

Caracterización Estadística y Dinámica de la Precipitación Nival de la Temporada 2023 en los Andes Áridos y su entorno

Arnobio Germán Poblete¹, María José Vera¹, María Agustina Albeiro Castro¹

¹ Instituto de Geografía Aplicada-FFHA-UNSJ

Corresponding author: María José Vera, mariajosevera42@gmail.com

(Recibido: 09-06-2024. Publicado: 30-12-2024.)

DOI: 10.59427/rcli/2024/v24.74-87

Resumen

Las sociedades de Cuyo y Chile Central están pendientes de lo que ocurre con la precipitación nival en los Andes Áridos, dado que sufren un déficit hídrico cada vez más agudo y prolongado, al que se lo ha denominado como “Megasequía”. Éstas han sido parte de la historia del continente por siglos, esencialmente tienen un componente natural, pero el cambio climático está amplificando su intensidad, frecuencia y duración. Debido a lo anterior, la temporada nival 2023, al igual que el año anterior era esperada como un índice que reflejaría la continuidad o la interrupción de dicha Megasequía, lo que refuerza la necesidad de investigarla con mayor detalle, como resultante del estado de los forzantes atmosféricos, oceánicos y de la cupla océano-atmosfera, que la produjeron. El propósito de este trabajo es describir estadísticamente su secuencia nival y las condiciones de borde que dieron lugar al comportamiento de esta temporada, su variabilidad mensual y a su vez confirmar si constituyó una interrupción, atenuación o continuidad de la Megasequía.

Palabras claves: TEMPORADA NIVAL 2023 - MEGASEQUIA – CHILE CENTRAL Y CUYO.

Abstract

The societies of Cuyo and Central Chile are watching what happens to snowfall in the arid Andes as they suffer an increasingly acute and prolonged water deficit, which has been termed the ‘Megasequia’. These have been part of the continent’s history for centuries, essentially having a natural component, but climate change is amplifying their intensity, frequency and duration. Because of this, the 2023 snow season, like the previous year, was expected to be an index that would reflect the continuity or interruption of the Megasequence, which reinforces the need to investigate it in greater detail, as a result of the state of the atmospheric, oceanic and ocean-atmosphere coupling forcings that produced it. The purpose of this work is to describe statistically its snow sequence and the boundary conditions that gave rise to the behaviour of this season, its monthly variability and, in turn, to confirm whether it constituted an interruption, attenuation or continuity of the Megasequence.

Keywords: NIVAL SEASON 2023 - MEGASEQUIA - CENTRAL CHILE AND CUYO.

1. Introducción

Además del incremento de la temperatura global, vastas regiones del planeta están experimentando prolongadas sequías o catastróficas inundaciones desde los últimos 100 años (Laprea Montealegre, 2019). De esta manera, se aprecia que los cambios en los montos y la distribución espacial de las precipitaciones han tenido, tal vez, un impacto mayor sobre las actividades humanas y los ecosistemas debido al Calentamiento Global. Debido a esto, mundialmente existe un creciente interés en investigar sobre la disponibilidad de los recursos hídricos a escala global y regional, a causa de la mayor presión que las sociedades modernas ejercen sobre las demandas en la cantidad y calidad del agua. (Vorosmarty, C.J. et al. ,2013).

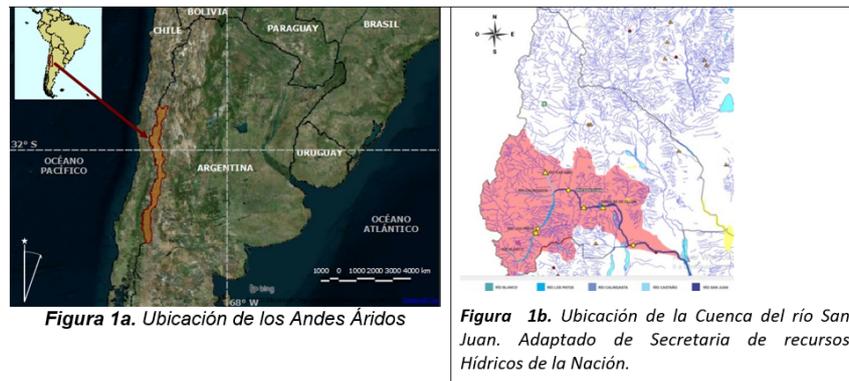


Figura 1: 1a/1b.

En ese marco, las sociedades de Cuyo y Chile Central (fig. 1), están pendientes de lo que ocurre con la precipitación nival en los Andes Áridos, dado que sufren un déficit hídrico cada vez más agudo y prolongado. Además, los glaciares andinos han perdido más del 30 % de su superficie en menos de 50 años, lo que es refrendado por un Informe de las Naciones unidas para el cambio climático (2022). Chile central y los Andes Áridos no son la excepción de esta problemática, esta zona sufre una sequía prolongada desde el año 2010, a la que varios autores (Núñez Vásquez, V., 2015; Barriga Ávila, N., 2019, et. al), han denominado “Megasequía”. En la actualidad, ya se está proponiendo el término “hipersequía” (Seria Ríos, S., 2023).

Diferentes líneas de investigación han obtenido evidencia contundente que muestra que este es el mayor período de sequía del área en estudio, lo que implica que se está viviendo un anticipo del futuro, y frente a eso hay que tomar decisiones y hacer cambios. Las megasequías han sido parte de la historia del continente por siglos, “tienen un componente natural. El problema es que el cambio climático está amplificando su intensidad, frecuencia y duración”, “América Latina tiene particularidades geográficas y también vulnerabilidades sociales que hacen que la capacidad de adaptación al cambio climático sea menor”(Garreaud D., Boisier J., Rondanelli R., et. al. 2019). En la foto, se observa una playa del Dique de Ullum (San Juan) en enero de 2021(fig. 2), donde se visualiza la magnitud del decrecimiento hídrico a través de las distintas estratificaciones ascendentes generadas por los respectivos niveles de agua producidos por dicha Megasequía.



Figura 2: Vista de una playa de Ullum observada en enero de 2021. Fuente: Tiempo de San Juan.

