


# Cuantificación del déficit hidrológico reciente en la región de Cuyo a partir de indicadores de caudales bajos


## Quantification of the recent hydrological deficit in the Cuyo region from low flow indicators

 <https://doi.org/10.48162/rev.40.006>


**Juan Rivera**  [orcid.org/0000-0001-7754-1612](https://orcid.org/0000-0001-7754-1612)

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA),  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina  
 [jrivera@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:jrivera@mendoza-conicet.gob.ar)

**Carolina Lauro**  [orcid.org/0000-0001-7150-3885](https://orcid.org/0000-0001-7150-3885)

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA),  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina  
 [clauro@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:clauro@mendoza-conicet.gob.ar)

**Sebastián Alfredo Otta**  [orcid.org/0000-0003-4189-9406](https://orcid.org/0000-0003-4189-9406)

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA),  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina  
 [sotta@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:sotta@mendoza-conicet.gob.ar)

### RESUMEN

Esta investigación realiza una cuantificación del déficit en los caudales superficiales de los principales ríos de la región de Cuyo, asociado a la extraordinaria sequía hidrológica registrada desde el año 2010. Estos déficits presentan valores récord en el contexto de los últimos 50 años, en particular durante el año hidrológico 2019/20. Las diferencias regionales en los valores de déficit acumulado permiten establecer que la mayor severidad se observó en las cuencas de los ríos Atuel y Colorado, las cuales en promedio registraron caudales por debajo del percentil de excedencia del 80% (Q80) durante el período 2010/11-2019/20. A partir de la estandarización del déficit acumulado por el volumen de los embalses de la región, se obtuvo una medida de fácil

interpretación y aplicación para el monitoreo y la toma de decisiones en relación al impacto de la sequía hidrológica en la disponibilidad de agua dulce regional.

**PALABRAS CLAVE:** sequía hidrológica, embalses, Andes Centrales, Cuyo, gestión de los recursos hídricos

### **ABSTRACT**

This study quantifies the deficit in the streamflows of the main rivers in the Cuyo region, associated with the extraordinary hydrological drought recorded since 2010. These deficits show record-breaking values in the context of the last 50 years, particularly during the 2019/20 hydrological year. Regional differences in cumulative deficit values allow us to establish that the greatest severity was observed in the Atuel and Colorado river basins, which on average recorded streamflows below the 80% exceedance percentile (Q80) during the 2010/11-2019/20 period. By standardising the cumulative deficit by the volume of the region's reservoirs, we obtained a measure that is easy to interpret and to apply for monitoring and decision-making regarding the impact of hydrological drought on regional freshwater availability.

**KEYWORDS:** hydrological drought, reservoirs, Central Andes, Cuyo, water management

## **INTRODUCCIÓN**

La porción de la Cordillera de los Andes ubicada aproximadamente entre 28°S y 37°S constituye las nacientes de diversos ríos que pertenecen al sistema hidrológico del río Colorado. Estos ríos se alimentan, principalmente, del derretimiento nival y son la principal fuente de agua superficial para los oasis irrigados de la región de Cuyo, donde se desarrollan las principales actividades socio-económicas de la región (Rivera et al., 2017, a). En particular, los últimos 11 años estuvieron dominados por un período prolongado de sequía hidrológica en el cual el déficit en la cantidad de nieve acumulada se propagó a lo largo de las distintas componentes del ciclo hidrológico regional (Rivera et al., 2021). Esto motivó a considerar este período deficitario como una “nueva normalidad” por parte del Departamento General de Irrigación (DGI), ente encargado del manejo de los recursos hídricos en la provincia de Mendoza. Esta declaración no parece ser errada si se tiene en cuenta la creciente cantidad de estudios que proporcionan evidencias del impacto del cambio climático proyectado en los recursos hídricos de la región de Cuyo. Los aumentos en la temperatura serán más pronunciados en las elevaciones más altas de la Cordillera

de los Andes en comparación con los cambios esperados en las zonas del llano, en consonancia con una reducción significativa del albedo (Zazulie et al., 2018). Los niveles de calentamiento propuestos en el Acuerdo de París (1,5°C y 2,0°C) serán superados en las elevaciones de los Andes entre 10 y 15 años antes (2019-2035) que en las elevaciones más bajas del Centro Oeste de Argentina (Rivera et al., 2020). Se espera que los cambios proyectados en los patrones de circulación regional, como la expansión hacia el sur de la circulación de Hadley, favorezcan la continuidad de la disminución de la precipitación observada a lo largo del último siglo, lo que dará como resultado condiciones de sequía más frecuentes (Almazroui et al., 2021; Rivera et al., 2020; Spinoni et al., 2020; Villamayor et al., 2021). La disminución de las precipitaciones, junto con el aumento previsto en la temperatura, generará pérdidas en el balance de masa de los glaciares, con un derretimiento anticipado de la cobertura de nieve, lo cual se espera que tenga serias implicancias para las prácticas de gestión del agua (Zazulie et al., 2018; Hock et al., 2019). Por ejemplo, se espera que continúen los cambios actuales en las zonas vitícolas, con una proyección de desplazamiento hacia el suroeste y hacia zonas de mayor altitud durante las próximas décadas (Cabré y Nuñez, 2020). Por todo lo expuesto, queda claro que las condiciones climáticas futuras sobre la región de Cuyo probablemente exacerbarán la ocurrencia de sequías hidrológicas, haciendo imperativo no solo un mejor sistema de monitoreo sino también el desarrollo de servicios climáticos como una herramienta para ayudar a las estrategias de adaptación a nivel de cuenca.

