

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Actualización de las envolventes regionales de gastos máximos para la república mexicana.
<i>Autor / Adscripción</i>	Aldo I. Ramírez Orozco Juan F. Gómez Martínez Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  Daniel F. Campos Aranda Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 20(1): 99-108
<i>Fecha de publicación</i>	2005
<i>Resumen</i>	El comportamiento general de los gastos máximos anuales en una región se puede apreciar en una gráfica que relaciona esta variable con la correspondiente área de drenaje de la cuenca. La curva suave que cubre a todos los puntos de esa gráfica se conoce como envolvente de gastos máximos. La envolvente permite realizar estimados gruesos de los eventos extraordinarios esperados en una determinada región, en función solamente de la superficie de la cuenca. En general, este estimado no es totalmente válido para el diseño definitivo de grandes obras hidráulicas, pero puede ser útil en estudios de gran visión. En este trabajo se presentan las envolventes para gastos máximos obtenidas para cada una de las 37 regiones hidrológicas y las 13 regiones administrativas de México, así como la envolvente nacional.
<i>Identificador</i>	<a href="http://hdl.handle.net/123456789/797">http://hdl.handle.net/123456789/797</a>

# Actualización de las envolventes regionales de gastos máximos para la república mexicana

Aldo I. Ramírez-Orozco  
Juan F. Gómez-Martínez

*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*

*Daniel F. Campos-Aranda*

*Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México*

*El comportamiento general de los gastos máximos anuales en una región se puede apreciar en una gráfica que relaciona esta variable con la correspondiente área de drenaje de la cuenca. La curva suave que cubre a todos los puntos de esa gráfica se conoce como envolvente de gastos máximos. La envolvente no está asociada con frecuencias o probabilidades específicas de ocurrencia, pero dentro de la región de aplicación, proporciona evidencia de las magnitudes máximas de los gastos esperados. La envolvente permite realizar estimados gruesos de los eventos extraordinarios esperados en una determinada región, en función solamente de la superficie de la cuenca. En general, este estimado no es totalmente válido para el diseño definitivo de grandes obras hidráulicas, pero puede ser útil en estudios de gran visión, en el análisis del potencial de escurrimiento o en la estimación de eventos en zonas donde se carece de información hidrométrica. En este trabajo se presentan las envolventes para gastos máximos obtenidas para cada una de las 37 regiones hidrológicas y las 13 regiones administrativas de México, así como la envolvente nacional. Las curvas se han obtenido con información hidrométrica actualizada a 2000, de 628 estaciones con un régimen de escurrimiento inalterado. Se presentan las conocidas formulaciones de Creager, Lowry y se incluyen, además, las relaciones propuestas por Matthai, Crippen y Francou-Rodier. Finalmente, se presenta una discusión de la magnitud de las avenidas en México en el contexto mundial. Con base en los resultados obtenidos se puede afirmar que las envolventes se han desplazado en forma moderada en los últimos 22 años y que, de acuerdo con el criterio del coeficiente de Francou-Rodier, en México se dispone de ocho registros entre los primeros cincuenta gastos máximos observados en el mundo.*

**Palabras clave:** *envolvente mexicana, Creager, Lowry, Crippen, Matthai, coeficiente de Francou-Rodier, región hidrológica, gastos máximos anuales observados.*

## Antecedentes

*El comportamiento general de los gastos máximos anuales en una región se puede apreciar en una figura en la cual se grafique esta variable contra la correspondiente área de drenaje de la cuenca. La curva suave que cubre todos los puntos en esa gráfica se conoce como curva envolvente de gastos máximos o,*

*simplemente, envolvente. Para la construcción de esta curva es usual manejar el concepto de gasto unitario, el cual está definido, en este caso, como el gasto por unidad de área de la cuenca.*

*Las envolventes no están asociadas con probabilidades de ocurrencia específicas, por lo cual no representan frecuencia o periodo de retorno alguno; sin embargo, dentro de la región de aplicación, proporcionan evidencia*

de las magnitudes máximas creíbles de los gastos esperados. La envolvente permite realizar estimados gruesos de los eventos extraordinarios esperados en una determinada región, solamente en función de la superficie de la cuenca.

Este estimado, aunque no válido en general para el diseño definitivo de grandes obras hidráulicas, puede ser útil en estudios de gran visión, en el análisis del potencial de escurrimiento de una región para fines de estudios preliminares de disponibilidad o balance hídrico, o en zonas donde se carece de información hidrométrica.

La idea fundamental de una ecuación que represente una envolvente de gastos máximos consiste en relacionar el gasto o caudal máximo observado con el área de la cuenca a través de una expresión del tipo:

$$q = cA^x \quad (1)$$

donde  $q$  es el gasto específico máximo en  $m^3/s/km^2$ , definido como el gasto máximo por unidad de área,  $A$  es el área de la cuenca en  $km^2$ , y  $c$  y  $x$  son parámetros empíricos obtenidos al realizar el ajuste de los datos.

