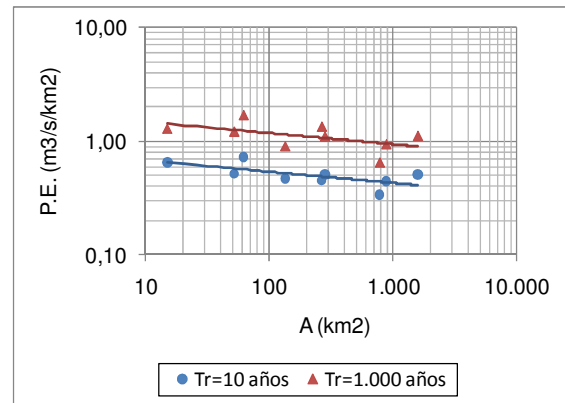


Figura 3.8. Relación entre P.E. y A aportante. Escenario U40.

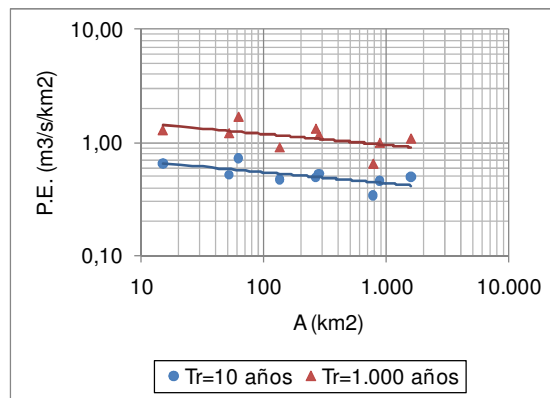


Figura 3.9. Relación entre P.E. y A aportante. Escenario U50.

Una vez que se tienen los Q_{mi} para de las crecidas de T igual a 10 y 1.000 años, se llevaron estos puntos a un papel de probabilidad Gumbel, y se obtuvieron así los Q_{mi} para otros períodos de retorno. Cabe señalar que esta función de distribución de probabilidad fue la que presentó un mayor grado de ajuste a los datos.

3.4 METODOLOGÍA UTILIZADA

Considerando las series de registros históricos, se procedió a estimar los Q_{mi} afluentes a las obras hidráulicas para distintos períodos de retorno. En efecto, se delimitaron las cuencas con el fin de obtener las superficies aportantes a las secciones donde se ubican las estaciones fluviométricas, así como también las asociadas a los puntos donde se ubican las obras analizadas. De esta manera, fue posible trasponer los caudales registrados en las estaciones, a los puntos de

interés. No fue necesario realizar trasposición de caudales en aquellos casos en que la estación pluviométrica se encontraba prácticamente en la misma sección donde se ubicaba la obra: MZP, COL y BTMCI (Maule en Los Baños). Posteriormente, utilizando las series de Q_{mi} , se realizaron las estimaciones para distintos períodos de retorno mediante análisis de frecuencia, ajustando los datos a funciones de densidad de probabilidad usadas típicamente en hidrología, y que han mostrado buenos resultados: Normal, Log-Normal, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III y Gumbel. Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios temporales definidos.

En el caso particular de las cuencas con crecidas de origen nival, la metodología utilizada para el desarrollo del análisis regional de estimación de crecidas, se ha descrito brevemente en el punto 3.3 de este artículo.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 RESULTADOS EN CUENCAS CON CRECIDAS DE ORIGEN PLUVIAL

Las máximas crecidas anuales afluentes a los embalses Melado y Colbún, son de origen pluvial. En efecto, la serie de Q_{mi} anuales coincide con la serie de Q_{mi} pluviales, salvo en años con inviernos particularmente secos. En las series de Q_{mi} de MZP y COL (ver Figuras 3.1 y 3.2), se observan dos caudales extremadamente altos, correspondientes a las crecidas registradas el 16 de junio de 1986, y el 28 de mayo de 1991.

En las Figuras 4.1 y 4.2 se presentan las estimaciones de los Q_{mi} afluentes a MZP y COL. Se aprecia que los Q_{mi} para un mismo período de retorno, crecen sistemáticamente al utilizar escenarios con una menor longitud del registro (años más recientes), pudiendo ordenarse de la siguiente manera: $U_{30} > U_{40} > U_{50} > U_{60} > U_{69}$. Se destaca el hecho de que estos resultados son consistentes con lo observado en las series de Q_{mi} anuales de MZP y COL (Figura 3.1 y Figura 3.2). En ambos casos, se incluyó en forma referencial la recta asociada al diseño original de la obra, en donde el caudal esperado para un período de retorno de 1.000 años, corresponde a $3.620 \text{ m}^3/\text{s}$ para la presa del embalse Melado (Harza, 1981), y a $8.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (ENDESA, 1969) la presa del embalse Colbún.

