

5.4.- ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE CRECIENTES PARA LOS RÍOS DE MENDOZA

PATRICIA M. LÓPEZ<sup>1</sup>  
 D. A. TRIPODI<sup>2</sup>  
 P. C. FERNÁNDEZ<sup>3</sup>  
 L. A. FORNERO<sup>4</sup>

RESUMEN

Se comparan los resultados de la aplicación de dos métodos de análisis regional de frecuencia de crecientes a estaciones ubicadas en los principales ríos de la Provincia de Mendoza.

Los métodos considerados están basados, uno en el promedio de los valores de los momentos de probabilidad ponderada y el otro en el promedio de valores adimensionales estimados para los períodos de retorno en cada estación considerada.

Se obtienen curvas regionales y se formulan conclusiones y recomendaciones sobre el uso de ambos métodos.

<sup>1</sup> Recursos Hídricos, Ms Sc Hydrology, Instituto Nacional del Agua y del Ambiente - Centro Regional Andino, Mza., Argentina.

<sup>2</sup> Civil, actualmente en Progr. De Postgrado en la Esc. De Ing. De la Pont. Univ. Católica de Chile.

<sup>3</sup> Agrónomo, Ms Sc Water Resources, Investigador principal del CONICET, Argentina.

<sup>4</sup> Ingeniero, Instituto Nacional del Agua y del Ambiente - Centro Regional Andino, Mza., Argentina

## 1.- INTRODUCCIÓN

En este trabajo se comparan los resultados de la aplicación de dos formas de estimación del método de análisis regional de frecuencia conocido como Índice de Crecientes con el fin de formular recomendaciones y conclusiones sobre su uso.

## 2.- DESARROLLO

Existe suficiente evidencia de las ventajas de utilizar información conjunta de la propia estación de análisis y de estaciones de una región que posean características estadísticas similares (NERC, 1975; USWRC, 1977; Hosking y Wallis, 1986; WMO, 1989; Bras, 1990), en particular cuando se requiere la flexibilidad de una distribución de tres parámetros y las series son de corta longitud.

El método del Índice de Crecientes asume homogeneidad regional considerando que la variable  $X = Q / \bar{Q}$  tiene la misma distribución en todas las estaciones de la región, donde  $Q$  es el caudal máximo anual y  $\bar{Q}$  es la media de la serie de caudales máximos anuales, este factor es conocido como el índice de crecientes.

Los parámetros de la distribución de  $X$  son obtenidos a partir de las series regionales, existiendo varias formas de estimación, y en todos los casos  $\bar{Q}$  es obtenida a partir de la serie de la estación analizada. En ausencia de registros en dicha estación este valor es obtenido en función de alguna relación con características de la cuenca, calibrada a nivel regional. El cuantil  $Q_T$  para un tiempo de recurrencia  $T$ , es estimado como:

$$\hat{Q}_T = \hat{x}_T Q \quad (1)$$

En este trabajo los parámetros de la distribución de  $X$  se estimaron utilizando: i) promedio regional de los cuantiles adimensionales estimados en cada estación considerada en el estudio y ii) promedio regional de momentos de probabilidad ponderada adimensionales.

### 2.1.- Promedio regional de cuantiles adimensionales

Este método es una aplicación más general del método de Dalrymple (1960) (Cunnane, 1991) y consiste en obtener para cada estación de la región los cuantiles  $\hat{Q}_T$  para diversos periodos de retorno utilizando algún procedimiento distribución/método de estimación de parámetros conveniente para cada serie en particular.

Una vez obtenidos los  $\hat{Q}_T$  y  $Q$  para cada estación se calculan para cada  $T$  los cuantiles  $\hat{x}_T$  adimensionales como:

$$(\hat{x}_T)_j = \frac{\hat{Q}_T}{Q_j} \quad (2)$$

para  $j = 1, 2, \dots, M$ ; siendo  $M$  el total de estaciones consideradas en el estudio regional.

Los valores  $(\hat{x}_T)_j$  se promedian considerando todas las estaciones para cada periodo de retorno

$$x_T = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (\hat{x}_T)_j$$

obteniendo  $x_T$  en función de  $T$ , usando la variable reducida Gumbel, y trazando una curva de  $x_T$  a los puntos se obtiene la curva regional que define la relación  $X - T$ .

A fin de obtener los cuantiles en cada estación, en este trabajo, se ajustaron distribuciones Gumbel o de Valor Extremo Tipo 1 (VE1) y General de Valores Extremos (GVE), siendo sus parámetros estimados mediante el método de los momentos de probabilidad ponderada. La relación  $x_T$  fue obtenida mediante ajuste por mínimos cuadrados de una función cuadrática de la forma:

$$x_T = a_0 + a_1 y + a_2 y^2, \text{ siendo } y = -\ln(-\ln(1-1/T)) \text{ la variable reducida Gumbel.}$$

Este método no posee el inconveniente del de Dalrymple ya que admite trabajar con series de corta longitud, evitando así el rellenado de las mismas.

