

## Predicción de crecientes combinando información hidrométrica local y regional

### *Flood Predictions Combining Regional and Single Site Hydrometric Information*

Campos-Aranda D.F.

Facultad de Ingeniería

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

E-mail: [campos\\_aranda@hotmail.com](mailto:campos_aranda@hotmail.com)

(Recibido: enero de 2007; reevaluado: agosto de 2008; aceptado: marzo de 2010)

#### **Resumen**

Inicialmente se destaca el beneficio estadístico de combinar la información hidrométrica local escasa y regional confiable, para realizar predicciones de crecientes. A continuación se exponen las ecuaciones matemáticas del método que combina los parámetros estadísticos logarítmicos de los datos local y regional, así como sus expresiones necesarias para realizar las predicciones buscadas, basadas éstas en la distribución  $t$  de Student. Enseguida se describen dos aplicaciones numéricas, la primera realizada para la estación hidrométrica Carrizal del Río Santiago en Nayarit y la segunda utilizando las cinco estaciones de aforos del Río Tempoal, en Veracruz. Por último, se formula una conclusión que destaca la sencillez del método y la exactitud de sus predicciones.

**Descriptores:** predicción de crecientes, métodos regionales, combinación de información hidrométrica, distribución  $t$  de Student, Río Santiago y Río Tempoal.

#### **Abstract**

*Initially, the statistic benefit of flood predictions obtained by combining reliable regional and scarce site hydrometric data is pointed out. Then the mathematical equations for combining mean and standard deviation logarithms of regional and site data are exposed, as well as the necessary expressions for desired predictions, based on Student's  $t$  distribution. Later two numerical applications are described, the first one based in Carrizal hydrometric station located in Santiago River in Nayarit and the second one which makes use of five water gauging stations in Tempoal River in Veracruz. Finally, a conclusion is formulated pointing out the simplicity of that method and the accuracy of its predictions.*

**Keywords:** Flood predictions, regional methods, combining hydrometric data, Student's  $t$  distribution, Santiago River and Tempoal River.

## Introducción

Cuando en un sitio de interés no existe ningún tipo de información hidrométrica, la estimación de sus crecientes o avenidas máximas deberá basarse en los análisis regionales (Escalante y Reyes, 2002; Campos, 2006). Pero cuando existen algunos datos disponibles, éstos deben ser utilizados o incorporados al análisis de frecuencia al menos como información parcial, ya que un registro de pocos años no permite estimaciones confiables en períodos de retorno elevados.

Resulta evidente, que cuando algún tipo de información hidrométrica está disponible en la corriente que se estudia, misma que no es confiable para el estudio de frecuencia de crecientes, entonces las estimaciones o predicciones necesarias se deberán basar en una *combinación* de estos datos y de los resultados del análisis regional, por ejemplo, según el método propuesto por el National Research Council of Canada (NRCC) en 1989.

### Método de combinación de datos

Tomando en cuenta que la distribución Log-normal es una de las más utilizadas en el análisis probabilístico de gastos máximos anuales (Stedinger, 1980), entonces para combinar datos de un sitio y regionales, se han utilizado la media aritmética ( $\bar{y}$ ) y la desviación estándar ( $S$ ) de los logaritmos naturales de los datos como parámetros estadísticos básicos del análisis de frecuencia de crecientes. Además se requiere una estimación subjetiva en relación con la longitud equivalente de registro en el sitio definido por las estimaciones regionales; generalmente, se adopta la longitud promedio de los registros regionales empleados. La combinación de datos se realiza por medio de las expresiones siguientes (NRCC, 1989):

$$N_c = N_r + N_s \quad (1)$$

$$\bar{y}_c = (N_r \bar{y}_r + N_s \bar{y}_s) / N_c \quad (2)$$

$$S_c^2 = \frac{(N_r - 1)S_r^2 + (N_s - 1)S_s^2 + N_r \bar{y}_r^2 + N_s \bar{y}_s^2 - N_c \bar{y}_c^2}{(N_c - 1)} \quad (3)$$

en las cuales,  $N$  es el número de años de cada registro y los subíndices  $c$ ,  $r$  y  $s$  denotan combinado, regional y sitio. La serie de datos combinados tiene distribución  $t$  de Student, con  $v = N_c - 2$ , grados de libertad; por lo tanto, las predicciones ( $y_{Tr}$ ) asociadas a probabilidades de

