

**SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE EVENTOS EXTREMOS MÍNIMOS EN REGÍMENES DE
CAUDALES: DIAGNÓSTICO, MODELAMIENTO Y ANÁLISIS
MEDELLÍN, COLOMBIA, 23 al 25 de JUNIO, 2004**

**CAUDALES MÍNIMOS EN COLOMBIA: RELACIONES MACROCLIMÁTICAS,
ESCALAMIENTO Y BALANCES HIDROLÓGICOS**

Germán Poveda

Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente
Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia
email: gpoveda@unalmed.edu.co

RESUMEN

Se presenta una síntesis de estimación de caudales mínimos en Colombia, involucrando sus causas físicas: fenómenos macroclimáticos y persistencia hidrológica, y un enfoque para su estimación con diferentes períodos de retorno, el cual combina el balance hídrico de largo plazo con ideas de escalamiento de procesos estocásticos. El fenómeno El Niño está asociado con la ocurrencia de sequías y anomalías negativas de precipitación y, por tanto, con la ocurrencia de los caudales mínimos. Los efectos hidrológicos del fenómeno El Niño/Oscilación de Sur (ENSO) ponen de presente el carácter no estacionario de la variabilidad hidrológica. Los caudales mínimos, como toda la dinámica de los procesos hidrológicos están condicionados por forzamientos macroclimáticos en combinación con la dinámica de la interacción suelo-atmósfera. Este conocimiento es útil en múltiples aplicaciones en ingeniería hidrológica y en aprovechamiento de recursos hídricos. La estimación de los caudales mínimos usando la combinación de metodologías de escalamiento con balances hídricos de largo plazo supera las limitaciones de los métodos tradicionales de regionalización. Este enfoque permite ligar los métodos estadísticos con la dinámica física de los procesos hidrológicos en la cuenca, dando mayor consistencia a los resultados obtenidos para efectos de diseño en ingeniería hidrológica.

PALABRAS CLAVE: Caudales mínimos, Colombia, ENSO, Escalamiento, Balance Hídrico.

1. Introducción

La variabilidad hidrológica local es resultado de procesos que ocurren en todas las escalas espaciales: desde la global hasta la escala de la ladera. La hidrología viene buscando un sustento propio como ciencia, y la física de los procesos deben entenderse en todas esas escalas espacio-temporales. La física de los caudales mínimos es resultado de temporadas prolongadas con lluvias deficitarias, las cuales son resultado de procesos de gran escala y de fenómenos macroclimáticos como el Fenómeno El Niño, y de los procesos de retroalimentación del sistema suelo-atmósfera, a través de mecanismos de retroalimentación de la precipitación. Se discute la influencia del fenómeno ENSO sobre los caudales extremos en Colombia, ilustrando la necesidad de discriminar las funciones de distribución de probabilidades en tareas de estimación de caudales mínimos con distinto período de retorno (sección 2), y una aproximación metodológica que combina el balance hídrico de largo plazo con ideas de escalamiento de procesos estocásticos para la estimación de caudales mínimos en Colombia asociados a distintos periodos de retorno (sección 3). En la sección 4 se presentan las conclusiones.

2. Fenómenos Macroclimáticos. ENSO.

La variabilidad climática global a escala interanual está controlada principalmente por el evento El Niño/Oscilación del Sur (ENSO). El ENSO tiene una variabilidad estacional (asociada con su enfasamiento con el ciclo anual), ya que comienza durante la primavera del hemisferio Norte (Marzo-Mayo), y alcanza su máximo desarrollo durante el tiempo de la Navidad, y de allí el nombre de El Niño. Pero también tiene una componente cuasi-bienal con un tiempo de recurrencia entre 2 a 2,5 años, así como una baja frecuencia, con una recurrencia entre 4-5 años. El Niño es la fase cálida del ENSO, en la que se presenta un aumento de las temperaturas superficiales del mar, en particular sobre el centro y el oriente del Pacífico tropical, lo cual conduce a alteraciones en los patrones de circulación de vientos, de presiones atmosféricas superficiales y de precipitación sobre todo el Océano Pacífico. La Niña es la fase fría del ENSO. No existe una única lista de años El Niño o La Niña, dado que su definición varía. Sin embargo el Climate Prediction Center (CPC; http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html), perteneciente al National Weather Service de Estados Unidos, así como, COAPS (http://www.coaps.fsu.edu/~leqler/jma_index.html), y Florida State University (http://viz.globe.gov/viz-bin/show.cgi?l=en&b=q&rg=n&page=help-elnino-elnino_dates.ht), mantienen una lista de los años identificados como extremos del ENSO. Todos los eventos ENSO son diferentes, así como sus efectos regionales y locales.