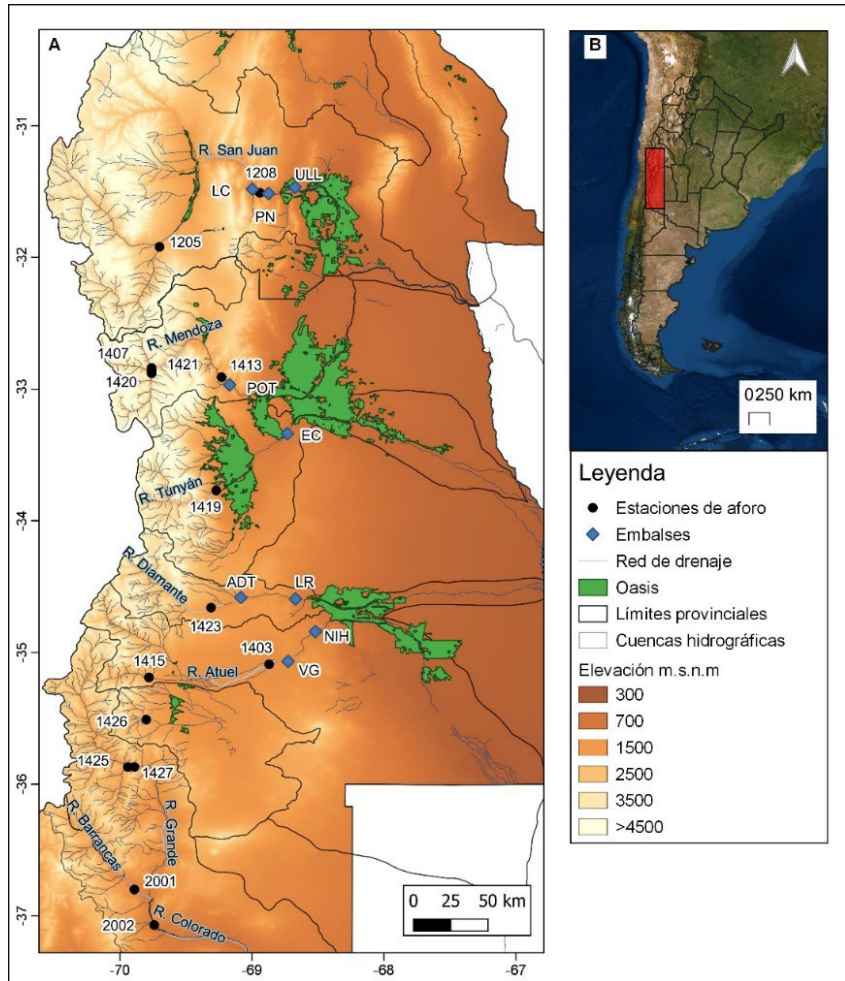
El conocimiento de los períodos prolongados de caudales por debajo de lo normal es un aspecto importante en la planificación de los sistemas de recursos hídricos y en la asignación de los caudales disponibles para una variedad de usos que compiten entre sí (Dracup et al., 1980). El volumen deficitario es una variable sumamente relevante para la gestión de los recursos hídricos, dado que permite cuantificar los valores absolutos de la cantidad de agua que falta con respecto a las condiciones normales (Van Loon, 2015). En función de la problemática planteada, el objetivo de este estudio es evaluar el déficit en los caudales superficiales de los principales ríos de la región de Cuyo durante la sequía hidrológica reciente y su impacto en las reservas de agua de los principales embalses. Para la caracterización de las condiciones de sequía hidrológica en los principales cursos de agua de la región se

utilizó un conjunto de indicadores de caudales bajos en escala diaria, definidos a partir de las curvas de duración de caudal, los cuales se describen en la sección 3. Los principales resultados de esta investigación se muestran en la sección 4, a partir de la cuantificación del déficit hídrico, del impacto en los embalses a lo largo de la última década y de la evolución temporal del déficit en el contexto de los últimos 50 años. La sección 5 plantea la discusión de los resultados obtenidos y las posibles formas de abordar la problemática de la sequía hidrológica, considerando una mejora en el conocimiento de la hidrología regional. Finalmente, la sección 6 resume las principales conclusiones del estudio y las recomendaciones a tener en cuenta.

## 2. Área de estudio

El análisis se llevó a cabo considerando los principales ríos de las cuencas hidrográficas localizadas entre los 30°S y 37°S del centro-oeste de Argentina (**Figura 1**). A continuación se detallan algunas de sus características a partir de información obtenida a través de organismos como Energía Provincial Sociedad del Estado (EPSE, <http://epse.com.ar>), DGI (<http://irrigacion.gov.ar/web/>), el Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP, <http://argentina.gob.ar/orsep>), y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC, <http://indec.gob.ar>).

La cuenca del río San Juan cuenta con una superficie de más de 38.000 km<sup>2</sup> en toda su extensión. A lo largo del curso del río San Juan se encuentran tres sistemas de embalses cuya principal función es la de regular los escurrimientos y la generación de energía. El embalse Ullúm, que comenzó sus operaciones en el año 1980 y posee una capacidad de 440 hm<sup>3</sup>; el embalse Los Caracoles, el más importante de la cuenca, con una capacidad de 565 hm<sup>3</sup>, cuya puesta en funcionamiento se dio durante 2008; y el embalse Punta Negra, que inició sus actividades durante 2015 y posee una capacidad máxima de 500 hm<sup>3</sup>. La superficie irrigada es de 1119 km<sup>2</sup> y la cuenca posee una población de más de 700.000 habitantes. Se prevé que el embalse Tambolar, cuya capacidad máxima proyectada es de 605 hm<sup>3</sup>, entre en funcionamiento en los próximos años, incrementando en gran medida el volumen de almacenamiento de agua para hacer frente a las proyecciones de disminución en la disponibilidad de agua en el futuro.



**Figura 1.** A) Ubicación del área de estudio, con los principales ríos, la ubicación de las estaciones de aforo, los embalses y los oasis irrigados; B) entorno regional y características orográficas de la región de Cuyo. Los nombres de los embalses son los siguientes: PN = Punta Negra; ULL = Ullúm; LC = Los Caracoles; POT = Potrerillos; EC = El Carrizal; ADT = Agua del Toro; LR = Los Reyunos; VG = Valle Grande; NIH = Nihuil

La cuenca del río Mendoza posee una extensión de aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup>, y abastece el denominado oasis Norte de la provincia homónima. Dicho oasis posee

una superficie irrigada de 1108 km<sup>2</sup> y allí se concentra la mayor cantidad de población de la región de Cuyo, con más de un millón de habitantes. El dique Potrerillos regula los caudales del río Mendoza para abastecimiento poblacional, riego, usos industriales y generación de energía. Posee una capacidad máxima de 393 hm<sup>3</sup> y se puso en funcionamiento durante 2001.

En la zona centro-norte de la provincia de Mendoza se localiza la cuenca del río Tunuyán, con una superficie de 18.954 km<sup>2</sup> y una población de 408.734 habitantes. Posee la mayor superficie irrigada de la provincia, con 1364 km<sup>2</sup>, donde el río Tunuyán abastece el denominado oasis Centro (sub-cuenca Tunuyán Superior) y aguas abajo del embalse el Carrizal, la zona sur-este del oasis Norte (sub-cuenca Tunuyán Inferior). Los principales usos del embalse, que posee una capacidad máxima de 322 hm<sup>3</sup> y fue inaugurado en 1971, son la regulación estacional del caudal para el riego y la generación de energía.

La cuenca del río Diamante posee una superficie aproximada de 11.000 km<sup>2</sup> y una población más de 200.000 habitantes. El río Diamante abastece parte del oasis Sur de la provincia de Mendoza, el cual posee una superficie irrigada de 750 km<sup>2</sup>. A lo largo de su curso se construyeron tres represas con sus correspondientes centrales hidroeléctricas. La represa Agua del Toro, cuyo principal uso es la generación de energía y la provisión de agua para riego, posee una capacidad máxima de 325 hm<sup>3</sup> y fue inaugurada en 1982. Aguas abajo se encuentra la presa Los Reyunos, la cual comenzó sus actividades durante 1983 y posee una capacidad de 267 hm<sup>3</sup>. A continuación se encuentra el embalse El Tigre, con una capacidad de 7 hm<sup>3</sup>, cuyo principal uso es mantener el nivel de restitución de la central Los Reyunos al mantener la cota de su propio embalse.