Existe un gran número de fórmulas de envolventes, sin embargo en México las que más se utilizan corresponden a las propuestas por Creager (Creager *et al.*, 1945) y Lowry (Aparicio, 1992).

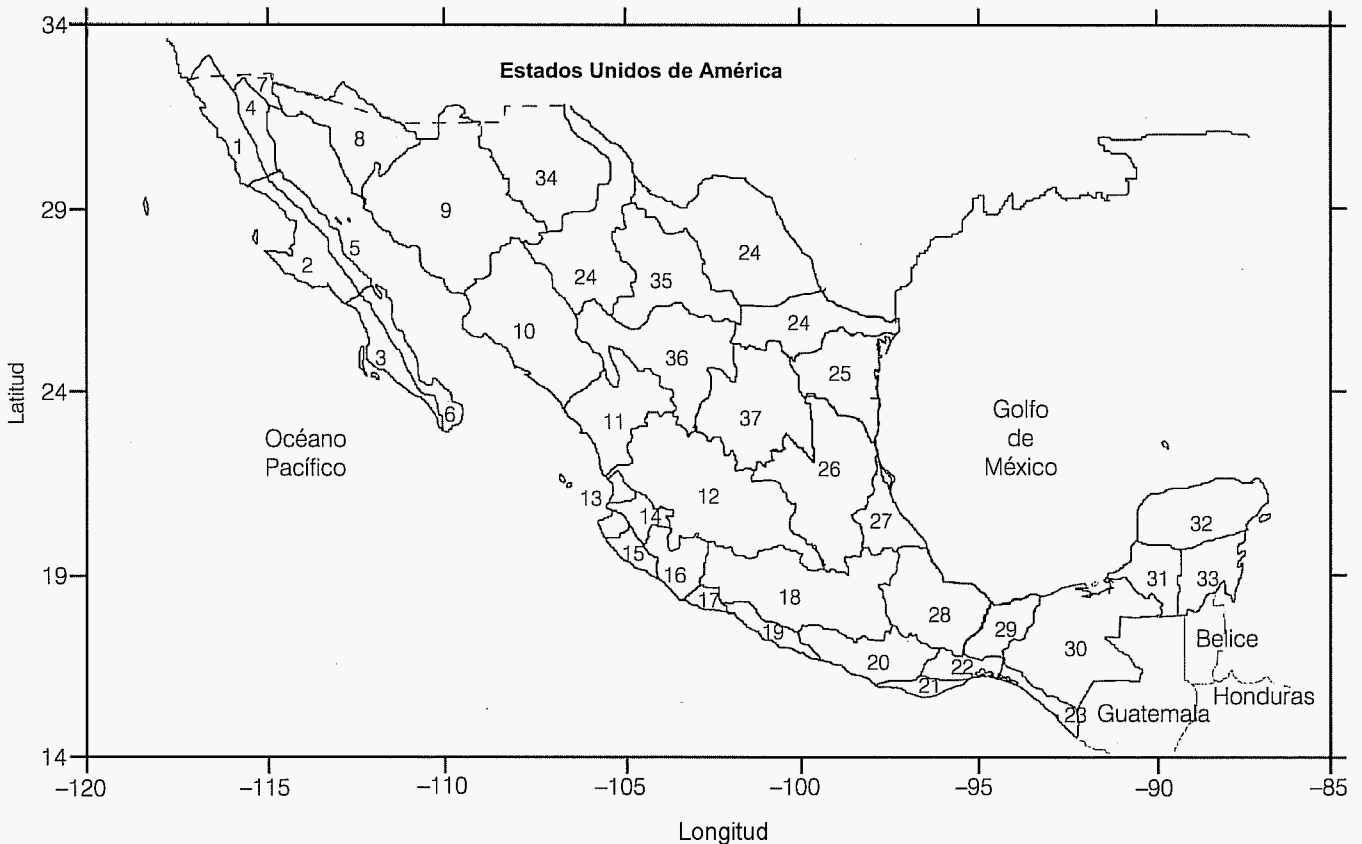
Además, en este trabajo se presentan las relaciones propuestas por Francou y Rodier (1967), Matthai (1969) y Crippen (1982).

### Introducción

En 1978, la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) determinó los coeficientes de la envolvente de Lowry para cada una de las 37 regiones hidrológicas en que se ha dividido el país (ilustración 1, cuadro 1). Un poco antes, la misma SARH publicó los coeficientes de la envolvente de Creager para cada una de las 23 regiones en que previamente se había organizado al país (Fuentes *et al.*, 1981).

En 1996, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Nacional del Agua (CNA) editaron el Banco de Datos de Aguas Superficiales (Bandas), el cual contiene los datos hidrométricos de 1,609 estaciones a

Ilustración 1. Regiones hidrológicas de la república mexicana, SARH (1978).