Por lo expuesto, la temporada nival 2023, al igual que el año anterior era esperada como un índice que reflejaría la continuidad o la interrupción de dicha Megasecuía, lo que refuerza la necesidad de investigarla con mayor detalle, como resultante del estado de los forzantes atmosféricos, oceánicos y de la cupla océano-atmósfera, que la produjeron. El propósito de este trabajo es describir estadísticamente su secuencia nival y las condiciones de borde que dieron lugar al comportamiento de esta temporada, su variabilidad mensual y a su vez confirmar si constituyó una interrupción, atenuación o continuidad de la Megasecuía.

2. Metodología

A causa de la insuficiencia de mediciones nivales que abarquen un período mayor que 100 años en los Andes Áridos (fig. 1a), se emplean como índice para estimarlas a los registros de los derrames anuales del río San Juan (fig.1b) en el período 1909-2023, puesto que cuantifican lo sucedido en la temporada nival correspondiente (Poblete, 2019; Boninsegna, J. y Villalba, R., 2006).

Como el vuelco del equivalente de agua de la nieve precipitada en el período abril-septiembre, representa su cantidad, se implementa como índice al derrame anual del río San Juan (DJUA) medido en Hm3. Esta variabilidad en la precipitación de la temporada nival tiene su correlato en la variabilidad de los caudales emergentes, que será discutida más adelante.

Los DJUA fueron aportados por el Departamento de Hidráulica de la Provincia de San Juan. Las mediciones directas de nieve de la temporada abril-septiembre fueron descargadas de las estaciones de la DGI (Dirección General de Irrigación de Mendoza de la estación nivometeorológica Horcones y Toscas). En el área ENSO3+4 (SSTN3+4) fueron obtenidas del sitio <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/>, los del ASPSO (Anticiclón Subtropical Pacífico Sur Oriental) recopilados de diversas fuentes tales como La Dirección Meteorológica de Chile, Laboratorio Climatológico Sudamericano sede NOAA y la Bureau of Meteorology Australia y otras vía internet. Los de la PDO (Oscilación Decadal del Pacífico Norte) descargados del sitio <http://jisao.washington.edu/pdo/>. Las imágenes de precipitación nival se obtuvieron de las MODIS-NASA; y también se hizo uso del Reanalysis del NCEP-NCAR de la NOAA- EE.UU.

Para la descripción cuantitativa se utilizaron las herramientas estadísticas de:

- La Variable Estandarizada: mide la desviación de cada dato respecto de la media en unidades de desviación típica.

La nueva variable:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

Con z_i la variable estandarizada obtenida de los N valores de x cuya media (\bar{X}) y desviación típica (S), tienen una vez tipificadas, una media = 0 ($\bar{Z} = 0$) y desviación típica =1 ($S_z=1$). (Maisel, L. 1973; Otnes, R.K., 1972).

Para verificar la normalidad de esta variable se aplica el test de Kolmogorov-Smirnov que se basa en la diferencia máxima entre la distribución acumulativa de la muestra y la distribución acumulada hipotética. Si el estadístico D es significativo, entonces debería rechazarse la hipótesis de que la distribución respectiva es normal con el siguiente resultado: D= 0.104 (p=0.190) que como no es significativo tanto para el 5% (p=0.05) como para el 1% (p=0.01). Se ratifica que la variable analizada tiene una distribución normal (Kisbye, 2010).

- Tests de Spearman: empleado para estimar la significación de la tendencia.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N^3 - N} \quad r_s \approx N \left(0, \frac{1}{n-1} \right) \quad (2)$$

Dónde:

d_i es la diferencia entre los rangos de los datos originales de las series previamente ordenadas, y N el número de datos.

Se construye el estadístico:

$$t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \quad (3)$$

Se extrae t_T de la tabla "t" de Student con $v = N-2$ grados de libertad.

Sí $|t| \leq t_T$ no hay tendencia significativa al $\alpha\%$, en los datos

- Coeficiente de correlación lineal simple o coeficiente de correlación de Pearson a su raíz cuadrada: coeficiente de correlación r es una cantidad que puede ser negativa o positiva que va de 0 a -1 o de 0 a +1. Cero indica ausencia

de relación y mientras más cerca de 1, sin importar el signo, mayor es la fuerza de la asociación entre X e Y. En esencia, r mide la dispersión de los puntos en torno a una tendencia lineal subyacente.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i * \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \tag{4}$$

Dónde:

r = coeficiente de correlación

N = número de pares ordenados

X = variable independiente

Y = variable dependiente

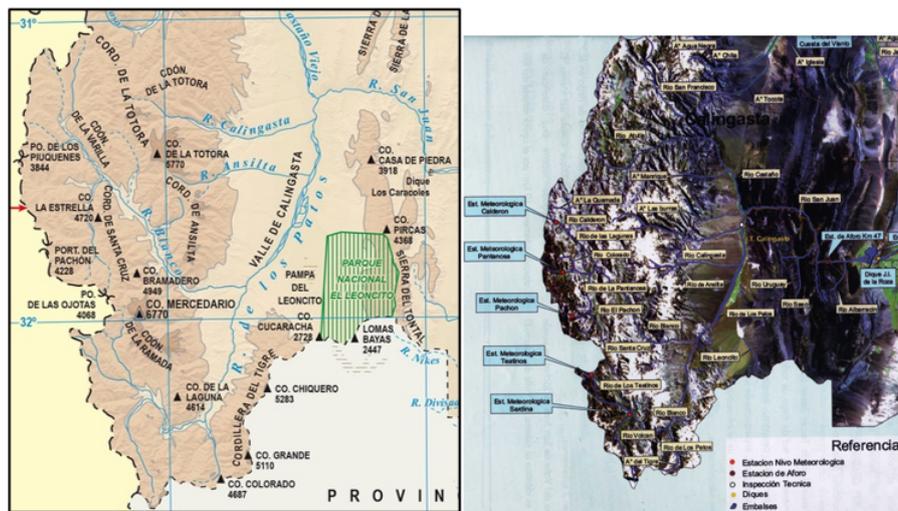


Figura 3: Ubicación de los principales afluentes del río San Juan y estaciones de aforo asociadas, en el entorno montañoso de Cordillera de los Andes y Precordillera sanjuanina. Fuente: Adaptado de Mapa de la Provincia de San Juan. IGN. E Hidráulica.



