

# EVALUACIÓN DEL PERÍODO DE CRISIS HÍDRICA 2010-2014 EN LA REGIÓN DE CUYO

Juan Antonio Rivera<sup>1,2</sup>, Diego Christian Araneo<sup>1,2</sup>, Olga Clorinda Penalba<sup>2,3</sup>  
[jrivera@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:jrivera@mendoza-conicet.gob.ar)

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA)

<sup>2</sup>CONICET

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEyN UBA

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una comparación del período de crisis hídrica 2010-2014 en la región de Cuyo con otros períodos deficitarios históricos, en función del análisis de su duración y severidad. Se obtuvo que el período seco reciente es el más importante de los últimos 40 años en todas las cuencas analizadas. En algunas de estas cuencas se obtuvo que el déficit de los años 2010-2014 supera las condiciones deficitarias registradas hacia fines de la década de 1960 y principios de la década de 1970. Este período seco podría alcanzar condiciones extraordinarias en todas las cuencas de la región si se tienen en cuenta los pronósticos de escorrentía para el año hidrológico 2014/15.

## ABSTRACT

In this study, a comparison of the water crisis during the period 2010-2014 in the region of Cuyo with other historical dry periods was performed, considering its duration and severity. It was found that the recent dry period is the most important of the last 40 years in all the basins analyzed. In some of these basins the deficit during the years 2010-2014 exceeds the deficit conditions recorded in the late 1960s and early 1970s. This dry period could reach extraordinary conditions in all basins in the region taking into account the streamflow forecasts for the hydrological year 2014/15.

**Palabras clave:** caudales, déficit hídrico, Cuyo.

## 1) INTRODUCCIÓN

Los períodos extensos con reducido caudal en los ríos tienen impactos significativos en los ecosistemas naturales, las actividades sociales y la economía de una región. El incremento en la demanda de los recursos hídricos para cubrir las necesidades ambientales, satisfacer el consumo humano e industrial y la generación de energía eléctrica, requiere de un mejor manejo del agua en los períodos deficitarios o de escases. Asimismo, el déficit hidrológico es un parámetro relevante a ser seriamente considerado en un gran número de aplicaciones de ingeniería, como por ejemplo el diseño de sistemas de almacenamiento y distribución de agua. En las últimas décadas se han desarrollado estudios relacionados con la caracterización climática de estos períodos deficitarios, la creación de indicadores para su monitoreo y la generación de planes de alerta temprana para mitigar sus impactos.

En la región central de la Cordillera de los Andes se originan, principalmente a partir de la nieve, cursos de aguas permanentes y semi-permanentes que han posibilitado el desarrollo de importantes oasis agrícolas. En el caso de la región de Cuyo, la mayor parte de la población y las actividades económicas se ubican en la pequeña fracción irrigada del territorio donde las variaciones en los recursos hídricos disponibles determinan en gran medida la vulnerabilidad socio-económica de la región. En este contexto, resulta sumamente relevante contar con una evaluación de los períodos de escases hídrica.

El ciclo hidrológico de los ríos de la región de Cuyo está fuertemente condicionado por las precipitaciones nivales (Masiokas et al., 2006) y las fluctuaciones de la temperatura en primavera y verano (Araneo y Villalba, 2014; Rivera et al., 2014). En la actualidad, gran parte de sus cuencas hídricas se ve fuertemente afectada por condiciones deficitarias, lo cual se asocia a la ocurrencia de escasas nevadas durante los últimos años, que generaron una acumulación de nieve que resultó inferior a los valores medios históricos. Según el pronóstico anual elaborado por el Departamento General de Irrigación (DGI) de Mendoza, este último período deficitario que comenzó durante el año 2010 y continúa en la actualidad, se prolongará durante el ciclo hidrológico 2014/15 (DGI, 2014). Del mismo modo, el pronóstico realizado por el Departamento de Hidráulica (DH) de la provincia de San Juan proyecta condiciones deficitarias para los ríos de dicha provincia (DH, 2014). En función de la extensión de este período deficitario y sus implicancias en la sociedad y la economía de la región, se propone realizar una evaluación del mismo en un contexto histórico, comparando su duración y severidad con otros períodos secos significativos ocurridos en el siglo XX.