Las perturbaciones de los patrones de la circulación atmosférica global y los cambios en los balances de agua y energía que ocurren durante las dos fases del ENSO, ocasiona fuertes perturbaciones hidro-climáticas, particularmente en los cinturones tropicales y sub-tropicales de la Tierra, con amplias repercusiones sociales, ambientales, ecológicas y económicas. La dinámica del fenómeno ENSO se estudia en Neelin et al. (1998, 2000), Battisti & Sarachick (1995), Federov & Philander (2000). Los impactos sociales y económicos del ENSO se estudian en Diaz & Markgraf (1993, 2000), Glantz et al. (1991), Rosenzweig (2001). Más detalles se pueden ver también el ULR de Internet http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/.

Los efectos del ENSO y otros fenómenos de macro-escala han sido estudiados por nuestro grupo de investigación. Ver Poveda (1994, 1997, 1998, 2004), Poveda & Mesa (1993, 1996, 1997, 2000), Mesa, Poveda & Carvajal (1997), Poveda et al. (1998, 2001a, b, 2002a, b, 2004), Poveda & Jaramillo (2000), Waylen & Poveda (2002). Los efectos hidro-climáticos del ENSO en Colombia se pueden resumir en los siguientes aspectos principales. En general, durante El Niño se presenta una disminución en la precipitación, en caudales medios mensuales y en caudales extremos, tanto máximos como mínimos en los ríos de Colombia. Estos efectos son más marcados durante la época de Junio-Julio (año 0) hasta abril mayo del año siguiente (año +1).

Consistentemente, también se presenta una disminución en la humedad del suelo y en la actividad vegetal (Poveda & Jaramillo, 2000; Poveda et al. 2001a; Poveda, Ramírez & Jaramillo, 2001b, Poveda y Salazar, 2004). Se presenta también un incremento en las temperaturas medias del aire. Todas estas anomalías hidro-climáticas exhiben variabilidad regional y temporal, y están asociadas con efectos adversos a la agricultura y a la producción agropecuaria, a la generación de energía eléctrica (Poveda, Mesa & Waylen, 2003), al transporte fluvial, y a las epidemias de malaria en Colombia (Poveda et al., 2000), y a muchos ecosistemas. En general, los efectos de El Niño son más fuertes y más inmediatos sobre el occidente que sobre el oriente del país (Poveda & Mesa, 1997). Durante La Niña ocurren anomalías contrarias, con eventos de precipitación muy intensos, crecidas de ríos, avalanchas e inundaciones de planicies aluviales, con las consecuentes pérdidas de vidas humanas, infraestructura y cosechas agrícolas.

En la Figura 1 se muestra el ciclo diurno promedio (7 am a 7 am), de la precipitación en la estación Bremen (Quindío), para las dos fases del ENSO, así como durante épocas normales. Se observa que durante El Niño se disminuye la amplitud del ciclo diurno y lo contrario durante La Niña (Agudelo et al., 2001; Poveda et al., 2004).

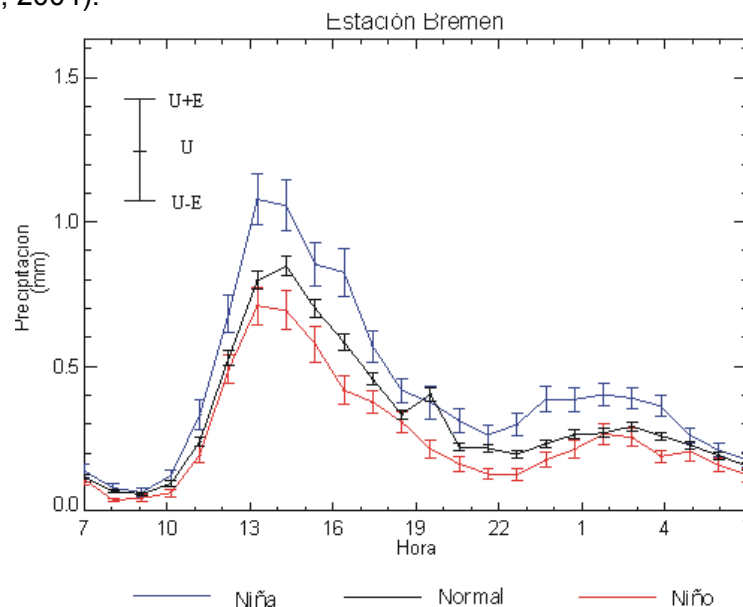


Figura 1. Ciclo diurno de precipitación promedio (7 am a 7 am) en la estación Bremen (Quindío, Colombia), y su variabilidad durante las fases del ENSO: El Niño (rojo), La Niña (azul), y normal. Tomada de Agudelo et al. (2001).

