

Análisis de los factores y agentes dinámicos que produjeron las sequías nivales más extremas en la cuenca del río San Juan y su entorno

Arnobio Germán Poblete*
María Agustina Albeiro Castro**

Resumen

La región de la cuenca del río San Juan y su entorno soportó entre 1909 y 2021 dos grandes períodos de sequía extrema, registrándose en 2021 la temporada nival más escasa desde 1909. Dichos intervalos deficitarios, repercuten no solo en la disponibilidad de agua para el consumo humano, sino también en el sector productivo y la infraestructura hídrica.

Esto motivó a los autores a indagar sobre la naturaleza de las sequías, ya que es fundamental para el estudio hidroclimático, sobretodo en dicha región.

Este trabajo estudia los factores y agentes climáticos dominantes que incidieron para que se produzcan años de sequía nival extrema, con el objeto de identificarlos y asignarles un orden de importancia, y de esa manera contar con la base física para la elaboración de downscaling a partir de modelos dinámicos y estadísticos de previsión, utilizándolos como posibles predictores de las temporadas nivales futuras.

Como conclusión, se obtiene que la complejidad de la concatenación de factores que generan las sequías nivales más severas en los Andes Áridos en la mayoría de los casos no son coincidentes ni periódicas; debido a que estos predictores no se asocian siempre de la misma manera; por lo cual el pronóstico es muy complejo.

Palabras claves: Nevadas, Sequía Extrema, Predictores.

^o DOI: <https://doi.org/10.52292/j.rug.2022.31.2.0062>

* Investigador, docente y doctor en Geografía. Instituto de Geografía Aplicada – Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes – Universidad Nacional de San Juan – República Argentina. agpoblete@gmail.com – ORCID 0000-0002-3165-5531

** Investigadora. Instituto de Geografía Aplicada – Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes Universidad Nacional de San Juan – República Argentina. magustina.albeiro@gmail.com – ORCID 0000-0003-0657-9546

Analysis of the factors and dynamic agents that produced the most extreme snowy droughts in the San Juan River basin and its surroundings

Abstract

Between 1909 and 2021, the region of the San Juan River basin and its surroundings endured two significant periods of extreme drought, registering 2021 as the scarcest snowy season since 1909. These deficit intervals have not only impacted on the availability of water for human consumption, but also affected the productive sector and water infrastructure. This prompted the authors to investigate the nature of these droughts, which is fundamental for hydroclimatic studies, particularly in this region.

This work studies the dominant climatic factors and agents that contributed to the occurrence of extreme snow drought, aiming to identify and assign them a level of importance, thus providing the physical basis for the development of downscaling from dynamic and statistical forecasting models, which can be used as potential predictors of future snow seasons.

In conclusion, it is found that the complexity of the interplay of factors leading to the most severe snow droughts in the Arid Andes in most cases are neither coincident nor periodic due to the fact that these predictors are not always associated in the same way; therefore, the prognosis is very complex.

Keywords: Snowfall, Extreme Drought, Predictors.

Introducción

La región de la cuenca del río San Juan y su entorno soportó entre 1909 y 2021 dos grandes períodos de sequía extrema, por su intensidad y duración: uno a fines de la década de 1960 y otro desde 2010 en adelante. En ese contexto, la temporada nival 2021 registró un mínimo en la Megasequía que están soportando Cuyo y Chile Central (Poblete y Albeiro, 2021; Flores y Aliaga, 2020; Garreaud et al., 2017; Garreaud, 2015), superando las de 1968 y 2019. Dichos períodos deficitarios repercuten no solo en la disponibilidad de agua para el consumo humano, sino también en el sector productivo y la infraestructura hídrica.

