



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura



Programa  
Hidrológico  
Intergubernamental

Aqua-LAC

Redes del Programa Hidrológico Intergubernamental  
para América Latina y el Caribe

## Las seis reglas de la regionalización en hidrología

*The six rules of regionalization in hydrology*

Alfonso Gutiérrez-López<sup>1\*</sup>, Javier Aparicio<sup>2</sup>

Recibido: 19/09/2019

Aceptado: 24/02/2020

\*Autor de correspondencia

### Resumen

Uno de los principales problemas en la gestión del agua en Latinoamérica y el Caribe es sin duda la escasa red de estaciones climatológicas e hidrométricas. La estimación de los eventos de diseño de las obras hidráulicas será tan buena como tan buena sea la calidad de la información utilizada. La calidad de la información se encuentra asociada con circunstancias como el proceso de recolección de mediciones, la longitud de los registros y la representatividad de la información en el sitio; en este sentido, el hidrólogo se enfrenta a dos problemas complejos. El primero consiste en tener las herramientas adecuadas para llevar a cabo una crítica aceptable de los datos a utilizar, lo que conlleva a definir conceptos muy precisos y seguirlos. El segundo es la necesidad de diseñar proyectos en sitios donde los datos climatológicos o los registros hidrométricos son escasos o nulos. Este trabajo presenta el detalle de los conceptos y las seis reglas que deben respetarse cuando se realiza una regionalización hidrológica con el objeto de transferir información hidrológica: (i) Caracterizar la variabilidad (espacio-temporal) de las mediciones, (ii) Identificar las variables que describen el fenómeno a estimar, (iii) Verificar la homogeneidad e independencia de las series de tiempo, (iv) Identificar regiones hidrológicamente homogéneas, (v) Construir ecuaciones regionales de transferencia de información y (vi) Verificar la validez de las ecuaciones regionales. Con este trabajo se pretende que los estudios de regionalización hidrológica se presenten de manera adecuada en países donde la transferencia de información es de gran importancia para el diseño de obras hidráulicas.

**Palabras clave:** Regionalización, transferencia de información, regiones homogéneas, variabilidad, diseño obras.

### Abstract

*One of the main problems in water management in Latin America and the Caribbean is certainly the limited network of climatological and hydrometric stations. The estimation of the design events of hydraulic works will be as effective as the quality of the information used. The quality of the information is associated with factors such as the measurement collection process, the size of records, and the representation of the information on the site; in this sense, the hydrologist confronts two complex problems. The first involves the availability of the appropriate tools to carry out an acceptable critique of the data to be used; this requires the definition of very precise concepts and following them. The second is the need to design projects in sites where climatological data or hydrometric records are limited or null. This work presents the detail of the concepts and the six rules that must be respected when a hydrological regionalization is carried out with the purpose of transferring hydrological information: (i) Characterize the variability (space-time) of measurements, (ii) Identify the variables that describe the phenomenon to be estimated, (iii) Verify the homogeneity and independence of the time series, (iv) Identify hydrologically homogeneous regions, (v) Construct regional equations for the transfer of information, and (vi) Verify the validity of the regional equations. The aim of this work is to ensure that hydrological regionalization studies are properly presented in countries where the transfer of information is of great importance for the design of hydraulic works.*

**Keywords:** Regionalization, information transfer, homogeneous regions, variability, works design.

1 Centro de Investigaciones del Agua, Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ingeniería. [alfonso.gutierrez@uaq.mx](mailto:alfonso.gutierrez@uaq.mx)

2 Comisión Nacional del Agua, México. Insurgentes Sur 2460 col. Copilco el Bajo, C.P. 04340 Ciudad de México. [francisco.aparicio@conagua.gob.mx](mailto:francisco.aparicio@conagua.gob.mx)