excedencia  $p = 1/Tr$ , donde  $Tr$  es el periodo de retorno en años, serán:

$$y_{Tr} = \bar{y}_c + F_s t S_c, \quad (4)$$

donde,  $F_s$  es un factor correctivo por sesgo, con la expresión siguiente (NRCC, 1989):

$$F_s = \sqrt{\frac{(N_c - 1)(N_c^2 - 1)}{N_c^2(N_c - 2)}}. \quad (5)$$

Finalmente la predicción buscada será igual a:

$$X_{Tr} = \exp(y_{Tr}) \quad (6)$$

Para la estimación de la variable  $t$  de Student, correspondiente a la probabilidad de excedencia  $p$  y con  $v$  grados de libertad, se puede utilizar la aproximación siguiente (Abramowitz & Stegun, 1972):

$$t_p = x_p - \frac{g_1(x_p)}{v} - \frac{g_2(x_p)}{v^2} - \frac{g_3(x_p)}{v^3} - \frac{g_4(x_p)}{v^4} - \dots \quad (7)$$

$$g_1(x) = \frac{1}{4}(x^3 - x) \quad (8)$$

$$g_2(x) = \frac{1}{96}(5x^5 - 16x^3 - 3x) \quad (9)$$

$$g_3(x) = \frac{1}{384}(3x^7 - 19x^5 - 17x^3 - 15x) \quad (10)$$

$$g_4(x) = \frac{1}{92160}(79x^9 - 776x^7 - 1482x^5 - 1920x^3 - 945x) \quad (11)$$

en la cual,  $x_p$  es la desviación normal estándar que se estima con la aproximación siguiente (Abramowitz & Stegun, 1972):

$$f = \sqrt{\ln(1/p^2)} \quad (12)$$

$$x_p = f - \frac{c_0}{1 - d_1 f} - \frac{c_1 f}{d_2 f^2} - \frac{c_2 f^2}{d_3 f^3}, \quad (13)$$

con

$$\begin{array}{llll} c_0 & 2.515517 & c_1 & 0.802853 \\ d_1 & 1.432788 & d_2 & 0.189269 \\ & & d_3 & 0.001308 \end{array}$$

cuando  $0 < p < 0.50$ , hacer  $x_p = -x_p$ ; en caso de que  $0.50 < p < 1.0$  emplear:  $p = 1 - p$ , sin cambiar a  $x_p$ .

### Aplicaciones numéricas

#### Río Santiago en Carrizal, Nayarit

Esta aplicación es de tipo académico y destaca la bondad del método; consistió en contrastar la creciente de periodo de retorno 50 años ( $Q_{50}$ ), considerando al registro total de 50 años de gastos máximos de la estación hidrométrica Carrizal en el Río Santiago en Nayarit, como información regional con una longitud ( $N_r$ ) de 10 años y como información local, cada uno de los cinco lapsos de 10 años indicados en la tabla 2. El registro

citado procede de CFE (1991) y se presenta en la tabla 1. Las predicciones de  $Q_{50}$  indicadas en la columna 4 de la tabla 2 se realizaron por medio de la distribución General de Valores Extremos (GVE), ajustada por momentos L (Stedinger *et al.*, 1993; Campos, 2001).

Se observa que las estimaciones de  $Q_{50}$  basadas en registros de 10 años varían del 35 al 126 % (columna 5), de la  $Q_{50}$  estimada con el registro total; en cambio, las estimaciones basadas en la combinación de información, es decir, en las ecuaciones 1 a 6 (columna 6), presentan menor variabilidad, ya que éstas fluctúan del 72 al 106.5 %. Además, cambia la ocurrencia del valor más disperso, debido a que los datos combinados suavizan la presencia de los gastos máximos anuales extremos (Campos, 2006).

