

Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Argentina

• Erica Díaz* • Andrés Rodríguez • Oscar Dölling •
• Juan Carlos Bertoni • Marcelo Smrekar •
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

*Autor de correspondencia

Resumen

Díaz, E., Rodríguez, A., Dölling, O., Bertoni, J. C., & Smrekar, M. (enero-febrero, 2016). Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Argentina. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(1), 125-133.

Para una adecuada planificación y gestión de los recursos hídricos es clave conocer la distribución temporal y espacial de éstos. La sequía es un fenómeno hidrológico extremo de gran complejidad que afecta el desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos en una misma región. En este trabajo se abordó la identificación y caracterización de sequías desde el punto de vista hidrológico, abarcando la mayor ventana de tiempo y espacio en función de los datos de caudales disponibles. Este estudio comprende un área de 14 cuencas hidrográficas argentinas (los ríos Colorado, Mendoza, San Juan, Atuel, Ctlamochita, Anisacate, Xanaes, Suquía, Dulce, Juramento, Salado, Paraná, Bermejo y Pilcomayo). El objetivo del presente trabajo ha sido identificar y caracterizar, temporal y espacialmente, sequías hidrológicas para evaluar la disponibilidad hídrica regional, que es una componente esencial en la planificación del agua. En este trabajo se define como sequía hidrológica aquel suceso en el cual la oferta de caudal (medio anual) en cuencas naturales no reguladas sea inferior al valor del caudal excedido el 70% de tiempo. Se observó la ocurrencia de sequías plurianuales simultáneas en áreas de gran extensión espacial, producto de la variabilidad climática. Esta información es de relevancia para la gestión de los recursos hídricos, pues usos tales como el abastecimiento humano, riego y producción energética, entre otros, pueden ser seriamente afectados por la ocurrencia de manera simultánea de sequías severas en cuencas que aportan a una región y zonas vecinas.

Palabras clave: sequías hidrológicas, caudales anuales, gestión.

Abstract

Díaz, E., Rodríguez, A., Dölling, O., Bertoni, J. C., & Smrekar, M. (January-February, 2016). Identification and Characterization of Hydrological Drought in Argentina. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(1), 125-133.

The temporal and spatial distribution of water resources need to be determined for adequate water planning and management. Droughts are highly complex and extreme hydrological phenomena which affect the development and use of water resources in a single region. In this work, droughts were identified and characterized from the hydrological perspective, with the largest spatial area and time period possible given the available flow data. The study area includes 14 hydrographic basins in Argentina (Colorado, Mendoza, San Juan, Atuel, Ctlamochita, Anisacate, Xanaes, Suquía, Dulce, Juramento, Salado, Paraná, Bermejo and Pilcomayo rivers). The objective was to spatially and temporally identify and characterize hydrological droughts to evaluate the regional water availability, which is an essential component in water planning. This work defines a hydrological drought as an event in which water flow (annual mean) in unregulated natural basins is lower than the flow value that occurs over 70% of the time. The simultaneous occurrence of multi-year droughts in spatially large areas is a result of climate variability. This information is relevant to the management of water resources given that the supply of water for human, irrigation and energy production uses, among others, may be seriously affected by a simultaneously occurrence of severe droughts in basins that supply a particular region or neighboring areas.

Keywords: Hydrological drought, annual flows, management.

Recibido: 12/03/2015

Aceptado: 03/09/2015

Introducción

Las sequías son fenómenos naturales extremos y complejos, de los que se conoce poco en relación con los eventos de excesos hídricos. Los impactos tienen costos sociales, políticos y económicos importantes que afectan extensas áreas. Sabiendo que son una condición natural intrínseca, la cual no se puede evitar que suceda, y teniendo en cuenta que es un fenómeno del cual se habla mucho y se sabe poco, resulta necesario el estudio de las sequías para que la planificación sea en función de la disponibilidad del recurso hídrico y así responder de la mejor manera cuando se den este tipo de fenómenos. Uno de los motivos por los cuales el conocimiento que existe sobre ellas es aún limitado es la escasez de suficientes datos hidrológicos y meteorológicos. En virtud de ello, en este trabajo se aborda la identificación y caracterización de

sequías desde el punto de vista hidrológico, con el fin de obtener el máximo aprovechamiento de las informaciones referidas a aportes anuales, que por lo general poseen una mayor ventana de tiempo y espacio.