## **1. INTRODUCCIÓN**

La heterogeneidad de regiones representa un problema cuando se trata de estudiar la distribución espacio-temporal de cualquier fenómeno climático. Muchos son los métodos y técnicas empleadas para lograr comprender y explicar los cambios en diversas variables hidroclimatológicas. En todos los casos se parte de la hipótesis de que existe una función matemática que representa la variabilidad espacial de la medición efectuada en un entorno o vecindad de un punto. Esta medición puede presentar una variación espacial y temporal debida a que algunos procesos físicos tienen una cierta orientación predominante. Es decir, se trata de fenómenos con tendencias anisotrópicas y estocásticas (Haining, 2003). El análisis espacial de variables hidroclimatológicas es sin duda uno de los grandes retos de la hidrología moderna. No solo el análisis, sino la representación espacial de variables climáticas constituyen un reto y una actividad de gran precisión. A partir de la densidad de los sitios de medición es como se define una estructura espacial y los patrones de comportamiento dentro de un espacio geográfico; todo esto parece muy bien en el supuesto de que se cuente con mediciones de calidad (Chou, 2010; Gutiérrez-López et al., 2019). En la actualidad se reconoce un círculo-perverso que ocurre en países de la región de Latinoamérica y El Caribe (LAC). En la mayoría de estos países, el riesgo de ser afectados por fenómenos extremos multi-amenaza crece año con año y sin embargo su interés por medir es cada vez menor. Esto provoca que las redes de monitoreo y las bases de datos sean cada vez más escasas, a pesar de que se ha demostrado que el análisis espacial de variables hidrológicas permite mejorar el conocimiento de los factores que ayudan a disminuir el riesgo por fenómenos extremos (Carrera-Hernández y Gaskin, 2007; Jacobi et al., 2013; Welz y Krellenberg, 2016). Es decir, la estimación del riesgo y la vulnerabilidad requiere conocer procesos cada vez más complejos y se precisan análisis probabilísticos más detallados para enfrentar la ocurrencia en el tiempo y el espacio de fenómenos extremos cada vez más severos (Gutiérrez-López et al., 2015).

En América Latina las estaciones climatológicas son en general más abundantes que las estaciones hidrométricas; por lo que el concepto de regionalización hidrológica adquiere un valor particularmente importante en un estudio de

aprovechamientos hidráulicos (Rasmussen et al., 1994; Loukas, 2002). Tradicionalmente se trabaja con modelos lluvia-escurrimiento que permiten el cálculo de eventos de diseño; sin embargo, al tener bases de datos limitadas, la incertidumbre de los resultados aumenta. Si se recurre a la antigua mala-práctica de utilizar la similitud con cuencas vecinas o simplemente aplicar técnicas de interpolación espacial sin antes, por lo menos, aplicar una prueba de discordancia o verificar la homogeneidad hidrológica, los resultados serán cuestionables (Hosking & Wallis, 1997; Campos-Aranda, 2010; Campos-Aranda, 2017). Los errores que pueden generarse al transferir información entre regiones no homogéneas, pudieran, en magnitud, ser del orden de un evento aislado o hasta del valor anual de un evento analizado. Normalmente se intenta disminuir la incertidumbre en esta transferencia de información dividiendo una región en subregiones hidrológicamente homogéneas. En este sentido, las técnicas de regionalización hidrológica han sido desarrolladas para estimar eventos puntuales en sitios en donde no existen estaciones o la información es limitada, escasa o nula (Taffa, 1991). Gracias a la robustez de los procedimientos regionales, éstos son una excelente herramienta para estimar eventos extremos en países en donde las redes de medición aún no se encuentran muy desarrolladas (Koutsoyiannis et al., 1998; Ouarda et al., 2001). Existen numerosas ventajas al utilizar un procedimiento regional sobre un grupo de cuencas hidrológicamente homogéneas, comparado por ejemplo, con un análisis de frecuencias sobre un solo sitio de medición. Lo anterior ha sido ya probado desde hace algunos años (Beran et al., 1990; Smithers y Schulze, 2001). De esta forma, el presente trabajo tiene como objetivo principal proponer el concepto de regionalización hidrológica, así como sus componentes básicos. Se pretende que a partir de este trabajo se puedan estandarizar las definiciones, criterios y pasos a seguir para lograr lo que define Campos-Aranda (2017), como los aspectos operativos del análisis regional.