Figura 4: Ubicación de las estaciones pluviométricas de la DGI (Dirección General de Irrigación de Mendoza).

3. Resultados y discusión

Para situar en el escenario espacio/temporal, en que se desarrolló la temporada nival 2023 se expone la secuencia de superávit/déficit de las mismas desde 1909 hasta la actualidad.

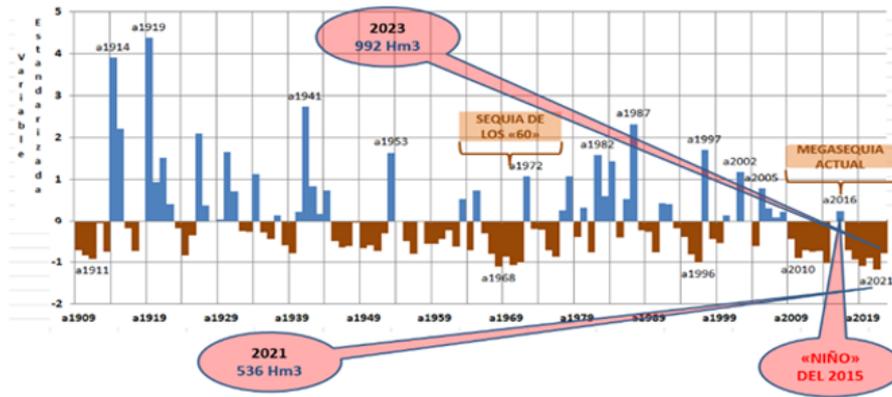


Figura 5: Serie temporal expresada como variable estandarizada de los superávits (azul) / sequías (marrón) desde 1909 hasta la actualidad. (El monto del año 2023 es una estimación con un modelo elaborado por los autores).

RANKING	AÑO	DJUA
1	2021	536
2	1968	627
3	2019	650
4	1970	662
5	2014	724
6	1971	742
7	1996	743
8	2018	825
9	1911	834
10	2010	854
11	2020	860
12	1969	892
13	1976	910
14	1924	937
15	1910	944
16	1995	955
17	1967	977
18	1956	989
19	2023	992
20	1939	1010

Figura 6: Ranking de temporadas nivales deficitarias (medidas por medio del derrame anual del Río San Juan- DJUA).

En la fig. 5, se observa la serie temporal estandarizada del derrame anual del río San Juan (DJUA), expresada en Hm³. Se destacan dos sequías significativas: la primera, se produjo en la década de los 60 (Lauro, C. et al, 2021; Rivera, J., Lauro, C., & Otta, S. A. 2021b, et al.); mientras que la segunda ocurre desde 2010 hasta 2022, conocida como “Megasequía” (Poblete, 2023). Esta última, fue interrumpida por un evento “Niño Godzilla” (Leucci, 2015), mostrado en la figura 5.

En la figura N° 6, se ordenan de manera decreciente los DJUA, encontrándose en primer lugar el año 2021 (536Hm³). Se observa que de los 20 años más deficitarios, el 35 % corresponde a la Megasequía citada y el 25 % a la de los “60”.

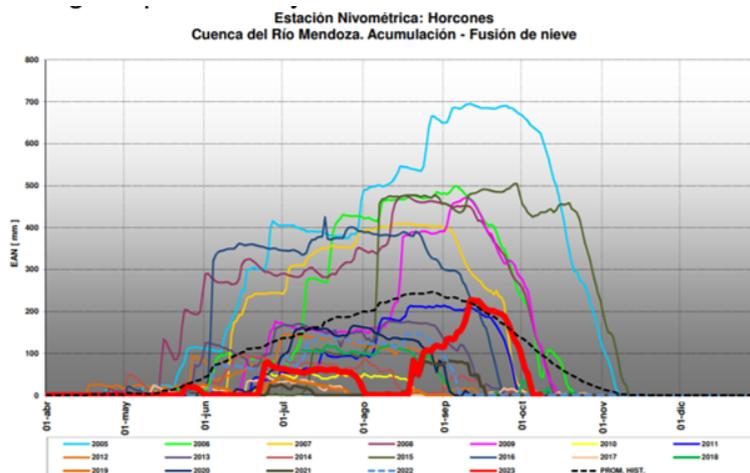


Figura 7: Temporada Nival 2023, mediada en la estación nivopluiométrica en Horcones (Cuenca del río Mendoza). Fuente: DGI.

Se observa en la fig. 7, la temporada nival 2023 (línea roja) con registros en la estación Horcones (fig. 4). Se detectan dos períodos con continuidad de nevadas: el primero desde fines de junio hasta el 1 de agosto; y el segundo desde mediados de agosto hasta principios de octubre, con un máximo el 12 de septiembre (227mm).

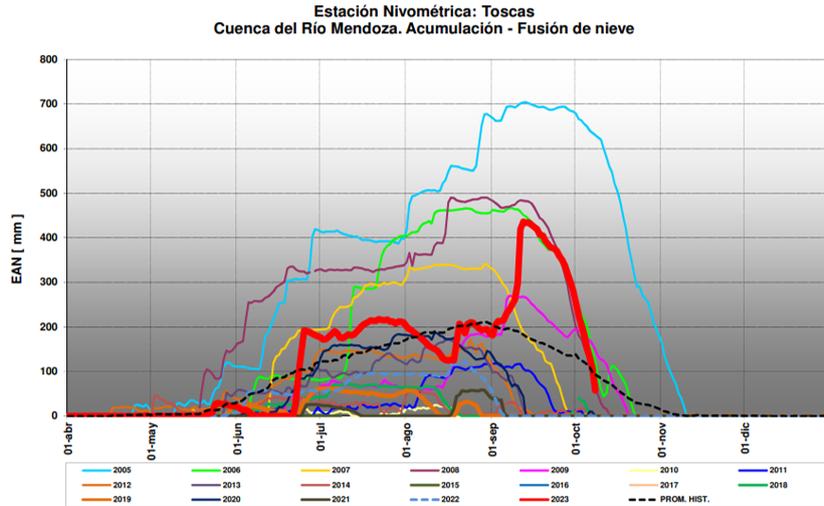


Figura 8: Temporada Nival 2023, mediada en la estación nivopluiométrica en Toscas (Cuenca del río Mendoza). Fuente: DGI.