Identificar y caracterizar temporal y espacialmente sequías hidrológicas permite evaluar la disponibilidad hídrica regional y local, componente esencial en la planificación del agua.

Zona de estudio

El trabajo comprende un área de 14 cuencas hidrográficas argentinas. Las cuencas seleccionadas fueron en los siguientes ríos: Colorado (CO), Mendoza (ME), San Juan (SJ), Atuel (AT), Ctlamochita (CT), Anisacate (AN), Xanaes (XA), Suquía (SU), Dulce (DU), Juramento (JU), Salado (SA), Paraná (PA), Bermejo (BE) y Pilcomayo (PI) (figura 1).

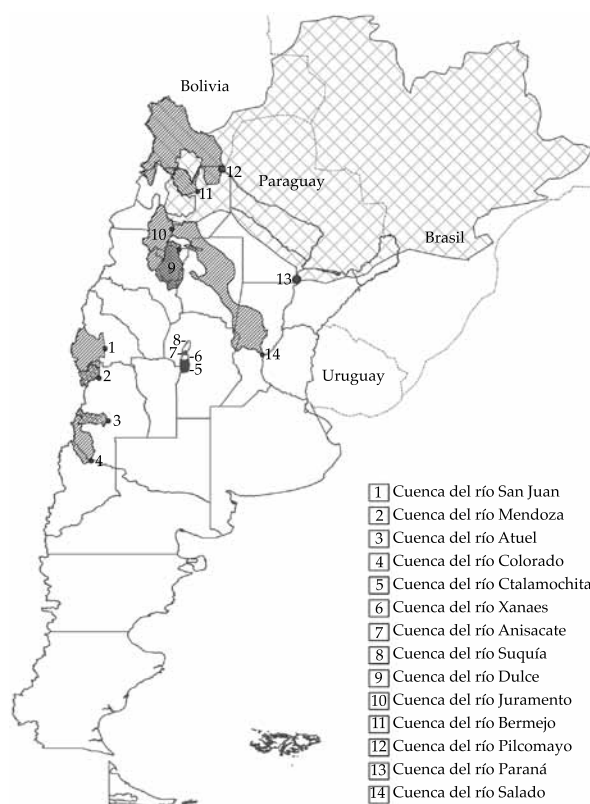


Figura 1. Ubicación de las cuencas analizadas en el trabajo.

Los ríos presentan características diferentes en cuanto a localización de la cuenca, módulo, área de aporte y volumen de aporte anual (cuadro 1). Estas cuencas se eligieron por contar con series de caudales lo suficientemente extensas (mayor a 50 años) y representar los sistemas hidrográficos más importantes de Argentina. Los puntos elegidos para tomar los datos fueron las cabeceras de cuencas donde no se ven influencias de sistemas de regulación ni cambios en el uso del suelo significativos, con excepción de la cuenca del río Paraná (ya que no se contaba con esa información). Las series corresponden a datos de caudales medidos en las secciones indicados para las cuencas de los ríos San Juan, Atuel, Mendoza, Salado, Paraná, Colorado, Anisacate, Ctlamochita, Bermejo y Pilcomayo. Mientras que las cuencas de los ríos Dulce, Suquía, Xanaes y Juramento son datos de caudales medidos hasta la fecha de construcción de las presas que lo regulan y a partir de allí las series son calculadas con un balance en el embalse. Las secciones son las mismas y el embalse no afecta la serie, porque son los caudales que llegan al mismo y no los que se derivan.

Procesamiento de la información

Todas las series empleadas en este trabajo han sido sometidas a distintos análisis estadísticos para verificar su confiabilidad e identificar sus características. Primero se realizó una inspección visual, a fin de detectar *outliers*, a través del análisis de datos dudosos que proponen Chow, Maidment y Mays, 1994. Luego se verificó homogeneidad (con método Escala Anual Wilcoxon y Arch) y estacionariedad (con método de Mann-Kendall y Dickey-Fuller). El método de Arch y Dickey-Fuller se ha aplicado a las series que no verifican homogeneidad y estacionariedad con Wilcoxon y Mann-Kendall, ya que las pruebas se basan en la independencia de los datos. En el caso de series de caudales anuales puede existir una dependencia temporal (Salas, Delleur, Yevjevich, & Lane, 1980) (ver resultados en el cuadro 2).