### 2.2.- Promedio regional de momentos de probabilidad ponderada adimensionales

Este método es utilizado para aquellas distribuciones que admiten definición en forma de momento, es decir  $x = x(F)$ . Fue propuesto inicialmente por Wallis (1980) en conjunción con la distribución Wakeby, usado por Greis y Wood (1981) para la distribución Gumbel y por Hosking et al. (1985) para la distribución General de Valores Extremos.

Básicamente, este método consiste en calcular para cada registro de caudales máximos los momentos de probabilidad ponderada  $\hat{M}_{10k}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, v$  (Wallis, 1980; Hosking et al., 1985); siendo  $v=2$  para la distribución GVE y  $v=4$  para la distribución Wakeby de tres parámetros. Estos valores se estandarizan dividiéndolos por  $\hat{M}_{100}$ , media de la serie, y para cada  $k$  se calculan los promedios regionales como:

$$m_k = \sum_{j=1}^M \left[ \frac{\hat{M}_{10k}}{\hat{M}_{100}} \right] \frac{N_j}{L} \quad (3)$$

donde M es el número de series utilizadas en el estudio regional y  $L = \sum_{j=1}^M N_j$ , siendo  $N_j$  la longitud de la serie correspondiente a la estación j.

Se selecciona una distribución para la variable X y se estiman sus parámetros según las expresiones correspondientes a los momentos de probabilidad ponderada (WMO, 1989). Se calculan los cuantiles  $\hat{X}_T$  aplicables a cualquier estación en la región y  $Q_T$  para una estación en particular se estima según la ec. (1).

En este trabajo se ajustaron las distribuciones Wakeby de cinco parámetros y General de Valores Extremos.

### 3.- RESULTADOS

El método del Índice de Crecientes fue aplicado a nueve estaciones ubicadas en los principales ríos de la Provincia de Mendoza, considerando dos formas de estimación de los parámetros de la distribución regional.

La homogeneidad de estas estaciones fue probada mediante la aplicación del test de Langbein (Dalrymple, 1960) y la presencia de valores atípicos en las series mediante el método del USWRC (1981), dando como resultado la no existencia de los mismos.

Las características y los estadísticos de las series utilizadas, las distribuciones ajustadas a cada una de ellas para la aplicación del primer método de estimación y los valores de sus parámetros se presentan en la Tabla 1. Los valores  $x_T$  promedio que representan la curva de frecuencia de crecientes regional se presentan en la Tabla 2 junto con los valores de los parámetros de la curva ajustada.

Las distribuciones ajustadas y el valor estimado de sus parámetros en función de la aplicación del método de estimación basado en el promedio regional de los momentos de probabilidad ponderada se presenta en la Tabla 3.

En las Figuras 1 y 2 se muestran dos ejemplos de las distribuciones regionales obtenidas. A fin de comparar su ajuste se calculó la sumatoria de los residuos al cuadrado, los resultados se presentan en la Tabla 4.

### 4.- CONCLUSIONES

La aplicación de un método más general que el de Dalrymple permitió trabajar con series de distinta longitud sin tener que uniformar la extensión de los registros mediante rellenado.

Del análisis de la sumatoria de los residuos al cuadrado se observa que, si bien los dos procedimientos de estimación producen en general resultados semejantes, el método de los

momentos de los momentos de probabilidad ponderada produce mejor ajuste a las observaciones.

El método de base regional del promedio de los momentos de probabilidad ponderada en combinación con la distribución Wakeby ha resultado ser, en toda la bibliografía consultada, normalmente el mejor procedimiento de estimación por ser robusto y eficiente.

El método del promedio regional de cuantiles adimensionales es muy laborioso ya que necesita del ajuste de una distribución y de la estimación de sus parámetros para cada una de las series consideradas, mientras que el del promedio de momentos de probabilidad ponderada es muy simple de aplicar, necesitando solamente el cálculo de los momentos para cada serie y la estimación de los parámetros de la distribución regional.

El método del promedio de momentos obtiene una expresión analítica para toda la región, para estimar los parámetros de una distribución seleccionada en función de éstos. En el caso del método del promedio de cuantiles, ya que es básicamente un método gráfico, la expresión analítica se obtiene mediante el ajuste de los resultados a alguna curva.