## **2) DATOS Y METODOLOGÍA**

Se utilizaron datos de caudales diarios en estaciones de aforo pertenecientes a las provincias de San Juan y Mendoza, los cuales fueron provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos. El detalle de las estaciones de aforo se muestra en la Tabla I. Los períodos de medición comienzan entre 1931 y 1971 y finalizan en todos los casos en junio de 2014. Las series de caudales diarios fueron sometidas a procedimientos de control de calidad y poseen menos del 10% de datos faltantes. Si bien existen emprendimientos hidroeléctricos importantes en algunas de las cuencas consideradas, los datos no se ven afectados dado que las estaciones de aforo se ubican río arriba de los mismos. Además, no existen otras actividades humanas que puedan afectar las mediciones de los caudales. La Figura 1 muestra la región de estudio y las principales cuencas hidrológicas.

A fin de evaluar las deficiencias hídricas, se utilizaron tres umbrales basados en el porcentaje de excedencia de los caudales. Los caudales igualados o excedidos el 70% (Q70), 80% (Q80) y 90% (Q90) del tiempo fueron elegidos como medida de condiciones de déficit moderado, severo y extremo, respectivamente. Estos umbrales fueron utilizados previamente en numerosos estudios a nivel mundial (Hisdal et al., 2001; Wu et al., 2007) y particularmente para el sur de Sudamérica (Rivera y Penalba, 2013; Rivera et al., 2014), permitiendo el análisis de las condiciones de déficit hídrico a escala diaria. Los días con caudales deficitarios, es decir, con valores de caudal inferiores a los umbrales establecidos para cada nivel de severidad, se contabilizaron para cada año hidrológico en cada una de las estaciones de aforo. Este índice se denomina cantidad anual de días secos, y da una idea de las duraciones de los períodos secos en cada cuenca. Para complementarlo, se calculó además la diferencia entre el caudal observado y el caudal umbral, y se sumó esta diferencia para cada uno de los días secos de cada año hidrológico, obteniendo una serie de déficit acumulado anual. Este índice cuantifica la severidad de los períodos deficitarios. Siguiendo la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008), previo a la definición de los días secos se aplicó un suavizado a las series de caudales mediante un promedio móvil de 7 días, con el fin de agrupar los eventos deficitarios dependientes (Tallasken et al., 1997). Los índices se compararon en períodos anuales y de 4 años. Este último fue establecido con el propósito de realizar una comparación del período 2010-2014 con períodos deficitarios de similar extensión.

Nombre	Río	Ubicación (Lat; Lon)	Período
Punta de Vacas	Cuevas	35° 11' 06,00"; 67° 43' 33,60"	1949-2014
Álvarez Condarco	De Los Patos	31° 55' 13,00"; 69° 42' 13,00"	1957-2014
Km. 47,3	San Juan	31° 30' 59,70"; 68° 56' 24,60"	1955-2014
Guido	Mendoza	32° 54' 55,00"; 69° 14' 16,00"	1956-2014
Cañada Ancha	Salado	35° 11' 52,90"; 69° 46' 58,10"	1940-2014
Valle de Uco	Tunuyán	33° 46' 35,50"; 69° 16' 21,10"	1954-2014
Punta de Vacas	Tupungato	32° 52' 51,00"; 69° 46' 06,00"	1949-2014
La Jaula	Diamante	34° 40' 06,90"; 69° 18' 58,60"	1971-2014
La Angostura	Atuel	35° 05' 56,80"; 68° 52' 25,80"	1931-2014
Punta de Vacas	Vacas	32° 50' 49,00"; 69° 45' 45,00"	1949-2014
Pincheira	Pincheira	35° 31' 04,00"; 69° 48' 19,10"	1967-2014
Gendarmería	Poti Malal	35° 52' 17,30"; 69° 56' 56,70"	1971-2014

Tabla I. Características de las estaciones de aforo utilizadas.