En el caso de la provincia de San Juan, la sequía de la década de 1960, motivó la construcción de un embalse de tamaño considerable, como es el Dique de Ullum (inaugurado en 1980), a raíz de que se registraran los caudales más pobres desde el año 1909, por lo que la provincia se vio seriamente comprometida en su economía (Ramlot, 1972). Por esa razón, también fue encarada la construcción de una batería de pozos en el Departamento Zonda que permitió, con muchas restricciones, salvar gran parte de la producción de esos años de extrema sequía, aunque llegaron a perderse unas 12.000 ha. Otras construcciones de la provincia, se realizaron durante el segundo período de sequía, ya que con las anteriores no fue suficiente. Ellas son: represa Los Caracoles (año 2009), represa Punta Negra (año 2015) y el Proyecto Hidroenergético El Tambolar (en construcción). Además, en los últimos años por la severidad y continuidad de la escasez de precipitaciones níveas, la provincia de San Juan integró un comité de crisis hídrica (Diario de Cuyo, 2021).

En el entorno, las crisis hídricas en las mismas épocas son muy estudiadas, ya que causan fenómenos similares a los de la provincia de San Juan, por lo que se distingue que es una problemática regional (Singer y Álvarez, 1975; Camus y Jaksic, 2021; Prieto et al., 2021).

Otros autores, consideran que es importante “detectar cambios en el régimen de escurrimiento de los ríos de la región de Cuyo” para describir sus fluctuaciones a mediano y largo plazo, y los factores dinámicos que inciden en ellas (Lauro, Vich y Moreiras, 2019, p. 30). El conocimiento de las sequías es fundamental para el estudio hidroclimático, ya que el agua en la periferia de los Andes Áridos, donde se encuentra el río San Juan, es el principal factor de desarrollo socioeconómico; debido a que la actividad agropecuaria intensiva localizada principalmente en el Valle de Tulum depende sustancialmente de la provisión de la misma, que procede de los ríos de régimen nival de alta montaña.

En este trabajo se indaga sobre los factores y agentes climáticos dominantes que incidieron para que se produzcan años de sequía nival extrema, con el objeto de identificarlos y asignarles un orden de importancia. De esa manera, se podrá contar con la base física para la elaboración de *downscaling* a partir de modelos dinámi-

cos y estadísticos de previsión/pronóstico, utilizándolos como posibles predictores de las temporadas nivales futuras.

Metodología

Para lograr el propósito de esta investigación, se identifican los años con déficit hídrico, provocados por la escasez de nevadas en los Andes Áridos, tomando como índice a los derrames anuales del río San Juan (DJUA); puesto que los autores consideran que representa la cantidad acumulada de precipitación nival en la temporada correspondiente (figura 3).

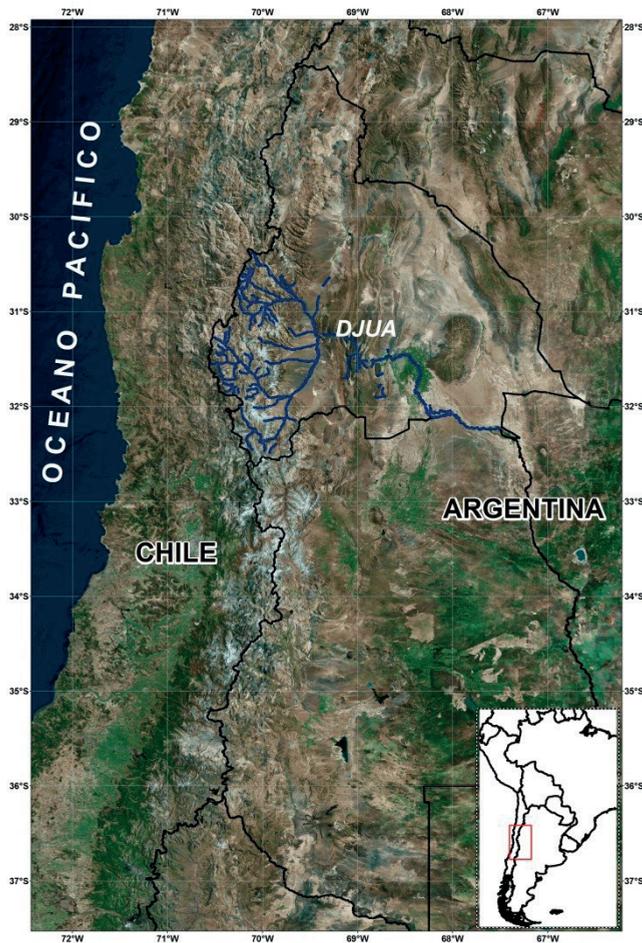


Figura 1. Localización del área de estudio. En azul se muestra la cuenca del río San Juan, con sus tributarios. Fuente: elaboración propia.