Tabla 1. Gastos máximos anuales en la estación hidrométrica Carrizal del Río Santiago, en Nayarit, en el periodo 1942-1991

Año	Gasto								
1942	2,172	1952	1,693	1962	1,714	1972	2,270	1982	2,412
1943	6,113	1953	2,234	1963	2,956	1973	6,688	1983	3,394
1944	3,203	1954	1,862	1964	1,639	1974	1,295	1984	2,509
1945	1,491	1955	2,349	1965	3,133	1975	4,382	1985	2,737
1946	1,587	1956	1,353	1966	3,051	1976	4,190	1986	2,279
1947	2,386	1957	1,879	1967	5,652	1977	2,510	1987	3,183
1948	2,345	1958	2,169	1968	2,413	1978	2,160	1988	5,061
1949	1,768	1959	1,933	1969	1,060	1979	1,706	1989	799
1950	1,845	1960	1,253	1970	3,310	1980	2,184	1990	5,200
1951	1,469	1961	1,866	1971	4,470	1981	2,385	1991	5,277

Tabla 2. Gastos máximos de periodo de retorno 50 años ( $Q_{50}$ ) estimados con información del sitio y con datos combinados local y regional, en la estación hidrométrica Carrizal del Río Santiago, en Nayarit

1	2	3	4	5	6	7
Periodo (años)	Parámetros logarítmicos			%	$Q_{50}$ combinada	%
	Media	Desv. estándar	del sitio			
1942-1951	7.69778	0.43412	7,302	105.2	6,289	90.6
1952-1961	7.50992	0.20441	2,451	35.3	4,971	71.6
1962-1971	7.88173	0.49726	6,564	94.6	7,388	106.5
1972-1981	7.88413	0.48805	8,742	126.0	7,323	105.5
1982-1991	7.97975	0.55981	6,608	95.2	8,483	122.2
1942-1991	7.79066	0.46651	6,940	-	-	-

\* porcentaje de cada creciente con respecto a la del periodo total =  $6,940 \text{ m}^3/\text{s}$

## Río Tempoal en Platón Sánchez, Veracruz

Como parte de un análisis regional de crecientes, realizado para la cuenca baja del Río Pánuco empleando 25 registros hidrométricos, se encontró con base en la prueba de homogeneidad regional de dos poblaciones (Gutiérrez y Ramírez, 2005), que las cinco estaciones de aforos del Río Tempoal, Veracruz, constituyen una región homogénea.

En la tabla 3 se presentan las características generales y parámetros estadísticos ( $\bar{y}$  y  $S$ ) de tales estaciones hidrométricas. La clave permite su localización rápida en el sistema BANDAS (IMTA, 2003), del cual procede la información de gastos máximos anuales utilizados en el periodo general de 1960–2002, excepto en Platón Sánchez que es de 1978–2002.

Al registro de 25 gastos máximos anuales de la estación Platón Sánchez, expuestos en la tabla 4, se le ajustó

Tabla 3. Características generales y parámetros estadísticos de las estaciones hidrométricas indicadas del Río Temporal, Veracruz

Estación	Clave	Corriente	Área (km <sup>2</sup> )	Núm. de años ( <i>n</i> )	$\bar{y}$	Parámetros estadísticos*:		
						$S$	$\bar{y}(n/L)$	$S(n/L)$
El Cardón	26286	Río San Pedro	609.0	41	6.09215	0.58930	1.44380	0.13966
Los Hules	26277	Río Los Hules	1,269.0	41	6.61862	0.75711	1.56857	0.17943
Terrerillos	26289	Río Calabozo	1,493.0	42	6.97956	0.72705	1.69446	0.17651
P. Sánchez	26433	Río Tempoal	4,700.0	25	7.21578	0.69489	-	-
Tempoal	26248	Río Tempoal	5,275.0	49	7.32724	0.69626	2.07535	0.19721
-	-	-	-	<i>L</i> =173	-	-	6.78218	0.69281

Tabla 4. Gastos máximos anuales (m<sup>3</sup>/s) en la estación hidrométrica Platón Sánchez del Río Tempoal, Veracruz

Año	Gasto	Año	Gasto	Año	Gasto
1978	2,898.0	1987	1,773.0	1996	758.0
1979	1,040.0	1988	3,653.0	1997	1,217.5
1980	976.0	1989	653.0	1998	1,259.3
1981	1,940.0	1990	4,115.0	1999	2,776.6
1982	589.8	1991	1,916.0	2000	580.4
1983	827.3	1992	1,494.9	2001	1,201.3
1984	4,530.0	1993	4,380.0	2002	774.8
1985	1,608.0	1994	1,153.8	-	-
1986	462.0	1995	537.0	-	-