**Cuadro 1. Regiones hidrológicas de la república mexicana, SARH (1978).**

Región hidrológica	Nombre
1	Baja California Noroeste (Ensenada)
2	Baja California Centro (El Vizcaino)
3	Baja California Suroeste (Magdalena)
4	Baja California Noreste (Laguna Salada)
5	Baja California Centro este (Santa Rosalía)
6	Baja California Sureste (La Paz)
7	Río Colorado
8	Sonora Norte
9	Sonora Sur
10	Sinaloa
11	Presidio San Pedro
12	Lerma – Santiago
13	Huicicila
14	Arneca
15	Costa de Jalisco
16	Armería – Coahuayana
17	Costa de Michoacán
18	Balsas
19	Costa Grande
20	Costa Chica Río Verde
21	Costa de Oaxaca
22	Tehuantepec
23	Costa de Chiapas
24	Bravo
25	San Fernando Soto La Marina
26	Pánuco
27	Tuxpan – Nautla
28	Papaloapan
29	Coatzacoalcos
30	Grijalva – Usumacinta
31	Yucatán Oeste (Campeche)
32	Yucatán Norte (Yucatán)
33	Yucatán Este (Quintana Roo)
34	Cuencas Cerradas del Norte
35	Mapimí
36	Nazas – Agua Naval
37	El Salado

lo largo de todo el país actualizados a 1994. Para 2000, el mismo IMTA elaboró la segunda versión del Bandas, la cual contiene información de escurrimientos actualizada a 1999. Una recopilación de información de gastos máximos anuales en las gerencias regionales y estatales de la misma CNA permitió extender la base de datos, de tal forma que la información utilizada en este trabajo para la actualización de las envolventes se llevó a cabo con datos hidrométricos disponibles hasta 2000.

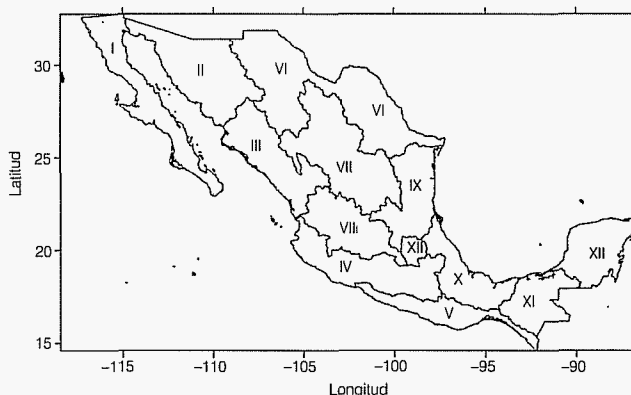
En 1997, la CNA se reorganizó en 13 regiones administrativas (ilustración 2, cuadro 2), por lo que,

aprovechando la información recopilada, se determinaron adicionalmente las envolventes para cada una de estas regiones. Asimismo, se presenta también la envolvente para todo el territorio nacional.

## Desarrollo

Ya que la envolvente de gastos máximos representa un comportamiento regional del escurrimiento, resulta deseable, aunque de ninguna forma indispensable, que la información base provenga de una región hidrológicamente homogénea. Para los fines de muchos trabajos relacionados con la estimación gruesa de gastos, incluido éste, la homogeneidad regional no se ha verificado. Finalmente, el objetivo de este trabajo es disponer de envolventes en las regiones que se manejan en la práctica. Sin embargo, las cuencas de aportación que dieron origen a las series de datos disponible fueron examinadas minuciosamente con el objetivo de llevar a cabo una depuración de las estaciones hidrométricas a considerar. El fundamento de esta revisión consiste en tomar en cuenta, en el análisis, solamente los registros de estaciones de aforo correspondientes a cuencas que presentan un régimen de escurrimientos virgen o inalterado. Aun cuando en principio se puede pensar que la presencia de obras de aprovechamiento en la cuenca representa una alternativa de control de escurrimientos y, por lo tanto, se producirían gastos menores que en el caso de que la cuenca no hubiera sido alterada, resulta evidente que la presencia de infraestructura de gran envergadura, como una presa, podría, a través de una política de operación deficiente, generar eventualmente descargas mayores que las producidas en la cuenca virgen. Incluso cuando este hecho es poco frecuente, se tomó la decisión de excluir aquellas cuencas en las cuales existen grandes presas.

**Ilustración 2. Regiones administrativas de la república mexicana.**



Cuadro 2. Regiones administrativas de la república mexicana (CNA, 1997).

Región administrativa	Nombre	Regiones hidrológicas que la componen
1	Península de Baja California	Regiones 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7
2	Alto Noroeste	Regiones 8 y 9 (parcial)
3	Bajo Noroeste	Regiones 9 (parcial) y 10
4	Pacífico Centro	Regiones 13, 14, 15, 16, 17 y 18
5	Pacífico Sur	Regiones 19, 20, 21, 22 y 23
6	Frontera Norte	Regiones 24 y 34
7	Cuencas Centrales del Norte	Regiones 35, 36 y 37
8	Lerma Santiago	Región 12
9	Golfo Norte	Regiones 25 y 26 (parcial)
10	Golfo Centro	Regiones 27, 28 y 29
11	Golfo Sur	Región 30
12	Península de Yucatán	Regiones 31, 32 y 33
13	Cuenca del Valle de México	Región 26 (parcial)

Este proceso de depuración generó una base de datos modificada de solamente 628 estaciones hidrométricas.