Recursos estadísticos utilizados

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

$$\text{La nueva variable: } z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

Con 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 ($S_z=1$). (Otnes y Enochson, 1972).

Pesos estandarizados: asignando la magnitud de la influencia de cada factor y/o agente detectado, a través de las medias móviles.

Medias móviles (*moving average*):

Dada una serie $y_t = f(t)$ se elige un desplazamiento (L) y se calcula la media sucesivamente, corriéndose dato a dato, empleándose la siguiente fórmula:

$$\underline{y}_t = \sum_{i=-k}^k w_i * y_{t+i} \quad (2)$$

Con w_i = peso i, tal que $\sum_{i=-k}^k w_i$ con $k = \frac{L-1}{2}$

Reanalysis del NCEP/NCAR (NOAA, 2020): realiza correlaciones con los registros/estimaciones grillados de las variables citadas en la figura 2 (ver en el anexo digital: <https://drive.google.com/file/d/1nzdJtkZP2DPvQcIqhP94p1IwylhAO4Bu/view?usp=sharing>), implementados por la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano –NOAA– (cuadrados de 4° de longitud y latitud). Por disponibilidad de datos de esta plataforma, se restringen los años en estudio entre 1948 y 2021.

A continuación, se explicarán los factores y agentes analizados en este trabajo:

Las temperaturas superficiales del mar (SST) en el área Niño 3+4: son integrantes del ENSO, fenómeno producto de la cupla océano–atmósfera. A la componente oceánica del mismo se la llama El Niño (EN); y la Oscilación del Sur (SO) la atmosférica, medida por las diferencias de las anomalías de presión entre Tahití y puerto Darwin en Australia (ver figura 3 en anexo digital: <https://drive.google.com/file/d/1porNmv81sMCTpmnyQK03xkZ5f5tbObds/view?usp=sharing>). La componente cálida (Niño) del ENSO resulta un factor favorable a los procesos niveos, mientras que los fríos (Niña) son inhibitorios. Sin embargo, dominan los neutros que dan paso al resto de los factores incidentes (Poblete y Vera, 2017).

ONI: es el índice oceánico del Niño, siendo uno de los más utilizados para la definición de los eventos cálidos y fríos ($\leq -0,5^{\circ}\text{C}$ = Niña; $\geq +0,5$ = Niño).

La actividad del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (ASPSO): tiene su origen dinámico en la subsidencia provocada por el descenso del contraaliso, propio de la Celda de Hadley, resultando seco y caliente. Constituye un sistema meteorológico que está posicionado casi de forma permanente frente a las costas de Chile a nivel de superficie. Resulta un factor negativo para la caída de nieve, entre otras influencias, como la de hacer fluir agua fría subantártica, generando de esta manera la llamada Corriente Fría de Humboldt.

Corriente de Humboldt: su temperatura depende de la intensidad del ASPSO, mientras más intenso, más fría es: inhibe el almacenamiento de vapor de agua en el aire costero, resultando desfavorable como fuente de humedad; y viceversa.

Humedad específica: es la cantidad de gramos de vapor de agua por kilo de aire.

Westerlies: constituyen los vientos del oeste predominantes en la tropósfera media y superior. Su origen es producto de la variación vertical de la presión con la latitud. Es decir, que se generan por un gradiente de presión que es causado, en la mayoría de los casos, por la variabilidad de la temperatura. Son resultado del contraste térmico incrementado por el aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales han causado un marcado calentamiento en la tropósfera alta sobre los trópicos y subtropicos, mientras que la disminución del ozono ha producido un enfriamiento de la estratósfera sobre latitudes altas del hemisferio sur. Cuando la diferencia entre ellos es muy grande por la presurización del ASPSO inducida por la Hot Blob, que también intensifica las bajas presiones en el mar de Amundsen – Bellingshausen, el flujo se acelera (Poblete y Albeiro, 2021).