En la Figura 2 se presenta el mapa de iso-correlaciones entre las temperaturas del Océano Pacífico y las lluvias mensuales de Quibdó (Choco), durante el periodo 1959-1994. Se observan correlaciones negativas. Los registros de temperatura de la superficie del mar de COADS (Slutz et al., 1985) se promediaron sobre una malla de 4 (latitud) x10 (longitud) entre las latitudes 29EN-29ES y entre las longitudes 30EE-80EO, para un total de 342 sitios sobre el Indo-Pacífico, para el período entre 1959 y 1990. Se observan correlaciones negativas de las lluvias de Quibdó con las temperaturas del mar en las regiones denominadas como Niño-3 (5EN-5ES, 150EO-90EO) y Niño-4 (5EN-5ES, 160EE-150EO) y en la región del monsoon indo-asiático.

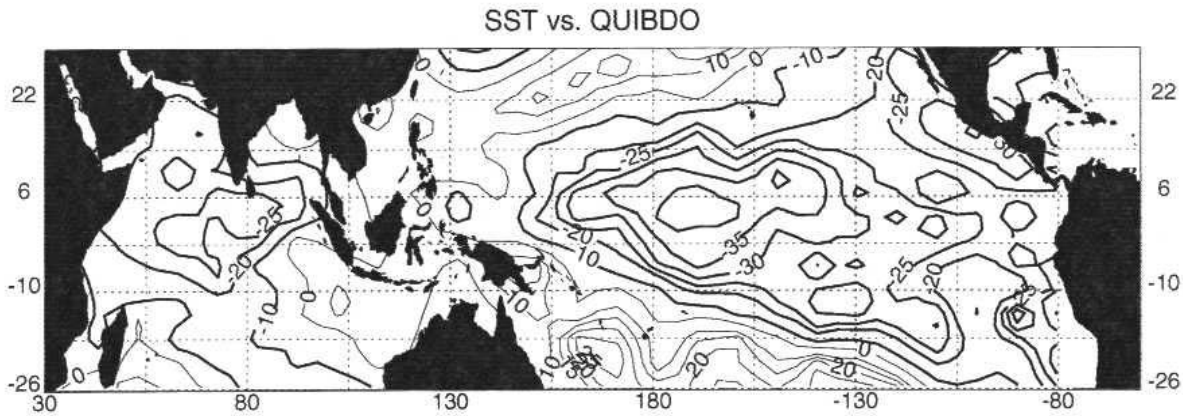


Figura 2. Mapa de iso-correlaciones (%) entre las temperaturas del mar en los océanos Indo y Pacífico y los registros de precipitación mensual en Quibdó (Chocó), durante el periodo 1959-1994.

El signo de las correlaciones indica que El Niño está asociado con una disminución de las lluvias en Quibdó y lo opuesto durante La Niña. Las Figuras 1 y 2 atestiguan el efecto de El Niño y La Niña sobre las lluvias en dos regiones de Colombia, en dos escalas temporales diferentes.

El déficit de lluvia durante El Niño causa anomalías negativas en los caudales medios mensuales y en los caudales extremos (máximos y mínimos) de los ríos de Colombia. En la Figura 3 se muestra la función de distribución de probabilidad Log-Normal ajustada a los registros de caudales máximos anuales del río Negro (estación Colorados, Cundinamarca), discriminada según los años El Niño, La Niña y años Normales. La abscisa representa la probabilidad de no excedencia de los caudales máximos.

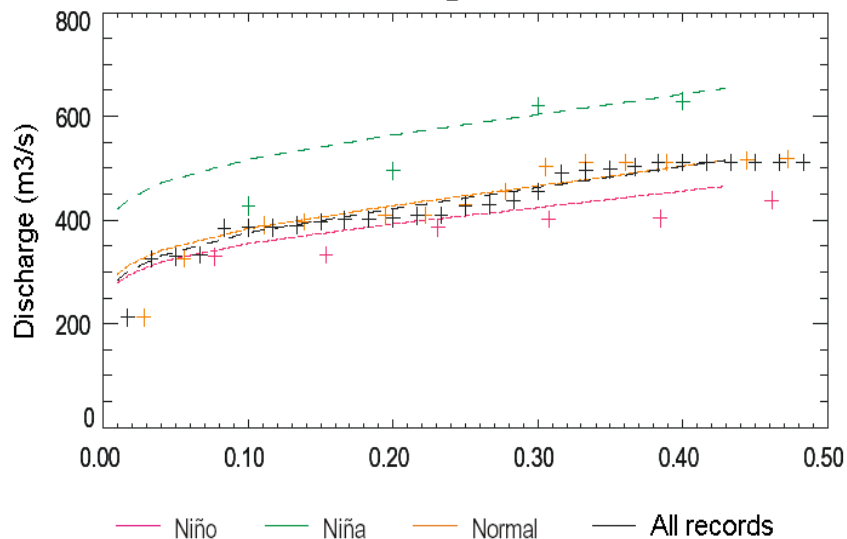


Figura 3. Función de distribución de probabilidad Log-Normal ajustada a los registros de caudales máximos anuales del río Negro (estación Colorados, Cundinamarca), discriminada según los años El Niño, La Niña y años Normales. La abscisa representa la probabilidad de no excedencia de los caudales máximos.