## **2. DEFINICIÓN**

Si se quiere formular una definición se puede iniciar con la proposición de Rosbjerg y Madsen (1996), quienes textualmente proponen que: “El objetivo del análisis regional es combinar la información de todos los sitios de la región, a fin de mejorar las

estimaciones de los eventos en el año T en un sitio a partir de las propiedades regionales de los parámetros de los sitios en análisis”. Rigurosamente Thiessen inició el concepto de variables regionales; al proponer una ponderación de valores en un espacio anisotrópico; sin embargo, la hipótesis de que los polígonos de Thiessen tienen un comportamiento como regiones hidrológicamente homogéneas debe verificarse. También Matherón contribuyó con la definición de variables regionales, a partir de la función matemática de anisotropía, llamada variograma. Con estas consideraciones, se puede enunciar la siguiente definición: la regionalización hidrológica es un conjunto de ecuaciones (modelo matemático) que permite, a través de una transferencia de información, estimar eventos hidrológicos en sitios con registros escasos o nulos. Algunos ejemplos de estos modelos son: Método de la Avenida Índice (Index Flood Method), Método de estaciones-año, Método de Box-Cox regional, Método regional de momentos L, Método Gradex, Método TCEV regional. Con base en estos conceptos, se propone que todo proceso de regionalización debe incluir las siguientes etapas: (i) Caracterizar la variabilidad (espacio-temporal) de las mediciones, (ii) Identificar las variables que describen el fenómeno a estimar, (iii) Verificar la homogeneidad e independencia de las series de tiempo, (iv) Identificar regiones hidrológicamente homogéneas, (v) Construir ecuaciones regionales de transferencia de información y (vi) Verificar la validez de las ecuaciones regionales.

Como un complemento de la definición, es importante mencionar las acciones que se efectúan creyendo que se realiza una regionalización. A continuación se mencionan las principales:

- Regionalización hidrológica NO es: calcular y dibujar iso-líneas de alguna variable hidrológica; a esto se le llama cartografía.
- Regionalización hidrológica NO es: utilizar diversas características fisiográficas de una región; a esto se le llama ponderación espacial.
- Regionalización hidrológica NO es: utilizar distribuciones de probabilidad en varias estaciones de una región; a esto se le llama análisis múltiple de frecuencias.
- Regionalización hidrológica NO es: emplear algún método como el Inverso de la distancia, Kriging, Splines, etc.; a esto se le

llama interpolación espacial. (Goovaerts, 2000).

- Regionalización hidrológica NO es: estimar envolventes de eventos hidrológicos; a esto se le llama análisis de extremos.

### 3. METODOLOGÍA

Todo proceso de regionalización requiere:

- i. *Caracterizar la variabilidad (espacio-temporal) de las mediciones*

El procedimiento más adecuado para realizar esta actividad es: *usar la Geoestadística y las funciones de anisotropía relacionadas con los variogramas direccionales*. El análisis espacio-temporal de variables hidrológicas es necesario para la modelación hidrológica de fenómenos extremos. Se ha propuesto un gran número de procedimientos geoestadísticos (Goovaerts, 2000; Gutierrez-Lopez et al, 2019). La dependencia espacial es una propiedad inherente de un grupo de mediciones dentro de un espacio geográfico. Esta propiedad será adquirida por cualquier dato medido dentro de esa superficie. La forma en que se adquiere depende, por ejemplo, de la resolución o escala espacial en el muestreo (*spatial resolution*) y de la densidad del muestreo (*sampling*); esto es válido tanto para el caso de un campo espacial como para la medida espacial de agregación (para el caso de objetos en el espacio). La primera etapa para cuantificar esta estructura espacial dentro de un grupo de datos (dependencia espacial), consiste en definir, para cada grupo de puntos o agrupaciones de objetos en el espacio, las relaciones que existen entre ellos (Chou, 2010; Haining, 2003).