Análisis de máximas sequías históricas

En el presente trabajo, la caracterización de sequías hidrológicas se realiza en términos

Cuadro 1. Resumen de características hidrológicas y geográficas de las cuencas analizadas.

Cuenca del río	Estación			Altitud (msnm)	Área de aporte (km ²)	Módulo (m ³ /s)	Periodo
	Denominación	Latitud	Longitud				
Colorado	Buta Ranquil	37° 04' 34.4"	69° 44' 48.1"	850	15 300	148	1940-2013
Mendoza	Guido	32° 54' 55.0"	69° 14' 16"	1 408	8 180	45.6	1956-2013
San Juan	San Juan - km 47.3	31° 30' 59.7"	68° 56' 24.6"	934	25 660	65	1909-2013
Ctlamochita	Embalse	32° 10' 00.0"	64° 23' 00"	650	3 300	27.1	1914-1982
Xanaes	Los Molinos	31° 05' 00.0"	64° 30' 00"	770	980	9.5	1936-2008
Anisacate	Santa Ana	31° 40' 00.0"	64° 34' 00"	900	465	4.83	1925-1979
Suquía	San Roque	31° 22' 00.0"	64° 27' 00"	650	1 350	10	1926-2010
Dulce	La Escuela	27° 30' 00.0"	64° 51' 00.0"	265	19 700	82.2	1926-2013
Salado	Ruta Provincial 70	31° 29' 28.4"	60° 46' 50.0"	17	29700	137	1954-2013
Juramento	Cabra Corral	25° 16' 19.0"	65° 19' 47.0"	945	32 885	29.5	1934-2013
Bermejo	Pozo Sarmiento	23° 13' 00.0"	64° 12' 00"	296	25 000	446	1941-2013
Pilcomayo	La Paz	22° 22' 41.0"	62° 31' 21"	230	96 000	237	1961-2013
Paraná	Corrientes	27° 28' 30"	58° 49' 60"	52	1 950 000	17 189	1906-2013
Atuel	La Angostura	35° 05' 56.80"	68° 52' 25.80"	1 302	3 800	35.4	1906-2013

Nota: por módulo debe entenderse el caudal medio anual.

Cuadro 2. Resumen de análisis de homogeneidad y estacionariedad en la serie completa.

Cuenca	Serie	Homogeneidad		Estacionariedad		Datos dudosos
		Wilcoxon	Arch	Kendall	Dickey-Fuller	
Suquía	1926-2010	$p = 0.000216$	$p = 0.5909$	$p = 0.0869$	$p = 0$	0
Xanaes	1936-2008	$p = 0.000283$	$p = 0.3206$	$p = 0.0277$	$p = 0$	1
Anisacate	1925-1979	$p = 0.561$		$p = 0.896$		1
Ctalamochita	1914-1982	$p = 0.256$		$p = 0.768$		0
Dulce	1926-2013	$p = 0.00197$	$p = 0.8119$	$p = 0.0108$	$p = 0$	1
Colorado	1940-2013	$p = 0.214$		$p = 0.815$		0
Juramento	1934-2013	$p = 0.940$		$p = 0.581$		0
Paraná	1906-2013	$p = 0.00440$	$p = 0.9903$	$p = 0.0101$	$p = 0$	0
Bermejo	1941-2013	$p = 3.36E-006$	$p = 0.6261$	$p = 6.44E-007$	$p = 0$	0
Pilcomayo	1961-2013	$p = 0.793$		$p = 0.0762$		0
Salado	1954-2013	$p = 0.0630$		$p = 0.241$		0
San Juan	1909-2013	$p = 0.499$		$p = 0.310$		0
Mendoza	1956-2013	$p = 0.0735$		$p = 0.0364$		0
Atuel	1906-2013	$p = 0.441$		$p = 0.886$		0