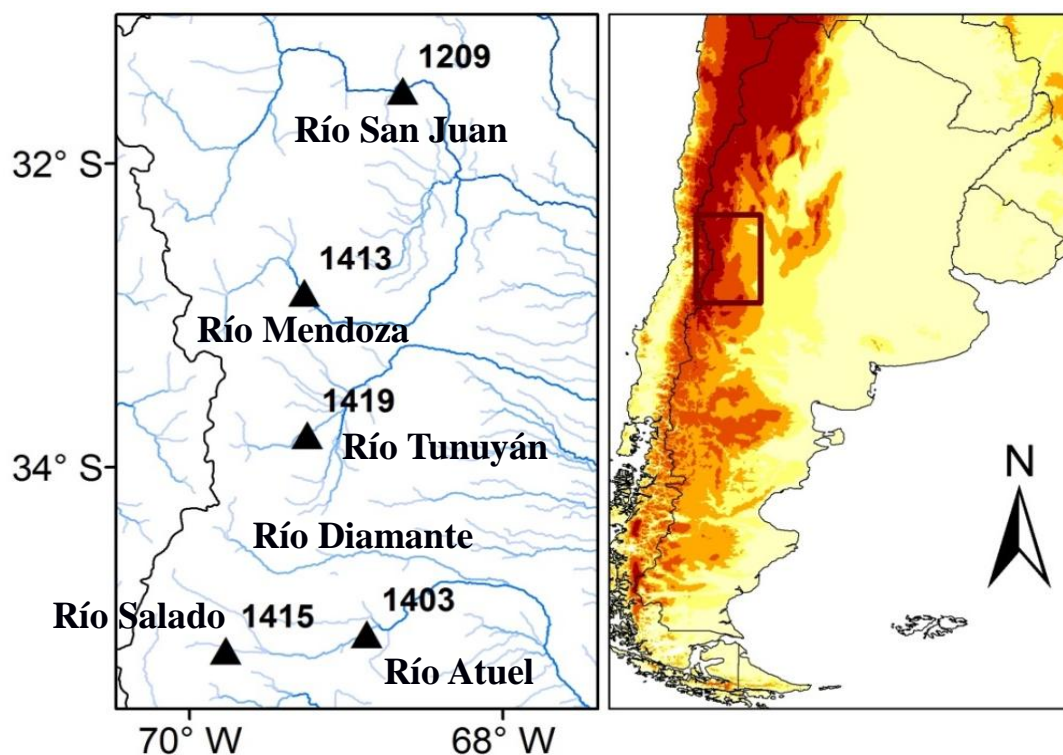
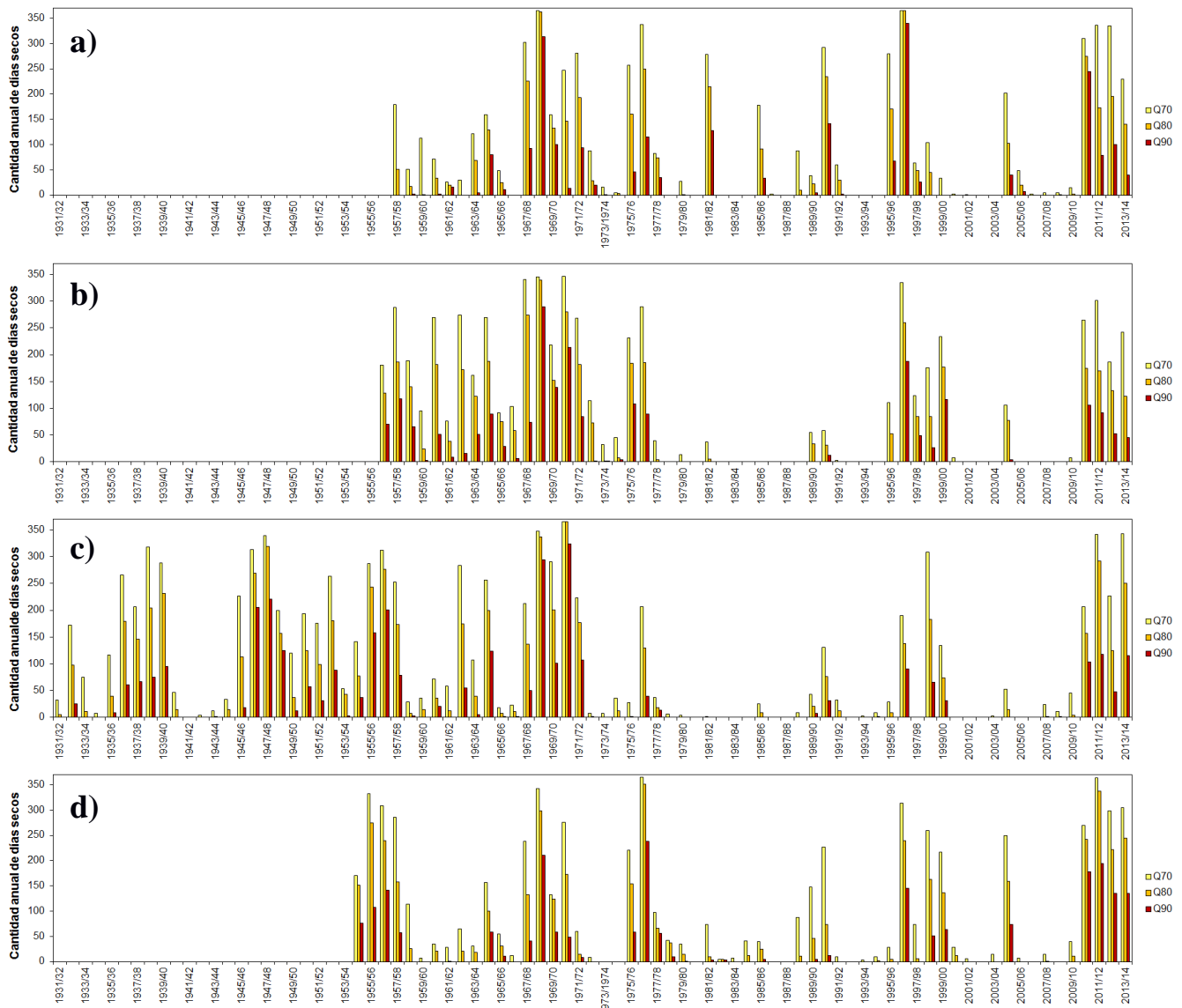


