
ENFOQUES EN EL ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO DE EVENTOS EXTREMOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Juan Carlos Fuentes Montepeque

Mtro. en Hidrología y Recursos Hidráulicos
Coordinador de Área de Desarrollo Socio-Ambiental y Energético
jcfuentes24@gmail.com

Resumen

El análisis de frecuencia de eventos extremos hidrometeorológicos, se utiliza para estimar la magnitud y/o la recurrencia de un evento, asociado siempre a un período de retorno. En el análisis generalmente se han utilizado modelos estadísticos, los cuales se basan en el ajuste de las series de tiempo a funciones de probabilidad, que pueden aplicarse a un sitio en particular o mediante un análisis regional. Se realizó el análisis de crecidas del río Coyolate, en la estación hidrométrica Puente Coyolate, ubicada en la parte media de la cuenca. Además, se realizó el análisis regional de crecidas considerando información de 12 estaciones hidrométricas ubicadas en esta región, con longitudes de registro que oscilan entre 10 y 31 años. En todas las series, previo al análisis, se verificó la independencia y homogeneidad en las mismas. Se observó que la magnitud de las crecidas estimadas mediante el análisis regional es mayor que el considerado para un solo sitio en particular. Asimismo, es factible la aplicación de otro tipo de modelación hidrológica que considere tanto aspectos estadísticos como determinísticos.

Palabras clave

Serie de tiempo, evento extremo, hidrometeorología, homogeneidad, modelo, función de probabilidad.

Abstract

Frequency analysis of hydrometeorological extreme events, is used to estimate the magnitude and / or recurrence of an event, always associated with a return period. The analysis have generally utilized statistical models, which are based on the adjustment of the time series probability functions that can be applied to a particular site or by a regional analysis. Flood analysis of Coyolate River in the hydrometric station Coyolate Bridge, located in the middle part of the basin was made. In addition, the regional flood analysis considering information of 12 hydrometric stations located in this region, with record lengths ranging between 10 and 31 years was performed. In all series, before analyzing the independence and homogeneity in the same was verified. It was observed that the magnitude of the estimated by analyzing regional flooding is greater than the one considered for particular site. The application of other hydrologic modeling that considers both statistical and deterministic aspects is also feasible.

Keywords

Serie, extreme event, independence, homogeneity, model, probability function.

Desarrollo del estudio

En hidrología, los eventos extremos comúnmente analizados comprenden crecidas y lluvias intensas. En lo que respecta a lluvias, puede analizarse la intensidad, lámina diaria máxima anual y lámina máxima anual en 24 horas. Estos eventos se caracterizan por poseer baja probabilidad de excedencia, y por ende, altos períodos de retorno.

Las series de tiempo comprenden entonces, un conjunto de datos respecto a la medición de una variable continua, la cual se caracteriza por su longitud y consistencia; además, debe cumplir con los criterios de independencia y homogeneidad, para la realización de análisis estadísticos y/o hidrológicos avanzados. De acuerdo con Ganancias (2009), es

indispensable que las series de tiempo sean independientes y homogéneas.

La independencia fue verificada mediante la prueba de Anderson y la homogeneidad, mediante las pruebas *t* de Student y de Cramer, descritas por Escalante & Reyes (2005).

Resultados obtenidos

La prueba de Anderson, consiste en el trazo de un correlograma con intervalos de confianza al 90 % y 95 %, con límites superior (LS) e inferior (LI), estimados mediante la ecuación $L = [\pm 1 - Z\alpha/2\sqrt{(N-K-1)}/N-1]$, donde *Z* es la variable estandarizada de la distribución Gaussiana, mostrado en la Figura 1:

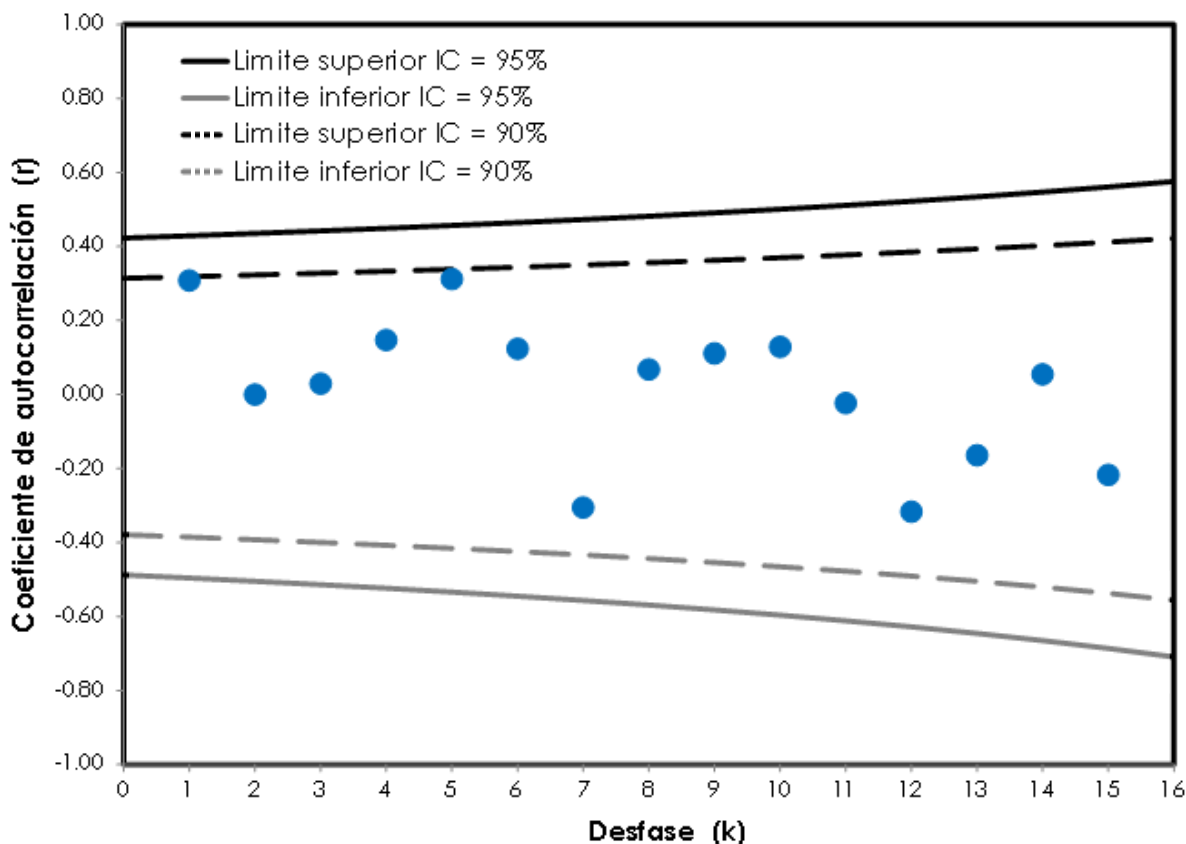


Figura 1. Correlograma de la serie de tiempo de caudales máximos anuales, estación hidrométrica Puente Coyolate.

Fuente: elaboración propia.

Con desfases $K = 15$, en este caso $K = N/2$, donde N es el igual a 31 años de longitud de registro de la serie, se observa que todos los puntos quedan comprendidos dentro de los intervalos de confianza.

Para que la serie sea independiente, al menos debe estar el 90 % de los puntos dentro de los intervalos, en tal sentido, se concluye que la serie es independiente. Los resultados obtenidos de las pruebas para verificar la homogeneidad, son los siguientes:

Tabla I. *Parámetros obtenidos en las pruebas de homogeneidad.*

Prueba	Estadístico t		Conclusión
	Estimado	Teórico	
t Student	2.53	2.76	Homogénea
Cramer	1.84	2.78	Homogénea

Fuente: elaboración propia.

En ambas pruebas realizadas, el valor t estimado es menor que el t teórico, por lo que la serie es homogénea. Se concluye entonces que la serie de tiempo correspondiente a crecidas máximas anuales en la estación hidrométrica Puente Coyolate es independiente y homogénea, por lo que la misma puede ser objeto de análisis estadísticos avanzados.

Asimismo, la independencia y homogeneidad fue verificada a las 11 series de tiempo restantes que se utilizaron en el análisis. En la Figura 2, se muestra la relación entre el caudal específico ($m^3/s/km^2$) y el área (km^2) de las cuencas, con las respectivas curvas envolventes.

Al realizar el análisis, se obtiene un coeficiente de determinación (r^2) de 0.80, el cual se considera adecuado y se verifica que las series en mención son consistentes. Asimismo, se comprueba que las series de tiempo provienen de estaciones hidrométri-