Geopotencial de los 500 mb: es la altura en la que se encuentra esta presión dentro de la atmósfera; que en términos medios, es a los 5500 msnm.

Resultados y discusión

Haciendo uso del índice implementado (DJUA) para estimar el monto de las nevadas, se realiza la identificación de los períodos secos y húmedos, mediante el siguiente procedimiento:

Con el objeto de detectar los años con sequía nival, se realiza una serie estandarizada del DJUA, que se muestra en la figura 4. En la misma se observa que los períodos secos presentan una anomalía de mayor duración pero de menor intensidad que los húmedos.

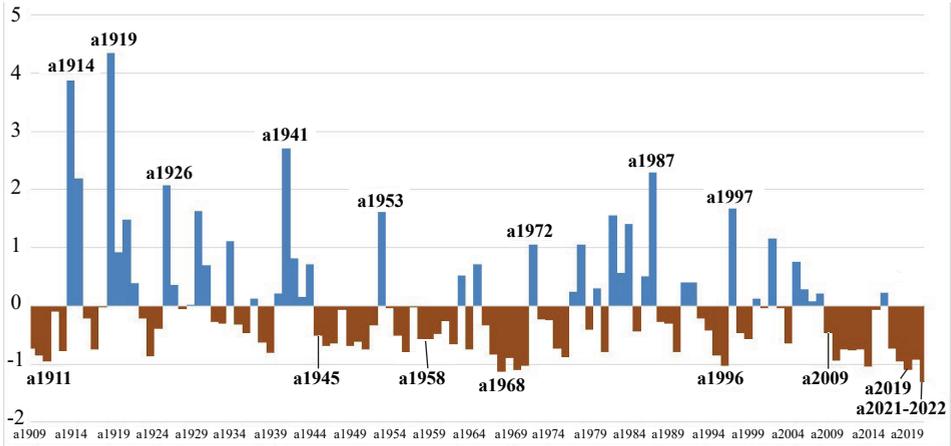


Figura 4. Serie temporal estandarizada del DJUA (1909 – 2021). Fuente: elaboración propia.

Habiendo identificado los años deficitarios, se los ordena de menor a mayor magnitud, con el propósito de realizar un ranking de la severidad de las sequías, y de esa manera poder determinar la influencia de los factores y agentes dinámicos que las originan.

| RANKING | AÑO | DJUA | RANKING | AÑO | DJUA |
|---------|-------|------|---------|-------|--------|
| 1 | a2021 | 425 | 16 | a1995 | 956 |
| 2 | a1968 | 627 | 17 | a1967 | 977 |
| 3 | a2019 | 650 | 18 | a1956 | 989 |
| 4 | a1970 | 662 | 19 | a1939 | 1010 |
| 5 | a2014 | 724 | 20 | a1990 | 1018 |
| 6 | a1971 | 742 | 21 | a1981 | 1026 |
| 7 | a1996 | 743 | 22 | a1913 | 1040 |
| 8 | a2018 | 825 | 23 | a2012 | 1051.5 |
| 9 | a1911 | 834 | 24 | a1917 | 1068 |
| 10 | a2010 | 854 | 25 | a1951 | 1069 |
| 11 | a2020 | 860 | 26 | a2013 | 1070.7 |
| 12 | a1969 | 892 | 27 | a1964 | 1076 |
| 13 | a1976 | 910 | 28 | a2011 | 1082.5 |
| 14 | a1924 | 937 | 29 | a1975 | 1086 |
| 15 | a1910 | 944 | 30 | a2017 | 1090 |

Tabla I. Ranking de años nivales secos valuados por el DJUA en hm³. En celeste se identifican los pertenecientes a la sequía de “los ‘60”; y en verde a la Megasequía vigente. Fuente: elaboración propia.