La cuenca del río Atuel tiene una extensión de más de 29.000 km<sup>2</sup>, y más de 58.000 habitantes. El río Atuel junto con el Diamante abastecen el oasis Sur de la provincia de Mendoza. Posee una superficie irrigada 1108 km<sup>2</sup> y a lo largo de su curso presenta un sistema de embalses y centrales hidroeléctricas comúnmente denominados “Los Nihuales” cuyos principales usos son generación hidroeléctrica, la regulación de caudales para riego y contención de avenidas. Estos embalses son El Nihuil (Nihuil I),

puesto en operación en 1947 con una capacidad máxima de 259 hm<sup>3</sup>; Aisol (Nihuil II) y Tierras Blancas (Nihuil III), con una capacidad inferior a 1 hm<sup>3</sup>; y Valle Grande (Nihuil IV), puesto en operación en 1965 con una capacidad de 168 hm<sup>3</sup>.

Al sur de la provincia de Mendoza y sin grandes embalses sobre sus ríos se encuentran las cuencas Laguna Llacanelo y Colorado. La cuenca de Laguna Llacanelo posee una superficie de más de 10.000 km<sup>2</sup>, cuyos principales cursos de agua, los ríos Pincheira y Malargüe, son utilizados para la irrigación de un pequeño oasis cercano a la localidad de Malargüe. La cuenca del río Colorado se extiende en un área de aproximadamente 48.000 km<sup>2</sup> atravesando las provincias de Mendoza, Neuquén, La Pampa, Río Negro y Buenos Aires hasta desembocar en el océano Atlántico. El río Colorado nace de la confluencia de los ríos Grande y Barrancas en la provincia de Mendoza, en su curso en dicha provincia actualmente no presenta embalses. Está proyectada la construcción del embalse Portezuelo del Viento, el cual de concretarse el proyecto sería el más grande de la región de Cuyo, ubicado sobre el río Grande cerca de los 36°S. Dado su carácter transfronterizo existe preocupación en los organismos de gestión del agua de las provincias ubicadas aguas abajo, ya que se exponen a enfrentar una merma aún mayor en los caudales.

### 3. Materiales y métodos

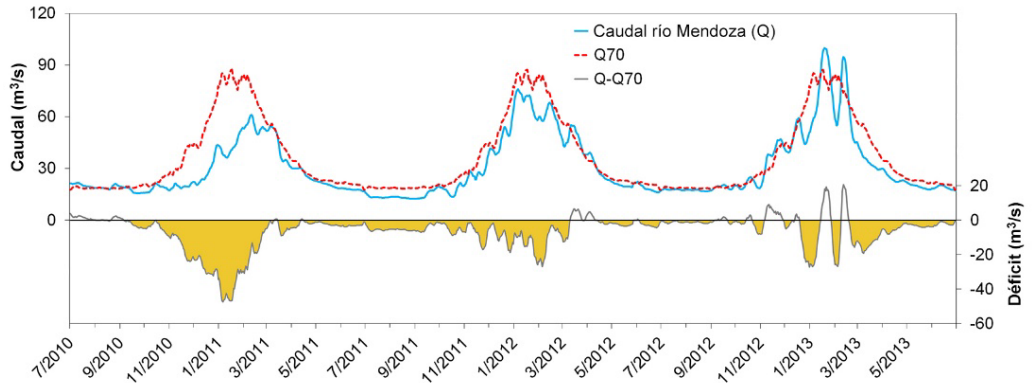
Se utilizaron registros diarios de caudales observados en 15 estaciones de aforo ubicadas sobre los principales ríos de la región de Cuyo, pertenecientes al sistema del río Colorado. La **Figura 1** muestra la región de estudio, con la ubicación de los ríos analizados y las estaciones de aforo, las cuales se ubican en un gradiente latitudinal entre 31°S y 37°S. Las observaciones fueron obtenidas a través del Sistema Nacional de Información Hidrológica (SNIH, <https://snih.hidricosargentina.gob.ar/>) y abarcan el período comprendido entre julio de 1971 y junio de 2020. Esta base de datos fue previamente utilizada para el análisis de las variaciones medias y extremas de los caudales en la región de Cuyo (Lauro et al., 2016; Rivera et al., 2017, a; Rivera et al., 2017, b; Rivera y Penalba, 2018; Lauro et al., 2019; Rivera et al., 2021), y fue sometida a exhaustivos procesos de control de calidad, consistencia y homogeneidad, los cuales se detallan en las mencionadas publicaciones. Los registros utilizados no poseen datos faltantes, dado que los baches en las series

temporales fueron rellenados con el uso de procedimientos que dependen de la extensión temporal del período faltante, las condiciones hídricas regionales al momento de la ocurrencia del período de datos faltantes y la disponibilidad de series de referencia para la reconstrucción de las series temporales. Estos procedimientos se detallan en Vich et al. (2014) y Rivera et al. (2017, a), entre otros trabajos.

Diversas métricas para el análisis de caudales bajos fueron calculadas a partir de las series temporales seleccionadas. Los índices, comúnmente utilizados para la caracterización de sequías hidrológicas, se basan en el método de umbral diario variable, el cual considera diversos niveles de truncamiento derivados de la curva de duración de caudal (Zelenhasić y Salvai, 1987). Mediante estos índices, un evento de sequía comienza cuando la variable hidrológica es inferior al valor umbral, y finaliza cuando iguala o supera este nivel (Sutanto y Van Loon, 2021). Para esta investigación se utilizaron umbrales basados en el caudal igualado o excedido el 50% (Q50, caudal mediano), 60% (Q60), 70% (Q70), 80% (Q80) y 90% (Q90) de los registros de la serie temporal. Asimismo, se complementó el análisis utilizando el caudal medio (Qmed) teniendo en cuenta que posee una interpretación más directa. Umbrales similares fueron usados en investigaciones previas en Canadá (Sharma y Panu, 2012); China (Sun et al., 2019); Dinamarca (Tallaksen et al., 1997); Irán (Byzedi et al., 2014); Estados Unidos (Zhao et al., 2021); sur de África (Tate y Freeman, 2000); Europa (Hisdal et al., 2001; Margariti et al., 2019) y a nivel global (Fleig et al., 2006; Van Loon et al., 2014). El análisis de condiciones de déficit en diversas cuencas de Argentina destaca el uso de los umbrales Q70, Q80 y Q90 para clasificar sequías hidrológicas moderadas, severas y extremas (Rivera et al., 2017,a; Rivera et al., 2018; Rivera et al., 2021). Previo al cálculo de estos percentiles, se suavizaron las series temporales mediante la aplicación de un promedio móvil de 7 días, lo cual permite eliminar eventos de sequía menores y concatenar eventos dependientes entre sí (Beyene et al., 2014). Asimismo, se removieron los datos correspondientes a los días 29 de febrero. Un detalle de la metodología utilizada y su formulación puede encontrarse en Rivera et al. (2021). A modo de ejemplo, la **Figura 2** muestra el funcionamiento del método utilizando datos de caudal diario del río Mendoza y el umbral Q70 para la identificación de períodos de sequía hidrológica durante los años hidrológicos 2010/11 a 2012/13. Se observa que el caudal estuvo por debajo del umbral durante



gran parte del período seleccionado, en particular durante el verano de 2010/11, momento en el que se registró un déficit significativo. Además, se destaca la presencia de variabilidad en escala intra-estacional que modula el caudal durante el verano de 2012/13, la cual genera recuperaciones parciales en los niveles de agua del río Mendoza.