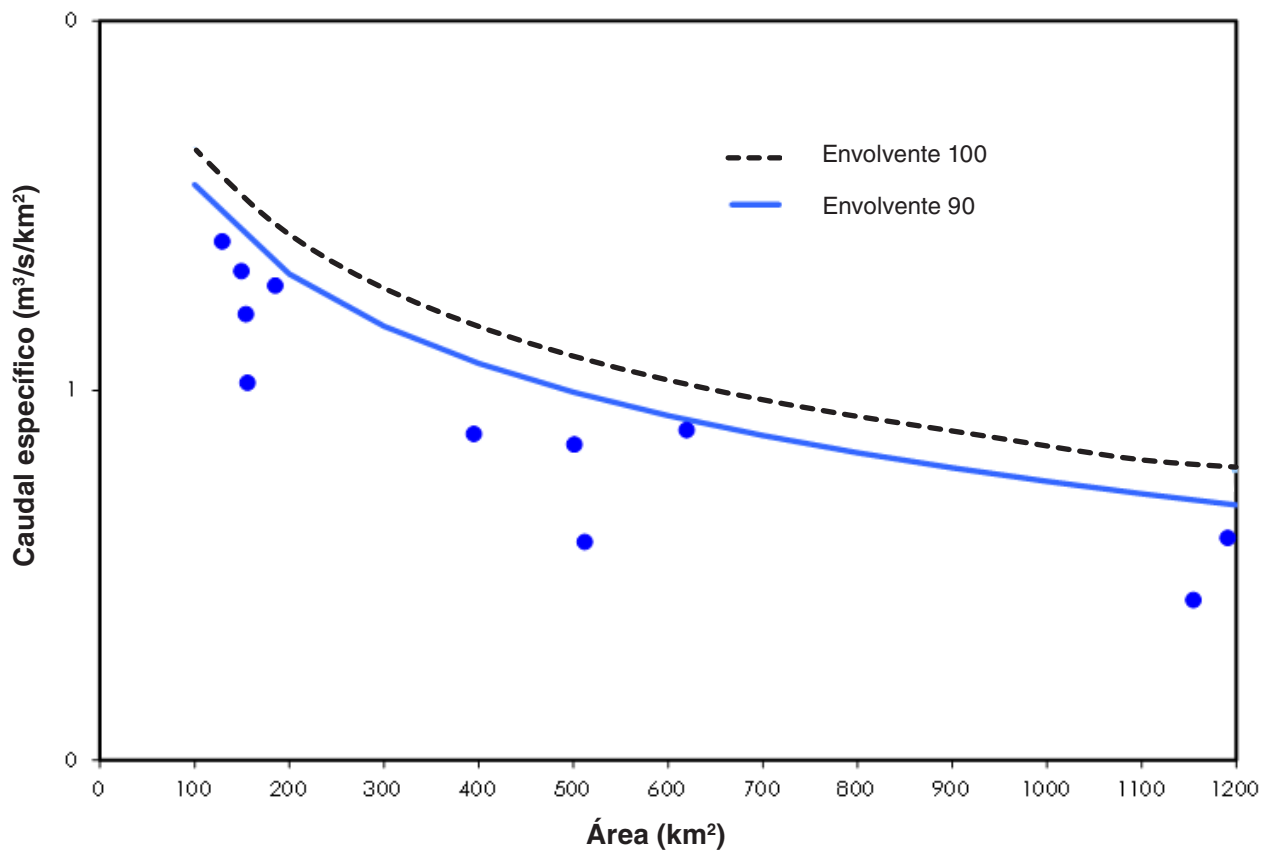


Figura 2. Caudal específico versus área en las series de tiempo analizadas.

Fuente: elaboración propia.

cas ubicadas en condiciones hidrológicas similares.

Discusión de resultados

Análisis de frecuencia (enfoque estadístico)

El análisis se realiza para un sitio específico y consiste en el ploteo de la serie de tiempo en estudio conjuntamente con una gama de funciones de probabilidad, en papel a escala probabilística Gumbel. Para el trazo del papel, se utilizó la metodología descrita por Hosking & Wallis (2005).

Las funciones de probabilidad que se graficaron fueron Galton 2P, Galton 3P, Pearson III, Gumbel, Fréchet, Gama 2P, Log Pearson III, Gumbel ML, Fréchet ML, Gama 2P ML, Galton 2P ML y Log Pearson III ML, con momentos convencionales y lineales en los casos aplicables.

La selección de la función de mejor ajuste puede realizarse de forma visual o estadística, en el análisis se aplicó el error cuadrático citado por Aparicio (2011) y el error estándar de ajuste citado por Kite (2002). La función de probabilidad de mejor ajuste es aquella que en ambos casos presenta el menor valor. Se deduce que la función Log Pearson III con momentos lineales (ML) es la que presenta el mejor ajuste, tal como se presenta en la Figura 3.

El error cuadrático y estándar que se obtiene en esta distribución es de 186 y 9 respectivamente. En tal sentido, las crecidas máximas anuales asociadas a períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años se estiman en 147, 313, 482, 784, 1,088, 1,476 y 1,965 m³/s, respectivamente, para el sitio donde se ubica la estación hidrométrica Puente Coyolate.