Sin embargo, en la estación Toscas (fig.8), se registraron precipitaciones nivales desde fines de junio hasta mediados de octubre; con un máximo también el 12 de septiembre (436mm). El análisis de ambas figuras induce a pensar que la precipitación nívea fue en franco decrecimiento de sur a norte, lo que se verifica para la cordillera sanjuanina en la fig. 9 (MODIS).



Figura 9: Imagen satelital correspondiente a MODIS (NASA) del día 07 de Octubre de 2023.

De acuerdo a lo descripto, el área de la Cordillera de Ansilta- La Ramada (fig. 3), donde se originan los ríos Blanco y Los Patos sur entre otros; es la que marginalmente recibió la precipitación nívica que alimento el derrame de 732hm³ al río San Juan lo que permitió que no sea tan deficitaria como la cuenca del río Jáchal.

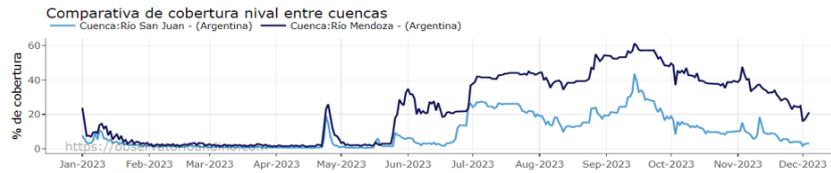


Figura 10: Comportamiento estacional de la caída de nieve en la cuenca del río Mendoza (azul) comparada con la del río San Juan (celeste). Fuente: Observatorio Andino.

La marcha de la cobertura nival en las cuencas de los ríos San Juan y Mendoza, corroboran dicho decrecimiento como se muestra en la fig. 10. En la misma, se observa que a partir de fines de mayo, la cobertura de nieve en la cuenca del río Mendoza fue en continuo ascenso; mientras que en la del río San Juan, lo hizo desde fines de junio, considerablemente por debajo del porcentaje de la superficie nival del primero.

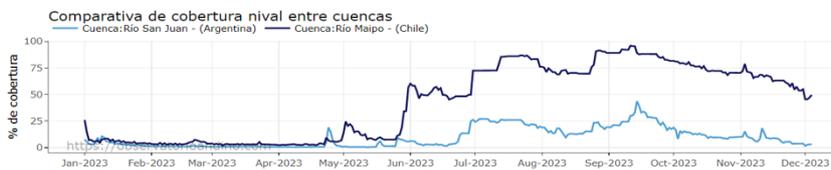


Figura 11: Comportamiento estacional de la caída de nieve en la cuenca del río San Juan (azul) comparada con la del río Maipo (celeste). Fuente: Observatorio Andino.

Complementariamente a lo anterior, también se ratifica con la comparación con el río Maipo (fig. 11), que comienza su ascenso ininterrumpido y más acentuado desde fines de mayo; mientras que para el río San Juan se repite la secuencia.

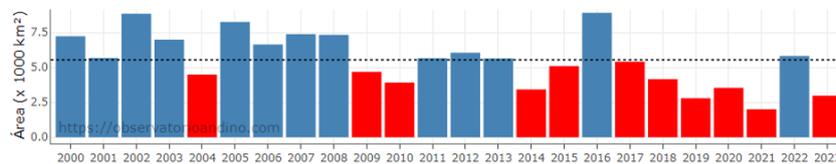


Figura 12: Superficie nival estimada desde las imágenes MODIS-NASA de las temporadas 2000 a 2023. Por encima de la media (azul) y por debajo (rojo).

Con el objeto de comparar la cobertura nival del año 2023 en la cuenca del río San Juan con las respectivas producidas desde el 2000 (fig.12), se observa que fue superada por casi todas, a excepción del año 2021, esto se debe a que la superficie nival que aporta al derrame es la que esta confinada en el entorno de los paralelos 31° S y 32.5° S aproximadamente entre las Sierras de La Totorá y del Tigre (fig. 3).

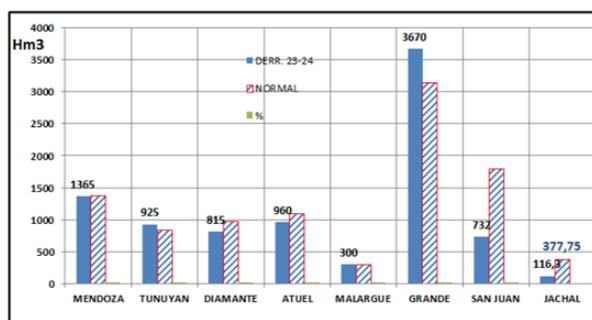


Figura 13: Derrame anual de los ríos cuyanos, producto de la temporada nival 2023 (Hm³). Fuente: DGI de Mendoza.

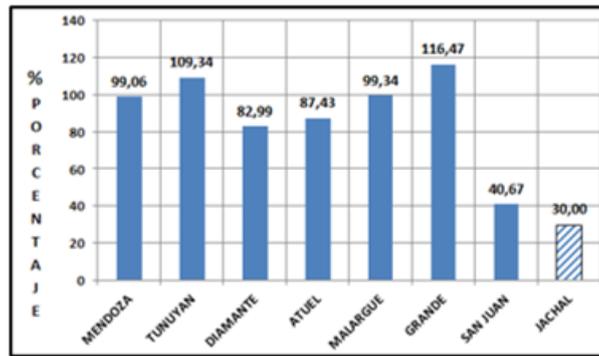


Figura 14: Porcentaje respecto del promedio del derrame anual de los ríos cuyanos. Fuente: DGI de Mendoza.