**Figura 2.** Comparación de los registros de caudal diario en el río Mendoza (Q, línea azul) durante el período 2010/11 a 2012/13 con el nivel umbral Q70 (línea de trazos roja) calculado a partir del registro completo (1971/72-2019/20). La serie temporal de caudales fue suavizada con un promedio móvil de 7 días previo al cálculo del Q70. El déficit se obtiene como la diferencia entre el caudal y el umbral seleccionado ( $Q - Q70$ ) para los períodos en los cuales  $Q < Q70$  (marcados con color naranja).

#### 4. Resultados

A fin de cuantificar la severidad de la sequía hidrológica durante el período 2010/11-2019/20 en la región de Cuyo, se obtuvo la sumatoria de las diferencias diarias entre el caudal observado y los umbrales seleccionados. Este caudal deficitario acumulado fue transformado posteriormente a volumen. En el caso de los ríos que poseen embalses a lo largo de su curso, el volumen fue luego ponderado por la capacidad máxima de los mismos, lo cual permite obtener una medida representativa y fácilmente interpretable de las condiciones de severidad de la sequía hidrológica para el monitoreo y la toma de decisiones vinculadas al agua.

La **Tabla 1** muestra el déficit acumulado para cada uno de los umbrales seleccionados en los 15 ríos de la región de Cuyo. Se observa que, salvo el río San Juan, todos los ríos registraron déficit respecto al umbral Q70. Esto indica que, a lo largo de la última década, los caudales de los ríos de los Andes Centrales presentaron niveles que son superados el 70% del tiempo. Los déficits más severos se observan en el río Tunuyán y los ríos ubicados al sur del río Diamante, los cuales presentaron déficits por debajo del umbral Q80. El caso más severo se observa para el río Colorado, donde se observó déficit en el caudal considerando el umbral de mayor severidad (Q90). Esto puede asociarse a la propagación del déficit conjunto del caudal de los ríos Grande y Barrancas. La **Tabla 1** incluye además la descarga media anual para los ríos analizados, de forma tal de poner en contexto los déficits observados a lo largo de la última década.

La **Tabla 2** muestra el déficit acumulado durante el período de sequía hidrológica 2010/11-2019/20 en las cuencas de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel que considera el índice Qmed, expresado en términos de cantidad de embalses por cuenca. En el caso de las cuencas que tienen dos o más embalses, esta proporción se calculó en base al volumen total de todos los reservorios. La cuenca del río San Juan posee el mayor volumen embalsado de la región de Cuyo, con una capacidad total de 1505 hm<sup>3</sup> (**Tabla 2**).

El déficit acumulado en el río San Juan entre 2010/11 y 2019/20 alcanzó 7106,4 hm<sup>3</sup>, equivalente a casi 5 veces la capacidad combinada de los embalses Punta Negra, Ullúm y Los Caracoles. Se observa que el déficit acumulado a lo largo de la última década en el río Mendoza, en base al umbral Qmed, alcanzó 4263,2 hm<sup>3</sup> (**Tabla 1**), lo cual resulta equivalente al volumen de aproximadamente 11 embalses Potrerillos (**Tabla 2**).

Cuenca	Río	Estación de aforo	Descarga media anual (hm <sup>3</sup> )	Déficit Qmed (hm <sup>3</sup> )	Déficit Q50 (hm <sup>3</sup> )	Déficit Q60 (hm <sup>3</sup> )	Déficit Q70 (hm <sup>3</sup> )	Déficit Q80 (hm <sup>3</sup> )	Déficit Q90 (hm <sup>3</sup> )
San Juan	de los Patos	Álvarez Condarco	609,3	2799,7	2026,7	1079,9	135,6	0	0
	San Juan	Km 101	1800,5	7106,4	4023,8	1697,9	0	0	0
Mendoza	Cuevas	Punta de Vacas	215,1	947,5	727,7	456,8	201,2	0	0
	Vacas	Punta de Vacas	141,5	572,6	397,0	229,5	86,8	0	0
	Tupungato	Punta de Vacas	752,1	2159,1	1658,5	1080,4	348,6	0	0
	Mendoza	Guido	1483,1	4263,2	3150,2	1934,7	664,8	0	0
Tunuyán	Tunuyán	Valle de Uco	878,2	3191,7	2587,4	1862,3	1123,8	308,4	0
Diamante	Diamante	La Jaula	1001,7	3562,3	2828,6	1867,1	797,9	0	0
Atuel	Salado	Cañada Ancha	321,9	1702,3	1222,9	852,3	483,6	132,1	0
	Atuel	La Angostura	1121,7	3225,9	2959,3	2132,1	1262,3	420,1	0
Laguna Llacanelo	Pincheira	Pincheira	156,3	785,8	684,2	495,9	322,9	110,5	0
Colorado	Poti Malal	Gendarmería	219,3	1309,0	978,3	612,3	344,9	78,4	0
	Grande	La Gotera	3162,0	14748,1	11860,6	7939,1	4580,7	1850,2	0
	Barrancas	Barrancas	1140,1	4002,0	3267,5	2076,8	1101,2	124,3	0
	Colorado	Buta Ranquil	4500,6	19328,7	15632,5	10938,3	5857,8	1578,6	61,8

**Tabla 1.** Déficit acumulado durante el período de sequía hidrológica reciente (2010/11-2019/20) en los principales ríos de la región de Cuyo.