La Figura 4 muestra el ajuste para el caso de los caudales mínimos anuales del río Magdalena en la estación Calamar. En las Figuras 3 y 4 se corrobora la influencia de ambas fases del ENSO sobre los caudales extremos. Esto indica la necesidad de revisar los métodos de estimación de caudales extremos con distinto periodo de retorno, para propósitos de diseño en ingeniería (Waylen et al., 1996). El caso de los caudales mínimos ocupa el interés de este Seminario.

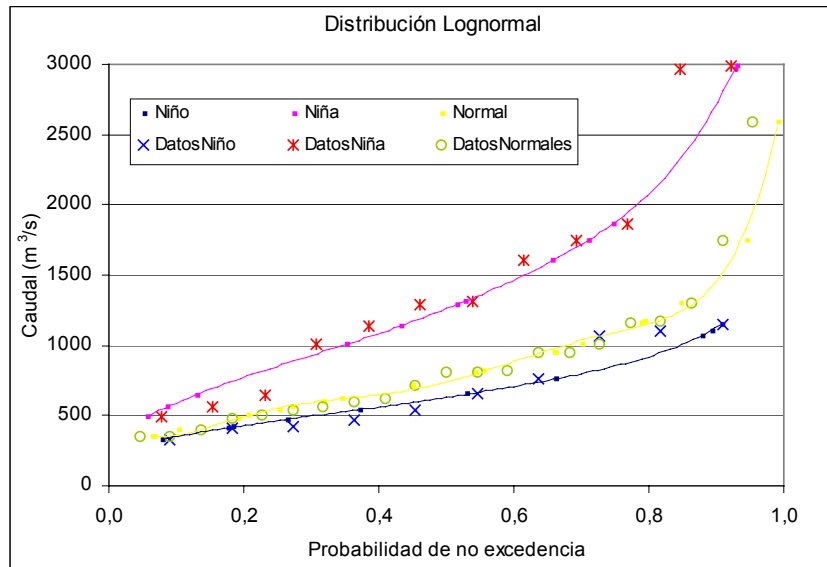


Figura 4. Función de distribución de probabilidad Log-Normal ajustada a los registros de caudales mínimos anuales del río Magdalena (Calamar), discriminada según los años El Niño, La Niña y años Normales. La abscisa representa la probabilidad de no excedencia de los caudales mínimos.

3. Estimación de Caudales Mínimos combinando el Balance Hídrico de Largo Plazo con Escalamiento.

Durante la última década, nuestro grupo de investigación ha venido desarrollando el “Atlas Hidrológico de Colombia (HidroSIG)”, en versión digital en lenguaje Java (Vélez, Poveda, Mesa et al. 2002). Una componente importante del Atlas permite estimar los caudales mínimos con diferente periodo de retorno en cualquier sitio de la red hidrográfica del país. Nuestro enfoque (Poveda et al., 2002b) para estimar los caudales mínimos se basa en una combinación de la teoría clásica de Chow (1951) con ideas de escalamiento de los caudales mínimos con el caudal medio multianual de la cuenca y con su área de drenaje. Existen claras relaciones potenciales entre los caudales medios y los caudales mínimos anuales, a través de relaciones bien conocidas que vinculan los caudales medios con el área de la cuenca (Vogel y Sankarasubramanian, 2000). La estimación de caudales mínimos $Q_{min}(T_r)$, con distinto periodo de retorno, (T_r), definido como el inverso de la probabilidad de excedencia para caudales mínimos, la cual es inversa a la probabilidad de excedencia para caudales máximos, se estima mediante,

$$Q_{min}(Tr) = \langle Q_{min} \rangle + k_{Tr} Ds(Q_{min}), \quad (1)$$

en donde $\langle Q_{min} \rangle$ representa el valor promedio de la serie de caudales mínimos anuales, k_{Tr} representa el factor de frecuencia, que depende de la función de distribución de probabilidades supuesta para los caudales mínimos y del periodo de retorno (T_r), y además $Ds(Q_{min})$ representa la desviación típica de la serie de caudales mínimos anuales. Para nuestro caso, se usaron las funciones de probabilidad Gumbel y LogNormal. La media, $\langle Q_{min} \rangle$, y la desviación típica, $Ds(Q_{min})$, se estimaron a través de una relación potencial con el caudal medio multianual de la cuenca, como