Figura 1. Área de estudio y principales cursos de agua.

### 3) RESULTADOS

La Figura 2 muestra la evolución temporal de la cantidad anual de días secos (días en los que se registró un valor de caudal por debajo del umbral considerado) para los umbrales Q70, Q80 y Q90 en cuatro de las 12 cuencas seleccionadas. En todos los casos se observa la ocurrencia de una gran cantidad de días secos en las décadas de 1960 y 1970, durante la segunda mitad de la década de 1990 y desde el año 2010. Las cuencas de la provincia de San Juan (ríos San Juan y De Los Patos) presentan un comportamiento similar en cuanto a la evolución temporal de la cantidad de días secos. A modo de ejemplo, en la Figura 2a se muestra la serie de cantidad anual de días secos para el río De Los Patos. Se destaca la variabilidad inter-anual en la ocurrencia de períodos deficitarios, alternando períodos de déficit con períodos normales o de excesos. Se destacan los años hidrológicos 1968/69 y 1996/97, con más de 350 días secos considerando los umbrales moderado y severo. El período seco 2010/14 queda como el más seco del registro detrás del período 1967/71. Se observa que el período seco reciente tuvo su pico en la categoría extrema en el año 2010/11, siendo el año 2013/14 el de menor cantidad de días secos del período. La serie temporal para la cuenca del río Mendoza (Figura 2b) presenta tres períodos secos importantes: 1956-1978, 1995-2000 y 2010-2014. El más importante de todos se dio entre los años 1967 y 1971, donde se registraron la mayor cantidad de días secos en los tres umbrales seleccionados. El período 2010/14 es similar al registrado entre los años 1996/00, con una mayor cantidad de días secos para el umbral Q70, pero menores valores en las categorías Q80 y Q90. En el caso de la cuenca del río Atuel (Figura 2c), la serie de tiempo muestra un claro período seco entre los años 1945 a 1972, identificado además por Araneo y Villalba (2014) y cuya componente decadal se asocia a la fase fría de la Oscilación Decadal del Pacífico (Rivera et al., 2014). El período seco 2010/14 aparece como el más importante desde 1972/73, con 4 años consecutivos por encima de los 200 días secos en el umbral Q70. Resultados similares se observan al analizar la serie del río Salado, tributario del Atuel (resultado no mostrado). Esto contribuyó a que el nivel de los embalses Nihuil y Valle Grande se ubique por debajo del 40% de la capacidad total durante enero y febrero de 2015 (DGI, 2015). La serie de tiempo de cantidad anual de días secos para la cuenca de río Tunuyán (Figura 2d) presenta una variabilidad temporal similar a la observada en el caso del río De Los Patos. El año hidrológico 1976/77 registró la mayor cantidad anual de días secos en los tres umbrales de severidad. No obstante, el período 2010/14 es el más importante desde el punto de vista de los días deficitarios en los 61 años de registro en la cuenca. Similares fueron los resultados obtenidos para las cuencas de los ríos Cuevas, Tupungato y Vacas (resultado no mostrado). En la cuenca del río Diamante, el año hidrológico 2013/2014 aparece como el más seco de los últimos 40 años en los tres umbrales de severidad seleccionados. El período deficitario 1996/2000 aparece como el más importante si se considera la categoría de déficit extremo, siendo superado en las categorías moderada y severa por el período 2010/2014. Tanto los ríos Poti Malal y Pincheira registran el período 2010-2014 como el de mayor déficit histórico. Los resultados obtenidos considerando la cantidad anual de días secos, una medida de la duración de los períodos deficitarios, son análogos si se consideran las series de déficit acumulado anual (resultado no mostrado), dada la buena relación que existe entre ambas variables (Rivera y Penalba, 2012). La Tabla II resume los resultados obtenidos para 6 de las cuencas estudiadas.



