

## CAUDAL ESPECÍFICO Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS REGIONAL DE SERIES MÁXIMAS

*Specific Flow and its Application in the Regional Analysis of Maximum Series*

**Juan Carlos Fuentes Montepeque**

Maestro en Hidrología y Recursos Hidráulicos  
Coordinador Área Desarrollo Socio-Ambiental y Energético

Correspondencia al autor: jcfuentes24@gmail.com

Recibido: 05 de febrero 2018 | Revisado: 10 de febrero 2018 | Aprobado: 12 de febrero 2018

### Resumen

El análisis regional de crecidas se basa un enfoque probabilístico a partir de series de caudales máximos anuales para un área geográfica definida previamente como una región homogénea. Las series temporales consideradas en el análisis regional deben cumplir indispensablemente con ciertas características, entre las que resaltan longitud, completación (relación  $n/N$ ), consistencia, homogeneidad, independencia, principalmente. Se considera un total de 12 series de caudales máximos anuales, a las cuales se les aplica los modelos probabilísticos Galton 2P, Galton 3P, Gumbel, Fréchet, Gama, Pearson III y Valor Extremo Generalizado, mediante momentos convencionales y lineales, con el objeto de estimar factores de frecuencia. Además, se aplica algunos modelos determinísticos para analizar el caudal específico en función del área de drenaje de las cuencas pertenecientes a cada serie temporal. Finalmente, se estima la influencia del caudal específico en el análisis regional, con valores que oscilan entre 100 a 600  $m^3/s$ , para períodos de retorno de 2 a 50 años, respectivamente. Al analizar la relación del área en función del caudal específico mejora sustancialmente el coeficiente de determinación.

### Palabras clave

Curva envolvente, período de retorno, caudal índice, factor de frecuencia, serie de tiempo.

### Abstract

*The regional analysis of floods is based on a probabilistic approach based on series of maximum annual flows for a geographical area previously defined as a homogeneous region. The time series considered in the regional analysis must comply with certain characteristics, among which stand out length, completion (ratio  $n/N$ ), consistency, homogeneity, independence, mainly. A total of 12 series of maximum annual flows are considered, to which the Galton 2P, Galton 3P, Gumbel, Fréchet, Gama, Pearson III and Generalized Extreme Value are applied, using conventional and linear moments, with the purpose of estimate frequency factors. In addition, some deterministic models are applied to analyze the specific flow depending on the drainage area of the basins, belonging to each time series. Finally, the influence of the specific flow in the regional analysis is estimated, with values ranging from 100 to 600  $m^3/s$ , for return periods of 2 to 50 years, respectively. When analyzing the ratio of the area as a function of the specific flow rate, the coefficient of determination is substantially improved.*

### Keywords

*Envelope curve, return period, flow index, frequency factor, time serie.*

## Introducción

La cuenca del río Coyolate es una de las 18 cuencas en Guatemala que drena al océano Pacífico, dada sus características biofísicas, tales como relieve, suelos, uso de la tierra y el régimen de lluvias, es altamente susceptible a la formación de crecidas e inundaciones ante eventos meteorológicos extremos. El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), dispone de una red compuesta por 3 estaciones meteorológicas y 1 estación hidrométrica, en operación en el año 2017, las cuales tienen influencia en el área de la cuenca en análisis.

En tal sentido, mediante el análisis regional se estiman factores de frecuencia asociados al área de drenaje del sitio de interés y a diversos períodos de retorno. Previo al análisis regional, se aplican diversas curvas envolventes, con el objeto de estimar las relaciones existentes en el caudal específico. Para el trazo y análisis de los modelos que se aplican, se utilizan los software estadísticos HIDROESTA v.2 y AFA v.1.1.

## Desarrollo del tema

La cuenca del río Coyolate se ubica en el suroccidente de la república de Guatemala, en las coordenadas geográficas 91° 10 '05" longitud Oeste y 14° 19' 52" latitud Norte, con una altitud promedio de 1,200 msnm. Su extensión territorial es de 1,734.42 km<sup>2</sup> y forma parte de las 18 cuencas que drenan a la vertiente del océano Pacífico, identificada con el numeral 1.10, de acuerdo al Atlas Hidrológico (INSIVUMEH, 2005).

## Serie de tiempo

Se obtienen las series de tiempo de caudales máximos anuales, correspondientes a 12 estaciones hidrométricas propiedad de INSIVUMEH. Posteriormente se verifican sus propiedades, tales como longitud (en años), consistencia, homogeneidad (pruebas de Helmert, t Student y Cramer) e independencia (prueba de Anderson), las cuales son indispensables para realizar el análisis de frecuencia y por ende, regional.