Con el fin de establecer una comparación con los valores presentados en el estudio de la SARH, se determinaron las envolventes de Creager y Lowry. Adicionalmente, se aplicaron las formulaciones propuestas por Francou-Rodier (1967), Matthai (1969) y Crippen (1982).

Como se ha mencionado, la idea fundamental de todos los métodos de curvas envolventes es relacionar el gasto máximo con un solo parámetro de la cuenca: el área. A continuación se presentan las formulaciones aplicadas.

#### Envolvente de Creager

Creager et al. (1945) introdujeron la envolvente de más uso en el mundo con el fin de estimar la magnitud de eventos extraordinarios en los Estados Unidos. La ecuación propuesta es:

$$q = 1.303 C_c (0.386 A)^{0.936} A^{-0.048} A^{-1} \quad (2)$$

donde  $q$  es el gasto específico o gasto por unidad de área en  $m^3/s/km^2$ ,  $A$  es el área de la cuenca en  $km^2$  y  $C_c$  es el parámetro empírico que define la envolvente. Como puede observarse, la ecuación puede expresarse fácilmente en la forma general (1). Creager determinó un coeficiente mundial de  $C_c = 200$ , mientras que Aparicio (1992) consigna que un valor más razonable de dicho coeficiente es  $C_c = 100$ . Fuentes et al. (1981) relacionan los valores de  $C_c$  que la SARH determinó para 23

regiones de la república mexicana. En ese caso, el valor máximo encontrado alcanzó un  $C_c = 100$  para algún dato analizado en la entonces definida región Pacífico Centro.

#### Envolvente de Lowry

La envolvente de Lowry es muy usada en Latinoamérica. La expresión para el cálculo del gasto específico está dada por:

$$q = \frac{C_L}{(A + 259)^{0.85}} \quad (3)$$

donde  $C_L$  es un parámetro empírico y  $A$  es el área de la cuenca en  $km^2$ .

En 1978, la SARH publicó los valores del coeficiente de Lowry para cada una de las 37 regiones hidrológicas previamente definidas. Para el cálculo de los coeficientes se utilizaron datos observados de gastos máximos hasta 1975. Con esos datos, la envolvente nacional estaba dada por  $C_L = 5,270$ , valor estimado para la región Costa de Jalisco (SARH, 1978).

#### Envolvente de Francou-Rodier

Los franceses J. Francou y J.A. Rodier publicaron en 1967 una fórmula envolvente que es usada ampliamente en Europa y África. Los autores consideraron que los escurrimientos máximos se cubrían con una curva envolvente expresada como:

$$\frac{Q}{Q_0} = \left( \frac{A}{A_0} \right)^{1-K/10} \quad (4)$$

donde:

- Q es el gasto máximo en m<sup>3</sup>/s.
- Q<sub>0</sub> es una constante igual a 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s.
- A es el área de la cuenca en km<sup>2</sup>.
- A<sub>0</sub> es una constante igual a 10<sup>8</sup> km<sup>2</sup>.
- K es un coeficiente empírico conocido como coeficiente de Francou-Rodier.

Con base en la ecuación (4), para un evento particular, el coeficiente de Francou-Rodier puede calcularse como:

$$K = 10 \left[ 1 - \frac{\log Q - 6}{\log A - 8} \right] \quad (5)$$

Francou y Rodier consideraron al coeficiente K como un índice de avenidas que puede utilizarse para comparar gastos máximos.

Según Papp (2001), valores de K entre seis y siete son indicativos de eventos que pueden clasificarse como extremos en una escala global y que han ocurrido, por lo general, en cuencas tropicales o ecuatoriales. En climas continentales, el coeficiente de Francou-Rodier difícilmente alcanza valores superiores a cuatro.

#### Envolvente de Matthai

Matthai (1969) prefirió trabajar con la ecuación básica expresada en la ecuación (1) al realizar la estimación de las avenidas generadas en las cuencas de Colorado durante 1965. La ecuación correspondiente es:

$$q = \alpha A^\beta \quad (6)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros que definen la curva envolvente.

#### Envolvente de Crippen

Con base en los datos obtenidos en un trabajo de 1977 (Crippen y Bue, 1977), John Crippen planteó una curva envolvente para eventos máximos, la cual se expresa como (Crippen, 1982):

$$q = k_1 A^{(k_2-1)} (A^{0.5} + 5)^{k_3} \quad (7)$$

donde  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  son parámetros empíricos de la curva.

## Resultados de las envolventes

Los parámetros de las diferentes formulaciones fueron obtenidos por medio de un ajuste de curvas, encontrando simplemente la curva envolvente más apegada a los datos observados. El resumen de parámetros para el caso de las 37 regiones hidrológicas se presenta en el cuadro 3, mientras los valores que definen las envolventes para las 13 regiones administrativas se consignan en el cuadro 4.