de déficit de aportes anuales, siguiendo una metodología de análisis de series de tiempo denominado análisis de sucesiones. El uso del análisis de sucesiones ha sido propuesto como un método objetivo para identificar los periodos de sequía y para la evaluación de las propiedades estadísticas de la misma. Esta metodología ha sido usada para el análisis y caracterización estocástica de las sequías desde que Yevjevich (1967) propusiera la definición de eventos de sequía: "un evento de sequía es definido como el período durante el cual la variable indicadora de la disponibilidad de agua X_t (aportaciones, lluvia, humedad del suelo, etc.) se encuentra por debajo de un determinado umbral X_0 ". Dicho umbral puede ser un valor fijo en el caso de series de tiempo anuales o un valor periódico para el caso de series de tiempo periódicas (Salas *et al.*, 1980). Este valor umbral o nivel de truncamiento puede ser la media o mediana de la serie de datos hidrológicos utilizados; una fracción de la media (Coastal, Clausen, & Pearson, 1995); un nivel definido (como la media menos la desviación estándar), o un valor equivalente a una probabilidad de excedencia dada (Fernández-Larrañaga, 1997). En cualquier caso, el umbral debe ser elegido de tal manera

que sea representativo de la demanda de agua (Tsakiris *et al.*, 2007).

Para este estudio se eligió como valor umbral una probabilidad de excedencia de 70%. Este criterio fue adoptado por diversos autores en el mundo (Hisdal *et al.*, 2001; Fernández-Larrañaga, 1997; Rivera & Penalba, 2013). Así, usar criterios similares que se aplicaron a otras cuencas en otras regiones permite la comparación de los resultados, pues utilizar una probabilidad de excedencia permite caracterizar sequías en regiones no homogéneas climatológicamente (Fernández-Larrañaga, 1997). El análisis de sucesiones permite obtener parámetros útiles en la cuantificación de las sequías, como duración (L); severidad o magnitud (M) (suma acumulada de las diferencias entre el umbral y los caudales de oferta); ubicación en tiempo absoluto (inicio y fin); la intensidad máxima ($I_{m\acute{a}x}$, definida como la máxima de las diferencias entre el umbral y los caudales de oferta que componen el evento), y la intensidad media (I_{media} , la relación entre magnitud y duración). Estos parámetros se observan en la figura 2.

En la figura 3 se grafica cada una de las variables (que caracterizan a las sequías) dividida por el aporte anual medio $[x]$ de cada cuenca.

Esto permite distinguir los años en los que ocurrieron las sequías más severas para cada cuenca y el orden de magnitud de las mismas (con respecto a la media de aportes anuales) para un umbral con 70% de probabilidad de excedencia.

En la gráfica de duración y magnitud se observa que las sequías más críticas de cada cuenca se registraron a mediados de las décadas del 1940 y 1960 (excepto para la cuenca del río Juramento, que se registró en 1991). En 1967 inicia la sequía más severa en cuanto a

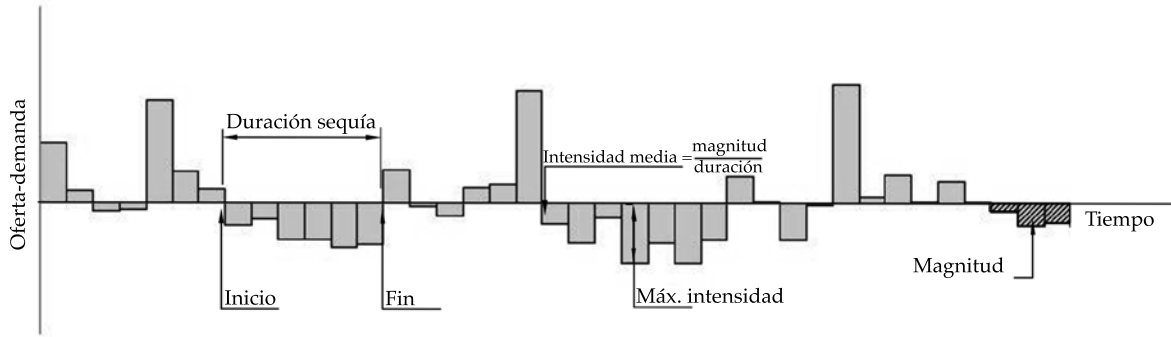


Figura 2. Serie cronológica de oferta menos un umbral que representa la demanda en un lugar para la identificación y caracterización de sequías según el método de sucesiones. Fuente: Fernández-Larrañaga (1997), modificada.