4.2 RESULTADOS EN CUENCAS CON CRECIDAS DE ORIGEN NIVO-PLUVIAL

Para el caso de las cuencas nivo-pluviales, se cuenta con los registros de Q_{mi} anuales afluentes a la bocatoma Maule de central Isla (BTMCI) y a Maule en bocatoma de central Pehuenche (MBTP). En estas series se alternan máximos de origen pluvial y de deshielo. Por tal razón, se realizaron análisis para ambas series por separado. De acuerdo a las curvas de probabilidad de excedencia para crecidas pluviales (Figuras 4.3 y 4.5), se puede establecer un orden decreciente entre los escenarios temporales: $BTMCI(U_{30}) > BTMCI(U_{40}) > BTMCI(U_{50})$; y $MBTP(U_{30}) > MBTP(U_{40}) > MBTP(U_{50})$. Esto coincide con la tendencia detectada en las series de Q_{mi} pluviales de estas secciones (Figura 3.3 y Figura 3.5).

Si bien los análisis de frecuencia de la crecidas de origen nival en BTMCI también indican un aumento de sus magnitudes a medida que disminuye la longitud del registro utilizado, $BTMCI(U_{30}) > BTMCI(U_{40}) > BTMCI(U_{50})$ (Figura 4.4), la diferencia entre los escenarios no

supera el 8%. Por el contrario, cuando se analizan las crecidas de origen nival afluentes a MBTP, se puede establecer un orden decreciente al utilizar sólo los últimos años con registro histórico: MBTP(U30) < MBTP(U40) < MBTP(U50) (Figura 4.6), aunque la variabilidad entre la magnitud de estas estimaciones es muy baja, lo que es consistente con lo observado en las series de Qmi de origen nival en estas secciones (Figura 3.4 y Figura 3.6).

4.3 RESULTADOS EN CUENCAS CON CRECIDAS DE ORIGEN NIVAL

En este acápite, se presentan los resultados obtenidos en cuencas con régimen hidrológico francamente nival. En las Figuras 4.7 y 4.8 se muestran los resultados de la estimación de Qmi para distintos períodos de retorno, en aquellas cuencas de origen nival cuyos caudales son afluentes a las presas de las lagunas del Maule e Invernada. Las tendencias obtenidas entregan valores levemente más bajos en los Qmi estimados a partir de una longitud más corta y más reciente, es decir, U30 < U40 < U50. Cabe señalar que los resultados presentados han sido obtenidos del análisis regional de crecidas, donde sólo se incluyeron estaciones ubicadas en cuencas nivales con al menos 50 años de longitud del registro.

4.4 RESUMEN DE RESULTADOS

La Tabla 4.1 muestra un resumen con la estimación de los Qmi de período de retorno de 1.000 años, para crecidas de origen pluvial afluentes a las obras estudiadas en el presente estudio, considerando los distintos escenarios de uso de la información histórica disponible. Además, se muestra sólo como referencia, el caudal de diseño con el que fue construida la obra, sin que éste sea necesariamente el caudal de período de retorno milenario o el definitivo para su construcción.

Tabla 4.1. Resumen Qmi (TR=1.000 años) afluente a OO.HH. Período pluvial (m³/s).

LUGAR	Q diseño	U30	U40	U50	U60	U69
BTMCI	1.500	1.230	1.090	1.020	-	-
MBTP	1.900	2.450	2.230	2.140	-	-
MZP	3.620	4.250	3.979	3.780	3.570	3.430
COL	8.500	10.260	9.940	9.880	9.130	8.690

En forma análoga, en la Tabla 4.2 se presenta un resumen con la estimación de los Qmi, para crecidas de origen nival o deshielo.

Tabla 4.2. Resumen Qmi (TR=1.000 años) afluente a OO.HH. Período nival (m³/s).