Cabe mencionar que el rango de área de las cuencas utilizadas en la construcción de las envolventes está comprendido entre 1 y 122,767 kilómetros cuadrados.

La envolvente nacional, la cual se muestra en la ilustración 3, está definida por los siguientes parámetros: coeficiente de Creager:  $C_c = 250$ ; coeficientes de Lowry:  $C_L = 7,200$ ; coeficiente de Francou-Rodier:  $K = 6.21$ ; coeficientes de Matthai:  $\alpha = 90$ ,  $\beta = -0.20$ ; y coeficientes de Crippen:  $k_1 = 977.50$ ,  $k_2 = 1.205$ ,  $k_3 = -1.511$ .

## Los gastos máximos de México en el contexto mundial

En 1976, y en el marco del Programa Hidrológico Internacional (PHI), la UNESCO publicó el catálogo mundial de avenidas máximas (UNESCO, 1976), con datos de 34 países. Después de ese trabajo, la Asociación Internacional de las Ciencias Hidrológicas (IAHS, por sus siglas en inglés) emprendió acciones tendientes a mejorar y completar el trabajo del PHI. El trabajo conjunto de PHI/UNESCO produjo, en 1984, el Catálogo mundial de avenidas máximas observadas (Rodier y Roche, 1984). En el catálogo, que cuenta con información de 95 países, los datos fueron ajustados a la curva envolvente propuesta por Francou y Rodier (ecuación 4).

En 1994 se creó el Comité de Presas y Avenidas de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés) con el fin de revisar las avenidas de diseño estimadas en presas importantes. En este trabajo se analizaron 340 eventos adicionales a la base de datos de IAHS, cubriendo cerca del 90% de las grandes presas en 25 países. Los nuevos datos fueron también expresados según el coeficiente de Francou-Rodier.

Para 1999, IAHS, UNESCO y la Organización Meteorológica Mundial iniciaron el más reciente esfuerzo por actualizar el catálogo (Hersch, 2001). Es de mencionar que Rodier y Roche establecieron la recomendación de considerar un intervalo de actualización de la base de datos de veinte años. Estos autores reconocieron también la creciente dificultad de aumentar el catálogo debido a que, año con año, menos ríos permanecen sin modificaciones antropogénicas. La actualización

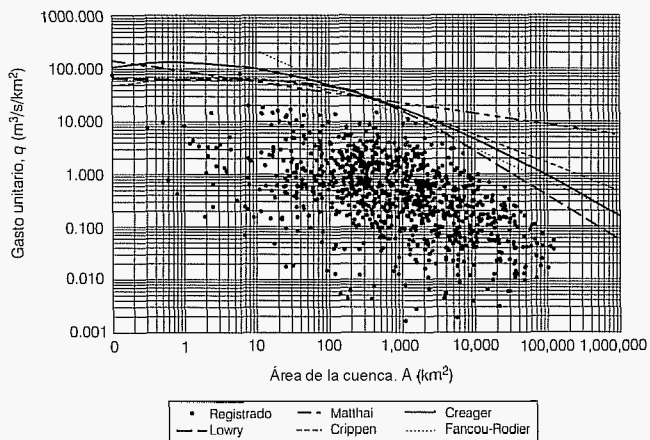
Cuadro 3. Coeficientes de las envolventes para las 37 regiones hidrológicas.

Región hidrológica	Parámetros de las envolventes							
	Matthai		Creager	Lowry	Crippen			Francou-Rodier
	$a$	$\beta$	$C_c$	$C_L$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	K
1	22	-0.45	15	500	450	1.1	-1.85	3.86
2 a 7	Datos insuficientes							
8	4	-0.24	18	700	400	1.50	-2.60	3.86
9	16	-0.30	35	1,800	220	1.10	-1.43	4.50
10	85	-0.32	130	4,700	728.51	1.39	-1.89	5.93
11	85	-0.38	115	4,500	250	1.30	-1.58	5.82
12	17.5	-0.30	30	1,500	133	1.28	-1.72	4.18
13 a 15	70	-0.41	60	2,300	300	1.16	-1.50	5.52
16	50	-0.32	120	5,300	800	1.42	-2.10	5.76
17	Datos insuficientes							
18	35	-0.32	70	2,400	692.71	1.52	-2.40	5.07
19	140	-0.35	180	5,600	550	1.18	-1.39	6.21
20	45	-0.34	60	2,200	152.52	1.40	-1.77	5.27
21 a 23	50	-0.27	85	2,456	658.92	1.36	-1.98	5.41
24	19.33	-0.23	50	2,000	250	1.12	-1.45	4.86
25	60	-0.32	100	3,000	1,241.79	1.41	-2.22	5.45
26	52	-0.35	75	2,500	200	1.07	-1.10	5.19
27	60	-0.33	70	2,300	200	1.05	-1.10	5.95
28	57.52	-0.32	100	2,600	400	1.15	-1.45	5.38
29	62	-0.47	50	2,200	200	1.13	-1.45	4.73
30	145	-0.28	250	7,200	800	1.31	-1.65	5.59
31 a 35	Datos insuficientes							
36	1.369	-0.15	15	600	130	1.07	-1.45	3.65
37	Datos insuficientes							

Cuadro 4. Coeficientes de las envolventes para las 13 regiones administrativas.