Tabla 5. Predicciones en la estación de aforos Platón Sánchez del Río Tempoal, Veracruz

Predicción segúin:	Periodos de retorno en años								
	2	5	10	25	50	100	500	1000	10,000
(1) Distribución GVE	1,350	2,406	3,289	4,669	5,926	7,413	12,025	14,655	27,512
(2) Combinación de datos	1,034	1,912	2,645	3,757	4,729	5,831	9,001	10,677	18,002
Método regional <i>E-A</i> <sup>1</sup>	1,071	1,743	2,262	2,991	3,607	4,287	6,156	7,109	11,084
<i>E.R.</i> <sup>4</sup> con respecto a (1)	-20.7	-27.6	-31.2	-35.9	-39.1	-42.2	-48.8	-51.5	-59.7
<i>E.R.</i> <sup>4</sup> con respecto a (2)	3.6	-8.8	-14.5	-20.4	-23.7	-26.5	-31.6	-33.4	-38.4
Método regional <i>MPPR</i> <sup>2</sup>	1,071	1,740	2,251	2,986	3,603	4,284	6,162	7,122	11,135
<i>E.R.</i> <sup>4</sup> con respecto a (1)	-20.7	-27.7	-31.6	-36.0	-39.2	-42.2	-48.8	-51.4	-59.5
<i>E.R.</i> <sup>4</sup> con respecto a (2)	3.6	-9.0	-14.9	-20.5	-23.8	-26.5	-31.5	-33.3	-38.1
Método regional <i>MPPP</i> <sup>3</sup>	1,090	1,735	2,214	2,889	3,444	4,046	5,654	6,453	9,662
<i>E.R.</i> <sup>4</sup> con respecto a (1)	-19.3	-27.9	-32.7	-38.1	-41.9	-45.4	-53.0	-56.0	-64.9
<i>E.R.</i> <sup>4</sup> con respecto a (2)	5.4	-9.3	-16.3	-23.1	-27.2	-30.6	-37.2	-39.6	-46.3

1 Estaciones-año.

2 Momentos de probabilidad pesada regionales.

3 Momentos de probabilidad pesada ponderados.

4 Error Relativo del gasto regional, en %.

la distribución GVE, obteniéndose con el método de momentos L (Stedinger *et al.*, 1993; Campos, 2001), el menor error estándar de ajuste y las predicciones indicadas con (1) en la tabla 5.

De acuerdo a los datos de la tabla 3, se consideró conveniente adoptar  $N_r = 43$ . Entonces, las ecuaciones 1 a 3 del método que se presenta, conducen a los parámetros combinados siguientes:  $N_c = 68$ ,  $\bar{y}_c = 6.94159$ ,

$S_c = 0.71987$  y  $F_s = 1.00744$ , cuando se utilizan los valores de  $\bar{y}$  y  $S$  ponderados (en cursiva) de la tabla 3. Las predicciones realizadas con las ecuaciones 4 a 13 se han indicado con (2) en la tabla 5 de resultados.

En la figura 1 se tiene el contraste gráfico para los gastos máximos anuales ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) de la estación hidrométrica Platón Sánchez y los resultados de los modelos probabilísticos GVE y de combinación de datos expuesto.