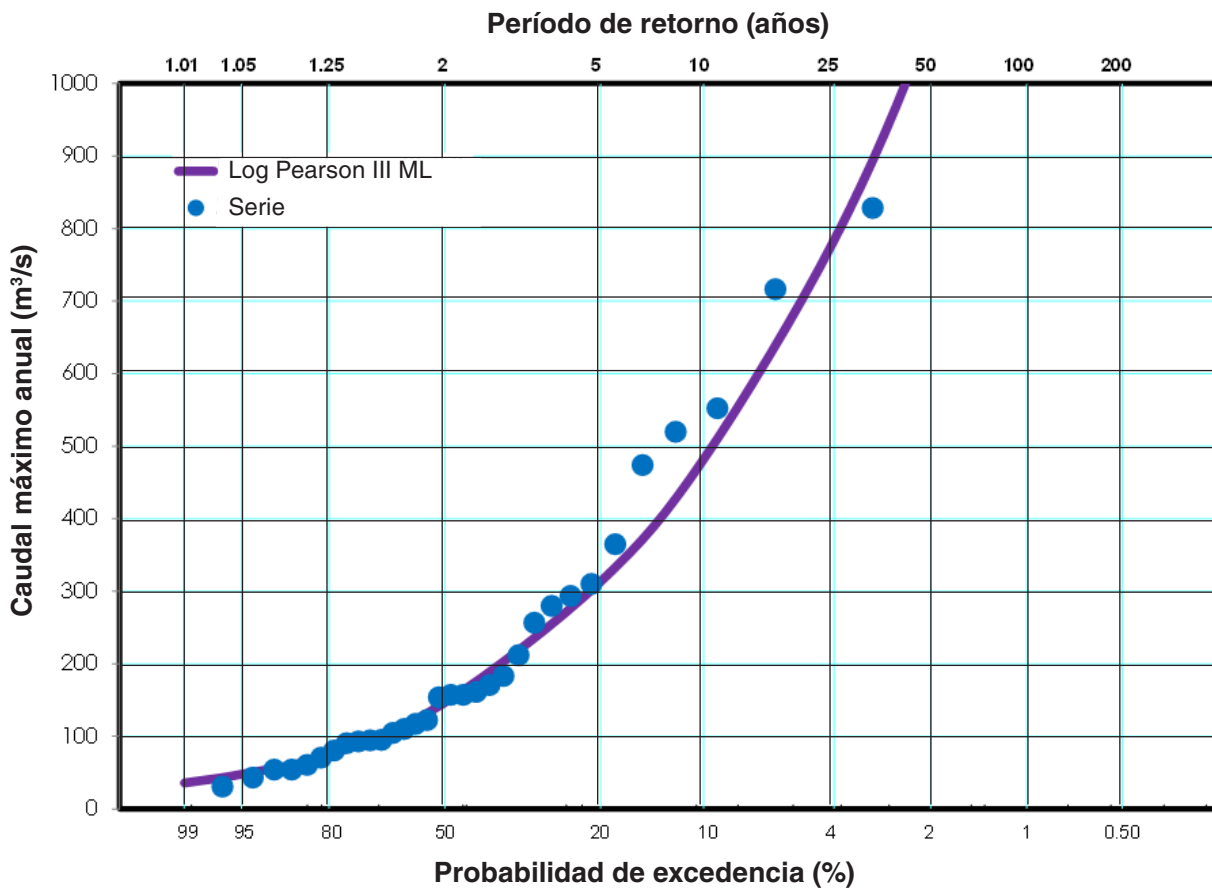


Figura 3. Función de probabilidad Log Pearson III ML.

Fuente: elaboración propia.

Análisis regional (enfoque estadístico)

De igual manera, el análisis regional de crecidas es netamente estadístico en su concepción, consiste en realizar el análisis de frecuencia de series de crecidas máximas anuales, en este caso, para un grupo de estaciones hidrométricas ubicadas en una misma región hidrológica.

Posteriormente, se estiman factores de frecuencia asociados a diversos períodos de retorno para cada función de probabilidad, los cuales se pueden utilizar para estimar caudales máximos en cualquier sitio de la cuenca en función del área, en donde no se disponga de un registro continuo.

El análisis puede considerarse más completo que el anterior, en el sentido que integra un conjunto de series de tiempo de una misma región hidrológica (aquella donde el régimen de lluvia es similar y por ende, el proceso de escurrimiento). Es importante hacer notar que las características de las series utilizadas, tales como longitud, homogeneidad, independencia, datos faltantes, incidirán significativamente en la precisión de los resultados.