Las figuras 13 y 14, muestran el resultado de lo descripto en los derrames estimados de los ríos cuyanos. Obsérvese, en el caso de los porcentajes, el disímil comportamiento de los ríos mendocinos (Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Malargue, Grande) y sanjuaninos (San Juan, Jáchal), como por ejemplo el río Mendoza que derramó el 99% de su derrame medio, mientras el San Juan solo lo hizo en un 41% y el Jáchal en apenas un 30%.

Factores Dinámicos Asociados

Una vez descripta la secuencia estadística de la temporada nival 2023, se analizan los factores climáticos que la generaron.

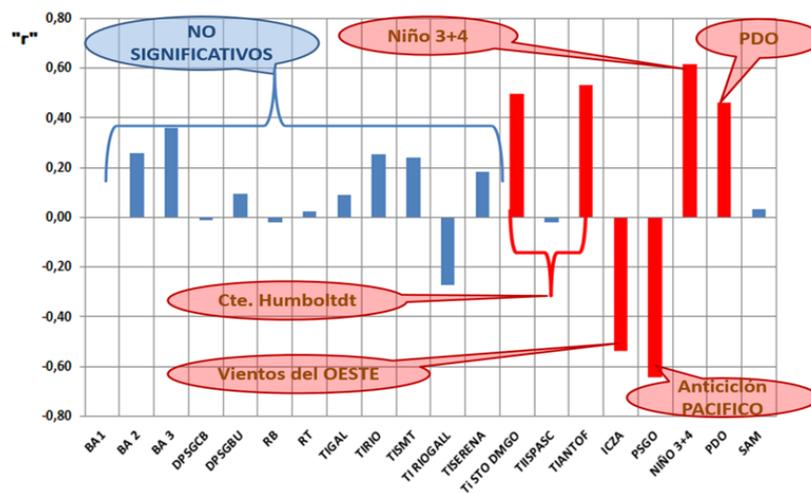


Figura 15: Correlación simple entre los índices atmosféricos, oceánicos y cupla océano-atmósfera con las precipitaciones en los Andes Áridos (significativas al 5% en rojo).

En trabajos anteriores (Poblete, 2013; Poblete, 2016; Poblete, 2019; et. al.), se identifican los factores (fig.15) que influyen en las nevadas en los Andes Áridos: el ENSO (Niño 3+4) y la Oscilación Decadal Pacífica (PDO) son favorables; mientras que el Anticiclón Subtropical del Pacífico Suroccidental (ASPSO), los vientos constantes del oeste y la corriente de Humboldt son desfavorables.

A continuación, se describe el estado actual de los mismos:

El estado del ENSO se visualiza en la fig. 16, con una anomalía de las SST más intensas en el Niño 1+2 (3,3° C) y Niño 3 (1,96° C); mientras que en el área 3+4 es de 1,3° C, debilitándose a 0,95° C en el Niño 4. Además, se observa que en el área Niño 3+4, hubo un crecimiento respecto de julio de 0,23° C.

En el área donde generalmente se encuentra la “Mancha Cálida”, no se verifican anomalías positivas relevantes.

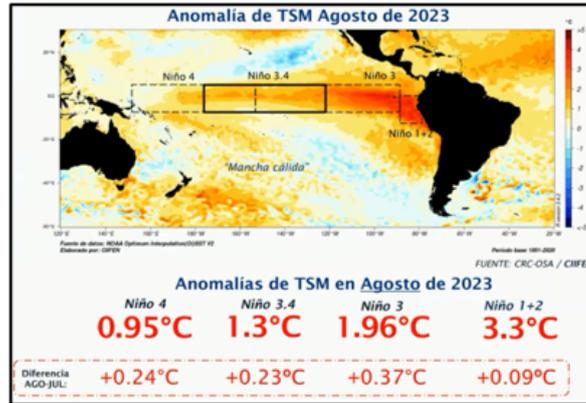


Figura 16: Anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Océano Pacífico en agosto de 2023.

Con el objeto de valorar la intensidad del ENSO 2023, en la fig. 17, se visualiza la magnitud de los más relevantes desde 1980, haciendo uso del promedio anual de las SST en el área 3+4. Se observa que tiene un promedio de 0,8° C, superado por la mayoría de los años, salvo 1983 (0,5° C) y 2016 (0,3° C).

En estos casos se debe tener en cuenta que su cómputo se realiza como remanente de los principales que se produjeron en 1982 y 2015, respectivamente.

Asimismo, se observan los DJUA asociados a cada año en análisis, verificándose que la intensidad del ENSO no es determinante para que ocurra un derrame elevado. Por ejemplo, el más intenso fue el del 2015, sin embargo, el DJUA fue de 1882hm³; mientras que, en 2023 se registró un ONI de 0,8° C (moderado) y un derrame de 732hm³ (deficitario). Sin embargo, en el caso de los ríos mendocinos, se registraron derrames normales y por encima de lo normal; lo que refuerza la hipótesis de que el ENSO no es el único factor influyente en las nevadas en los Andes Áridos, actuando como un disparador. Por lo que se deberían buscar otros factores, ya sea atmosféricos u oceánicos que condicionan el efecto ENSO.

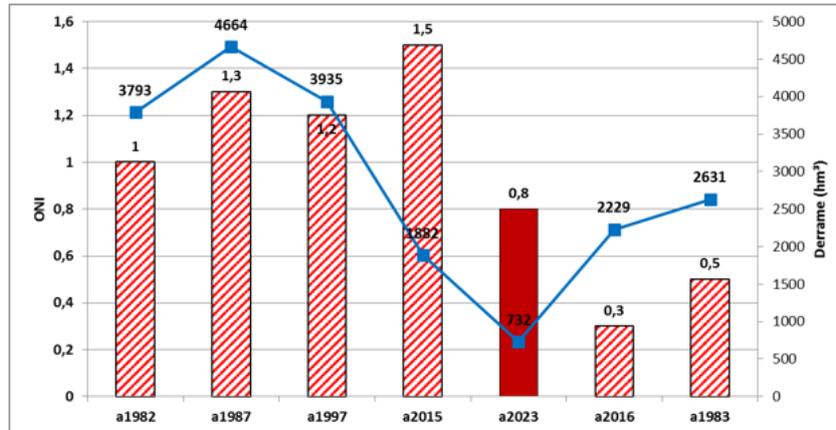


Figura 17: Anomalía anual de la temperatura según el ONI (barras bordó) en los fenómenos ENSO más relevantes desde 1980 y derrames anuales del río San Juan (hm³) asociados (línea azul).