Región hidrológica	Nombre	Parámetros de las envolventes								
		Matthai		Creager	Lowry	Crippen			Francou-Rodier	
		$a$	$\beta$	$C_c$	$C_L$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	K	
I	P. de Baja California	Datos insuficientes								3.86
II	Alto Noroeste	5.30	-0.13	35	1,800	220.00	1.05	-1.36	4.50	
III	Bajo Noroeste	500.00	-0.55	130	4,700	600.00	1.22	-1.55	5.93	
IV	Pacífico Centro	85.00	-0.40	120	5,300	300.00	1.25	-1.52	5.76	
V	Pacífico Sur	71.85	-0.24	180	5,600	606.83	1.20	-1.41	6.21	
VI	Frontera Norte	50.00	-0.40	50	2,000	118.11	1.24	-1.46	4.86	
VII	Centro Norte	6.78	-0.23	15	670	125.00	1.03	-1.38	6.17	
VIII	Lerma - Santiago	17.49	-0.30	30	1,500	133.00	1.28	-1.72	4.18	
IX	Golfo Norte	29.61	-0.22	100	3,000	229.66	1.15	-1.30	5.45	
X	Golfo Centro	35.00	-0.22	100	2,600	229.66	1.15	-1.28	5.95	
XI	Frontera Sur	145.00	-0.28	250	7,200	800.00	1.31	-1.65	5.59	
XII	P. de Yucatán	Datos insuficientes								
XIII	Valle de México	13.30	-0.34	20	650	188.85	1.35	-2.06	4.80	

**Ilustración 3. Envolvente de gastos máximos unitarios para la república mexicana.**



de datos iniciada en 1999 ha dado frutos parciales y los resultados definitivos no han sido dados a conocer aún.

Herschy (2001) considera que la actualización permitirá la inclusión de un gran número de datos, pero que el coeficiente de Francou-Rodier difícilmente crecerá.

Según el citado coeficiente, con datos hasta 1994, la envolvente mundial estaba definida por  $K = 6.38$ , mientras que la envolvente para la república mexicana alcanzaba un valor  $K = 6.16$ , establecido en 1959 en la estación Cihuatlán, sobre el río del mismo nombre en el estado de Jalisco. Cabe señalar que el valor máximo mundial de 6.38 consignado en ese estudio fue establecido en 1984. Ahora bien, incorporando los datos presentados por Rakhecha (2001), la envolvente mundial alcanza 6.76.

En el cuadro 5 se presentan las avenidas máximas observadas en el mundo, con el correspondiente coeficiente de la curva envolvente, de acuerdo con la información de UNESCO, IAHS, ICOLD, Rakhecha y los resultados obtenidos en el presente estudio, señalados en el cuadro 5 como "Ramírez, 2004".

Cabe señalar que tanto el dato del gasto máximo en la estación Cihuatlán reportado por IAHS en 1984, como el de la estación San Bartolo, sobre el arroyo del mismo nombre en Baja California, reportado por Rakhecha (2001), no se verifican de acuerdo con la información oficial contenida en el Bandas actualizado a 1999. Según Rodier y Roche (1984), el error en la estimación de los gastos máximos reportados en su estudio alcanza el 15%; sin embargo, los gastos máximos registrados en Cihuatlán y San Bartolo, según el Bandas, difieren en 251 y 1,190%, respectivamente, lo cual hace pensar más en un posible error en el reporte de los valores.

### Comentarios finales

El análisis de las diferentes formulaciones propuestas sugiere que la envolvente de Matthai no se ajusta adecuadamente, mientras las otras tres formulaciones presentan un comportamiento similar. Sin embargo, el simple análisis gráfico indica que las fórmulas de Lowry y Creager se ajustan mejor para el caso de grandes cuencas, mientras la de Crippen lo hace para las cuencas pequeñas y medianas; digamos, menores de 1,000 kilómetros cuadrados.

Con respecto a los valores calculados por la SARH en 1978, el valor del coeficiente  $C_L$  de Lowry para todo el país pasó de 5,270 a 7,200, con la adición de 22 años de datos. Por otro lado, el coeficiente  $C_c$  de Creager pasó de 200 (en 1975) a 250 (en 2000). Lo anterior indica que las envolventes se han desplazado moderadamente.

En cuanto al criterio del coeficiente del Francou-Rodier, se observa que en la región hidrológica número 19, correspondiente a la región administrativa V, denominada Pacífico Sur, se tiene un coeficiente  $K = 6.21$ , el cual se obtiene con datos de la estación Coyuca de Benítez, sobre el río Coyuca, en el estado de Guerrero. Al comparar este valor con los registros mundiales, México se ubica, aunque sea temporalmente en tanto se tiene la actualización mundial del catálogo, en el undécimo lugar en la clasificación de mayores coeficientes de Francou-Rodier en el mundo. De hecho, con los resultados de este estudio, los registros mexicanos ocupan en el citado cuadro ocho de los primeros cincuenta sitios con mayores escurrimientos en el planeta.