- ii. *Identificar las variables que describen el fenómeno a estimar.*

El procedimiento más adecuado para realizar esta actividad es: *un Análisis de Componentes Principales o un Análisis de Factorial de Correspondencia (análisis multivariados)*. En general se utilizan las características ligadas a un sitio como la temperatura, la geología, el área de la cuenca, la topografía, la pendiente media del cauce principal e incluso el uso del suelo combinada con medidas de infiltración, que contribuyen como características significativas de una cuenca (Douguédroit y De Saintignon, 1981; Schauer y Jenkins, 1996; Dunn y Lilly, 2001; Naef et al., 2002). También los aspectos geográficos como la

latitud, longitud o distancia al océano determinan fuertemente el régimen de precipitación de una región (Smithers y Schulze, 2001). Otra variable importante es el índice pluviométrico (lluvia máxima en dos días consecutivos y lluvia para un periodo de retorno de 5 años), que ha sido utilizado para clasificar y agrupar cuencas con un comportamiento similar (Acreman y Sinclair, 1986). Un aspecto importante es considerar que no siempre las características fisiográficas garantizan la semejanza fisiográfica ni la respuesta hidrológica de cuencas (Burn, 1997; Cunderlik & Burn, 2001). Sin embargo, los parámetros de alguna distribución o algún modelo específico que describa algún proceso hidrológico dentro de la cuenca son determinantes para transferir información de un sitio a otro. También es importante mencionar que las cuencas homogéneas pueden ser o no contiguas.

- iii. Verificar la homogeneidad e independencia de las series de tiempo.

Los procedimientos mínimos para realizar esta actividad son: *una prueba de discordancia y una prueba para verificar la homogeneidad de los datos*. Antes de generar grupos homogéneos es necesario verificar la consistencia de las variables que van a utilizarse (Ebisemiju, 1979; Nathan and McMahon, 1990; Caratti et al., 2005; Campos-Aranda 2017). En general todo análisis exploratorio de datos es recomendado (Tukey, 1977).

Un análisis estadístico simple es un buen inicio; por ejemplo: estadísticos básicos, análisis de regresión o un análisis de varianza (Ojeda-Ramírez et al., 2011). Estudios recientes Chebana et al. (2017) proponen análisis de datos más detallados, como un análisis de detección de ruptura de series, estadísticos para detectar un cambio en la media y varianza de las muestras. Pruebas recomendadas como la estacionaridad y la homogeneidad en los datos es muy conveniente. Mayormente recomendado es el cálculo de la función de covarianza y después una prueba de independencia a través de un correlograma.

- iv. Identificar regiones hidrológicamente homogéneas.

Los procedimientos mínimos para realizar esta actividad son: *Índice métrico de Minkowski, Análisis de agrupamiento y técnicas multivariadas*. La delimitación de regiones hidrológicamente

homogéneas es la etapa más difícil de un proceso de regionalización hidrológica (Smithers y Schulze, 2001). La desagregación de una gran región en subregiones similares, permitirá, por ejemplo, disminuir los errores que se generan al transferir tormentas o datos hidrológicos en general de una cuenca a otra (Leviandier et al., 2000). Entre las técnicas empleadas para determinar regiones homogéneas se pueden mencionar el análisis de residuales (Bhaskar y O'Connor, 1989; Hall et al., 2002), el análisis de los estadísticos de las series históricas (Lu y Stedinger, 1992; Kachroo et al., 2000;) o las técnicas multivariadas (Gingras y Adamowski, 1993).

Cualquiera que sea el procedimiento empleado, se requiere siempre de una identificación previa de las variables o características significativas de la región en estudio (Berger y Entekhabi, 2001; Burn y Elnur, 2002).

En este aspecto, cada autor propone las características fisiográficas, climatológicas y geográficas que serán utilizadas en el proceso de regionalización. Una guía recomendable para dicha selección fue presentada por Acreman y Sinclair (1986), por Nathan y McMahon (1990), por el grupo GREHYS (1996a y 1996b) y por Krysztofowicz (2001).

Para formar grupos de series o cuencas hidrológicamente homogéneas, dentro de la literatura especializada se mencionan tres consideraciones.

*La primera se refiere a seleccionar un índice de proximidad*. Un índice de proximidad representa en forma matemática la semejanza o desigualdad entre dos configuraciones, es decir, entre dos datos o puntos. Su aplicación en hidrología consiste en obtener dichos índices a partir de configuraciones específicas, formadas por características hidrológicas medibles y continuas en una proporción de escala conocida.  $X_{i,j}$  es la  $j$ -ésima característica de la  $i$ -ésima configuración. El índice de proximidad entre dos puntos (configuración) "i" y "k" se denota como:  $d(i,k)$ .