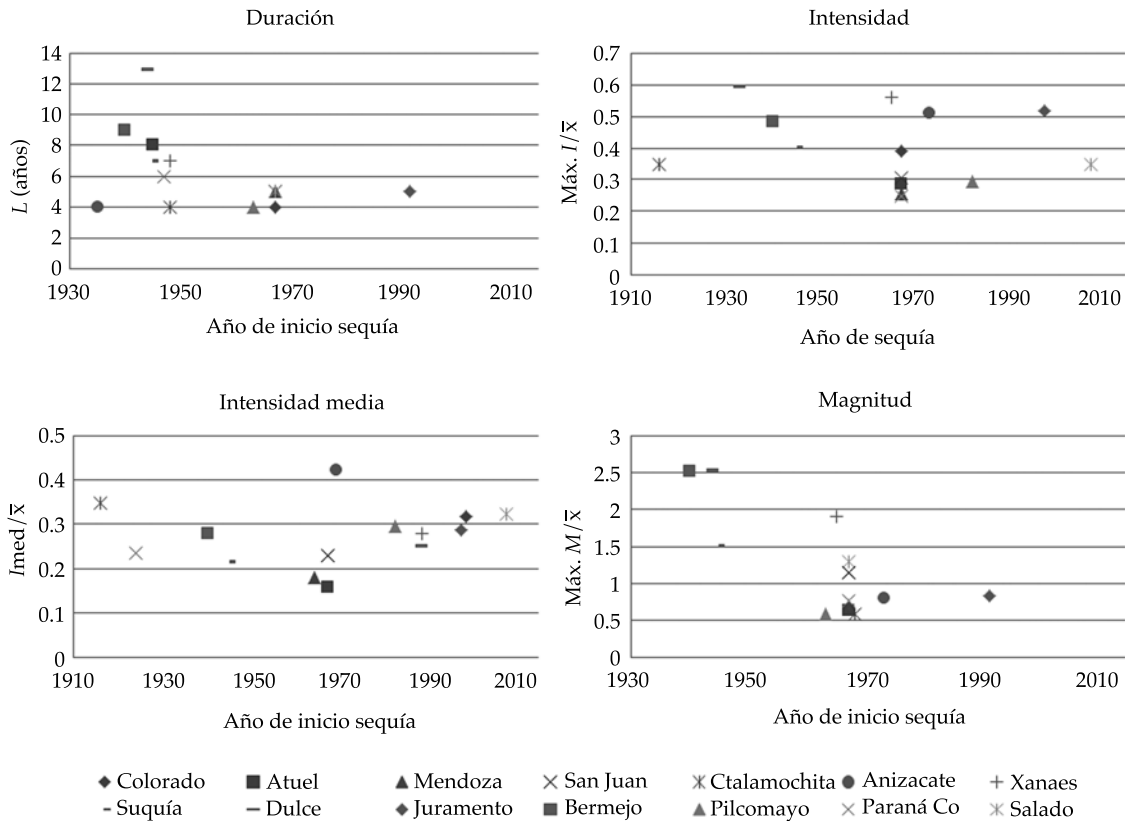


Figura 3. Parámetros máximos para caracterización de sequías divididos por el aporte anual medio.

magnitud en la mayoría de las cuencas (Colorado, Atuel, Mendoza, San Juan, Ctlamochita, Xanaes, Pilcomayo, Paraná Co, Salado). Este resultado coincide con estudios de Ravelo, Da Porta y Zanvettor (1999), Mauas, Buccino y Flamenco (2008), Rivera y Penalba (2013), y con la sequía más severa identificada en Chile (Fernández-Larrañaga, 1997). La duración de las sequías más largas fue de 4 a 13 años y la magnitud varía del orden de 0.6 a 2.5 veces la media. En cuanto a las máximas intensidades de sequías, éstas se registraron antes de 1970 para la mayoría de las cuencas (excepto para Juramento, Pilcomayo y Salado). En la gráfica de intensidad media se observan cuencas que presentaron en las últimas décadas sequías de menor duración, pero de mayor magnitud. Tales cuencas son Colorado (1998), Juramento (1997) y Salado (2007).