LUGAR	Q diseño	U30	U40	U50	U60	U69
AFLM	250	316	324	327	-	-
AFLI	400	743	654	773	-	-
BTCI	1.500	620	590	570	-	-
MBTP	1.900	1.440	1.550	1.580	-	-

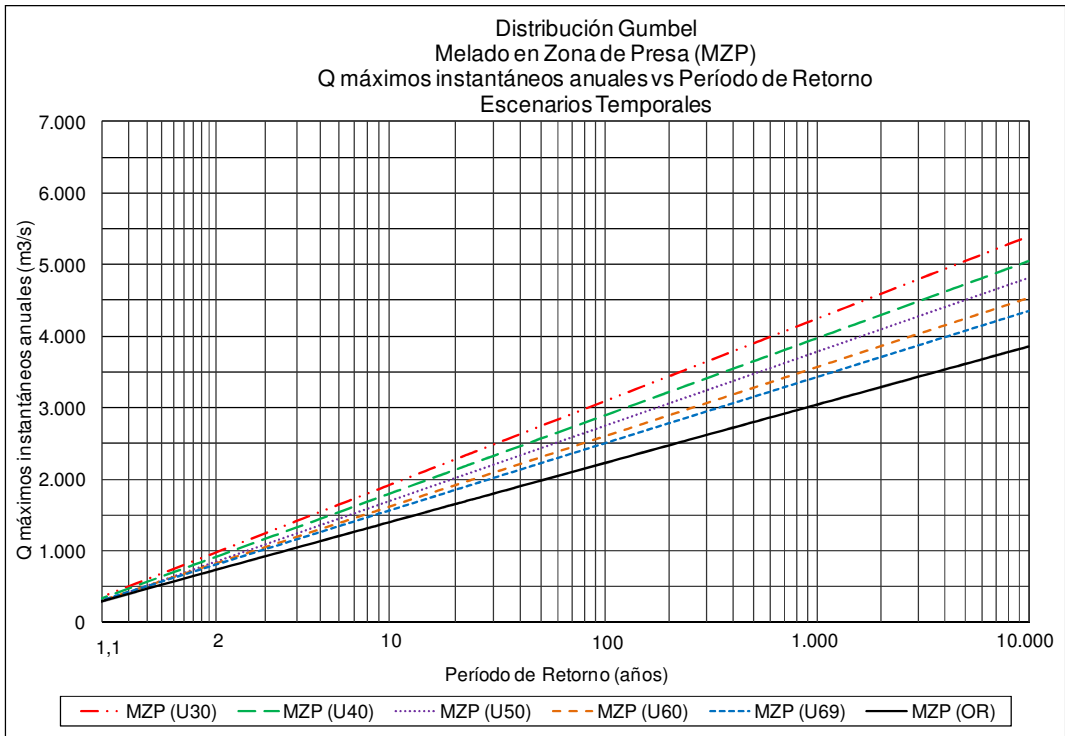


Figura 4.1. Curva de probabilidad de excedencia en MZP.