El índice de proximidad más común es el *índice métrico de Minkowski*, el cual mide no semejanzas (desigualdad) y se define como:

$$d(i, k) = \left[ \sum_{j=1}^{\delta} |X_{i,j} - X_{k,j}|^r \right]^{1/r} \text{ donde } r \geq 1$$

Donde  $\delta$  es el número de características. Los tres tipos más comunes del índice métrico de Minkowski son:

- a. La distancia Euclidiana ( $r=2$ ). Esta distancia tiene también la variante de la distancia Euclidiana al cuadrado. Estas dos distancias son calculadas a partir de datos brutos y no de datos estandarizados. Esta distancia tiene ciertas ventajas, por ejemplo, la distancia entre dos objetos no se afecta si se introduce un nuevo elemento al análisis. Sin embargo, esta distancia se ve afectada por la magnitud de las unidades de medición. Para corregir esto se puede intentar una estandarización antes de calcular las distancias (Jain y Dubes, 1987; Saporta, 1990).
- b. La distancia Manhattan o taxicab ( $r=1$ ). Esta distancia es la diferencia media entre las magnitudes de las mediciones. En la mayoría de los casos esta distancia arroja resultados similares a la de la distancia Euclidiana. Sin embargo, es importante señalar que con esta distancia las diferencias entre mediciones es muy importante ya que la distancia no está elevada al cuadrado (Jain y Dubes, 1987).
- c. La sup-distancia o de Tchebychev ( $r \rightarrow \infty$ ). Esta distancia se emplea cuando se consideran dos objetos “diferentes” a partir de que alguna de sus magnitudes fue medida en una escala diferente (Jain y Dubes, 1987; Saporta, 1990). Como se mencionó anteriormente, en este trabajo se emplea la distancia Euclidiana, que es el índice métrico de Minkowski más común y más aceptado en el trabajo de la ingeniería (Smithers y Schulze, 2001).

*La segunda consideración se refiere a seleccionar una regla de agregación.* La regla de agregación también se conoce como algoritmo de agrupación. En el campo de la hidrología se recomienda como algoritmo de agrupación el de Ward (Smithers y Schulze, 2001). Esta regla de agregación consiste en utilizar un análisis de varianza para evaluar cada una de las distancias entre los elementos. Se intenta minimizar iterativamente la suma de los cuadrados entre las “hipotéticas” distancias de las parejas que se pueden formar en cada etapa. Es decir, se busca obtener en cada etapa un mínimo local de inercia inter-grupo y un máximo de inercia inter-clase (Saporta, 1990).

En general, este procedimiento es muy eficaz aún cuando los grupos que forma generalmente son muy pequeños. Jain y Dubes (1987) presentan una revisión de las diferentes medidas matemáticas asociadas al agrupamiento de elementos similares (índices de proximidad); sin embargo, su aplicación en el campo de la hidrología no está aún muy desarrollado. Otro algoritmo de agrupación es el procedimiento que se conoce como K-means.

Para dividir un área de estudio en subregiones homogéneas es necesario considerar que tendrán un comportamiento similar; de esta manera, los datos requeridos serán inferidos con gran precisión, ya que las ecuaciones de regresión, normalmente empleadas en la transferencia de información hidrológica, se basan en las características de la cuenca.

El estudio de los problemas relacionados con la regionalización ha recibido la atención de muchos investigadores; sin embargo, no se ha logrado obtener una metodología general para identificar regiones que pueden ser utilizadas en los análisis hidrológicos. La mayor parte de las veces se emplea la técnica de ubicación geográfica, que se basa simplemente en trazar radios entre 70 y 80 km en cada sitio (estación) y considerar como cuencas homogéneas a las estaciones que se ubiquen dentro de estos círculos.

Esta idea proviene del concepto del “variograma” utilizado en geohidrología para mostrar la variabilidad de las mediciones piezométricas respecto a la distancia que las separa. Sin embargo, las subregiones deben dividirse con ayuda de otros métodos para tomar en cuenta las similitudes hidrológicas o las características de la cuenca, las cuales no siempre tienen un significado geográfico, como por ejemplo las curvas de Andrews o la prueba de homogeneidad de Langbein (Gutiérrez-López y Ramírez, 2005).