$$\langle Q_{min} \rangle = c_m Q^\alpha, \quad (2)$$

$$Ds(Q_{min}) = c_d Q^\beta, \quad (3)$$

en donde c_m , c_d , α y β , son prefactores y exponentes que se estiman a partir de los datos muestrales. Para garantizar la continuidad de los caudales a lo largo de las cuencas hidrográficas y con base en la ecuación de balance hídrico de largo plazo, se estima el valor del caudal medio anual, Q , mediante,

$$Q = A (P - E), \quad (4)$$

en donde P representa la tasa de precipitación promedia anual en la cuenca, (mm/año), E representa la tasa de evaporación real promedio anual en la cuenca, (mm/año), y A representa el área de la cuenca. La estimación de Q en todo el territorio de Colombia se llevó a cabo en el estudio de balances hidrológicos de Colombia (Vélez, Poveda y Mesa, 2000). Por ello, las ecuaciones (2) y (3) se estiman mediante,

$$\langle Q_{min} \rangle = c_m [A(P - E)]^\alpha \quad (5)$$

$$Ds(Q_{min}) = c_d [A(P - E)]^\beta \quad (6)$$

En el trabajo de Poveda et al. (2002) se efectúa una estimación de los exponentes, usando los registros de 240 estaciones de medición de caudales en Colombia, lo que permitió estimar $\alpha.\beta.1.0$, para los caudales mínimos en Colombia. Tal resultado evidencia de la existencia de propiedades de escalamiento simple en todos los momentos estadísticos de orden $n=1,2,\dots, 4$, de la función de distribución de probabilidades de los caudales mínimos con respecto al área de drenaje. En general, escalamiento simple de un proceso estocástico $X(t)$ refleja la manera en que se reescalan los momentos de la función de distribución de probabilidades de tal proceso (en el espacio o en el tiempo), mediante un parámetro θ , de la forma,

$$E[X^q(\lambda t)] = \lambda^{\theta q} E[X^q(t)], \text{ con } q = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (7)$$

ó, $\log E[X^q(\lambda t)] = q\theta \log \lambda + E[X^q(t)].$

Esta última ecuación muestra dos rasgos característicos: (1) linealidad en el espacio log-log, y (2) crecimiento lineal de la pendiente $\tau(q) = \theta q$. La existencia de escalamiento simple es una característica muy potente, pues permite regionalizar todos los momentos estadísticos y los parámetros estadísticos asociados (media, varianza, coeficientes de asimetría y curtosis, etc.) de los caudales mínimos, con base solamente en información del área de drenaje. Esto es fundamental en tareas de diseño hidrológico, pues permite estimar los caudales mínimos con diferente periodo de retorno, en términos de su relación con las probabilidades de excedencia de caudales mínimos. En Poveda et al. (2002) se presentan las evidencias rigurosas de la existencia de escalamiento simple en los caudales mínimos de Colombia. La Figura 5 muestra el excelente ajuste entre los promedios de los caudales mínimos anuales, y los caudales promedios anuales en Colombia, con exponente $\forall.1.0$ ($R^2=0.98$), en un amplio rango de 5 órdenes de magnitud.

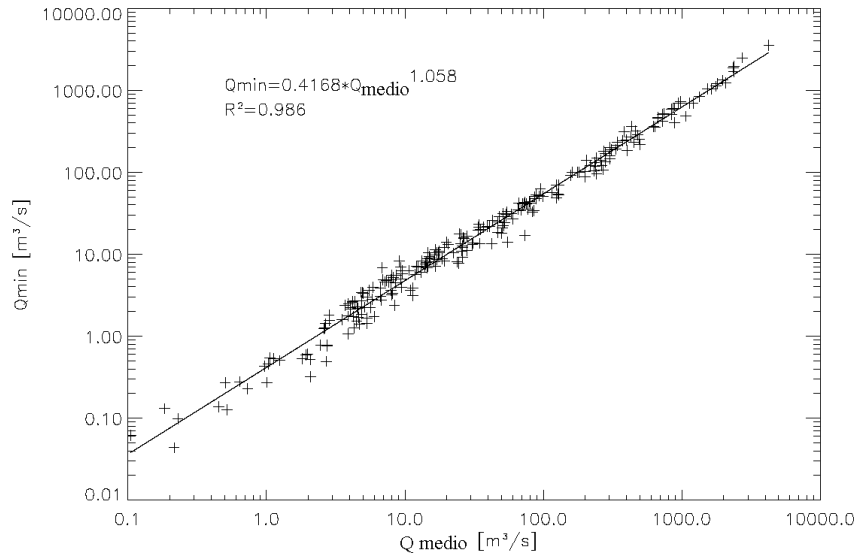


Figura 5. Relación potencial entre los promedios de caudales medios y caudales mínimos anuales en ríos de Colombia.