**Figura 2. Evolución temporal de la cantidad anual de días secos en cuatro de las cuencas seleccionadas para los tres niveles de severidad considerados. a) Río De Los Patos; b) Río Mendoza; c) Río Atuel; d) Río Tunuyán.**

#### 4) CONCLUSIONES

El período de tiempo comprendido entre los años hidrológicos 2010/11 y 2013/14 registró uno de los mayores déficits hídricos en los registros de los ríos de Cuyo, con una gran ocurrencia de días por debajo del percentil excedido o igualado el 70% del tiempo, que define la ocurrencia de déficit moderado. El período seco registrado hacia fines de la década de 1960 y principios de la década de 1970 resultó en la ocurrencia de condiciones de déficit multi-anual (Rivera y Penalba, 2013) y fue objeto de estudio desde el punto de vista de su impacto socio-económico (Prieto et al., 2012). En todas las cuencas se obtuvo que el período 2010/14 fue el que registró los mayores déficits de los últimos 40 años. Mas allá del comportamiento homogéneo de los ríos en la región (Compagnucci y Araneo, 2005), existen diferencias entre los períodos deficitarios más importantes según qué río se considere en el análisis, lo cual da cuenta de los matices regionales que posee este fenómeno y del mismo modo puede indicar diferencias en sus impactos a nivel socio-económico. Teniendo en cuenta que el

pronóstico para el año 2014/15 prevee condiciones de caudales inferiores a la media, es posible que tanto la duración como la severidad sean comparables o superen otros periodos deficitarios históricos. Esto pone de manifiesto la necesidad de un seguimiento continuo de la situación hídrica y de mejorar la calidad de los pronósticos de caudales para cada cuenca, teniendo en cuenta tanto las variaciones inter-anales de la nieve acumulada como variaciones en las precipitaciones y las temperaturas en escalas intra-estacionales.

Cuenca	Año de máxima cantidad de días secos (Q70)	Año de máxima cantidad de días secos (Q80)	Año de máxima cantidad de días secos (Q90)	Período deficitario más importante*
Diamante	2013/14 (365)	2013/14 (346)	2013/14 (268)	2010/14
Atuel	1970/71 (365)	1970/71 (365)	1970/71 (324)	1968/72
Tunuyán	1976/77 (365)	1976/77 (351)	1976/77 (238)	2010/14
De Los Patos	1968/69; 1996/97 (365)	1996/97 (365)	1996/97 (340)	1967/71
Mendoza	1970/71 (347)	1968/69 (339)	1968/69 (289)	1967/71
Tupungato	1968/69 (346)	1968/69 (332)	1968/69 (273)	2010/14

\*Período de cuatro años con la mayor cantidad de días con caudales deficitarios.