Análisis espacial y temporal de las sequías hidrológicas

El análisis espacial y temporal de las sequías se apoya en un ordenamiento matricial con filas correspondientes a la ubicación geográfica (de sur a norte) de las cuencas, y columnas ordenadas cronológicamente; con una escala de colores se identifican distintos umbrales de sequía. Los valores de cada unidad de la matriz se obtienen calculando en cada año de la serie cronológica de la oferta disponible la probabilidad de excedencia del aporte medio anual registrado:

$$\text{Probabilidad } (X_{jt} > x_{jt}) = \alpha \quad (1)$$

Siendo:

X_{jt} : las series de aportes disponibles.

x_{jt} : valor numérico del aporte anual observado en el año t en la cuenca j .

α : umbrales de probabilidad.

La matriz se armó con los siguientes umbrales siguiendo el estudio de Fernández-Larrañaga (1997), lo cual permite la comparación de los presentes resultados en Argentina con los de las cuencas chilenas.

$0.00 < \alpha < 0.40$	Húmedo
$0.40 < \alpha < 0.60$	Normal
$0.60 < \alpha < 1.00$	Seco

La matriz de caracterización obtenida (figura 4) permite identificar:

1. Sequías plurianuales en los periodos 1967-1971; 1945-1952 y 1936-1939 para todas las cuencas (que poseen datos). La sequía identificada en 1967-1971 coincide con la de Chile a fines de la década de 1960 (1968-1972), que tuvo una gran repercusión en las actividades agrícolas en la zona central de Chile, afectando de manera fundamental a la zona centro norte (Fernández-Larrañaga, 1997).
2. Un marcado quiebre en 1975 entre periodos secos y húmedos. Este quiebre en los años 1975/1976 en la tendencia de los volúmenes aportados y derrames anuales coincide con el cambio en las condiciones medias de temperatura del Pacífico ecuatorial central de 1976/1977 y la transición climática que afectó a más de 40 variables bioambientales del Pacífico y de América, que son expresiones de la variabilidad "tipo" ENOS (El Niño/Oscilación Sur) (Compagnucci & Agosta, 2008; Díaz, 2013).
3. Regiones que tienen comportamientos similares la mayor parte del tiempo. Estas regiones coinciden con las presentados en el estudio de familias hidrológicas (Dölling, Lopez, Calizalla, & Marquez, 2013). Estas regiones son: ríos Colorado, Mendoza, San Juan y Atuel, que presentan años comunes de sequías interanuales y plurianuales entre 1956-1976 (1956-1957, 1960, 1962, 1964, 1967-1970, 1976), 1990-2014 (1990, 1996, 1998-1999, 2004, 2010-2013). Ctlamochita, Xanaes, Anisacate y Suquía: las sequías de esta región se dan entre 1937-1938, 1948-1951 y 1973-1975. Las cuencas de los ríos Xanaes y Suquía (de las cuales se disponen datos para esas fechas) presentan sequías simultáneas para los años 1988-1989 y 1994. En la última década se observa que los caudales se caracterizan por ser de normales