Los prefactores, c_m y c_d , en las ecuaciones (5) y (6), también han sido regionalizados para Colombia. Tales resultados se muestran en la Figura 6, tomada de Poveda et al. (2002), con un total de 240 estaciones con más de 20 años de registros. Los registros fueron obtenidos mediante compra al IDEAM, o proporcionados en forma gratuita y desinteresada por Empresas Públicas de Medellín, y diversas Corporaciones Autónomas Regionales. Los mapas mostrados en la Figura 6, en conjunto con la ecuación (1) para la estimación de los caudales de cualquier periodo de retorno sobre la red hidrográfica de Colombia.

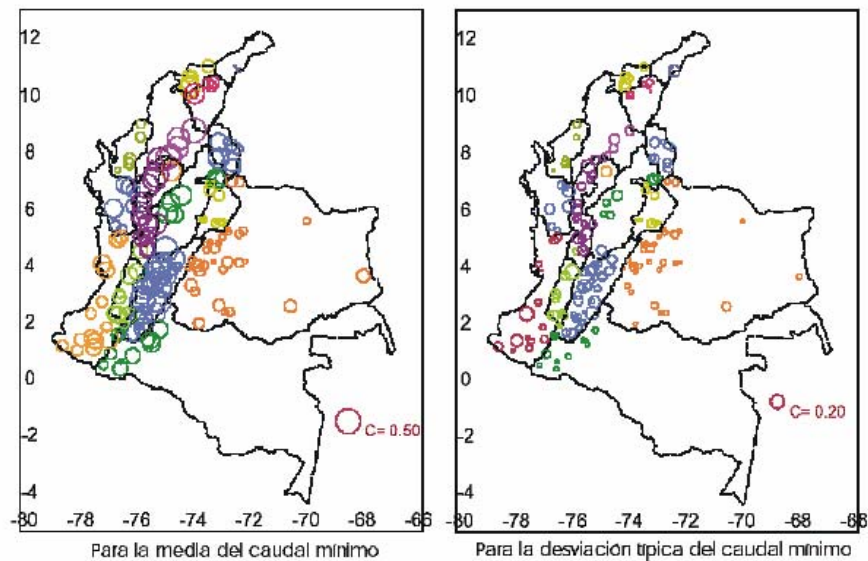


Figura 6. Distribución de los coeficientes c_m y c_d (ecuaciones 5 y 6), estimados con registros de caudales mínimos en Colombia. Tomada de Poveda et al. (2002b).

La Figura 7 muestra un ejemplo del mapa obtenido para Colombia, para los caudales mínimos anuales de 50 años de periodo de retorno, usando la función de distribución de probabilidades Log Normal de dos parámetros.

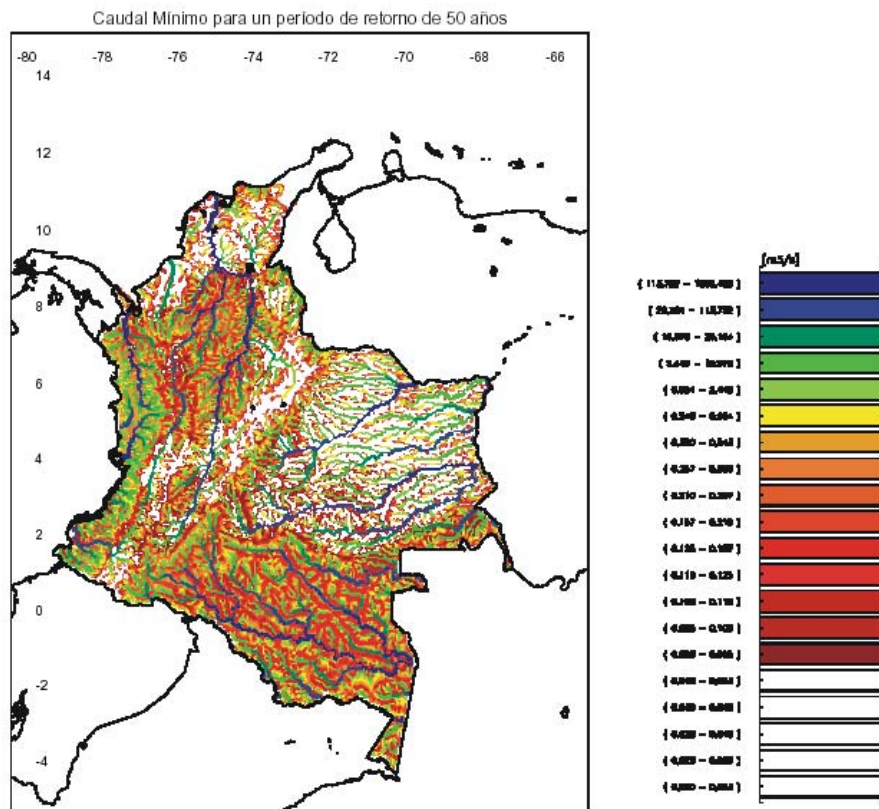


Figura 7. Mapa de caudales mínimos anuales de 50 años de periodo de retorno, usando la función de distribución de probabilidades Log Normal de dos parámetros. Tomado de Poveda et al. (2002a).