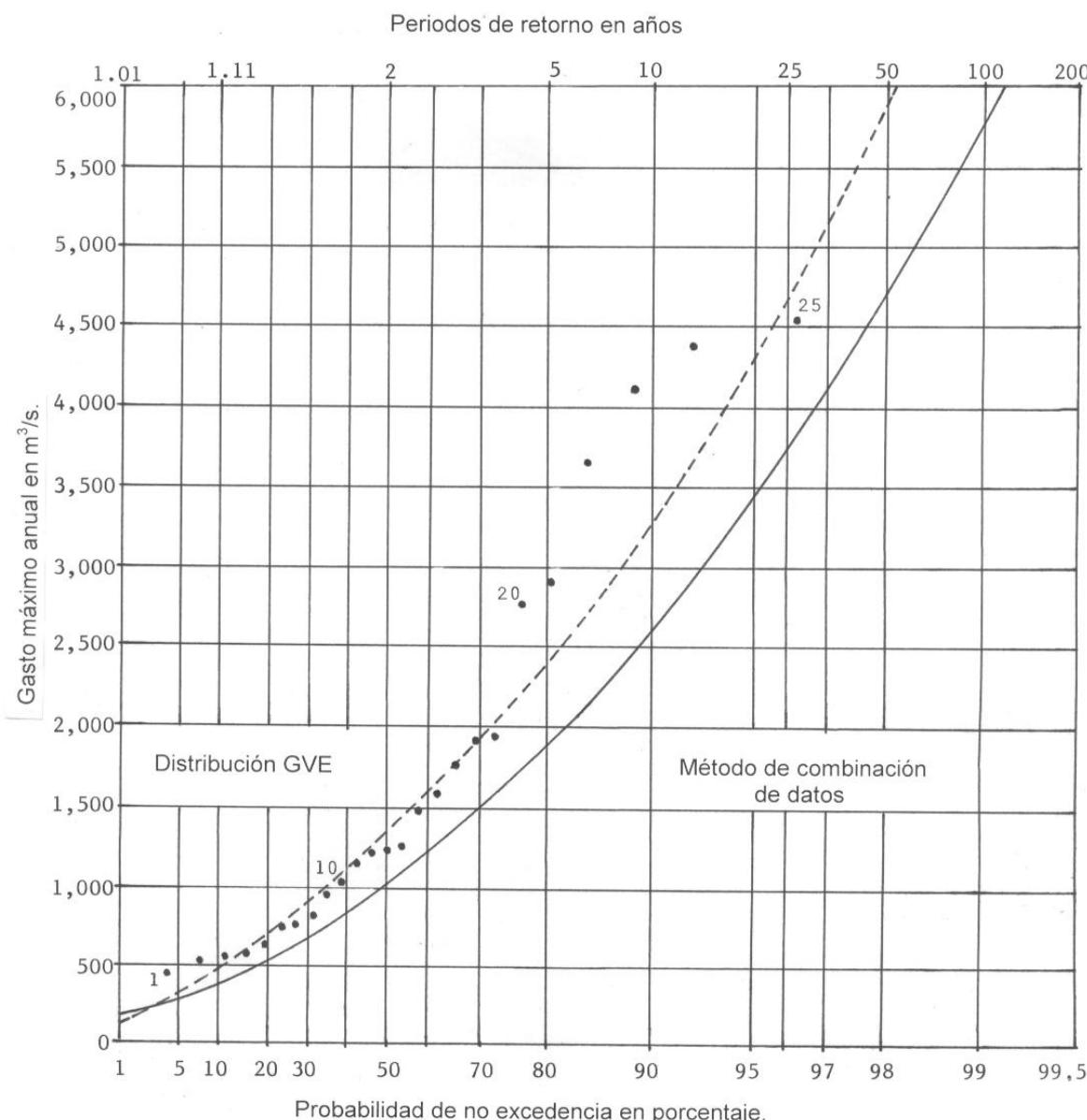


Figura 1. Contraste gráfico en papel de probabilidad Gumbell-Powell para los datos de la estación hidrométrica Platón Sánchez

El tercero, sexto y noveno renglones de predicciones de la tabla 5 proceden de Campos (2007) y corresponden a tres métodos regionales aplicados en la estación hidrométrica Platón Sánchez. Los dos renglones siguientes a cada fila de resultados de los métodos regionales en la tabla citada, son los errores relativos (*E.R.*), según la expresión siguiente:

$$E.R. = \frac{Q_{est}^{Tr} - Q_{obs}^{Tr}}{Q_{obs}^{Tr}} \cdot 100 \quad (14)$$

en donde, el error relativo se expresa en porcentaje y presenta un valor negativo cuando el gasto de los métodos regionales ( $Q_{est}^{Tr}$ ) resultó menor que el gasto observado ( $Q_{obs}^{Tr}$ ); en cambio, cuando conduce a un valor positivo indica que la avenida estimada resultó superior a la predicción observada.