Cuenca	Embalse	Año de inicio de operación	Capacidad (hm <sup>3</sup> )	Déficit estandarizado
San Juan	Los Caracoles	2008	565 <sup>a</sup>	4,7
	Punta Negra	2015	500 <sup>a</sup>	
	Ullúm	1980	440 <sup>a</sup>	
Mendoza	Potrerillos	2001	393 <sup>b</sup>	10,8
Tunuyán	El Carrizal	1971	322 <sup>b</sup>	9,9
Diamante	Agua del Toro	1982	325 <sup>c</sup>	6,0
	Los Reyunos	1983	267 <sup>c</sup>	
Atuel	El Nihuil	1948	259 <sup>c</sup>	8,3
	Valle Grande	1965	168 <sup>c</sup>	

<sup>a</sup>Datos obtenidos de EPSE (<https://www.epse.com.ar/>)

<sup>b</sup>Datos obtenidos de DGI (<http://www.irrigacion.gov.ar/dgi/>)

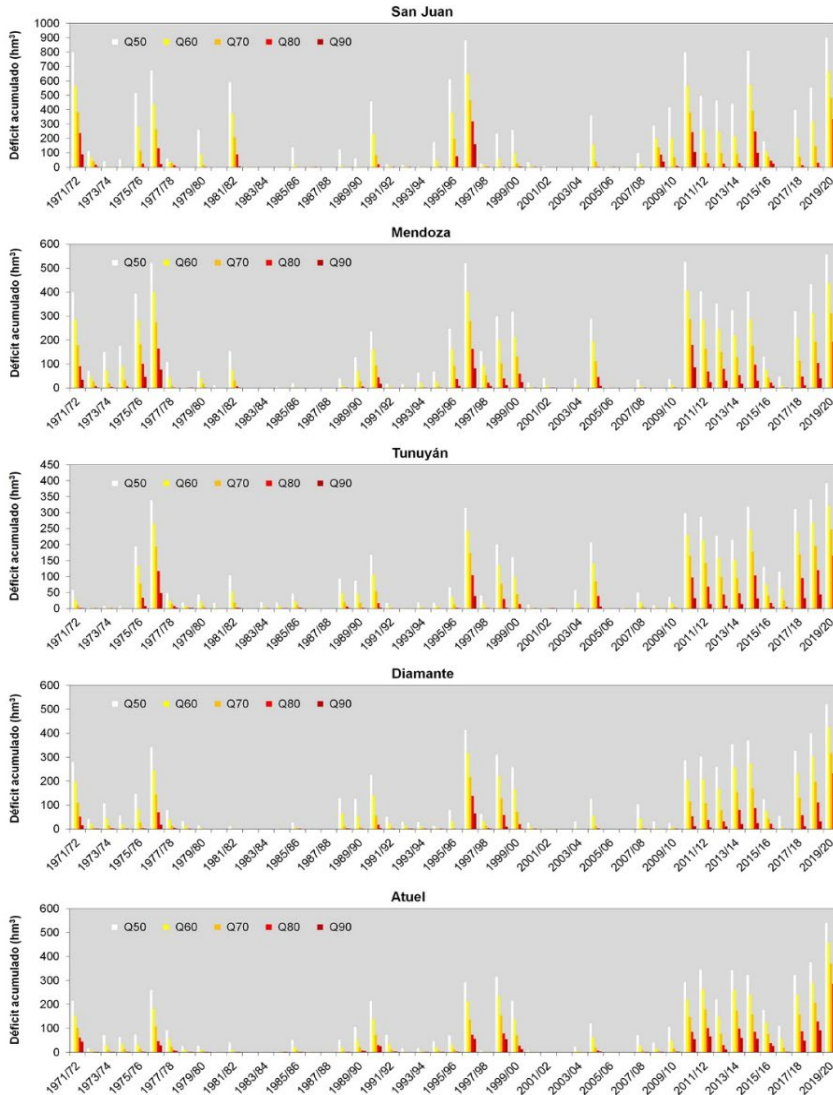
<sup>c</sup>Datos obtenidos de ORSEP (<https://www.argentina.gob.ar/orsep>)

**Tabla 2.** Características de los embalses existentes en la región de Cuyo y déficit estandarizado durante el período 2010/11-2019/20. El déficit estandarizado corresponde al déficit acumulado en base al umbral Qmed (ver Tabla 2) ponderado por la capacidad de los embalses de cada cuenca, lo cual permite expresar el déficit en términos de la cantidad de embalses que se perdieron por la sequía hidrológica en la región.

Este resultado es particularmente relevante si consideramos que el suministro de agua potable para más de un millón de personas y gran parte del agua para la irrigación del oasis norte depende del caudal del río Mendoza (**Figura 1**). Las condiciones de sequía hidrológica observadas en el río Tunuyán presentaron un déficit acumulado que equivale a casi 10 veces la capacidad del embalse El Carrizal. En tanto, el déficit acumulado en el río Diamante alcanzó 3562,3 hm<sup>3</sup>, es decir, el equivalente a 6 veces el volumen de los embalses Agua del Toro y Los Reyunos. Dado que la presa El Tigre tiene una capacidad máxima que representa poco más del 1% del volumen máximo de los embalses Agua del Toro y Los Reyunos, la misma se dejó de lado para el análisis. No obstante, el resultado no se ve modificado si consideramos su inclusión (no mostrado). En el caso del río Atuel, las condiciones de sequía hidrológica totalizaron un volumen deficitario de más de 8 veces la capacidad de los embalses Valle Grande y El Nihuil. Al igual que en el caso del río Diamante, se

dejaron de lado los embalses Aisol y Tierras Blancas por poseer una capacidad de almacenamiento mínimo respecto a la de los embalses Valle Grande y El Nihuil.

A fin de analizar los cambios temporales en la severidad de la sequía hidrológica, la **Figura 3** muestra la evolución temporal del déficit acumulado a lo largo del período 1971/72-2019/20, considerando los umbrales basados en los percentiles 50 a 90 para los ríos seleccionados en la **Tabla 2**. Se destaca no solo la consistencia temporal del período de sequía hidrológica reciente, inusual en el contexto de los últimos casi 50 años, sino además el nivel extremo de severidad registrado durante el ciclo hidrológico 2019/20, que supera en todos los ríos analizados y para todos los umbrales de severidad eventos previos como los registrados en el año 1976/77 o 1996/97. Asimismo, la **Figura 3** permite identificar la presencia de variabilidad en escala interanual dentro de la década de sequía reciente, asociada principalmente a una recuperación de los caudales durante los años 2015/16 y 2016/17 como consecuencia de nevadas cercanas a los valores normales, asociadas al evento El Niño 2015/16 (Martínez et al., 2017). Este período de sequía hidrológica reciente es parcialmente atribuible a diversos factores atmosféricos y oceánicos: una persistencia de condiciones La Niña o incluso de temperaturas superficiales del Océano Pacífico tropical anómalamente frías que no llegan al umbral de definición de eventos La Niña (Rivera et al., 2017, a); la ubicación del anticiclón semipermanente del Océano Pacífico sur desplazado hacia el sur respecto a su posición climatológica y con mayores valores de presión (Rivera y Arnould, 2020; Rivera et al., 2020); y una región de anomalías cálidas en la región extratropical del Océano Pacífico al este de Nueva Zelanda (Garreaud et al., 2021).



**Figura 3.** Evolución temporal del déficit anual acumulado registrado en cinco ríos de la región de Cuyo, estimado a partir de diversos umbrales para el período 1971/72-2019/20.