4. Conclusiones

Hemos presentado algunas ideas en torno a un mejor entendimiento de la hidrología de los regimenes de caudales mínimos en Colombia. El fenómeno El Niño está asociado con la ocurrencia de sequías y anomalías negativas de precipitación y, por tanto, con la ocurrencia de los caudales mínimos. El conocimiento de los efectos hidrológicos de fenómenos macro climáticos sobre los procesos hidrológicos es una avenida de investigación que ha contribuido a un mejor entendimiento de los mecanismos físicos que gobiernan la variabilidad hidrológica en distintas escalas espacio-temporales. **Los efectos hidrológicos asociados con el fenómeno El Niño/Oscilación de Sur (ENSO) ponen de presente el carácter no estacionario de la variabilidad hidrológica en el tiempo**, es decir que las funciones de distribución de probabilidades de las variables hidrológicas cambian efectivamente con el tiempo. Las Figuras 3 y 4 ejemplifican este punto al discriminar las funciones de probabilidad de las series de caudales máximos y mínimos anuales, según las fases del ENSO: El Niño y La Niña. Este conocimiento es útil en diversas aplicaciones en ingeniería hidrológica y en aprovechamiento de recursos hídricos, y además pone de presente las serias

limitaciones de conclusiones de estudios que suponen estacionariedad, los cuales conducen a conclusiones espurias.

Los caudales mínimos, como toda la dinámica de los procesos hidrológicos están condicionados por forzamientos macroclimáticos en combinación con la dinámica de la interacción suelo-atmósfera. Allí tenemos grandes retos para la investigación en Colombia, los cuales están por ser resueltos a través de investigación nutrida, de la cual el sector eléctrico no debe ser ajeno, por razones de evidentes beneficios económicos (Poveda, Mesa & Waylen, 2003).

La estimación de los caudales mínimos a través de la combinación de metodologías de escalamiento con balances hídricos de largo plazo supera las limitaciones de los métodos tradicionales de regionalización. Este enfoque permite ligar los métodos estadísticos con la dinámica física de los procesos hidrológicos en la cuenca, dando mayor consistencia a los resultados obtenidos para efectos de diseño en ingeniería hidrológica.

Reconocimientos. Algunas partes de este trabajo han sido desarrollados con la colaboración del Profesor Jaime Ignacio Vélez, y los estudiantes Lina Isabel Ceballos y Manuel D. Zuluaga.

Referencias

Battisti, D. S., & E. S. Sarachik, (1995). Understanding and predicting ENSO. U.S. National Report to IUGG, 1991-1994, *Reviews of Geophysics*, Vol. 33 Suppl., American Geophysical Union.

Chow, V. T., (1951). A general formula for hydrologic frequency analysis, *Transactions American Geophysical Union*, 32, 231-237, 1951.

Diaz, H. F., & V. Markgraf (eds.), (1993). *El Niño. Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*, Cambridge University Press, pp. 476.

Diaz, H. F., & V. Markgraf (eds.), (2000). *El Niño and the Southern Oscillation, Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. Cambridge University Press, 183-204.

Federov, A. V., & G. S. Philander, (2000). Is El Niño changing? *Science*, 288 (5473), 1997-2002.

Glantz, M., (2000). *Currents of Change: Impacts of El Niño and La Niña on Climate and Society*, Cambridge University Press.

Glantz, M., Katz, R., & N. Nicholls, (eds.), (1991). *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*. Cambridge University Press. 535.

Neelin, J. D., D. S. Battisti, A. C. Hirst, F.-F. Jin, Y. Wakata, T. Yamagata, & S. E. Zebiak, (1998). ENSO theory, *Journal of Geophysical Research*, 103 (7), 14261-90.

Neelin, J. D., F.-F. Jin, y H.-H. Syu, (2000). Variations in ENSO phase locking, *Journal of Climate*, 13 (14), 2570-90.

Poveda, G., (1994). Cuantificación del efecto de El Niño y La Niña sobre los caudales en Colombia, Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología, IAHR, Santiago de Chile, 107-117.

Poveda, G., (1997). ¿Atractores extraños (Caos) en la hidro-climatología de Colombia?, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, Vol. 21, No. 81, 431-444.

Poveda, G., (1998). *Retroalimentación Dinámica entre el Fenómeno ENSO y la Hidrología de Colombia*. Tesis Ph. D., Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Poveda, G., (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, Vol. 28 (107), 201-222.

Poveda, G., M. M. Gil, & N. Quiceno, (1998). El ciclo anual de la hidrología de Colombia en relación con el ENSO y la NAO, *Bulletin Institute Francaise d'Etudes Andines*, 27 (3), 721-731, 1998.