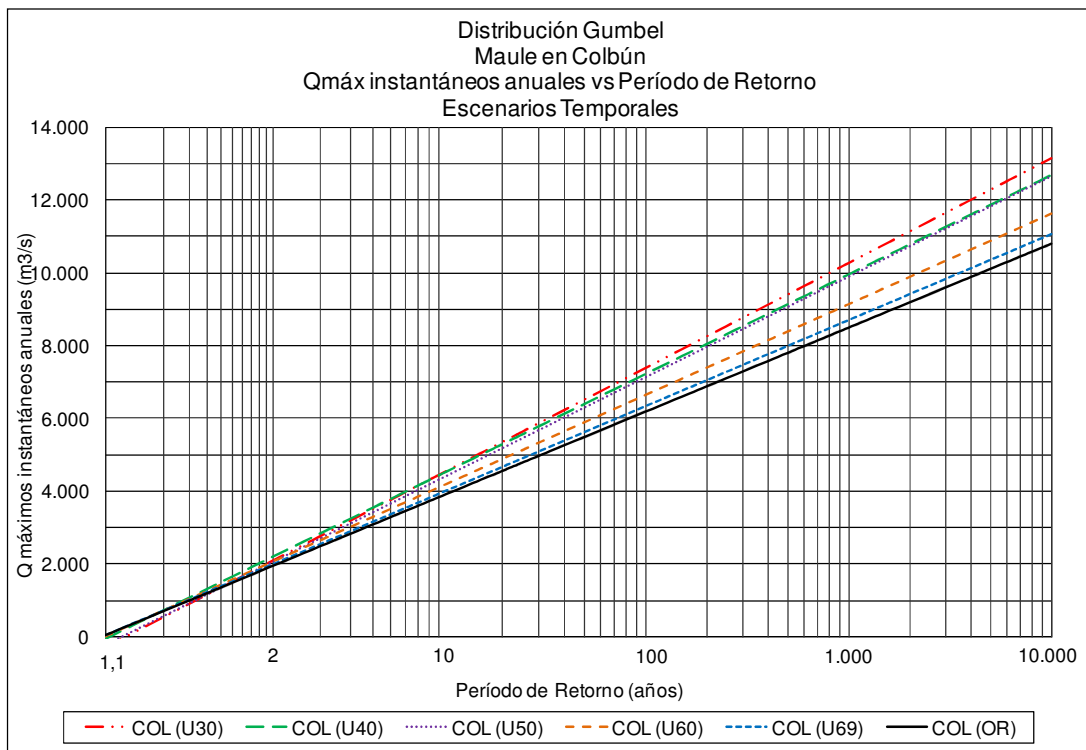


Figura 4.2. Curva de probabilidad de excedencia en COL.

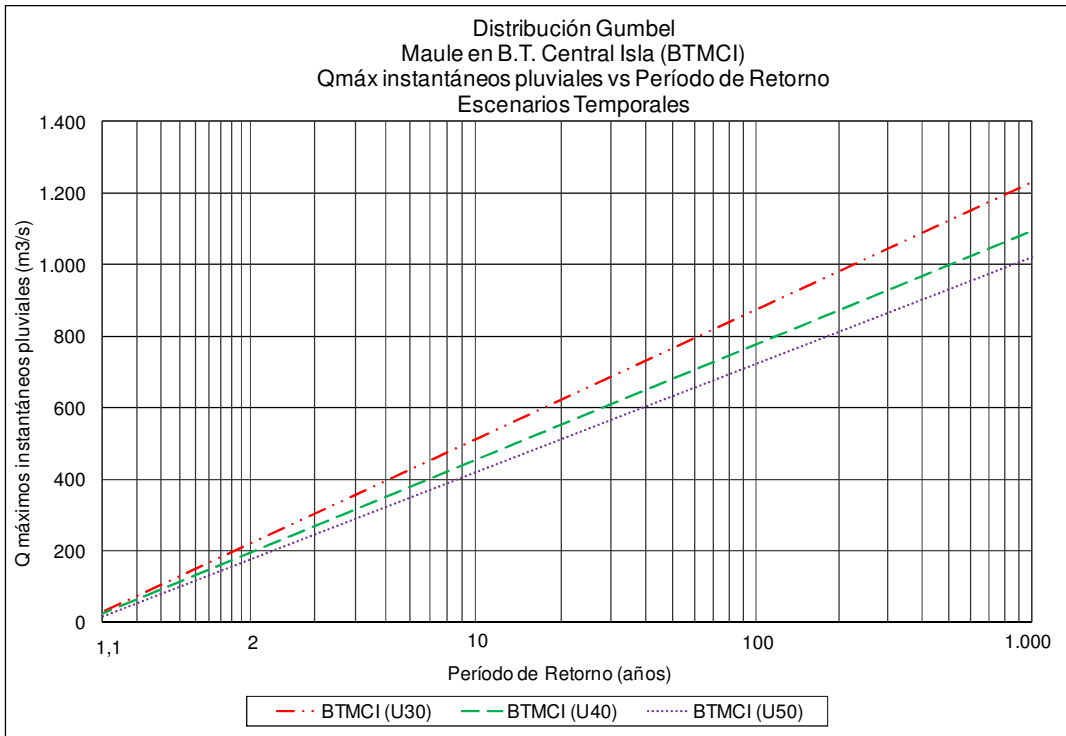


Figura 4.3. Curva de probabilidad de excedencia en BTMCI. Período pluvial.