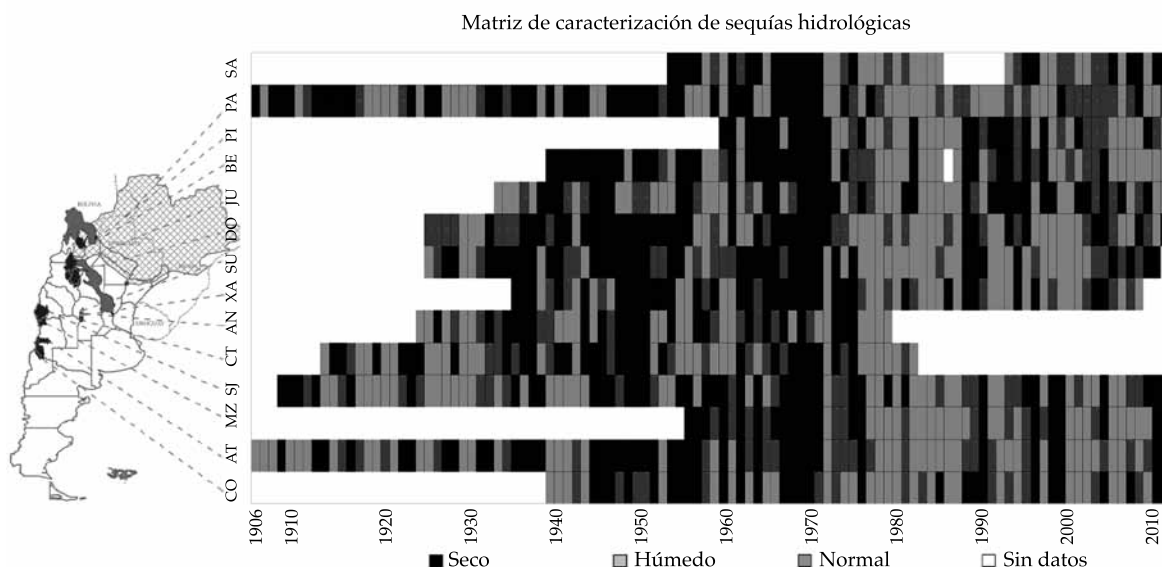


Figura 4. Matriz de caracterización de sequías hidrológicas en la República Argentina.

a secos. Juramento, Bermejo, Pilcomayo y Dulce: las sequías ocurren entre 1962 y 1973 (1962, 1967, 1970-1973), 1989-1996 (1989, 1990, 1994, 1996). Paraná, Salado: las sequías plurianuales comunes se dan entre 1954 y 1971 (1954-1955, 1961-1963, 1967-1971) y en 2008 todas experimentan una sequía severa.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la identificación y caracterización de sequías hidrológicas, indicaron que en la región de estudio (14 cuencas de la región Centro, Cuyo y Norte de la Argentina) ocurrieron sequías hidrológicas plurianuales y simultáneas para todas las cuencas, registradas en los periodos 1967-1971, 1945-1952 y 1936-1939. Esto es de gran relevancia en cuanto a la planificación y prevención de escenarios de déficit de energía, pues sequías de seis años de duración comprometen cuatro sistemas hidroenergéticos importantes de Argentina (en las cuencas de los ríos Paraná, Juramento, Ctlamochita y Colorado). La sequía identificada en 1967-1971 coincide con la de Chile a fines de la década de

1960 (1968-1972), que tuvo una gran repercusión en las actividades agrícolas en la zona central de Chile, afectando de manera fundamental la zona centro norte (Fernández-Larrañaga, 1997). En este aspecto se resalta la dimensión territorial que puede tomar una sequía hidrológica como las detectadas. También se observa que de forma simultánea en todas las cuencas estudiadas existieron periodos húmedos a mediados de la década de 1970. Se evidenció un quiebre en este periodo entre una época seca y húmeda, lo cual coincide con la década húmeda (1977-1987) detectada en Chile por Fernández-Larrañaga (1997) y con el cambio en las condiciones medias de temperatura del Pacífico ecuatorial central de 1976-1977, y la transición climática que afectó a más de 40 variables bioambientales del Pacífico y de América, que son expresiones de la variabilidad "tipo" ENOS (El Niño/Oscilación Sur) (Compagnucci & Agosta, 2008).

En el nivel espacial se observa un agrupamiento entre las cuencas que presentan sequías simultáneas la mayor parte de tiempo analizado. Entre ellas se observan:

- 1) Los ríos Colorado, Mendoza, San Juan y Atuel; 2) Citalamochita, Xanaes, Anisacate y Suquía; 3) Juramento, Bermejo, Pilcomayo y Dulce; 4) Salado y Paraná. Esta información es de relevancia para la gestión de los recursos hídricos, pues usos como el abastecimiento humano, riego y producción energética, entre otros, pueden ser seriamente afectados por la ocurrencia de manera simultánea de sequías severas en cuencas que aportan a una región y zonas vecinas.