## Curvas envolventes

En este caso, la curva envolvente relaciona el caudal específico (máximo) con el área de drenaje, para lo cual se aplican los siguientes modelos:

Envolvente mundial de Lowry, citado por Aparicio (2001).

$$q = C/(A+259)^{0.85} \quad (1)$$

Envolvente mundial de Creager C = 100 y envolvente nacional de Creager C = 50, citado por Orozco (2006).

$$Q_{max} = 1.3C(A/2.59)^{0.94A-0.0048} \quad (2)$$

Envolvente nacional citada por INSIVUMEH (2004).

$$(2004). q = 155A^{-0.55} \quad (3)$$

Envolvente regional citada por INSIVUMEH (2005).

$$(2004). q = 70A^{-0.45} \quad (4)$$

Envolvente del huracán Mitch citada por López (1999).

$$(1999). q = 104A^{-0.70} \quad (5)$$

En todos los casos, q = caudal específico máximo (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) y A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>). Los modelos ploteados se muestran en la figura 1.

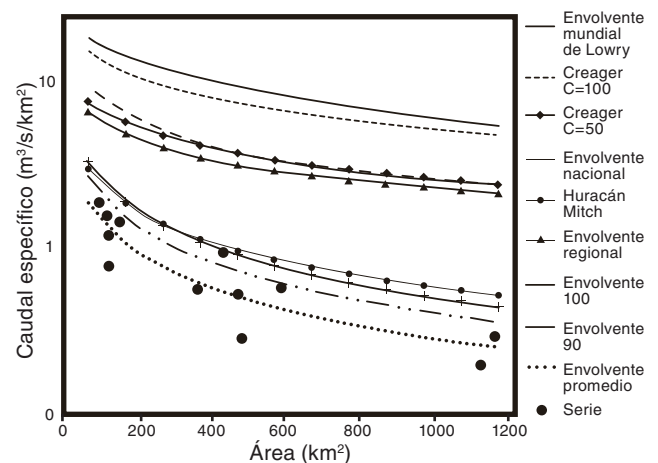


Figura 1. Curvas envolventes y caudales específicos observados.

Se deduce que los caudales específicos (máximos), observados en la región hidrológica donde se ubica la cuenca hidrográfica del río Coyolate, no exceden la curva envolvente generada por la envolvente estimada para el huracán Mitch, evento meteorológico extremo, suscitado en el territorio nacional, en octubre de 1998.

### Análisis regional

El análisis regional de crecidas es netamente estadístico en su concepción, consiste en realizar el análisis de frecuencia de series de crecidas máximas anuales, de estaciones hidrométricas que pertenecen o se clasifican en una región que se considera homogénea. El objetivo de este análisis es estimar factores de frecuencia (asociados a diversos períodos de retorno), para cada modelo probabilístico. En tal sentido, al obtener resultados consistentes, se puede estimar caudales máximos en cualquier sitio de interés de la cuenca donde no se disponga de información, mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{max} = QI * KTr \quad (6)$$

donde:  $Q_{max}$  = caudal máximo instantáneo asociado a un período de retorno ( $m^3/s$ ).

$QI$  = caudal índice ( $m^3/s$ ).

$KTr$  = factor de frecuencia.

El factor de frecuencia se estima para las series de caudales máximos instantáneos, ajustando a las curvas teóricas de frecuencia los valores ponderados, es decir, la longitud de cada serie sobre el total. Uno de los objetivos es generar información de utilidad para el análisis y propuestas del sistema de alerta temprana contra inundaciones, para lo cual se realizan comparaciones entre las crecidas a partir de períodos de retorno de 2 años.

La selección del modelo probabilístico de mejor ajuste a las series de tiempo, se realiza mediante estimación de indicadores de eficiencia, en este caso, el error cuadrático y el error estándar de ajuste. En tal sentido, se procede a asignar la posición relativa de cada modelo, para lo cual el modelo probabilístico que posee el menor error, se le asigna la posición número 1.

El caudal índice equivale al promedio aritmético de la serie de caudales máximos anuales, al plotearlo en función del área de cada estación, provee una ecuación potencial de la forma

$$QI = 101.91 A^{0.20} \quad (7),$$

con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.19, como se muestra en la figura 2. Este coeficiente mejora significativamente cuando se obtiene la relación caudal específico en función del área, mostrado en la figura 1.

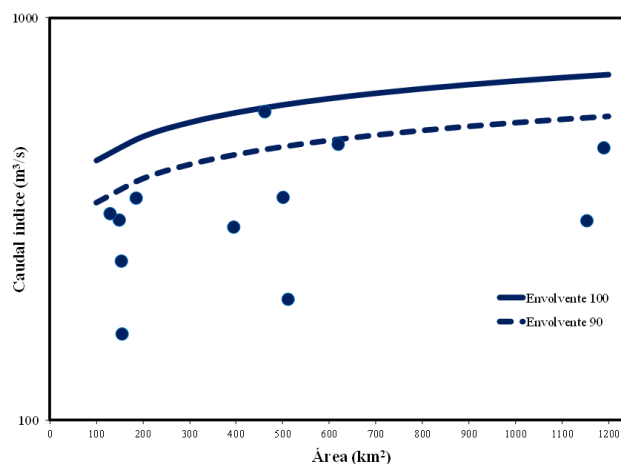


Figura 2. Caudal índice en función del área.