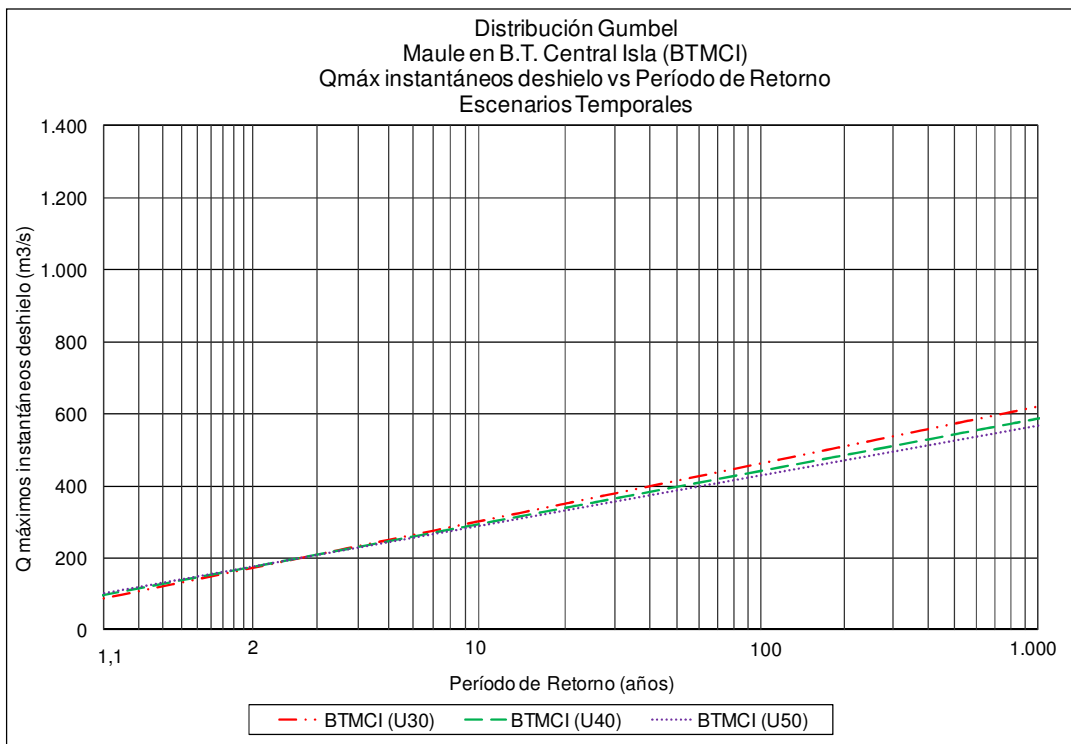


Figura 4.4. Curva de probabilidad de excedencia en BTMCI. Período de deshielo.

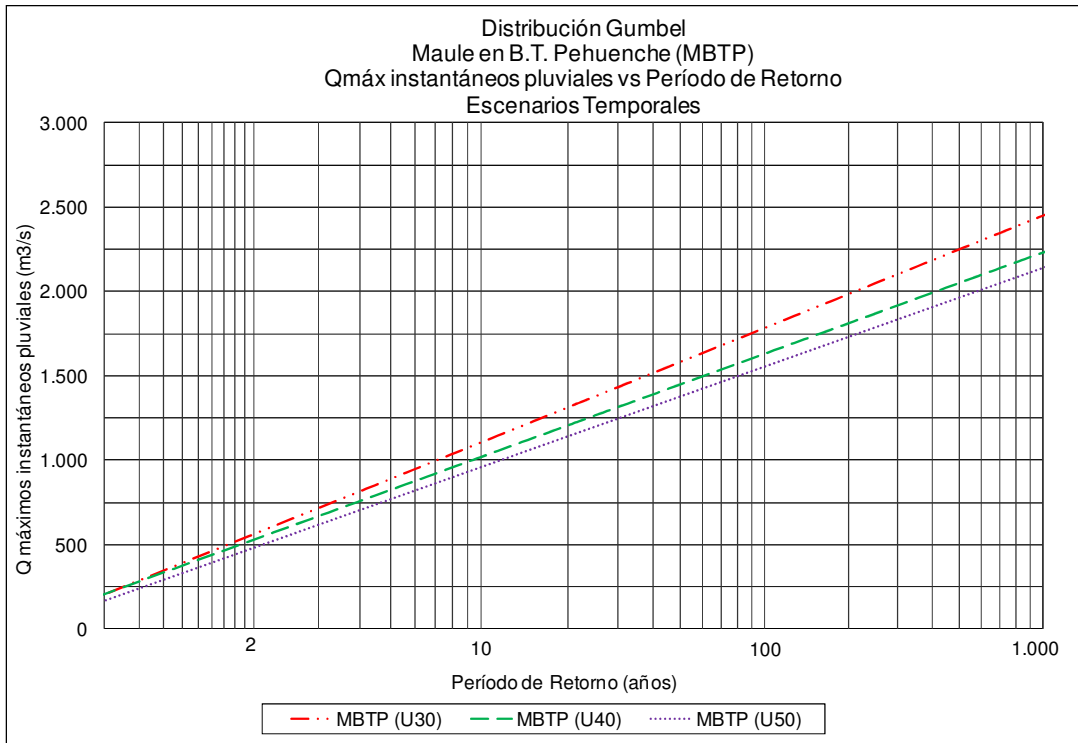


Figura 4.5. Curva de probabilidad de excedencia en MBTP. Período pluvial.