## 5. Discusión

El manejo de los recursos hídricos en regiones áridas y semi-áridas como el Centro Oeste de Argentina es un desafío para los organismos de gestión del agua, en particular durante períodos en los que la acumulación de nieve se encuentra por debajo de lo normal, como el registrado en el período 2010/11-2019/20 (Masiokas et al., 2020). Esto genera condiciones de sequía hidrológica que afectan no solo la descarga de los principales ríos de la región, sino además el volumen de agua embalsado, con la consecuente disminución de la disponibilidad de agua para consumo humano y para la irrigación de los oasis productivos (Rivera et al., 2021). Durante este período de sequía, tanto el aporte de los glaciares como el del agua subterránea jugaron un papel fundamental para sostener el caudal de los ríos (Crespo et al., 2020). La merma en el acumulado de nieve pudo haber impactado negativamente en la recarga de agua subterránea (Massone et al., 2016) y sin dudas afectó el balance de masa de los cuerpos de hielo en los Andes Centrales (Dussaillant et al., 2019). No obstante, como indican Crespo et al. (2020), es necesario profundizar en el estudio de la interacción entre las componentes superficiales y sub-superficiales del ciclo hidrológico regional, considerando además mediciones más extensas y una mayor cantidad de cuencas para el estudio. Al respecto, una investigación reciente que considera cuencas de Canadá, Noruega y los Alpes, utilizando registros de los últimos 50 años, mostró un comportamiento heterogéneo en términos de la contribución de los glaciares a los caudales en períodos de sequía y elevadas temperaturas (Van Tiel et al., 2021). A fin de profundizar en el estudio de la contribución de las distintas componentes del ciclo hidrológico durante períodos de sequía, el uso de modelos hidrológicos como el recientemente desarrollado HBV.IANIGLA (Toum et al., 2021) podría permitir avanzar en el conocimiento de la hidrología regional. Este conocimiento es sumamente necesario si consideramos la disminución proyectada para las próximas décadas en las precipitaciones sobre los Andes Centrales, con el consecuente impacto en la disponibilidad de agua dulce para la región de Cuyo (Almazroui et al., 2021; Rivera et al., 2020).

Para la definición de condiciones de sequía hidrológica, en esta investigación se utilizó el método de umbral basado en diversos percentiles de excedencia (i.e. Qmed a Q90). El caudal medio (Qmed) representa un valor umbral comprensible tanto por

encargados del manejo de los recursos hídricos como por académicos y público en general, ya que el mismo permite representar el déficit respecto a las condiciones medias de caudal. La estandarización de este déficit con los volúmenes de embalses permite cuantificar el volumen deficitario de los recursos hídricos superficiales en términos equivalentes a la capacidad máxima de reserva de agua de los principales embalses de las cuencas de la región de Cuyo. En algunas cuencas de Filipinas se emplearon índices normalizados de embalses para la caracterización de sequías hidrológicas y socioeconómicas (Gusye et al. 2015). Asimismo, diversos estudios a nivel mundial han analizado las variaciones de los volúmenes deficitarios utilizando la metodología considerada en esta investigación (Clausen y Pearson, 1995; Tallaksen et al., 1997; Caillouet et al., 2017; Van Loon y Laaha, 2015; Van Tiel et al., 2018).

Históricamente, la construcción de embalses y reservorios sirvió como estrategia para la regulación del suministro natural de agua para una amplia variedad de necesidades humanas y ambientales (Ehsani et al., 2017), que actuó como una herramienta para la mitigación de los impactos de la sequía. Desde principios del siglo XXI se han construido tres nuevos embalses en la región, los cuales incrementan la capacidad para hacer frente a las condiciones de sequía hidrológica imperantes, sobre todo en la cuenca del río San Juan (**Tabla 2**). No obstante, los embalses generan alteraciones en los regímenes hidrológicos, afectando a la biodiversidad y los procesos ecológicos (Di Baldassarre et al., 2021), así como también el desarrollo de actividades humanas como la ganadería en zonas áridas (Montaña et al., 2016). Con lo cual, a pesar de tener claros beneficios, todavía existe cierta controversia a nivel mundial respecto a estas infraestructuras (Boyé y de Vivo, 2016; Di Baldassarre et al., 2018). Si bien no es objeto de este estudio profundizar en estos aspectos, queda claro que los embalses ubicados sobre los principales ríos de la región de Cuyo contribuyeron a mitigar el impacto de la sequía hidrológica que se registra desde el año 2010. Frente a las proyección de incrementos de frecuencia e intensidad de eventos de sequías en la región (Almazroui et al., 2021; Rivera et al., 2020) se requieren diversas estrategias que permitan mitigar los impactos y adaptarse a esta nueva normalidad, a fin de mejorar la oferta de agua y trabajar diversos aspectos relacionados a las demandas del recurso.