*La tercera consideración se refiere a la representación de la agregación.* Es de gran importancia representar los resultados de la agrupación de regiones homogéneas. Es normal utilizar diversas técnicas gráficas como los diagramas de árbol o la clasificación jerárquica. Un buen método de representación debe tomar en cuenta la naturaleza de las distancias. Por ejemplo, un diagrama jerárquico (dendrograma) permite describir de manera explícita la estructura final de la clasificación obtenida.

El diagrama representa elementos similares agrupados en una rama y cada rama es un nivel

jerárquico que forma un grupo y así para cada rama (Saporta, 1990). Una buena representación gráfica de regiones homogéneas debe incluir las distancias de agregación.

- v. Construir ecuaciones regionales de transferencia de información.

El procedimiento más utilizado para construir relaciones regionales es la correlación múltiple. Normalmente se correlacionan los eventos estudiados, asociados a diferentes períodos de retorno con las características fisiográficas de la cuenca (Zolt y Burn, 1994; Varas y Lara, 1998).

Incluso, una práctica común consiste en utilizar los resultados de un análisis de frecuencias, asociando los parámetros de la distribución de ajuste con las características fisiográficas, climáticas o ambientales de la región (Wiltshire, 1985, 1986; Burn, 1989, 1997; Prabhata et al, 1995; Castellarin et al., 2001).

Algunos autores proponen un tratamiento previo a los datos, es decir, una prueba de normalidad (Krzysztofowicz, 2001).

- vi. Verificar la validez de las ecuaciones regionales.

La validación cruzada sigue siendo el procedimiento más adecuado para verificar los resultados de un análisis regional.

#### 4. CONCLUSIONES

Un proceso de regionalización permite transferir información de un sitio a otro, a partir de caracterizar el comportamiento entre regiones hidrológicamente homogéneas. Este tipo de procedimiento se utiliza normalmente para estimar precipitaciones, escurrimientos y los principales componentes que describen el proceso lluvia-escurrimiento. La palabra regionalización debe tomarse en cuenta no sólo como un proceso de agrupar elementos similares, sino que comprende un proceso que implica un análisis de relaciones regionales, índices de proximidad, reglas de agregación, métodos de clasificación y pruebas para verificar la validez de dichas regiones homogéneas.

#### REFERENCIAS

- Acreman, M.C., y Sinclair, C.D., (1986) Classification of drainage basins according to their physical characteristics. an application for flood frequency analysis in scotlandScotland, *Journal of Hydrology*, 84 365-380.
- Beran, M. A. Brilly, M. Becker A., y Bonacci, O., (1990) Regionalization in Hydrology., *International Association of Hydrological Sciences*.
- Berger, K.P., and Entekhabi, D., (2001) Basin hydrologic response relations to distributed physiographic descriptors and climate, *Journal of Hydrology*, Vol. 247 (3-4) pp. 169-182.
- Bhaskar, N.R., y O'Connor, C.A. (1989) Comparasion of method of residuals and cluster analysis for flood regionalization. *ASCE J. Water Resource Plan. Manage.* 115(6) 793-808.
- Burn, D.H., (1989) Delineation of groups for regional flood frequency analysis *Journal of Hydrology*, 104 345-361.
- Burn, D.H., (1997) Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, *Journal of Hydrology*, Vol. 202 (1-4) pp. 212-230.
- Burn, D.H., y Elnur, M.A.H., (2002) Detection of hydrologic trends and variability, *Journal of Hydrology*, Vol. 255 (1-4) pp. 107-122.
- Campos- Aranda, D. (2017). Discusión 2. Modelos regionales de escurrimientos máximos instantáneos en la república mexicana. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 08(4), 173-179. doi: 10.24850/j-tyca-2017-04-d2r2
- Campos-Aranda, D. F. (2010). Verificación de la homogeneidad regional mediante tres pruebas estadísticas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, I(4), 157-165.
- Caratti, J. F., J. A. Nesser, and C. L. Maynard. 2005. Watershed Classification Using Canonical Correspondence Analysis and Clustering Techniques : a Cautionary Note 1. 59601.