Poveda, G., & A. Jaramillo, (2000). ENSO-related variability of river discharges and soil moisture in Colombia, *Biospheric Aspects of the Hydrologic Cycle*, IGBP, No. 8, 3-6.

Poveda, G., & O. J. Mesa, (1993). Metodologías de predicción de la hidrología Colombiana considerando el evento El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), *Atmósfera*, 17, Sociedad Colombiana de Meteorología, Bogotá.

Poveda, G., & O. J. Mesa, (1996). Las fases extremas del ENSO - El Niño y La Niña - y su influencia sobre la hidrología de Colombia, *Ingeniería Hidráulica en México*, XI, 21-37.

Poveda, G., & O. J. Mesa, (1997). Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large scale oceanic atmospheric phenomena, *Journal of Climate*, 10, 2690-2702.

Poveda, G., & O. J. Mesa, (2000). On the existence of Lloró (the rainiest locality on Earth): Enhanced ocean-atmosphere-land interaction by a low-level jet, *Geophysical Research Letters*, 27 (11), 1675-1678. June 1.

Poveda, G., O. J. Mesa, & P. R. Waylen, (2003). Non-linear forecasting of river flows in Colombia based upon ENSO and its associated economic value for hydropower generation. En: Diaz, H, & B. Morehouse (eds.), *Climate and Water: Transboundary Challenges in the Americas*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 351-371.

Poveda, G., N. E. Graham, P. R. Epstein, W. Rojas, M. L. Quiñónez, I. D. Vélez, & W. J. M. Martens, (2000). Climate and ENSO variability associated with vector-borne diseases in Colombia. En: Diaz, H. F., y V. Markgraf (eds.), *El Niño and the Southern Oscillation, Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. Cambridge University Press, 183-204.

Poveda, G., A. Jaramillo, M. M. Gil, N. Quiceno, & R. Mantilla, (2001a). Seasonality in ENSO related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index (NDVI) in Colombia, *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 8, 2169-2178.

Poveda, G., J. M. Ramírez, & A. Jaramillo, (2001b). Modelación estocástica de la variabilidad anual e interanual de la humedad del suelo en Colombia bajo diferente cobertura vegetal. Memorias IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, Buenos Aires, Argentina.

Poveda, G., O. J. Mesa, L. F. Carvajal, C. D. Hoyos, J. F. Mejía, A. Cuartas, & A. Pulgarín, (2002a). Predicción de caudales medios mensuales en ríos Colombianos usando métodos no lineales. *Meteorología Colombiana*, 6, 101-110.

Poveda, G., J. I. Velez, O. J. Mesa, L. I. Ceballos, M. D. Zuluaga, & C. D. Hoyos, (2002b). Estimación de caudales mínimos para Colombia mediante regionalización y aplicación de la curva de recesión de caudales, *Meteorología Colombiana*, No. 6, 73-80, 2002.

Poveda, G., O. Mesa, L. F. Salazar, P. A. Arias, H. A. Moreno, S. C. Vieira, P. A. Agudelo, V. Toro, & J. F. Alvarez, (2004). The diurnal cycle of precipitation in the tropical Andes of Colombia, *Monthly Weather Review*, en imprenta.

Poveda, G., & L. F. Salazar, (2004). Annual and interannual (ENSO) variability of spatial scaling properties of a vegetation index (NDVI) in Amazonia, *Remote Sensing of the Environment*, en imprenta.

Rosenzweig, C. (ed.), (2001). *Impact of El Niño and Climate Variability on Agriculture*. American Society of Agronomy Special Publication #63.

Slutz, R. J., S. J. Lubker, J. D. Hiscox, & co-autores, (1985). *Comprehensive ocean-atmosphere data set*, 268 pp., Release 1, NOAA ERL, Boulder, Colorado, 1985.

Vélez, J. I., G. Poveda, & O. J. Mesa, (2000). *Balances Hidrológicos de Colombia*, Serie del Posgrado en Recursos Hidráulicos, No. 16, 150 pp.

Vélez, J. I., O. J. Mesa, G. Poveda, & co-autores, (2002). HidroSIG Java: Una herramienta para la visualización de datos hidroclimáticos, *Meteorología Colombiana*, 6, 65-71.

Vogel, R. M., & A. Sankarasubramanian, (2000). Spatial scaling properties of annual streamflow in the United States, *Hydrological Sciences Journal*, 45, 465-476.

Waylen, P. R., Caviedes, C. N., & M. E. Quesada, (1996b). Interannual variability of monthly precipitation in Costa Rica. *Journal of Climate*, 9, 2606-2613.

Waylen, P. R., & G. Poveda, (2002). El Niño-Southern Oscillation and aspects of western South America hydro-climatology, *Hydrological Processes*, 16, 1247-1260.