



XXVIII REUNIÓN CIENTÍFICA  
DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOFÍSICOS Y GEODESTAS



Facultad de Ciencias  
**Astronómicas  
y Geofísicas**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



## Variabilidad de baja frecuencia en los caudales de los ríos del centro-norte de Argentina y su contribución al desarrollo de sequías hidrológicas

J. Caragunis<sup>1</sup>, J. Rivera<sup>2</sup> y O. Penalba<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. [juancara92@gmail.com](mailto:juancara92@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT-Mendoza/CONICET.

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

### Resumen

Con el propósito de mejorar el conocimiento de la variabilidad temporal de los caudales de los ríos del centro-norte de Argentina en términos de la variabilidad de baja frecuencia, se analizaron los registros mensuales históricos de 10 estaciones de aforo durante el período 1919-2014. A fin de comparar los registros hidrológicos en cuencas con distintas características climáticas y geográficas, se utilizó el índice de caudal estandarizado (ICE), el cual fue obtenido mediante el ajuste de los caudales mensuales a una distribución de probabilidades gamma para luego transformarlos en una variable estandarizada. Mediante una descomposición empírica se obtuvieron los principales modos de variabilidad temporal de los caudales, los cuales abarcan desde la escala estacional a las variaciones multi-decadales, y una tendencia de largo plazo no-lineal. Para el análisis de la variabilidad de baja frecuencia se realizó una composición de los modos que tuvieran periodicidades de 10 o más años. Los resultados muestran que la variabilidad climática juega un papel fundamental, modulando las variaciones de los períodos de sequía hidrológica en diversas escalas de tiempo, lo cual se identificó a través de las tendencias observadas en el último siglo. Estas variaciones de baja frecuencia imponen condiciones de clima no-estacionario, lo cual debe tenerse en cuenta para lograr una gestión de riesgos efectiva.

**Palabras clave:** caudal, variabilidad temporal, oscilaciones de baja frecuencia, sequía hidrológica.

### Introducción

En la región centro-norte de Argentina existen diversos contrastes entre sus cuencas hidrológicas. Por ejemplo, mientras la región de Cuyo posee 2,5 millones de habitantes de los cuales el 90% se concentra en el 4% de esta región (oasis irrigados);



la Cuenca del Plata posee 200 millones de habitantes en su superficie de 3.2 millones de Km<sup>2</sup>, siendo la tercera cuenca más grande del mundo y generando el 70% del PBI de los cinco países que la integran. Teniendo en cuenta el incremento en la demanda de recursos hídricos para diversas funciones –irrigación, generación de energía hidroeléctrica, consumo humano-, es necesario un manejo eficiente que contemple la variabilidad de los caudales en distintas escalas temporales.

Las variaciones climáticas en escalas decadales (en un período entre 10 y 100 años) probablemente son las que causan mayores impactos en las actividades humanas, lo cual se debe a que gran parte de la planificación de la sociedad se da en esta escala temporal (Krepper y Sequeira, 1998). El impacto de las variaciones decadales o de baja frecuencia ha sido ampliamente documentado considerando las precipitaciones en el sur de Sudamérica (Krepper y Sequeira, 1998; Penalba y Vargas, 2004; Krepper y Zucarelli, 2010; Lovino y otros, 2014; Saurral y otros, 2016). No obstante, poco se conoce respecto a las variaciones decadales de los caudales mensuales en Argentina, teniendo en cuenta que existen diversos sitios de aforo que poseen registros centenarios que permiten este tipo de análisis. Puede mencionarse a Pasquini y otros (2006), quienes analizaron registros de caudales en el centro de Argentina, encontrando periodicidades significativas de entre 10 y 25 años. Antico y otros (2016) encontraron que los ciclos entre 31-85 años contribuyeron al desarrollo de los picos de descarga registrados en los años 1983 y 1992 en el río Paraná.

Los caudales son la variable clave para el análisis y descripción de sequías que repercuten en diversas actividades relacionadas con el suministro de agua, como la generación de energía hidroeléctrica y la irrigación para la agricultura (Heim, 2002). En este estudio se propone identificar las variabilidades de baja frecuencia –en escala decadal- en 10 estaciones de aforo de referencia localizadas en el centro-norte de Argentina. Se analizarán en particular las variabilidades que favorecieron el desarrollo de sequías hidrológicas en la región.