## CONCLUSIONES

En esta investigación se realiza una cuantificación del déficit en los caudales superficiales de los principales ríos de la región de Cuyo, asociado a la extraordinaria sequía hidrológica que tiene lugar desde el año 2010. Estos déficits presentan valores récord en el contexto de los últimos 50 años, en particular durante el año hidrológico 2019/20. Las diferencias regionales en los valores de déficit permiten establecer que la mayor severidad se observó en las cuencas de los ríos Atuel y Colorado, las cuales en promedio registraron caudales por debajo del umbral Q80 durante el período 2010/11-2019/20. A partir de la estandarización del déficit por el volumen de los embalses de la región, se obtuvo una medida de fácil interpretación y aplicación para el monitoreo y la toma de decisiones en relación al impacto de la sequía hidrológica en la disponibilidad de agua dulce. Esto permite visualizar la disminución del volumen de agua en cada cuenca durante el evento de sequía hidrológica registrado en la última década. Teniendo en cuenta que el invierno de 2021 registra una escasa acumulación de nieve sobre la Cordillera de los Andes en las nacientes de los principales ríos de la región, siendo en algunas cuencas inferior al acumulado observado durante el invierno de 2019, es esperable que el déficit hídrico se prolongue, incluso con niveles de severidad que podrían marcar un nuevo récord. Esto requerirá la optimización del manejo de los recursos hídricos regionales que contemple las características de cada cuenca en particular. Además, la creación de planes de gestión de la sequía debe elaborarse dentro de un marco institucional que permita una interacción beneficiosa entre el sector científico y los actores encargados de la toma de decisiones. Esto permitirá garantizar la seguridad hídrica para las comunidades locales y para las necesidades ambientales, muchas veces poco consideradas en la gestión hídrica de la región. El seguimiento de estos eventos extremos en escalas diaria y mensual, y el desarrollo de sistemas de alerta temprana pueden proporcionar la información necesaria para tomar decisiones proactivas sobre la gestión de los recursos hídricos en el Centro Oeste de Argentina.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de Argentina por la provisión de los datos de caudal utilizados. El trabajo fue realizado con aportes de los proyectos de investigación PICT-2016-0431 y PICT-2019-2019-03430, financiados por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Almazroui, M., Ashfaq, M., Islam, M.N., Rashid, I.U., Shahzad, K., Abid, M.A., O'Brien, E., Ismail, M., Reboita, M.S. Sörensson, A.A., Arias, P.A., Alves, L., Tippett, M.K., Saeed, S., Haarsma, R., Doblas-Reyes, F.J., Saeed, F., Kucharski, F., Nadeem, I., Silva-Vidal, Y., Rivera, J.A., Ehsan, M.A., Martínez-Castro, D., Muñoz, A.G., Ali, M.A., Coppola, E. & Sylla, M.B. (2021). Assessment of CMIP6 models performance and projected temperature and precipitation changes over South America. *Earth Systems and Environment*, 5, 155-183. doi: <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00233-6>
- Beyene, B. S., Van Loon, A. F., Van Lanen, H. A. J. & Torfs, P. J. J. F. (2014). Investigation of variable threshold level approaches for hydrological drought identification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 11, 12765–12797. doi: <https://doi.org/10.5194/hessd-11-12765-2014>
- Boyé, H. & de Vivo, M. (2016). The environmental and social acceptability of dams. *Field Actions Science Reports*, 14, 32-37.
- Byzedi, M., Saghafian, B., Mohammadi, K. & Siosemarde, M. (2014). Regional analysis of streamflow drought: a case study in southwestern Iran. *Environ. Earth Sci.* 71, 2955–2972. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2674-7>
- Cabré, F. & Nuñez, M. (2020). Impacts of climate change on viticulture in Argentina. *Reg. Environ. Change*, 20, 12. doi: [10.1007/s10113-020-01607-8](https://doi.org/10.1007/s10113-020-01607-8)
- Caillouet, L., Vidal, J.-P., Sauquet, E., Devers, A. & Graff, B. (2017). Ensemble reconstruction of spatio-temporal extreme low-flow events in France since 1871. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21, 2923–2951. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-21-2923-2017>
- Clausen, B. & Pearson, C. P. (1995). Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *Journal of Hydrology* 173, 111-130. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02713-Y](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02713-Y)
- Crespo, S. A., Fernandoy, F., Cara, L., Klarian, S. & Lavergne, C. (2020). First snow, glacier and groundwater contribution quantification in the upper Mendoza River basin using stable water isotopes. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 56(5-6), 566-585. doi: <https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1797713>
- Di Baldassarre, G., Mazzoleni, M. & Rusca, M. (2021). The legacy of large dams in the United States. *Ambio*. doi: <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01533-x>
- Di Baldassarre, G., Wanders, N., AghaKouchak, A., Kuil, L., Rangelcroft, S., Veldkamp, T. I. E., Garcia, M., van Oel, P. R., Breinl, K. & Van Loon, A. F. (2018). Water shortages worsened by reservoir effects. *Nature Sustainability*, 1, 617-622. doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0159-0>
- Dracup, J. A., Lee, K. S. & Paulson, E. G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297-302. doi: <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00297>

- Dussailant, I., Berthier, E., Brun, F., Masiokas, M., Hugonnet, R., Favier, V., Rabatel, A., Pitte, P. & Ruiz, L. (2019). Two decades of glacier mass loss along the Andes. *Nat. Geosci.*, 12, 802-808. doi: <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0432-5>
- Ehsani, N., Vörösmarty, C. J., Fekete, B. M. & Stakhiv, E. Z. (2017). Reservoir operations under climate change: Storage capacity options to mitigate risk. *Journal of Hydrology*, 555, 435-446. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.008>
- Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H. & Demuth, S. (2006). A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 10, 535–552. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-10-535-2006>
- Garreaud, R. D., Clem, K. & Veloso, J. V. (2021). The South Pacific Pressure Trend Dipole and the Southern Blob. *Journal of Climate* 34, 7661-7676. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0886.1>
- Gusyeve, M. A., Hasegawa, A., Magome, J., Kuribayashi, D., Sawano, H. & Lee, S. (2015). Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts. Actas del 21º Congreso Internacional sobre Modelado y Simulación (MODSIM 2015), Broadbeach, Queensland (Australia).
- Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M. & Demuth, S. (2001). Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *Int. J. Climatol.* 21, 317-333. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.619>
- Hock, R., Bliss, A., Marzeion, B., Giesen, R., Hirabayashi, Y., Huss, M., Radic, V. & Slangen, A. (2019). GlacierMIP – A model intercomparison of global-scale glacier mass-balance models and projections. *Journal of Glaciology*, 65, 453-467. doi: <https://doi.org/10.1017/jog.2019.22>
- Lauro, C., Vich, A. I. & Moreiras, S. M. (2019). Streamflow variability and its relationship with climate indices in western rivers of Argentina. *Hydrol. Sci. J.*, 64(5), 607-619. doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1594820>
- Lauro, C., Vich, A. & Moreiras, S. M. (2016). Variabilidad del régimen fluvial en cuencas de la región de Cuyo. *Geoacta*, 40(2), 28-51.
- Margariti, J., Rangelcroft, S., Parry, S., Wendt, D. E. & Van Loon, A. F. (2019). Anthropogenic activities alter drought termination. *Elem. Sci. Anth.* 7: 27. doi: <https://doi.org/10.1525/elementa.365>
- Martínez, R., Zambrano, E., Nieto, J. J., Hernández, J. & Costa, F. (2017). Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investigaciones Geográficas*, 68, 65-78. doi: <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.04>
- Masiokas, M. H., Rabatel, A., Rivera, A., Ruiz, L., Pitte, P., Ceballos, J. L., Barcaza, G., Soruco, A., Bown, F., Berthier, E., Dussailant, I. & MacDonell, S. (2020). A Review of the Current State and Recent Changes of the Andean Cryosphere. *Front. Earth Sci.* 8:99. doi: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00099>