### NOMENCLATURA

Parámetro distribución Wakeby	
Parámetro distribución Wakeby	
Parámetro distribución Wakeby	
Residuo, diferencia entre el valor observado y el estimado	
Coefficiente de variación	
Coefficiente de asimetría	
Parámetro distribución Wakeby	
Distribución General de Valores Extremos	
Parámetro de forma distribución GVE	
Parámetro distribución Wakeby	
Caudal máximo anual	
Media aritmética de la serie de caudales máximos anuales	
Caudal para un período de retorno de T años	
Estimador de $Q_T$	
Desvío estandar	
Período de retorno	
Distribución de Valor Extremo Tipo 1 o Gumbel	
Variable reducida con parámetros de ubicación y forma iguales a 0 y 1 respectivamente	
Variable estandarizada igual a $Q / Q$	
Media de la variable X	
Valor de X para un período de retorno T	
Parámetro de escala en distribución GVE y VE1	
Parámetro de ubicación en distribución GVE y VE1	

## REFERENCIAS

- BRAS, R. L. (1990). Hydrology an Introduction to Hydrologic Science. Addison -Wesley, Reading, Mass.
- CUNNANE, C. (1991). Frequency Analysis In Hydrology. Notas del «International Postgraduate Hydrology Course», UCG. Galway, Irlanda.
- DALRYMPLE, T. (1960). Flood - Frequency Analyses. Manual of Hydrology (Part 3): Flood-Flow Techniques. U. S. Geological Servey, Water Supply Paper 1543-A, Washington D. C.
- GREIS, N. P. Y WOOD, E. F. (1981). Regional Flood Frequency Estimation and Network Design. Water Resour. Res., 17 (4), 1167 - 1177.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. Y WOOD, E. F. (1985). Estimation of the Generalised Extreme Value Distribution by the Method of Probability Weighted Moments. Technometrics, 27 (3), 251 - 261.
- HOSKING, J. R. M. Y WALLIS, J. R. (1986). Paleoflood Hydrology and Flood Frequency Analysis. Water Resour. Res., 22 (4), 543 - 550.
- NERC, (1975). Flood Studies Report. Nat. Environ. Res. Council, Londres, Vol. 1-5.
- USWRC, (1977). Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. U. S. Water Resources Council Bulletin 17A. Washington, D. C.
- USWRC, (1981). Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. U. S. Water Resources Council Bulletin 17B. Washington, D. C.
- WALLIS, J. R. (1980). Risk and Uncertainties in the Evaluation of Flood Events for the Design of Hydrologic Structures. Seminar on Extreme Hydrological Events - Floods and Droughts, Erice, Italia.
- WMO, (1989). Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis, by C. Cunane. World Meteorological Organization, WMO-No. 718, OH Report 33.

Tabla 1 Estadísticos de las series, distribuciones ajustadas y parámetros estimados.

Estación	Periodo	X	S	CV	CS	Distribución	Parámetros		
							$\mu$	$\alpha$	$\kappa$
Vacas	51-54/89-9	16.13	11.30	0.701	2.66	GVE	10.913	5.275	-0.298
Cuevas	55-56/93-9	22.14	14.22	0.642	1.48	GVE	14.998	8.504	-0.212
Tupungato	54-55/93-9	80.29	30.03	0.374	1.36	VEI	66.777	23.413	
Guido	56-57/94-9	148.44	75.66	0.510	1.94	GVE	112.212	43.692	-0.205
Valle de Uco	54-55/94-9	94.21	40.52	0.430	1.34	VEI	76.143	31.303	
La Jaula	71-72/94-9	112.63	45.32	0.402	1.06	VEI	91.546	36.526	
Cañada Ancha	60-61/93-9	40.22	20.43	0.508	1.29	VEI	31.036	15.906	
La Angostura	16-17/94-9	92.12	33.27	0.361	0.93	VEI	76.703	26.717	
Valle Hermoso	51-52/72-7	32.00	13.82	0.432	0.98	VEI	25.713	10.886	

Tabla 2 Curva regional método del promedio de cuantiles

XT	Período de retorno T
0,2958	1,01
0,7435	1,5
0,8977	2
1,305	5
1,6011	10
1,9098	20
2,3529	50
2,7244	100
3,1352	200
3,753	500

Curva de ajuste.

$$y = a + b \cdot x^c$$

$$1752172$$

$$1316548$$

$$1125751$$

$$\Sigma e^2 = 0,006064$$

Tabla 3 Distribuciones regionales método de los momentos de probabilidad ponderada.

Distribución	GVE	Wakeby
Parámetros		m: 0,3398
		a: 0,2666
	$\mu$ : 0,7696	b: 6,7938
	$\alpha$ : 0,3072	c: 4,6919
	$\kappa$ : -0,15	d: 0,0836

Tabla 4 Sumatoria de residuos al cuadrado.