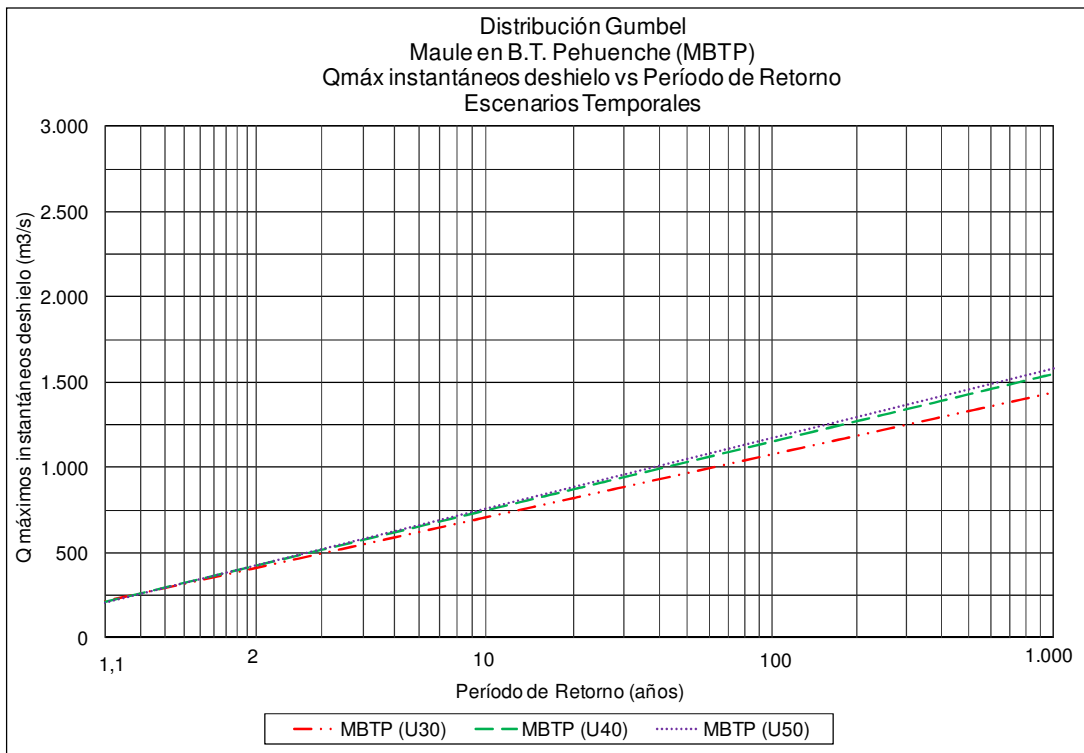


Figura 4.6. Curva de probabilidad de excedencia en MBTP. Período de deshielo.