- Massone, H., Martinez, D., Vich, A., Quiroz Londoño, M., Trombotto, D. & Grondona, S. (2016). Snowmelt contribution to the sustainability of the irrigated Mendoza's Oasis, Argentina: an isotope study. *Environ. Earth Sci.*, 75, 520. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5141-9>
- Montaña, E., Diaz, H. P. & Hurlbert, M. (2016). Development, local livelihoods, and vulnerabilities to global environmental change in the South American Dry Andes. *Reg. Environ. Change*, 16, 2215-2228. doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0888-9>
- Rivera, J. A., Otta, S., Lauro, C. & Zazulie, N. (2021). A decade of hydrological drought in Central-Western Argentina. *Front. Water*, 3, 640544. doi: <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.640544>
- Rivera, J. A., Naranjo Tamayo, E. & Viale, M. (2020). Water resources change in Central-Western Argentina under the Paris Agreement warming targets. *Front. Clim.*, 2, 587126. doi: <https://doi.org/10.3389/fclim.2020.587126>
- Rivera, J. A. & Arnould, G. (2020). Evaluation of the ability of CMIP6 models to simulate precipitation over Southwestern South America: climatic features and long-term trends (1901-2014). *Atmospheric Research* 241, 104953. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104953>
- Rivera J. A. & Penalba O. C. (2018). Distribución de probabilidades de los caudales mensuales en las regiones de Cuyo y Patagonia (Argentina). Aplicación al monitoreo de sequías hidrológicas. *Meteorologica*, 43(2), 25-46.
- Rivera J. A., Araneo D. C., Penalba O. C. & Villalba R. (2018). Regional aspects of streamflow droughts in the Andean rivers of Patagonia, Argentina. Links with large-scale climatic oscillations. *Hydrology Research* 49(1), 134-149. doi: <https://doi.org/10.2166/nh.2017.207>
- Rivera J. A., Araneo D. C. & Penalba O. C. (2017, a). Threshold level approach for streamflow droughts analysis in the Central Andes of Argentina: A climatological assessment. *Hydrological Sciences Journal*, 62(12), 1949-1964. doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1367095>
- Rivera J. A., Penalba O. C., Villalba R. & Araneo D. C. (2017, b). Spatio-temporal patterns of the 2010-2015 extreme hydrological drought across the Central Andes, Argentina. *Water*, 9(9), 652. doi: <https://doi.org/10.3390/w9090652>
- Sharma, T. C. & Panu, U. S. (2012). Prediction of hydrological drought durations based on Markov chains: case of the Canadian prairies. *Hydrological Sciences Journal* 57(4), 705-722. doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.672741>
- Smakhtin, V. U. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240, 147-186. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)
- Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Christensen, J. H., Christensen, O. B., Coppola, E., Evans, J., Geyer, B., Giorgi, F., Hadjinicolaou, P., Jacob, D., Katzfey, J., Koenigk, T., Laprise, R., Lennard, C. H., Levent Kurnaz, M., Li, D., Llopart, M., McCormick, N., Naumann, G., Nikulin, G., Ozturk, T.,

- Panitz, H.-J., Porfirio da Rocha, R., Rockel, B., Solman, S. A., Syktus, J., Tangang, F., Teichmann, C., Vautard, R., Vogt, J. V., Winger, K., Zittis, G. & Dosio, A. (2020). Future global meteorological drought hotspots. A study based on CORDEX data. *J. Climate*, 33, 3635-3661. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0084.1>
- Sun, P., Zhang, Q., Yao, R. & Wen, Q. (2019). Hydrological Drought Regimes of the Huai River Basin, China: Probabilistic Behavior, Causes and Implications. *Water* 11(11):2390. doi: <https://doi.org/10.3390/w11112390>
- Sutanto, S. J. & Van Lanen, H. A. J. (2021). Streamflow drought: implication of drought definitions and its application for drought forecasting. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25, 3991-4023. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-25-3991-2021>
- Tallaksen, L. M., Madsen, H. & Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of stream-flow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal* 42(1), 15-33. doi: <https://doi.org/10.1080/02626669709492003>
- Tate, E. L. & Freeman, S. N. (2000). Three modelling approaches for seasonal streamflow droughts in southern Africa: the use of censored data. *Hydrological Sciences Journal* 45(1), 27-42. doi: <https://doi.org/10.1080/02626660009492304>
- Toum, E., Masiokas, M. H., Villalba, R., Pitte, P. & Ruiz, L. (2021). The HBV.IANIGLA Hydrological Model. *The R Journal*. doi: <https://doi.org/10.32614/RJ-2021-059>
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2(4), 359-392. doi: <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- Van Loon, A. F. & Laaha, G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology* 526, 3-14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.059>
- Van Loon, A. F., Tijdeman, E., Wanders, N., Van Lanen, H. A. J., Teuling, A. J. & Uijlenhoet, R. (2014). How climate seasonality modifies drought duration and deficit. *J. Geophys. Res. Atmos.* 119, 4640–4656. doi: <https://doi.org/10.1002/2013JD020383>
- Van Tiel, M., Van Loon, A. F., Seibert, J. & Stahl, K. (2021). Hydrological response to warm and dry weather: do glaciers compensate? *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25, 3245-3265. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-25-3245-2021>
- Van Tiel, M., Teuling, A. J., Wanders, N., Vis, M. J. P., Stahl, K. & Van Loon, A. F. (2018). The role of glacier changes and threshold definition in the characterisation of future streamflow droughts in glacierised catchments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, 463–485. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-22-463-2018>
- Vich, A. I. J., Norte, F. A. & Lauro, C. (2014). Análisis regional de frecuencias de caudales de ríos pertenecientes a cuencas con nacientes en la Cordillera de los Andes. *Meteorologica*, 39(1), 3-26.

Villamayor, J., Khodri, M., Villalba, R. & Daux, V. (2021). Causes of the long-term variability of southwestern South America precipitation in the IPSL-CM6A-LR model. *Clim. Dyn.* doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05811-y>

Zazulie, N., Rusticucci, M. & Raga, G. B. (2018). Regional climate of the Subtropical Central Andes using high-resolution CMIP5 models. Part II: future projections for the twenty-first century. *Clim. Dyn.*, 51, 2913-2925. doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4056-4>

Zelenhasić, E. & Salvai, A. (1987). A method of streamflow drought analysis. *Water Resour. Res.*, 23(1), 156-168. doi: <https://doi.org/10.1029/WR023i001p00156>

Zhao, W., Guan, X., Zhang, Z., Wang, Z., Wang, L. & Mamer, E. A. (2021). Development of flow-duration-frequency curves for episodic low streamflow. *Advances in Water Resources* 156, 104021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.104021>

## LOS AUTORES

**Juan Rivera** es Licenciado y Doctor en Ciencias de la Atmósfera y los Océanos por la Universidad de Buenos Aires. Actualmente es Profesor Titular de la cátedra Climatología en las carreras de Ciencias Ambientales y Ciencias de la Atmósfera y Meteorología Aplicada, Universidad Nacional de Los Comechingones. Es Investigador Adjunto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Su actividad científica mayormente se ha desarrollado en el ámbito de la investigación de extremos climáticos, en particular asociados a sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas, así como también de la investigación del cambio climático regional. Cuenta con numerosas publicaciones en revistas científicas nacionales e internacionales y es autor principal del Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.

**Carolina Lauro** es Ingeniera en Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Cuyo. Doctora en Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario. Es Investigadora asistente de CONICET y trabaja en el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias ambientales (CCT Mendoza). Sus principales líneas de investigación se refieren a Recursos hídricos superficiales. Regionalización de variables hidrológicas extremas: sequías, inundaciones. Variabilidad hidrológica y relación con el cambio climático.

**Sebastián A. Otta** es Ingeniero en Recursos Naturales Renovables por la Universidad Nacional de Cuyo y Diplomado Universitario en Gestión Territorial por la Universidad Maza. Se ha desempeñado en el ámbito de la consultoría ambiental de proyectos públicos y privados. Actualmente es becario doctoral de CONICET en el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales y profesor del curso de Contaminación de Suelos, en la Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cuyo. Es estudiante del Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Buenos Aires y su actividad científica se enfoca en el impacto de la variabilidad hidro-climática y los cambios de uso de la tierra en el balance hídrico y capacidad productiva de la región de Cuyo.