En la última década, los eventos de déficits hídricos han impactado en la sociedad, con pérdidas económicas en la actividad productiva del suelo, afectación de obras de ingeniería para abastecimiento de agua y pérdidas en la capacidad de generación de centrales hidroeléctricas (al verse reducidos los niveles de los embalses). Las sequías que han generado estos impactos no han alcanzado el orden de magnitud de las registradas antes de 1970 (que han sido las más críticas en cuanto a duración, magnitud e intensidad).

Referencias

- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw Hill.
- Coastal, E., Clausen, B., & Pearson, C. P. (1995). Regional Frequency Analysis of Annual Maximum Streamflow Drought. *Journal of Hydrology*, 173, 111-130.
- Compagnucci, R. H., & Agosta, E. A. (2008). La precipitación de verano en el centro-oeste de Argentina y los fenómenos interanuales El Niño/Oscilación Sur (ENOS) e Interdecádico "Tipo" Enos. *Geoacta*, 33, 97-103.
- Díaz, E. (2013). *Identificación y Caracterización de Sequías Hidrológicas en el centro y norte de Argentina*. Tesis de Maestría en Recursos Hídricos. Córdoba, Argentina: FCEfyN-UNC.
- Dölling, O., Lopez, G., Calizalla, G., & Marquez, L. (diciembre, 2013). Una herramienta para optimizar el uso del agua. *Hydria*, 50, 8.
- Fernández-Larrañaga, B. (1997). Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile Central. *Ingeniería del Agua en España*, 4, 37-46.
- Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L., & Demuth, S. (2001). Have Streamflow Droughts in Europe become More Severe or Frequent? *International Journal of Climatology*, 21, 317-333.

- Mauas, P., Buccino, A., & Flamenco, E. (octubre, 2008). Solar Forcing of the Streamflow of a Continental Scale South American River. *Physical Review Letters*, PRL 101, 168501.
- Ravelo, A., Da Porta, W., & Zanvettor, R. (1999). *Evaluación de las sequías extremas en la región pampeana Argentina durante el período 1930-1990*. XI Congreso Brasileiro de Agrometeorología y II Reunión Latino-Americana de Agrometeorología, Florianopolis, SC, Brasil, del 19 al 22 de julio de 1999.
- Rivera, J., & Penalba, C. (2013). Identificación de los periodos de déficit en los caudales de los ríos de los andes argentinos. Análisis de sus variabilidades temporales. *Actas del XXIV Congreso Nacional del Agua*, San Juan, Argentina.
- Salas, J., Delleur, J., Yevjevich, V., & Lane, W. (1980). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Littleton, USA: Water Resources Publications.
- Tsakiris, G., Loukas, D., Pangalou, H., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., & Cancelliere, A. (2007). Drought Characterization. *Options Méditerranéennes, Series B*, 58, 85-102.
- Yevjevich, V. (1967) An Objective Approach to Definition and Investigation of Continental Droughts. *Hydrology Paper 23*. Fort Collins, USA: Colorado State University.
- Yevjevich, V. (1972). *Stochastic Processes in Hydrology*. Littleton, USA: WRP.

Dirección institucional de los autores

M.C. Erica Betiana Díaz

Universidad Nacional de Córdoba
Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria
Córdoba, REPÚBLICA ARGENTINA
Teléfono y fax: +54 (0351) 4334 446
erica.b.diaz@gmail.com

Dr. Andrés Rodríguez

Universidad Nacional de Córdoba
Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria
Córdoba, REPÚBLICA ARGENTINA
Teléfono y fax: +54 (0351) 4334 446
arodrig@efn.uncor.edu

Dr. Oscar Raúl Dölling

Universidad Nacional de San Juan
Subsecretaría de Recursos Hídricos-MINPLAN-Nación
Olegario V. Andrade 50 Sur
5400 San Juan Capital, REPÚBLICA ARGENTINA
Teléfono y fax: +54 (264) 15671 6378
odolling@gmail.com

Dr. Juan Carlos Bertoni

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria
Córdoba, REPÚBLICA ARGENTINA
Teléfono y fax: +54 (0351) 4334 446
jcbertoni@gmail.com

Dr. Marcelo Smrekar

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Laboratorio de Ingeniería y Mantenimiento Industrial
Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria
Córdoba, REPÚBLICA ARGENTINA
Teléfono y fax: +54 (0351) 4334 446
marcelosmrekar@gmail.com