La Tabla I, muestra los años deficitarios ordenados, destacando los pertenecientes a los períodos secos más relevantes: el “de los ‘60” y la actual Megasequía (Garreaud et al., 2020); que si bien no tienen una continuidad ordinal, están entre los 30 derrames más bajos que ha experimentado el río San Juan desde 1909.

Análisis dinámico de los factores y agentes que generaron las principales sequías

Como se mencionó anteriormente, el fin de este estudio es identificar cuáles fueron los factores y agentes atmosféricos que generaron cada una de las principales sequías nivales identificadas.

Para ello, se realiza el siguiente análisis dinámico, teniendo en cuenta: El Niño Oscilación del Sur (ENSO) estimado por el Índice de Oceánico del Niño (ONI) y la anomalía de las temperaturas superficiales a nivel del mar (SST) en el área Niño3.4 (N3+4), el Anticiclón Subtropical de Pacífico Sur Oriental (ASPSO) valuado con la anomalía de la presión atmosférica de Santiago de Chile (PSGO), el geopotencial de los 500 mb (500MB) y la humedad específica (g/kg).

Estos son elegidos ya que la disponibilidad de humedad para que existan precipitaciones nivales es la condición necesaria, y los demás factores mencionados constituyen la condición suficiente.

En la Tabla II (ver en anexo digital: <https://drive.google.com/file/d/1qakZsEmNBiQCL3j030f0wnibrmJhR0xy/view?usp=sharing>) se aprecia que los factores negativos determinantes para los dos años más secos del río San Juan son:

- 2021 (1°): el remanente de una Niña muy intensa (abr -0,7; may -0,5; jun -0,4; jul -0,4; ago -0,5) y el consecuente enfriamiento de la costa del océano Pacífico; junto con un aporte negativo moderado de los *Westerlies* y el geopotencial de los 500 mb. Como resultado, la nieve precipitada fue deficitaria en un 77% respecto de la normal. De lo que se infiere que el derrame anual del río San Juan solo traería 425 hm³, para 2021-2022 (Pobete et al., 2021). Proyección que es acorde al formulado por la Dirección de Hidráulica de San Juan que estimó 450 hm³, y con el Proyecto Gestión Cuencas Hidrográficas de la UNSJ con una media probable de 433 hm³ (Diario de Cuyo, 2021).
- 1968 (2°): humedad específica deficitaria asociada a un océano Pacífico frío en la costa de Chile y *Westerlies* muy intensos.

Mientras que, los más representativos de los períodos de sequía, correspondiente a “los ‘60” y a la Megasequía fueron, por su posición en el ranking:

- 2019 (3°): con cuñas de bloqueo en los 500 mb y presencia de vientos constantes del oeste en la costa, canalizados hacia el Comahue.
- 1970 (4°): domina una Niña en los meses en los que se esperan mayores nevadas en la región de los Andes Áridos (Jun = -0,3; Jul = -0,6; Ago = -0,8), complementada con un déficit de humedad específica.
- 2014 (5°): debido a una indefinición marcada en el resto de los factores, se atribuye a la intensidad de los *Westerlies* como el principal causante de esta temporada deficitaria.
- 1971 (6°): una fuerte Niña (Jun = -0,7; Jul = -0,8; Ago = -0,8) junto con un marcado déficit de humedad específica en la costa pacífica adyacente.

Inicio de la Megasequía

- 2010 (10°): representa el inicio de la actual Megasequía en el cual todos los factores adversos a las nevadas se asociaron: una fuerte Niña (Jun = -0,7; Jul = -1; Ago = -1,3), una moderada anomalía positiva en el ASPSO que se extiende en altura por medio de un geopotencial intensificado significativamente y un marcado déficit de humedad tanto en los Andes Áridos como en su entorno.
- 2011 (21°): representa dinámicamente la continuidad del año anterior, puesto que todos los factores negativos también se conjugaron: una Niña (Jun = -0,4; Jul = -0,5; Ago = -0,6); un anticiclón presurizado, asociado a un geopotencial con anomalías positivas en el centro del océano Pacífico, que sin embargo disminuyen hasta hacerse nulas en los Andes Áridos; y una muy deficitaria humedad específica.