Al analizar el caudal específico en función del área, la ecuación que se deduce es

$$QI = 101.91 A^{-0.80} \quad (8),$$

con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.79, mejorando significativamente el ajuste con relación al modelo donde se analiza el caudal índice en función del área.

Del análisis regional, mediante la ponderación de las series estandarizadas de las estaciones hidrométricas y ajustadas a los modelos, se obtienen factores de frecuencia similares a los obtenidos por INSIVUMEH (2005). Se observa cierta variabilidad de los factores de frecuencia, por lo que al aplicar el error cuadrado y error estándar de ajuste, se deduce que las series se ajustan de mejor forma a los modelos Log Pearson III ML, Log Normal ML, Log Pearson III, Pearson III, Gumbel y Log Normal. En la tabla I, se ilustran los factores de frecuencia que se estiman.

Tabla I. Factores de frecuencia estimados del análisis regional mediante el caudal específico.

Período de retorno	Gumbell	Pearson III	Galton
2	0.56	0.49	0.48
5	1.06	0.95	0.90
10	1.39	1.29	1.26
25	1.81	1.69	1.80
50	2.13	2.08	2.29

Log Pearson III	Galton ML	Log Pearson III ML
0.46	0.48	0.36
0.87	0.91	0.71
1.27	1.28	1.07
1.90	1.84	1.71
2.49	2.34	2.36

Los caudales máximos estimados al utilizar los modelos estadísticos que presentan mejor ajuste a las series temporales en análisis son estimados para períodos de retorno de 2 a 50 años. Es factible la estimación de eventos con períodos de retorno mayores a estos valores, siempre que se cumpla con el Principio de Parsimonia. En la figura 3, se muestran los caudales máximos estimados mediante el modelo Log Pearson III ML (el cual presenta el mejor ajuste), para el sitio donde se ubica la estación hidrométrica puente Coyolate.

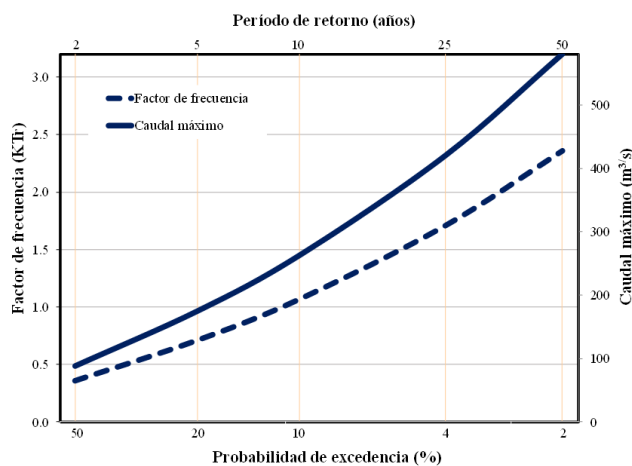


Figura 3. Caudales máximos anuales estimados en la estación hidrométrica puente Coyolate.

### Síntesis conclusiva

La relación del área en función del caudal índice muestra que existe un coeficiente de determinación bajo, el cual coincide con el estudio realizado por INSIVUMEH (2005). Esto se debe a que las series

analizadas poseen valores con cierta incertidumbre en su deducción. El coeficiente de determinación aumenta significativamente cuando se analiza la relación del área en función del caudal específico, que coincide con la mayoría de las ecuaciones generadas de curvas envolventes.

En la figura 1, se muestran las envolventes mundiales de Lowry y Creager, que se consideran para cuencas con mayor régimen en el escurrimiento superficial. La envolvente nacional, regional y la de Creager (C = 50), propuestas para las condiciones biofísicas del país presentan diferencias no significativas. En el caso de la envolvente generada por el huracán Mitch es similar a la envolvente 100. Es importante mencionar, que los modelos estadísticos ayudan a comprender de mejor manera el comportamiento de las crecidas. La interpretación de los caudales máximos estimados dependerá del criterio estadístico hidrológico, de las condiciones biofísicas de la cuenca en análisis, del algoritmo del modelo en particular y de los objetivos del proyecto a implementar.

### Referencias bibliográficas

Aparicio, M. (2001). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, Limusa

INSIVUMEH. (2005). *Atlas Hidrológico*. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

López, F. (1999). *Evaluación hidrológica de las crecidas provocadas por el paso del huracán Mitch en Guatemala*. (correspondencia personal)

Orozco, E. (2006). *Curso hidroeléctricas: caudales extremos*. (correspondencia personal)

### Información del autor

Ingeniero Agrónomo con Especialización en Planificación de Recursos Hídricos, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Maestro en Hidrología egresado de la Universidad de Costa Rica y Maestro en Recursos Hidráulicos egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.