- Carrera-Hernández, J., and Gaskin, S. (2007). Spatio temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico. *Journal of Hydrology*, 336(3-4), 231-249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.12.021>
- Castellarin, A., Burn, D.H. y Brath, A., (2001) Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, Vol. 241 (3-4) pp. 270-285.
- Chebana, F., M. A. B. Aissia, and T. B. M. J. Ouarda. 2017. Multivariate shift testing for hydrological variables, review, comparison and application. *J. Hydrol.* 548:88–103. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.033>
- Chou, Y. (2010). Map Resolution and Spatial Autocorrelation. *Geographical Analysis*, 23(3), 228-246. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1538-4632.1991.tb00236.x>
- Cunderlik, J.M., Burn, D.H., 2001. The use of flood regime information in regional flood frequency analysis. *Hydrol. Sci. J.* 47 (1), 77–92.
- Douguédroit, A. y De Saintignon, M. (1981) Decroissance des températures mensuelles et annuelles avec l'altitude dans les Alpes du Sud et en Provence ; *Eaux et climat*, CNRS.. pp.179-193.
- Dunn, S.M. y Lilly, A., (2001) Investigating the relationship between a soils classification and the spatial parameters of a conceptual catchment-scale hydrological model, *Journal of Hydrology*, Vol. 252 (1-4) pp. 157-173.
- Ebisemiju, F. S. 1979. An Objective Criterion for the Selection of Representative Basins. *Water Resour. Res.* 15:148–158.
- Gingras Denis y Adamowski, Kaz, (1993) Homogeneous region delimitation based on annual flood generation mechanisms *Hydrological Sciences Journal*, 38 103-121.
- Goovaerts, P., (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, *Journal of Hydrology*, Vol. 228 (1-2) pp. 113-129.
- GREHYS, Groupe de recherche en hydrologie statistique, (1996a) Inter-comparison of regional flood frequency procedures for Canadian rivers, *Journal of Hydrology*, Vol. 186, (1-4) pp. 85-103.
- GREHYS, Groupe de recherche en hydrologie statistique, (1996b) Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, Vol. 186, (1-4) pp. 63-84.
- Gutierrez-Lopez A, Fortanell Trejo M, Albuquerque Gonzalez N, Bravo Prado F. (2019). Análisis de la variabilidad espacial en la precipitación en la zona metropolitana de Querétaro empleando ecuaciones de anisotropía. *Investigaciones Geográficas*.. doi:10.14350/rig.59757
- Gutiérrez-López, A., A. I. Ramírez. (2005). Predicción hidrológica mediante el Método de la Avenida Índice para dos poblaciones. *Ing. Hidráulica en México* XX:37–47.
- Gutiérrez-López, A., Lebel T., Ruíz I., Descroix L. y Duhne M. (2015). Prediction of Hydrological Risk for Sustainable Use of Water in Northern Mexico. Chapter 13. pp. 245-271 In Setegn, S., and Donoso, M. *Sustainability of Integrated Water Resources Management* Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-12194-9>
- Haining R. (2003). *Spatial data analysis, theory and practice*. Cambridge University Press, 432 p.
- Hall M. J., Minns A. W y Ashrafuzzaman A. K. M (2002) The application of data mining techniques for the regionalisation of hydrological variables. *Hydrology and Earth System Sciences* 6:685 - 694.
- Hosking, J. R. M. & Wallis, J. R. (1997). *Regional Frequency Analysis. An approach based on L-moments* (224 pp.). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Jacobi, P., Momm-Schult, S., & Bohn, N. (2013). Ação e reação: Intervenções urbanas e a atuação das instituições no pós-desastre em Blumenau (Brasil). *EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, (Santiago), 39(116), 243-261. <http://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612013000100010>