En ambos casos, se produjo un aumento de la temperatura en el este de Nueva Zelanda, llamado *Hot Blob* (Poblete y Albeiro, 2021).

Cuantificación de la incidencia de los factores identificados como generadores de las sequías

Se realiza un análisis cuantitativo con el objeto de determinar el porcentaje de incidencia sobre el déficit de nevadas de cada uno de los factores evaluados. Para ello, se asignan pesos estandarizados (haciendo que los totales asignados para cada año sumen 1) a los mismos.

| RANKING | AÑO | ENSO | ASPSO | 500 MB | H.E. | PACÍFICO FRÍO | WESTERLIES |
|---------|------|------|-------|--------|------|---------------|------------|
| 1 | 2021 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | | 0,2 | 0,2 |
| 2 | 1968 | | | | 0,4 | 0,2 | 0,4 |
| 3 | 2019 | | | 0,7 | | | 0,3 |
| 4 | 1970 | 0,4 | | | 0,3 | | 0,3 |
| 5 | 2014 | | | 0,2 | | 0,2 | 0,6 |
| 6 | 1971 | 0,6 | | | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| 7 | 1996 | | 0,4 | | 0,6 | | |
| 8 | 2018 | | 0,3 | 0,5 | | | 0,2 |
| 9 | 2010 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | |
| 10 | 2020 | 0,2 | | 0,5 | | | 0,3 |
| 11 | 1969 | | | | | 0,2 | 0,8 |
| 12 | 1976 | | 0,3 | 0,3 | 0,2 | | 0,2 |
| 13 | 1995 | | | | | | |
| 14 | 1967 | | | | 0,7 | 0,3 | |
| 15 | 1956 | 0,7 | | | | 0,2 | 0,1 |
| 16 | 2012 | | | 0,8 | | | 0,2 |
| 17 | 2013 | | 0,2 | 0,5 | 0,2 | | 0,1 |
| 18 | 2011 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | | 0,1 |
| 19 | 2017 | | 0,4 | 0,3 | 0,1 | | 0,2 |

Tabla III. Influencia de cada factor en su respectivo año. Fuente: elaboración propia.

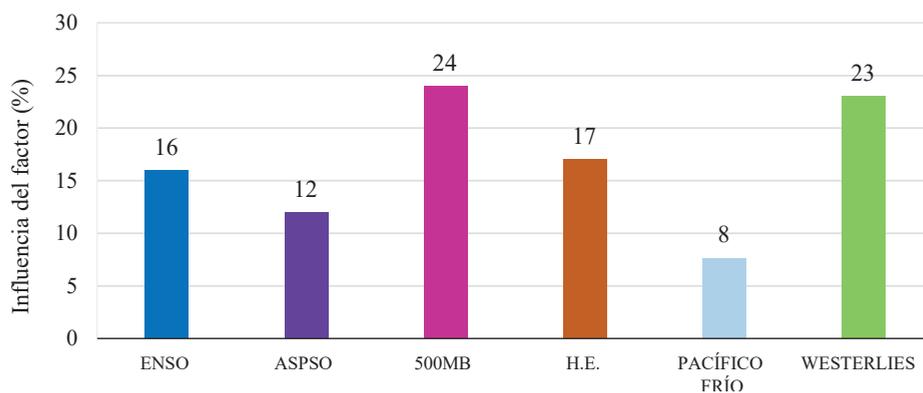


Figura 5. Influencia de cada factor en porcentajes. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla III y la Figura 5, se verifica que el más importante es el geopotencial de los 500 MB (24 %), seguido de los vientos constantes del oeste (23 %), después la humedad específica (17%), luego el ENSO (16 %), seguido del ASPSO (12 %), y por último, la temperatura del océano Pacífico en la costa chilena (8 %) que está conectada con un ASPSO más intenso, por el aumento del flujo de agua subantártica.