Siendo menores todos los *E.R.* del valor del gasto regional cuando son obtenidos con las predicciones del método de combinación de datos, que los calculados con las predicciones del registro local disponible, se destaca la conveniencia estadística de tal procedimiento.

## Conclusiones

El procedimiento que ha sido expuesto, para realizar predicciones de crecientes en sitios o localidades donde el número de datos disponibles es reducido y existe información hidrométrica regional confiable, es bastante simple y conduce a predicciones más exactas, según los resultados de las aplicaciones numéricas expuestas.

## Referencias

Abramowitz M. & Stegun I.A. *Handbook of Mathematical Functions*. Chapter 26: Probability Functions. New York, USA. Dover Publications, Inc. Ninth printing. 1972. Pp. 927–995. 1046 p.

## Semblanza del autor

*Daniel Francisco Campos-Aranda.* Obtuvo el título de ingeniero civil en diciembre de 1972 en la entonces Escuela de Ingeniería de la UASLP. Durante el primer semestre de 1977, realizó en Madrid, España un diplomado en hidrología general y aplicada. Posteriormente, durante 1980–1981, llevó a cabo estudios de maestría en ingeniería en la especialidad de hidráulica en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. En esta misma institución, inició (1984) y concluyó (1987) el doctorado en ingeniería con especialidad en aprovechamientos hidráulicos. Ha publicado artículos principalmente en revistas mexicanas de excelencia: 33 en *Ingeniería Hidráulica en México*, 10 en *Agrociencia* y 5 en *Inginería. Investigación y Tecnología*. En congresos internacionales y nacionales ha presentado 23 y 68 ponencias, respectivamente. Fue investigador nacional (nivel 1) desde el 1º de julio de 1991 hasta el 31 de diciembre del 2007. Actualmente es profesor jubilado de la UASLP, desde el 1º de febrero del 2003. En 2008 la AMH le otorgó el Premio Nacional "Francisco Torres H", a la práctica profesional de la Hidráulica.

Campos-Aranda D.F. Contraste de cinco métodos de ajuste de la distribución GVE en 31 registros históricos de eventos máximos anuales. *Ingeniería Hidráulica en México*, XVI(2): 77–92. Abril–junio. 2001.

Campos-Aranda D.F. *Ánalisis Probabilístico Univariado de Datos Hidrológicos*. Capítulo 8: Análisis probabilístico con métodos regionales. México, DF. Avances en Hidráulica 13. AMH–IMTA. 2006. Pp. 133–161. 172 p.

Campos-Aranda D.F. Contraste de métodos regionales para predicción de crecientes basado en la distribución GVE, en la cuenca baja del Río Pánuco. *Ingeniería Hidráulica en México*, XXII(2): 91–105. Abril–junio, 2007.

Comisión Federal de Electricidad. *Proyecto Hidroeléctrico Agua-milpa, Nay.* Capítulo 5: Hidrología. México, DF. CFE. 1991. Pp. 6–7. 23 p.

Escalante S.C. y Reyes C.H.L. *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. Capítulo 8: Análisis regional hidrológico. México, DF. Facultad de Ingeniería de la UNAM. 2002. Pp. 157–202. 298 p.

Gutiérrez L.A. y Ramírez A.I. Predicción hidrológica mediante el método de la avenida índice para dos poblaciones. *Ingeniería Hidráulica en México*, XX(2):37–47. Abril–junio. 2005.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)*. Hidrometría y Sedimentos hasta 2002. 8 CD's. CNA–SEMARNAT. IMTA. Jiutepec, Morelos. 2003.

National Research Council of Canada. *Hydrology of Floods in Canada*. Chapter 5: Statistical Frequency Analysis of Hydrologic Data. Ottawa, Canada. Editor-in-chief W.E. Watt. NRCC. 1989. Pp. 45–74. 245 p.

Stedinger J.R. Fitting Log Normal Distributions to Hydrologic Data. *Water Resources Research*, 16(3):481–490. 1980.

Stedinger J.R., Vogel R.M., Foufoula-Georgiou E. Frequency Analysis of Extreme Events. Chapter 18, pp. 18.1–18.66 in the *Handbook of Hydrology*. New York, USA. Editor in chief David R. Maidment. McGraw-Hill, Inc. 1993.