- Jain A.K. ,y Dubes R.C. (1987) Algorithms for clustering data. Prentice Hall,.
- Kachroo, R ., Mikhandi, S. y Parrida , B. (2000) Flood frequency analysis of southern Africa : I . Delineation of homogeneous regions. *Hydrological Sciences*. 45 (3) pp. 437-447.
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D. y Manetas, A., (1998) A comprehensive study of rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, Vol. 206 (1-2) pp. 118-135
- Krzysztofowicz, R., (2001) The case for probabilistic forecasting in hydrology, *Journal of Hydrology*, Vol. 249 (1-4) pp. 2-9.
- Leviandier, T., Lavabre, J. y Arnaud, P., (2000) Rainfall contrast enhancing clustering processes and flood analysis, *Journal of Hydrology*, Vol. 240 (1-2) pp. 62-79.
- Loukas, A., (2002) Flood frequency estimation by a derived distribution procedure, *Journal of Hydrology*, Vol. 255 (1-4) pp. 69-89.
- Lu, Li-Hsiung y Stedinger, Jerry R., (1992) Sampling variance of normalized GEV/PWM quantile estimators and a regional homogeneity test, *Journal of Hydrology*, 138, 223-245.
- Naef, F., Scherrer, S., y Weiler, M., (2002) A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change, *Journal of Hydrology*, Vol. 267 (1-2) pp. 74-79.
- Nathan R.J., y McMahon T.A. (1990) Identification of homogeneous regions for the purpose of regionalisation *Journal of Hydrology*, 121217-238.
- Ojeda-Ramírez, M. M., F. Velasco-Luna, C. Cruz-López, and P. Tapia-Blázquez. 2011. Metodología estadística aplicada a las finanzas públicas.
- Ouarda, Taha B.M.J., Girard, C., Cavadias, G.S., y Bobée, B., (2001) Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis, *Journal of Hydrology*, Vol. 254 (1-4) pp. 157-173.
- Prabhata, K. Swamee, Chandra Shekhar P. Ojha., y Ali Abbas (1995) Mean Annual Flood Estimation *Journal of Water Resources Planning and Management* pp 403-407.
- Rasmussen P.F., B. Bobée, y J. Bernier. (1994) Une méthodologie générale de comparaison de modèles d'estimation régionale de crue. *Revue des Sciences de l'Eau* 7 (1) : 23-41
- Rosbjerg, D., & Madsen, H. (1996). The role of regional information in estimation of extreme point rainfalls. *Atmospheric Research*, 42(1-4), 113-122. doi: 10.1016/0169-8095(95)00057-7
- Saporta, G., (1990) Probabilités, analyse des données et statistique Editions Technip. 193 p.
- Schauer, B., y Jenkins, W. (1996) A survey of urban and agricultural watershed management practices. *Revue Land and Water*, , pp 6-8.
- Smithers, J.C. y Schulze, R.E. (2001) A methodology for the estimation of short duration design storms in South Africa using a regional approach based on L-moments, *Journal of Hydrology*, Vol. 241 (1-2) pp. 42-52.
- Smithers, J.C., y Schulze, R.E. (2001) A methodology for the estimation of short duration design storms in South Africa using a regional approach based on L-moments, *Journal of Hydrology*, Vol. 241 (1-2) pp. 42-52.
- Taffa, Tulu., (1991) Simulation of streamflows for ungauged catchments, *Journal of Hydrology*, 129 3-17.
- Tukey, J.W. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley
- Varas, E., y Lara, S. (1998) Métodos regionales para estimar la probabilidad de frecuencia de crecidas. *Revista Ingeniería del Agua* ;Vol 5, num 3, pp 51-57.
- Welz, J., y Krellenberg, K. (2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas. *EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, (Santiago), 42(125), 251-272. <http://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612016000100011>

- Wiltshire, S.E., (1985) Grouping basins for regional flood frequency analysis. *Hydrol. Sci. Journal* 30(1) 151-159.
- Wiltshire, S.E., (1986) Identification of homogeneous regions for flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 84 287-302.
- Zolt, Z.rinji y Burn, D.onald H., (1994) Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach, *Journal of Hydrology*, 153 1-21.

*Como citar este artículo:*

Gutierrez-Lopez, A., Aparicio, J (2020). Las seis reglas de la regionalización en hidrología. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 81-89. [doi: 10.29104/phi-aqualac/2020-v12-1-07](https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2020-v12-1-07)



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International  
CC BY-NC-SA 4.0 license