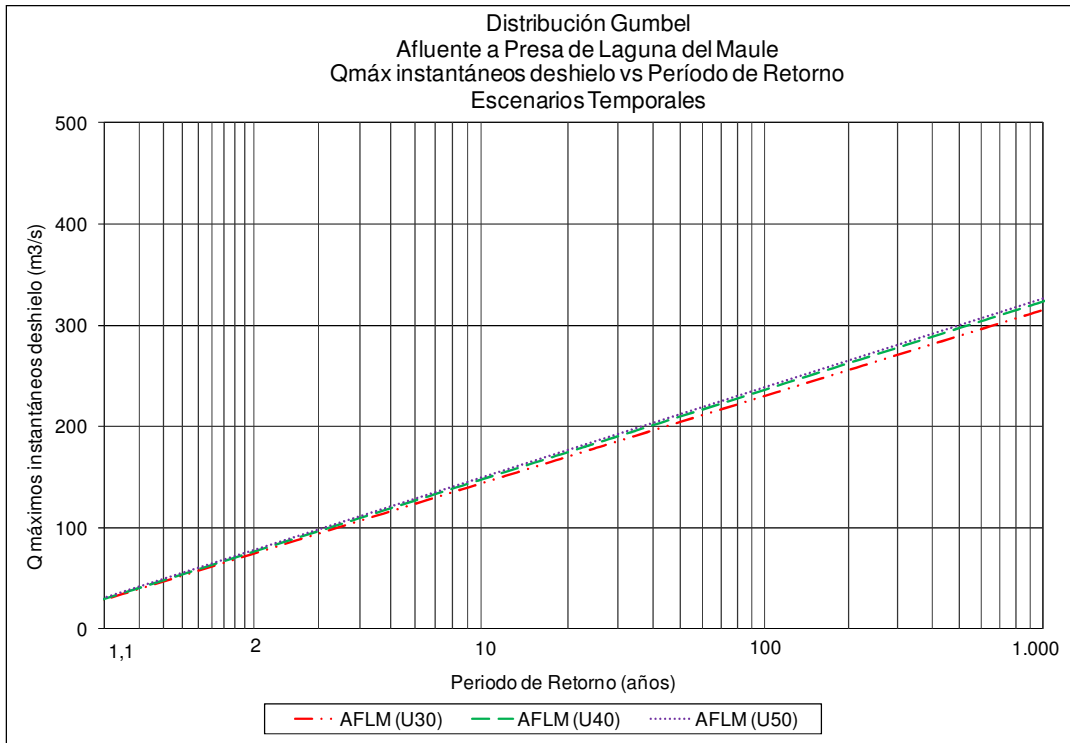


Figura 4.7. Curva de probabilidad de excedencia AFLM.

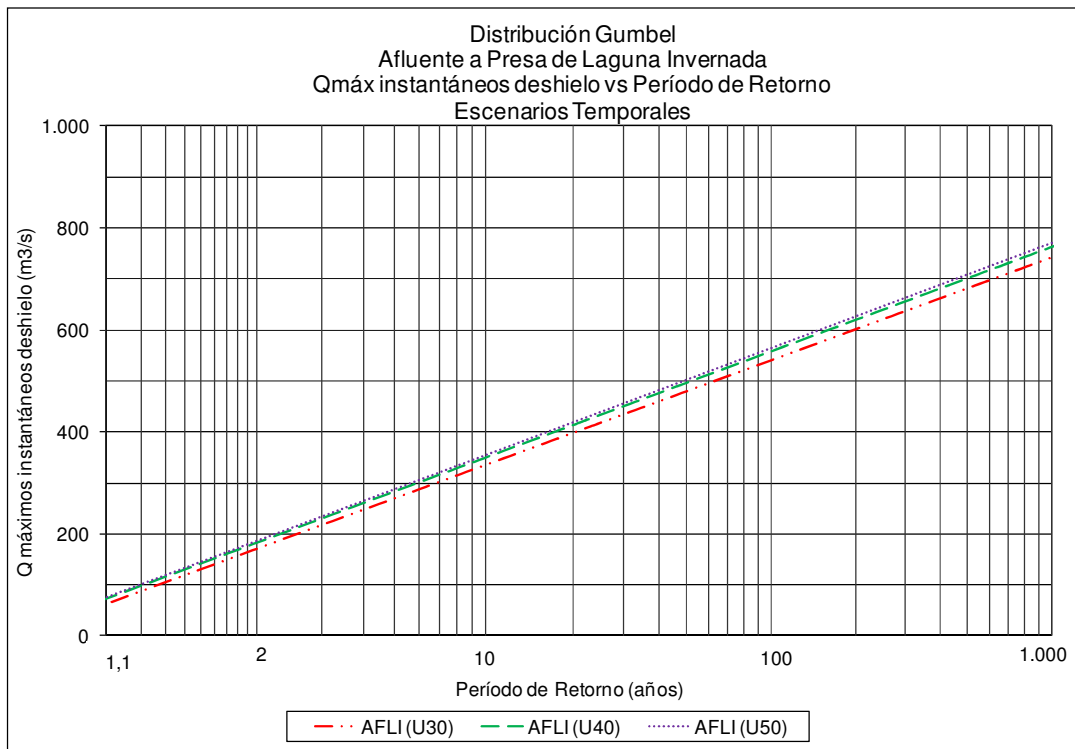


Figura 4.8. Curva de probabilidad de excedencia AFLI.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el caso de las presas de los embalses Melado y Colbún, se analizaron las series de Q_{mi} anuales, las que coinciden con la serie de Q_{mi} pluviales, salvo en años particularmente secos. En ambas secciones se obtuvieron resultados concordantes, en cuanto a que las estimaciones de las crecidas pluviales afluentes a las presas de ambos embales, son sistemáticamente mayores al utilizar longitudes de registros hidrológicos más cortos.

Las series de Q_{mi} anuales afluentes a las bocatomas de las centrales Isla (BTMCI) y Pehuenche (MBTP) se alternan entre aquellas generadas por origen pluvial y nival. Sin embargo, son las de origen pluvial las que definen la condición crítica para el caudal de diseño, por tratarse de eventos de mayor magnitud. Los resultados del presente trabajo, indican que los caudales pluviales afluentes a estas bocatomas son mayores a medida que la longitud del registro es menor, al igual con lo que ocurre en el caso de las presas Melado (MZP) y Colbún (COL). Por otro lado, las crecidas nivales muestran dispar comportamiento en las cuencas afluentes a estas obras; mientras en la bocatoma Maule de la central Isla se obtienen caudales de deshielo mayores a medida que disminuye la longitud del registro, en la captación Maule de la central Pehuenche sucede lo contrario.