### **Materiales y método**

Se utilizaron datos de caudales mensuales de 10 estaciones de aforo pertenecientes a ríos ubicados en la región centro-norte de Argentina (25°S-40°S, Figura 1), los cuales fueron provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos

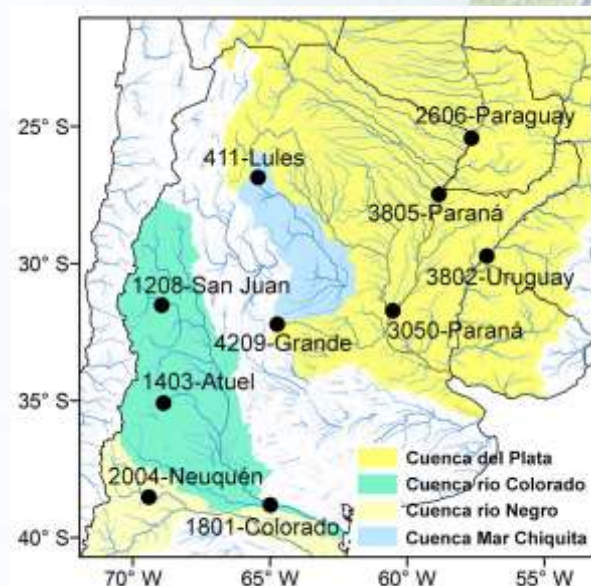


Figura 1. Área de estudio y estaciones utilizadas.





(<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/>). Las estaciones de aforo seleccionadas poseen registros que comienzan entre 1903 y 1919 y corresponden a los ríos Atuel, San Juan, Colorado, Neuquén, Paraná, Paraguay, Uruguay, Grande y Lules (Figura 1). El período común 1919-2014 (96 años) se seleccionó en función de la disponibilidad, calidad y distribución espacial de los datos, con el fin de obtener una completa descripción de la variabilidad de baja frecuencia. Las series de caudales diarios fueron sometidas a procedimientos de control de calidad y los datos faltantes, que en ningún caso superaron el 3% del total de las series temporales, fueron rellenados con aforos cercanos siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (2008).

A fin de comparar los caudales de las distintas cuencas analizadas, se utilizó el índice de caudal estandarizado (ICE, Vicente-Serrano y otros, 2012). Este índice representa la cantidad de desviaciones estándares a partir de la cual un valor de caudal mensual se encuentra por encima o por debajo del promedio climatológico de una ubicación particular. Para su construcción, los caudales mensuales fueron ajustados a una distribución de probabilidades gamma, para luego transformar la distribución de probabilidad acumulada a una distribución normal (más detalles en Vicente-Serrano y otros, 2012). Valores de ICE positivos (negativos) indican caudales por encima (debajo) de los valores climatológicos. Para la obtención de los modos de baja frecuencia presentes en las series de ICE se aplicó una descomposición denominada ensamble completo de la descomposición empírica de modos con ruido adaptativo (CEEMDAN por sus siglas en inglés, Colominas y otros, 2014). Con esta metodología, se obtuvieron los principales modos de variabilidad de los caudales y una tendencia no-lineal. A fin de obtener la variabilidad decadal, se sumaron los modos con periodicidades mayores a 10 años junto con la tendencia no-lineal.

### Resultados y discusión

La figura 2 muestra las series de ICE de 4 de las 10 estaciones analizadas, en conjunto con la componente decadal de cada serie y su tendencia no-lineal. En todos los casos, las componentes decadales poseen variabilidades significativas entre 10

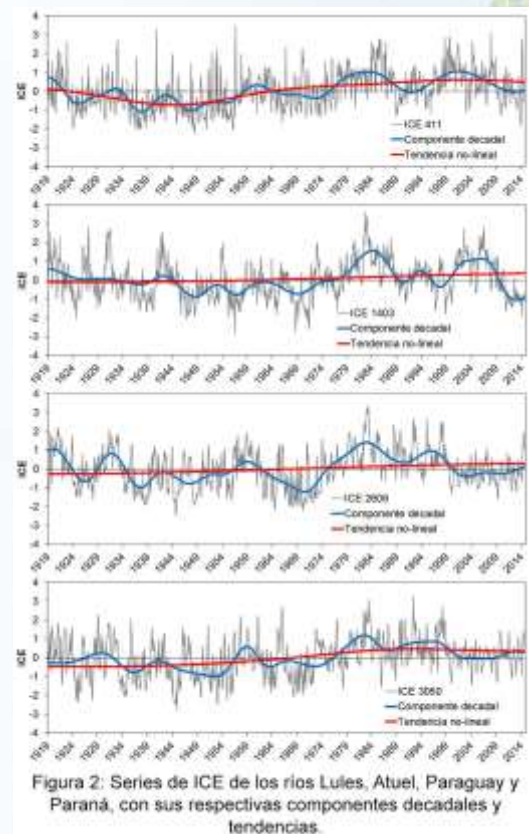


Figura 2: Series de ICE de los ríos Lules, Atuel, Paraguay y Paraná, con sus respectivas componentes decadales y tendencias.