**Tabla II. Año hidrológico y período deficitario con la mayor cantidad de días secos en los distintos niveles de severidad en seis de las cuencas analizadas.**

**AGRADECIMIENTOS:** Este trabajo ha contado con el aporte de los fondos provenientes de los proyectos UBA-20020130200142BA de la Universidad de Buenos Aires, PIP 2010-439 y PIP 227 de CONICET y PICT 2013-0043 de la ANCyT. Se agradece además a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación por el aporte de los datos empleados.

## REFERENCIAS

**Araneo, D.C. y Villalba, R., 2014:** Variability in the annual cycle of the Río Atuel streamflows and its relationship with tropospheric circulation. *Int. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.4185.

**Compagnucci, R.H. y Araneo, D.C., 2005:** Identificación de áreas de homogeneidad estadística para los caudales de ríos andinos argentinos y su relación con la circulación atmosférica y la temperatura superficial del mar. *Meteorologica*, 30 (1-2), 41-53.

**Departamento de Hidráulica, 2014.** Pronóstico de escurrimiento. Disponible en: <http://www.hidraulica.sanjuan.gov.ar/datos%20y%20estadisticas/index.html#>.

**Departamento General de Irrigación, 2014.** Pronóstico de escurrimientos para los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Malargüe y Grande. Disponible en: [http://www.agua.gob.ar/dgi/sites/default/files/botein\\_hidronivometeorol%C3%B3gico/pronostico\\_2014-15.pdf](http://www.agua.gob.ar/dgi/sites/default/files/botein_hidronivometeorol%C3%B3gico/pronostico_2014-15.pdf)

**Departamento General de Irrigación, 2015.** Boletín de Información Nivometeorológica. Disponible en:

[http://www.agua.gob.ar/dgi/sites/default/files/botein\\_hidronivometeorol%C3%B3gico/boletin\\_de\\_informacion\\_hidronivometeorologica\\_18-02-15.pdf](http://www.agua.gob.ar/dgi/sites/default/files/botein_hidronivometeorol%C3%B3gico/boletin_de_informacion_hidronivometeorologica_18-02-15.pdf)

**Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. y Demuth, S., 2001:** Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology*, 21, 317-333.

**Masiokas, M.H., Villalba, R., Luckman, B.H., Le Quesne, C. y Aravena, J.C., 2006:** Snowpack variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. *Journal of Climate*, 19, 6334-6352.

**Organización Meteorológica Mundial, 2008:** Manual on low-flow estimation and prediction. Operational Hydrology Report No. 50. WMO-No. 1029, 138 pp, ISBN: 978-92-63-11029-9.

**Prieto, M.R., Araneo, D. y Villalba, R., 2012:** The great droughts of 1924-25 and 1968-69 in the Argentinean central andes. Impacts and responses. XI Congreso Nacional de Meteorología, 28 de mayo al 1 de junio, Mendoza, Argentina.

**Rivera, J.A., Araneo, D.C. y Penalba, O.C., 2014:** Déficit estacional de los caudales de los ríos de Cuyo y su relación con fluctuaciones térmicas intra-estacionales. Actas del XXVII Congreso Argentino de Geofísicos y Geodestas, San Juan, Argentina, 10-14 de noviembre de 2014.

**Rivera, J.A. y Penalba, O.C., 2012:** Interdecadal variability of low streamflows over the Argentinean Andes. 10th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Nouméa, Nueva Caledonia, 23-27 de abril de 2012.

**Rivera, J.A. y Penalba, O.C., 2013:** Identificación de los períodos 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, 14 al 18 de octubre de 2013.

**Tallaksen, L., Madsen, H. y Clausen, B., 1997:** On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences*, 42 (1), 15-33.

**Wu, H., Soh, L.-K., Samal, A. y Chen, X.-H., 2007:** Trend analysis of streamflow drought events in Nebraska. *Water Resour. Manage.*, 22 (2), 145-164.