Los caudales afluentes a las presas de la laguna Maule (AFLM) e Invernada (AFLI), se estimaron en forma indirecta a partir de un análisis regional para crecidas de deshielo, debido a la falta de información fluviométrica en la zona alta de las cuencas aportantes. En este análisis se detectó una disminución de las magnitudes de las crecidas con alto período de retorno, al disminuir la longitud del registro.

En resumen, los resultados obtenidos indican un comportamiento generalizado en los caudales de origen pluvial asociados a períodos de retorno altos, observándose un aumento en la magnitud de las crecidas estimadas a partir de longitudes más cortas y más reciente del registro histórico. Por otra parte, los caudales de origen nival no evidencian un patrón común, es decir, mientras el análisis regional de crecidas de deshielo y la estimación de caudales nivales afluentes a la bocatoma Maule de la central Pehuenche muestran una pequeña disminución en la estimación de las crecidas al utilizar una longitud de registro más corta, sucede lo contrario en la bocatoma Maule de la central Isla. Este efecto es más atenuado que en los caudales de origen pluvial.

En términos generales, se tiene que las series de Q_{mi} de origen pluvial muestran valores más extremos, en particular durante los últimos 25 años, donde destacan las crecidas ocurridas en los años 1986 y 1991 en la cuenca del río Maule. Por otra parte, si bien las series de Q_{mi} de origen nival casi no muestran un cambio en su tendencia, se obtuvieron leves disminuciones en los caudales de período de retorno alto, al utilizar sólo los últimos años de la estadística.

En forma complementaria a las estimaciones de Q_{mi} (valor esperado), se elaboraron intervalos con un nivel de confianza del 95%. En la mayoría de los casos, este intervalo de confianza es capaz de acotar los niveles de variabilidad detectados en el presente trabajo, por lo que se recomienda su ejecución.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Grupo de Estudios Hidrológicos de la Gerencia de Ingeniería de ENDESA, en especial al Sr. Harry King, por su importante colaboración para la preparación de este trabajo.

REFERENCIAS

Chow V. T., Maidment D. y Mays W. 1994. Hidrología Aplicada. McGraw Hill Interamericana S.A.

ENDESA. 1969. Hidrología Central Colbún, Informe N°2, Desarrollo Hidroeléctrico Hoya Río Maule. Grupo de Estudios Hidrológicos.

ENDESA. 1973. Estudio de los Recursos Hídricos de Maule Alto, Desarrollo Hidroeléctrico Hoya Río Maule Alto. Grupo de Estudios Hidrológicos.

ENDESA. 1980. Estimación de las Crecidas Máximas Instantáneas Anuales Afluentes a Laguna del Maule, División Estudios Hidrológicos.

ENDESA. 1982. Recursos Hídricos de las Centrales Hidroeléctricas de Chile, Volumen I, Capítulo II Cuenca del Río Maule. División Estudios Hidrológicos.

González R. y Dussaubat S. 2009. Variabilidad de las precipitaciones máximas diarias en función de la longitud del registro. XIX Congreso Chileno de Hidráulica.

Harza y Nenadovich Ing. 1981. Estudio Hidrológico Presa Melado, Desarrollo Hidroeléctrico del Maule Alto, Central Pehuenche. Estudios para ENDESA.

Huh, S., Dickey, D., Meador, M. y Ruhl, K. 2005. Temporal analysis of the frequency and duration of low and high streamflow: years of record needed to characterize streamflow variability. Journal of Hydrology. - 310. - págs. 78-94.

Kundzewicz, Z., Graczyk, D., Maurer, T., Przymusinska, I.; Radziejewski, M., Svensson, C. y Szwed, M. 2004. Detection of change in world-wide hydrological time series of maximum annual flow. WMO. – Ginebra.

Kundzewicz, Z., Graczyk, D., Maurer, T., Przymusinska, I., Radziejewski, M., Svensson, C. y Szwed, M. 2005. Trend detection in river flow time-series: 1. Annual maximum flow. Hidrol. Sci. J. - págs. 797-810.

Kundzewicz Z. 2006. El cambio climático y las crecidas. Boletín de la OMM. - 55. - págs. 170-173.