La figura 18 muestra los índices de las regiones “Niño” calculados como anomalías de las SST medias mensuales; se observa la persistencia de la Niña 2020-2023 y la aparición del Niño 2023. Mientras que la fig. 19, se visualiza el estado de la PDO entre 1950 y 2023, desde enero de 2020 se encuentra en su fase negativa. Sin embargo, estadísticamente el ENSO aventaja a la PDO por 3 o 4 meses, por la teleconexión por medio de un puente atmosférico entre ellos, y de esta manera, se asocia un “Niño” con una PDO positiva, y viceversa.

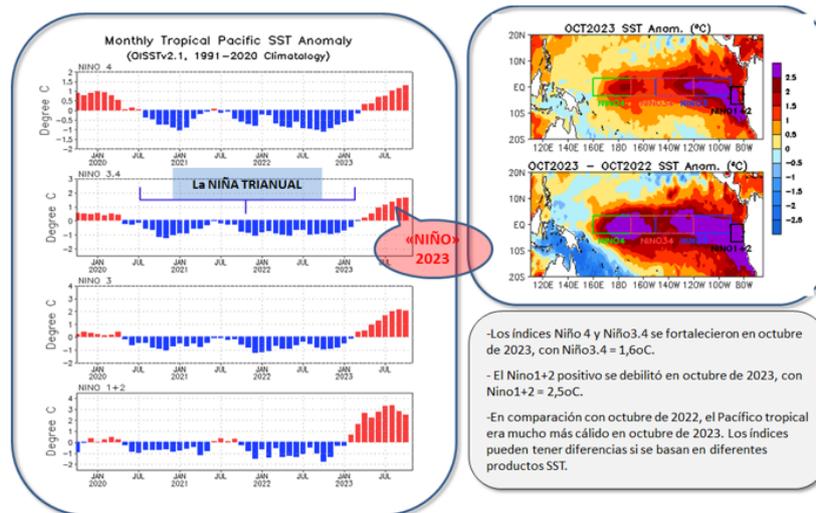


Figura 18: Estado del ENSO en sus distintas áreas desde enero del 2000 a septiembre de 2023.

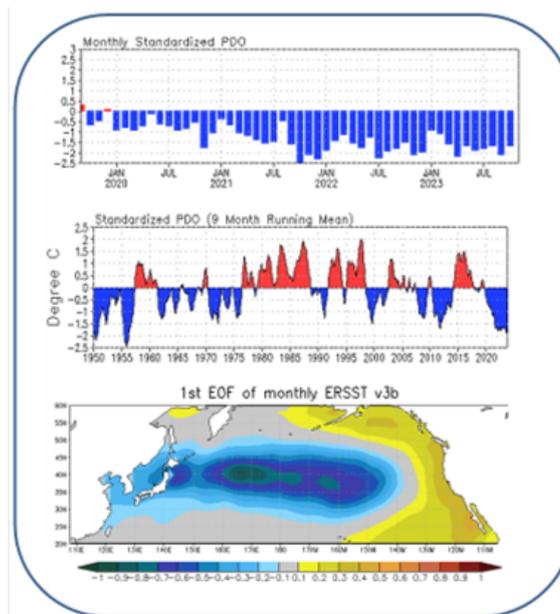


Figura 19: Estado de la PDO desde enero del 2000 a septiembre de 2023.

Se observa , que existe entre las latitudes 26° S y 53° S un canal isobárico de baja presión entre los meses de mayo a septiembre (fig. 20), que facilita el desplazamiento superficial de mecanismos precipitantes provenientes del sur y suroeste. Además, un núcleo de alta presión en Antofagasta, que por su ubicación, no influyó de manera positiva en el desplazamiento de mecanismos precipitantes. En el resto, se observa un área con presión normal.

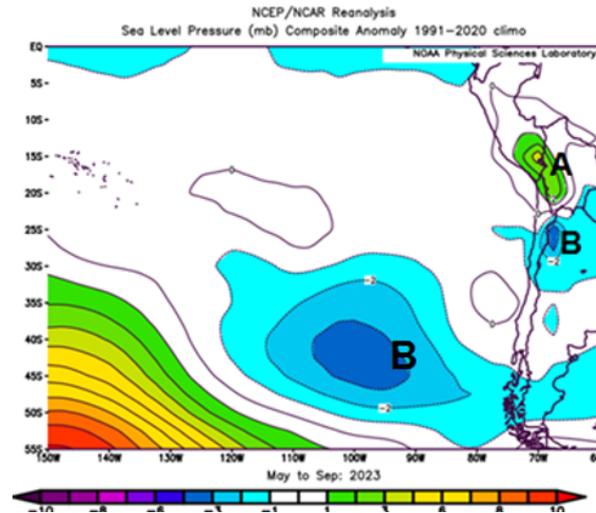


Figura 20: Anomalía de la presión a nivel del mar entre mayo y septiembre de 2023.

En la figura 21, se observa el promedio de la anomalía del geopotencial de los 500mb durante el mes de Julio. En la misma, se distinguen dos áreas con marcadas diferencias entre sí: al norte (Antofagasta – Coquimbo y áreas aledañas aledañas de Argentina) una dorsal y al sur una depresión que cruza el centro-sur de Chile. Esto induce, en el primer caso, un bloqueo en altura de los mecanismos precipitantes, y en el segundo, un canal isobárico de baja presión que promueve la llegada de frentes perpendiculares a la Cordillera, que en muchos casos tenían asociado un río atmosférico, mostrado en la figura 22 (Poblete, 2021).

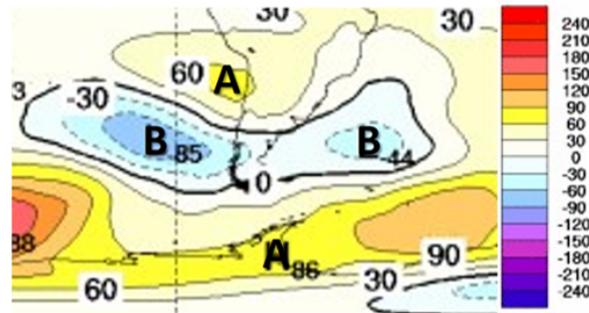


Figura 21: Anomalía del geopotencial de los 500mb en el mes de Julio de 2023. Fuente: Australian Bureau of Meteorology (BoM).