y 30 años. Es destacable la contribución de las variaciones de baja frecuencia –que explican un 36% de la variabilidad del ICE- en los períodos secos ocurridos entre 1920 y 1960 en el río Lules. Este resultado es similar al obtenido para el río Paraná entre los años 1930 y 1960, donde la componente decadal explica el 22% de la variabilidad total de los caudales. Además, se observan valores de ICE negativos mayormente entre los años 1940 y 1975 en el río Atuel, en concordancia con una fase negativa de la Oscilación Decadal del Pacífico (Araneo y Villalba, 2015). Los ríos de Cuyo poseen una fuerte componente decadal, explicando 42% de la variabilidad del río Atuel y 37% de la variabilidad del río San Juan. El período seco reciente evidente entre los años 2009 a 2014 en los ríos Atuel, San Juan y Colorado, se asocia tanto a variaciones decadales como a una componente de cambio climático antropogénico (Boisier y otros, 2015). Las tendencias no-lineales presentan incrementos en las cuencas de los ríos Atuel, Paraná, Uruguay, Paraguay, Lules y Grande. Esto indica un incremento en los caudales mensuales durante el último siglo. Por otro lado, las cuencas de los ríos San Juan, Colorado y Neuquén presentan tendencias no-lineales negativas. La contribución de las variabilidades decadales es menor en los ríos Grande (17%), Neuquén (13%) y Uruguay (5%).

### **Conclusiones**

Esta investigación permitió identificar los principales modos de baja frecuencia que modulan los caudales en el centro-norte de Argentina. Utilizando series de caudales mensuales de casi 100 años de extensión, se aplicó el ICE a fin de poder realizar una comparación espacial entre las variabilidades de las distintas cuencas analizadas. A estas series se les aplicó una descomposición empírica que permitió separar las variabilidades decadales respecto a las variabilidades de alta frecuencia, y a su vez identificar las tendencias no-lineales presentes en las series. Este estudio permitió identificar ciclos significativos de entre 10 y 30 años en todas las series analizadas, los cuales explican entre el 5 y el 42% de la variabilidad temporal de las series de ICE. Los resultados son relevantes para la planificación a largo plazo y para el diseño de herramientas de pronóstico.

### **Agradecimientos**

A la Subsecretaría de Recursos Hídricos por la provisión de los datos utilizados. A los proyectos de investigación CONICET PIP 11220100100227 y UBA 20020130100263BA por la financiación de este trabajo.

### **Referencias**

Antico, A., M.E. Torres and H.F. Diaz, 2016. Contributions of different time scales to extreme Paraná floods. *Clim. Dyn.* 46 (11): 3785-3792.





- Araneo, D. and R. Villalba, 2015. Variability in the annual cycle of the Río Atuel streamflows and its relationship with tropospheric circulation. *Int. J. Climatol.* 35 (10): 2948-2967.
- Boisier, J.P., R. Rondanelli, R.D. Garreaud and F. Muñoz, 2015. Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophys. Res. Lett.*, DOI: 10.1002/2015GL067265.
- Colominas, M.A., G. Schlotthauer and M.E. Torres, 2014. Improved complete ensemble EMD: A suitable tool for biomedical signal processing. *Biomedical Signal Processing and Control* 14: 19-29.
- Heim, R.R., 2002. A review of twentieth century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Met. Soc.* 83: 1149-1165.
- Krepper, C.M. and M.E. Sequeira, 1998. Low frequency variability of rainfall in Southeastern South America. *Theor. Appl. Climatol.* 61: 19-28.
- Krepper, C.M. and V. Zucarelli, 2012. Climatology of Water Excess and Shortages in the La Plata Basin. *Theor. Appl. Climatol.* 102: 13-27.
- Lovino, M., N.O. García and W. Baethgen, 2014. Spatiotemporal analysis of extreme precipitation events in the Northeast region of Argentina (NEA). *Journal of Hydrology: Regional Studies* 2: 140-158.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2008: Manual on low-flow estimation and prediction. WMO No. 1029, Ginebra, Suiza, 138 pp. ISBN 978-92-63-11029-9.
- Penalba, O.C. and W.M. Vargas, 2004. Interdecadal and interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. *Int. J. Climatol.* 24: 1565-1580.
- Saurral, R.I., I.A. Camilloni and V.R. Barros, 2016. Low-frequency variability and trends in centennial precipitation stations in southern South America. *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.4810.



XXVIII REUNIÓN CIENTÍFICA  
DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOFÍSICOS Y GEODESTAS



Facultad de Ciencias  
**Astronómicas  
y Geofísicas**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



---

Vicente-Serrano, S.M., J.I. López-Moreno, S. Beguería, J. Lorenzo-Lacruz, C. Azorin-Molina and E. Morán-Tejada, 2012: Accurate Computation of a Streamflow Drought Index. *Journal of Hydrologic Engineering* 17: 318-332.