Las envolventes de gastos máximos pueden utilizarse como una medida del potencial de generación de avenidas o como una primera estimación en estudios de gran visión, y no son, de ninguna manera, recomendables para el diseño definitivo de obras hidráulicas importantes.

Como se mencionó anteriormente, las envolventes no se pueden asociar con ninguna probabilidad de ocurrencia; sin embargo, ya que los eventos a partir de los cuales se estimaron en verdad ocurrieron, es probable que, en el futuro, se generen escurrimientos que puedan, al menos, igualarlos.

Recibido: 07/01/2004

Aprobado: 16/01/2004

### Referencias

APARICIO, F. J. *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, D.F.: Limusa, 1992.



Cuadro 5. Gastos máximos observados en el mundo. Envoltente de Francou-Rodier.

Núm.	Río	País	Fuente	Área (km <sup>2</sup> )	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Año	K
1	Amazonas	Brasil	Rakhecha, 2001	4,640,000	370,000		6.76
2	Quaierne	Francia	IAHS, 1984	330	10,400	1981	6.38
3	Banquiao	China	ICOLD, 1994	762	13,000	1975	6.31
4	Amazonas, Obidos	Brasil	IAHS, 1984/ICOLD, 1994	4,620,000	320,000	1953	6.29
5	Shingu Oga	Japón	IAHS, 1984	2,350	19,025	1959	6.28
6	Narmada	India	ICOLD, 1994	88,000	71,000	1994	6.24
7	Amazonas, Obidos	Brasil	ICOLD, 1994	4,620,000	313,000	1989	6.22
8	Cho Shui	Taiwán	IAHS, 1984	259	7,780	1979	6.22
9	Narmada	India	IAHS, 1984	88,000	69,400	1970	6.21
10	Machhu	India	IAHS, 1984/ICOLD, 1994	1,930	16,308	1979	6.21
11	Coyuca	México	Ramírez, 2004	1,533	13,623	1984	6.21
12	Tam Shui West	Taiwán	IAHS, 1984	2,110	16,700	1963	6.20
13	Nueces	Estados Unidos	IAHS, 1984	1,800	15,600	1959	6.19
14	La Parada	México	Ramírez, 2004	1,533	14,253	1986	6.17
15	Cihuatlán(*)	México	IAHS, 1984	1,370	13,500	1959	6.16
16	Yate	Francia	ICOLD, 1994	436	8,680	1988	6.15
17	Pecos	Estados Unidos	IAHS, 1984	9,100	26,800	1954	6.11
18	Nyodo Ino	Japón	IAHS, 1984	1,560	13,510	1963	6.11
19	Shirnantan	China	ICOLD, 1994	230	6,280	1975	6.09
20	Teodong Gang	Corea del Norte	IAHS, 1984	12,175	29,000	1967	6.07
21	Han Koan	Corea del Sur	IAHS, 1984	23,880	37,000	1925	6.05
22	Narmada	India	ICOLD, 1994	88,000	61,229	1973	6.03
23	Chungju	Corea	ICOLD, 1994	6,648	21,899	1990	6.03
24	Hualien	Taiwán	IAHS, 1984	1,500	11,900	1973	6.01
25	Cagayan	Filipinas	Rakhecha, 2001	4,244	17,550		5.98
26	Misantla	México	Ramírez, 2004	456	6,860	1995	5.95
27	Badiraguato	México	Ramírez, 2004	1,018	9,245	1981	5.93
28	Eel	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	8,060	21,300		5.92
29	Kiso	Japón	Rakhecha, 2001	1,680	11,150		5.91
30	Quinne	Francia	Rakhecha, 2001	143	4,000		5.90
31	Pedemales	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	2,450	12,500		5.87
32	Tone	Japón	Rakhecha, 2001	5,110	16,900		5.87
33	Nueces	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	5,504	17,400		5.87
34	Hanjiang	China	Rakhecha, 2001	41,400	40,000		5.87
35	Daeryong Gang	Corea del Norte	Rakhecha, 2001	3,020	13,500		5.86
36	San Bartolo (*)	México	Rakhecha, 2001	81	3,000		5.86
37	Yoshino	Japón	Rakhecha, 2001	3,750	14,470		5.84
38	Pioneer	Australia	Rakhecha, 2001	1,490	9,840		5.84
39	Little Nernaha	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	549	6,370		5.83
40	SF Wailua	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	58	2,470		5.82
41	Yate	Francia	Rakhecha, 2001	435	5,700		5.81
42	Betsiboka	Magadascar	Rakhecha, 2001	11,800	22,000		5.78
43	Midfork	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	1,360	8,780		5.77
44	Haast	Nueva Zelanda	Rakhecha, 2001	1,020	7,690		5.76
45	Coahuayana	México	Ramírez, 2004	6,835	17,000	1959	5.76
46	Jhelum	Paquistán	Rakhecha, 2001	29,000	31,100		5.74
47	Mangoky	Magadascar	Rakhecha, 2001	50,000	38,000		5.70
48	Papenoo	Francia	Rakhecha, 2001	78	2,200		5.65
49	Buey	Cuba	Rakhecha, 2001	73	2,060		5.62
50	Zoyatenco	México	Ramírez, 2004	2,551	9,350	1980	5.59