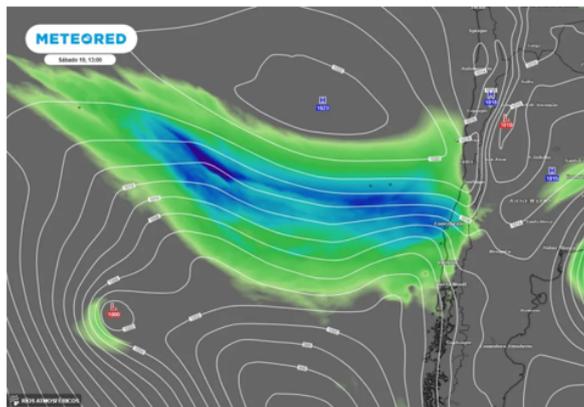


Figura 22: Río atmosférico presente el sábado 18 de agosto de 2023.

En la figura 23, se observa que entre los meses de mayo y septiembre, la disponibilidad de agua precipitable en los Andes Áridos se presentó normal, a excepción de la zona donde impactaron los ríos atmosféricos que produjeron el superavit ya mencionado en las cuencas Chile Central, Comahue y Mendoza.

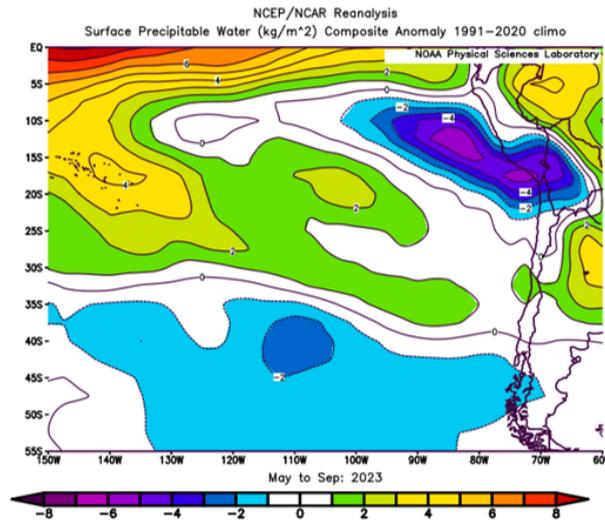


Figura 23: Anomalía de la disponibilidad de agua precipitable entre mayo y septiembre de 2023.

El viento zonal en los 250mb (fig. 24) muestra que la corriente en chorro se intensificó desde los 31° S hasta los 43° S, aproximadamente; factor que potenciaría la llegada de frentes con ríos atmosféricos asociados, que como se dijo, impactaron de manera perpendicular en el centro de Chile. Lo contrario ocurrió a partir de los 31° S hacia el norte, produciendo el efecto inverso.

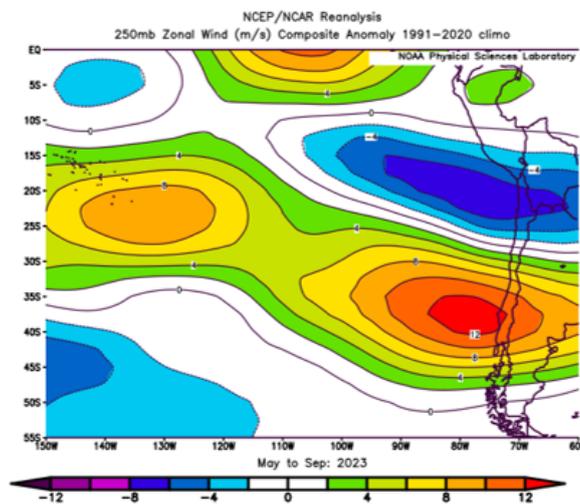


Figura 24: Anomalía del viento zonal en los 250mb entre mayo y septiembre de 2023.

4. Conclusiones

Para situar en el escenario en que se desarrolló la temporada nival 2023 se expone la secuencia de superávit/déficit de las mismas desde 1909 hasta la actualidad. En ella, se destacan dos sequías significativas: la primera, a mediados de la década de los 60; mientras que la segunda ocurre desde 2010 hasta la actualidad, conocida como “Megasequía”, interrumpida por un evento “Niño Godzilla” en 2015-2016. Los derrames anuales del río San Juan ordenados de manera decreciente muestran que el año 2021 fue el más escaso, con 536 Hm³. Se observa que de los 20 años más deficitarios, el 35 % corresponde a la Megasequía actual y el 25 % a la de los '60. En la temporada nival 2023, medida en la estación nivométrica de Horcones, se detectan dos períodos con continuidad de nevadas: el primero desde fines de junio hasta el 1 de agosto; y el segundo desde mediados de agosto hasta principios de

octubre, con un máximo el 12 de septiembre (227mm). Mientras que, en la estación Toscas se registraron precipitaciones nivales desde fines de junio hasta mediados de octubre; con un máximo también el 12 de septiembre (436mm). De la comparación de la cobertura nival del año 2023 con las respectivas producidas desde el 2000, se observa que fue superada por todas, a excepción del año 2021.

Las condiciones de borde imperantes en la temporada nival en análisis, fueron:

El ENSO mostró una anomalía de las SST más intensas en el Niño 1+2 (3,3° C) y Niño 3 (1,96° C); mientras que en el área 3+4 es de 1,3° C, debilitándose a 0,95° C en el Niño 4. Además, se observó que en el área Niño 3+4, hubo un crecimiento respecto de julio de 0,23° C. En el área donde generalmente se encuentra la “Mancha Cálida”, no se verifican anomalías positivas relevantes.

La PDO desde enero de 2020 se encuentra en su fase negativa. Sin embargo, estadísticamente el ENSO aventaja a la PDO por 3 o 4 meses, por su teleconexión desfasada por medio de un puente atmosférico entre ellos.