En tal sentido, al obtener los factores de frecuencia (K_{Tr}), la crecida máxima (Q_{Tr}) se estima mediante $Q_{Tr} = K_{Tr} * Q_1$, en donde el caudal índice (Q_1), es el promedio aritmético de las crecidas máximas anuales. De igual manera, se obtiene que la función de probabilidad de mejor ajuste es Log Pearson III ML.

Las magnitudes de las crecidas máximas anuales asociadas a períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, son de 199, 395, 594, 949, 1,310, 1,777 y 2,375 m³/s respectivamente. Para todos los casos, los resultados obtenidos mediante análisis regional son mayores (al menos en 20 %) de los obtenidos mediante el análisis de frecuencia.

Estimación de lluvias de diseño y su transformación a hidrogramas (enfoque estadístico-determinístico)

El enfoque consiste en aplicar modelación estadística para estimar lluvias de diseño asociadas a diversos períodos de retorno.

Una vez estimadas se aplica modelación determi-

nística, para simular los hidrogramas generados a partir de las lluvias, que pueden ser láminas diarias máximas anuales o láminas máximas en 24 horas anuales, siendo lo más común, la lámina diaria máxima anual. La modelación determinística comprende desde la selección del hietograma de diseño, el cual de acuerdo con Cruz, M. (1999), puede estimarse de forma sintética o utilizando eventos históricos.

Además, la caracterización geomorfológica y los aspectos biofísicos de la cuenca de incidencia en la formación de escurrimiento superficial, tales como caracterización de la red de drenaje, relieve, uso de la tierra, permeabilidad, principalmente. Cabe mencionar que en la modelación determinística uno de los aspectos de mayor relevancia es el contenido de humedad antecedente en el suelo, ya que para una misma lluvia de diseño se pueden generar distintos hidrogramas, dependiendo de esta condición. De esta forma, la modelación determinística consiste en simular los hidrogramas asociados a las lluvias de diseño, bajo las condiciones biofísicas existentes en la cuenca al momento del evento de lluvia. Es decir, para cada lluvia de diseño se tienen los hidrogramas generados y sus componentes principales, siendo caudal máximo, caudal medio, volumen de escurrimiento y coeficiente de escurrimiento.

Con el enfoque se pueden obtener resultados más precisos que con los anteriores, dado que se consideran los factores que intervienen en la transformación de la lluvia a escurrimiento. Para la aplicación de este enfoque, es indispensable contar con una red densa y confiable de monitoreo continuo de la lluvia. Dada su complejidad, al integrar modelos estadísticos y determinísticos, y por las condiciones biofísicas de la cuenca del río Coyolate, en este análisis no se aplicó este enfoque.

Finalmente, el análisis de crecidas es de aplicación en casos tales como diseño y evaluación de sistemas de alerta temprana, delimitación de áreas de inundación, dimensionamiento de obras de conducción y de protección.

Conclusiones

1. Las pruebas estadísticas realizadas muestran confiabilidad en las series de tiempo y en los eventos extremos estimados, asociados a diversos períodos de retorno.
2. Las magnitudes estimadas de las crecidas son mayores mediante el análisis regional.
3. Es relevante realizar la evaluación de la red de monitoreo meteorológico e hidrométrico de la cuenca del río Coyolate, con el objeto de aumentar su densidad.

Recomendaciones

1. Propiciar el monitoreo continuo de las variables hidrometeorológicas en el área de influencia de la cuenca.
2. Realizar la caracterización geomorfológica, climática y biofísica de la cuenca con el fin de aplicar modelación hidrológica avanzada de tipo determinística.
3. Afinar y adaptar criterios para la modelación de hidrogramas a partir de las lluvias de diseño.
4. Validar los resultados obtenidos de la modelación hidrológica.

Referencias bibliográficas

- Aparicio, F. (2001). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
- Cruz, M. (1999). *Determinación de la tormenta de diseño*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. XXII (2), 27-30.
- Escalante, C., & Reyes, L. (2005). *Técnicas estadísticas en hidrología*. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Ganancias, F. (2009). *Cátedra de hidrología y procesos hidráulicos, clases de estadística hidrológica*. Argentina: (s.e.)
- Hidalgo, H. (2011). *Notas del curso de hidrología estocástica*. Facultad de Ciencias, UCR.
- Hosking, J., & Wallis, J. (2005). *Regional frequency analysis*. Cambridge: Press.

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

Kite, G. (2004). *Frequency and risk analyses*. Washington: Water Resource Publications.

Nanía, L., & Gómez, M. (2006). *Ingeniería hidrológica*. Granada: Grupo Editorial Universitario.