- CNA. Banco de datos de aguas superficiales. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1996.
- CNA. Bandas. Actualización del banco de datos de aguas superficiales. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2000.
- CREAGER, W.P., JUSTIN, J.D. y HINDS, J. Engineering for dams, general design. Vol. I. New York: John Wiley and Sons, 1945.
- CRIPPEN, J.R. Envelope curves for extreme flood events. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*. Vol. 108, núm. HY10, 1982, pp. 1208-1212.
- CRIPPEN, J.R. y BUE, C.D. Maximum flood flows in the conterminous United States. *Water-Supply Paper 1887*. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey, 1977.
- FUENTES, O., DOMÍNGUEZ, R. y FRANCO, V. Manual de diseño de obras civiles. Hidrotecnia. A.1.5. Relación entre precipitación y escurrimiento. México, D.F.: Comisión Federal de Electricidad, 1981.
- FRANCOU, J. y RODIER, J. Essai de classification des crues maximales observées dans le monde. *Cahiers ORSTOM serie hydrologie*. Vol. IV, núm. 3, ORSTOM Bondy, France. 1967.
- HERSCHY, R.W. The world's maximum observed flows. The extreme of the extremes. extraordinary floods. *IAHS publication*. Núm. 271, 2001, pp. 355-360.
- MATTHAI, H.F. Floods of June 1965 in South Platte Basin, Colorado. *Water Supply Paper 1850-B*. Washington, D.C.: U. S. Geological Survey, 1969.
- PAPP, F. Extremeness of extreme floods. The extreme of the extremes. Extraordinary floods. *IAHS Publication*. Núm. 271, 2001, pp. 373-378.
- RAKHECHA, R.R. Highest floods in India. The extreme of the extremes. Extraordinary floods. *IAHS Publication*. Núm. 271, 2001, pp. 167-172.
- RODIER, J.A. y ROCHE, M.J. World catalogue of maximum observed floods. *IAHS Publication*. Núm. 143, 1984, 320 pp.
- SARH. Envolventes de gastos máximos observados y probables en la república mexicana. México, D.F.: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1978.
- UNESCO. Repertoire mondial des tres fortes crues. *Etudes et rapports d'hydrologie*. París: Les presses de l'UNESCO, 1976.

### Abstract

RAMÍREZ-OROZCO, A.I., J.F. GÓMEZ MARTÍNEZ, D. CAMPOS-ARANDA. *Updating of regional peak discharge envelopes for the Mexican Republic. Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XX, no. 1, January-March, 2005, pp. 99-108.*

The general behavior of maximum annual discharges within a region can be observed by plotting this variable against the corresponding basin drainage area. A smooth curve which covers each point in such plot is called the "peak discharge envelope". Envelopes are not associated to frequency or occurrence probabilities but, within the application region, give evidence of the maximum magnitude of the discharge that can be expected. The envelope curve allows the gross estimation of extraordinary events based only on the basin drainage surface. The envelope curves for each of the 37 hydrologic regions, the 13 administrative regions in Mexico, and the national envelope curve are presented in this paper. The curves have been obtained with hydrometric information, updated to the year 2000, from 628 gauging stations with an unaltered flow regime. The well-known formulations of Creager and Lowry are presented, but also those of Matthai, Crippen and Francou-Rodier are introduced. Finally, a discussion of the magnitude of Mexican floods in a world context is stated. Based on the results, it can be affirmed that the envelope curves have shifted moderately during the last 22 years.

**Keywords:** Mexican envelope curve, Creager, Lowry, Matthai, Crippen, Francou-Rodier coefficient, hydrologic region, maximum observed floods.

#### Dirección institucional de los autores:

*Dr. Aldo Iván Ramírez-Orozco*

*Coordinador de Tratamiento y Calidad del Agua,  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,  
Paseo Cuauhnáhuac 8532,  
62450 Progreso, Jiutepec, Morelos, México,  
teléfono y fax: + (52) (777) 3 19 43 81,  
aramirez@tlaloc.imta.mx*

*M. en I. Juan Francisco Gómez-Martínez*

*Especialista en hidráulica,  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,  
Paseo Cuauhnáhuac 8532,  
62450 Progreso, Jiutepec, Morelos, México,  
teléfono y fax: + (52) (777) 3 20 86 71,  
juanico@tlaloc.imta.mx*

*Dr. Daniel Francisco Campos Aranda*

*Profesor jubilado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí,  
Genaro Codina # 240, 78280 San Luis Potosí, San Luis Potosí,  
México,  
teléfono: + (52) (444) 8 15 14 31.*