Se verificó entre las latitudes 26° S y 53° S un canal isobárico de baja presión entre los meses de mayo a septiembre, que facilitó el desplazamiento superficial de mecanismos precipitantes provenientes del sur y suroeste. En el resto, se observa un área con presión normal.

En el promedio de la anomalía del geopotencial de los 500mb durante el mes de Julio, se distinguen dos áreas con marcadas diferencias entre sí: al norte (Antofagasta – Coquimbo) una dorsal y al sur una depresión que cruza el centro-sur de Chile. Esto induce, en el primer caso, a un bloqueo en altura de los mecanismos precipitantes; y en el segundo, un canal isobárico de baja presión que promueve la llegada de frentes perpendiculares a la Cordillera, que en muchos casos tenían asociado un río atmosférico.

Entre los meses de mayo y septiembre, la disponibilidad de agua precipitable en los Andes Áridos se presentó normal, a excepción de la zona donde impactaron los ríos atmosféricos que produjeron el superavit de las cuencas de Chile Central y la Provincia de Mendoza.

El viento zonal en los 250mb mostró que la corriente en chorro se intensificó desde los 31° S hasta los 43° S, aproximadamente; factor que potenciaría la llegada de frentes con ríos atmosféricos asociados en el centro de Chile, y por ende, Mendoza y Comahue. La presencia de un Niño con intensidad moderada durante la temporada nival de 2023, propició la llegada de frentes con ríos atmosféricos asociados, hasta la Cordillera de Ansilta (lat. 32° S); como límite norte, dando lugar a precipitaciones superavitarias en los Andes Áridos aledaños a Chile Central, Mendoza y Comahue en Argentina. Sin embargo, la presencia de una cuña de bloqueo desde la latitud de 31° S hacia el norte, impidió que dicha situación se replicara en la mayor parte de la cuenca del río San Juan y la totalidad de la del río Jáchal.

Lo expuesto confirma que un evento ENSO, actúa como disparador del resto de los factores y de esta manera no se lo puede rotular como único determinante de los procesos nivales. Dadas las condiciones óptimas para que la Megasequía se trunque por la existencia de una cuña en el suroeste de Calingasta, esto ocurrió desde el paralelo de los 31° S hacia el sur, lo significa que los ríos de Mendoza, Comahue Y Patagonia alcanzaron su normalidad y en muchos la superaron, sin embargo, por un factor netamente atmosférico las cuencas de los ríos Jáchal y San Juan siguieron en el marco del periodo seco descripto.

5. Referencias Bibliográficas

- Barriga Ávila, N., 2019. Escenarios futuros de una muestra de los glaciares más representativos de la zona central de Chile, a partir de sus variaciones climáticas.
- Boninsegna, J. y Villalba, R., 2006. Los escenarios de Cambio Climático y el impacto en los caudales. Documento sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan en escenarios de Cambio Climático. SAyDS, Fundación e Instituto Torcuato Di Tella.
- Kisbye P. 2010. Test de Kolmogorov-Smirnov. FaMAF.
- Laprea Montealegre, Everaldo, 2019, “El derecho de la naturaleza: una aproximación interdisciplinaria de los estudios ambientales”. Universidad de los Andes. Bogotá.
- Lauro, C., Vich, A., Otta, S., Moreiras, S., P., Vaccarino E., & Mejías, L., 2021. Recursos hídricos superficiales de la vertiente oriental de los Andes Centrales (28°-37°S) en contexto de variabilidad hidrológica. Boletín de estudios geográficos, (116), 45-72.
- Leucci, C., 2015. El Niño 2015-2016 y los medios de comunicación. Maisel, L. 1973. Probabilidad y Estadística. Fondo educativo interamericano. México.
- Naciones Unidas para el Cambio Climático, 2022, La megasequía, el deshielo de los glaciares, las precipitaciones extremas y la deforestación acarrear graves efectos en América Latina y el Caribe.
- Otnes, R.K., 1972. Digital time series analysis. John Wiley & Sons, 467 pp.

- Poblete Arnobio, Minetti, Juan L. 2013. Variabilidad del Clima Asociado con la Precipitación y Caudales de ríos en Los Andes Centrales –Sudamérica-. Revista de Geografía. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Nro. 154. –Julio-diciembre de 2013- ISSN 0031-0581. Mexico.
- Poblete, A. G., & Hryciw, M. C. (2016). Variabilidad de las bajas y altas frecuencias de los principales factores que inciden en las precipitaciones nievales en los Andes Áridos. *Revista Geográfica*, (157), 51-72.
- Poblete, G; Vera, M. J., 2019, “Propuesta de un modelo para extender la serie de los derrames anuales del río San Juan desde 1909 a 1866 basado en las precipitaciones de Santiago de Chile”. *Boletín de Estudios Geográficos* N° 111. Instituto De Geografía -Facultad De Filosofía y Letras Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. ISSN 0374-6186/ISSN: 2525-1813 (digital).
- Poblete, A. G., & Minetti, J.L., 2017. Infiuye el calentamiento global en la disminución de las nevadas en los Andes Áridos. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(1), 11-29.
- Poblete, A. G., & Castro, M. A. A. (2021). Influencia del ENSO en los factores y agentes climáticos que inciden en las precipitaciones nievales de los Andes Áridos. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, (29), 078-078.
- Poblete, A. G., & Albeiro Castro, M. A., 2023. Análisis de los factores y agentes dinámicos que produjeron las sequías nivales más extremas en la cuenca del río San Juan y su entorno. *Revista Universitaria de Geografía*, 32(2), 147-161.
- Rivera, J., Lauro, C., & Otta, S. A. (2021b). Cuantificación del déficit hidrológico reciente en la región de Cuyo a partir de indicadores de caudales bajos. *Boletín de Estudios Geográficos*, 116, 23–44.
- Seria Ríos, S., 2023. Impactos del cambio climático en proyecciones de sequía meteorológica para sectores productivos agrícolas del río Cogotí, Región de Coquimbo, Chile.
- Tiempo de San Juan, 2021; El impacto de la sequía en los diques: menos agua para riego y sin producir casi energía.