Estación	Promedio	GVE	Wakeby
Vacas	734,68	727,63	702,95
Cuevas	648,83	572,97	545,05
Tupungato	3717,5	3323,75	3570,37
Guido	11939,3	11475,91	10821,46
V. de Uco	3071,86	2982,89	2986,7
La Jaula	2767,64	2498,48	2621,68
La Angostura	12890,7	12993,99	13697,8
C. Ancha	344,93	360,84	349,84
V. Hermoso	565,6	563,57	577,2

## 4. CONCLUSIONES

La aplicación de un método más general que el de Dalrymple... de distinta longitud sin tener que uniformar la extensión... Del análisis de la sumatoria de los residuos al cuadrado... procedimientos de estimación propuestos en general resultados...

Fig. 1 Río Mendoza. Estación Guido. Promedio Regional de Cuantiles (P.R.C.) y distribuciones regionales ajustadas

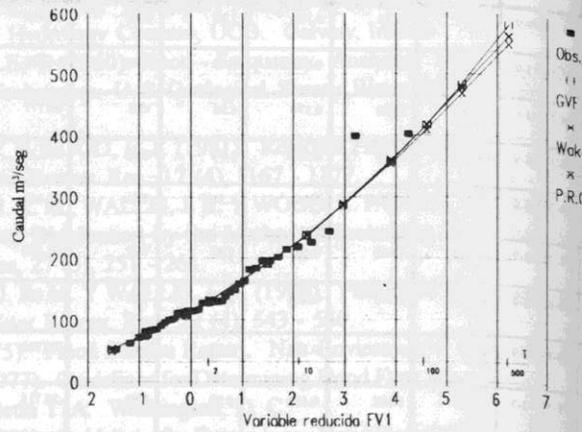
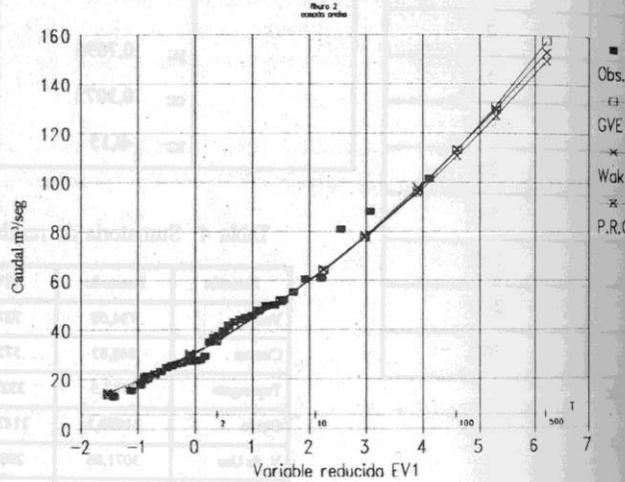


Fig. 2 Río Atuel. Estación Cañada Ancha. Promedio Regional de Cuantiles (P.R.C.) y distribuciones regionales ajustadas



5.5.- ESTUDIO EXPERIMENTAL DE FLUJOS DE BARRO EN UN CANAL DE FONDO DESLIZANTE

YARKO NIÑO<sup>1</sup>  
ALDO TAMBURRINO<sup>1</sup>  
LUIS CONCHA<sup>2</sup>

SUMEN

Se presentan resultados de una investigación experimental orientada al estudio de las características hidráulicas de frentes de ondas asociados a flujos de barro. La instalación experimental consiste en un canal con fondo deslizante, lo cual permite detener los frentes creando un flujo permanente respecto de un sistema de referencia fijo al laboratorio. Se efectuaron experiencias variando tanto la pendiente del canal de experimentación como la concentración de las mezclas de barro. En las experiencias realizadas se midió un número de perfiles longitudinales instantáneos de los frentes, así como también la velocidad equivalente de ellos. El análisis de estos resultados muestra un cambio ostensible en el comportamiento de los flujos de barro cuando las concentraciones de la mezcla superan el 46% en volumen. Esto se debe a un aumento significativo de la viscosidad de la mezcla, lo cual se refleja, por ejemplo, en un aumento del orden del 300% en el coeficiente de fricción asociado. Los resultados obtenidos permiten deducir una relación de resistencia hidráulica de los frentes, la cual relaciona su altura y velocidad con la pendiente del canal y la concentración de la mezcla. Finalmente, una comparación de la forma de los frentes observados con predicciones estadísticas demuestra que no es válido despreciar las variaciones con respecto a la distribución estadística de presiones en el frente para el adecuado modelamiento de ellos.

<sup>1</sup>Asesor Asistente. División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.  
<sup>2</sup>Asesor de Investigación. División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.