Años anteriores a 1948

Debido a la carencia de imágenes que abarquen todas las variables analizadas en los años anteriores a 1948, salvo para el ENSO que se evalúa con la serie extendida de la SST de la NOAA (Administración Nacional del Océano y la Atmósfera); se tienen en cuenta las sequías ocurridas en ese período, pero analizándolas a la luz de los factores con disponibilidad de información, es decir: el ENSO, valuado con la temperatura superficial del mar en el área Niño3+4 (N3+4) y la Oscilación Decadal Pacífica (PDO) estandarizada; para los años posicionados en el 9° (1911), 14° (1911) y 15° (1924) lugar en el ranking de sequía, por ser los de más importancia a pesar de no estar circunscriptos en ninguno de los dos períodos analizados.

En 1910, en el período nival tanto el ENSO ($N3+4 = -1,1 = \text{“Niña”}$) como la PDO (-0,7) contribuyeron al déficit de nevadas; mientras que en 1911 y 1924, solo la PDO influye negativamente (-0,5 y -0,6; respectivamente) puesto que, tanto las figuras del ENSO como el índice N3+4 (-0,5 y -0,7; respectivamente), apuntan a una neutralidad. En los tres años se da la ocurrencia de una corriente de Humboldt fría, que podría estar asociada a un ASPSO intenso (ver Tabla IV en anexo digital: <https://drive.google.com/file/d/1hEMh7fUkRubJyLuz4pEVkavYOuoMFqWb/view?usp=sharing>).

Conclusiones

Se determinaron los factores y agentes climáticos dominantes que incidieron para que se produzcan años de sequía extrema valuadas con la serie estandarizada del DJUA, que permitió realizar un ranking de los mismos, del cual se determinaron dos períodos secos más relevantes: el “de los ‘60” y la actual Megasequía; que si bien no tienen una continuidad ordinal, están entre los 30 derrames más bajos que ha experimentado el río San Juan desde 1909.

Los resultados obtenidos fueron que los factores negativos determinantes para los dos años más secos fueron:

- 2021 (1°): el remanente de una Niña muy intensa y el consecuente enfriamiento de la costa del océano Pacífico; junto con un aporte negativo moderado de los *Westerlies* y el geopotencial de los 500 mb.

- 1968 (2°): humedad específica deficitaria asociada a un océano Pacífico frío en la costa de Chile y *Westerlies* muy intensos.
- Los años más representativos de los períodos de sequía con sus correspondientes posiciones en el ranking, asociados a los factores negativos que los produjeron, son:
- 2019 (3°): cuñas de bloqueo en los 500 mb y presencia de vientos constantes del oeste en la costa, canalizados hacia el Comahue.
- 1970 (4°): domina una Niña en los meses en los que se esperan mayores nevadas en la región de los Andes Áridos, complementada con un déficit de humedad específica.
- 2014 (5°): *Westerlies* intensos serían el principal causante.
- 1971 (6°): una fuerte Niña junto con un marcado déficit de humedad específica en la costa pacífica adyacente.
- 2010 (10°): representa el inicio de la actual Megasequía en el cual todos los factores adversos a las nevadas identificados en este trabajo se asociaron: una fuerte Niña, una moderada anomalía positiva en el ASPSO que se extiende en altura por medio de un geopotencial intensificado significativamente y un marcado déficit de humedad tanto en los Andes Áridos como en su entorno.
- 2011 (21°): representa dinámicamente la continuidad del año anterior, puesto que al igual que el mismo, todos los factores negativos también se conjugaron.

Del análisis cuantitativo de los factores se obtiene que el más importante es el geopotencial de los 500 MB (24 %), seguido de los vientos constantes del oeste (23 %), después la humedad específica (17 %), luego el ENSO (16 %), seguido del ASPSO (12 %), y por último, la temperatura del océano Pacífico en la costa chilena (8 %) que está conectada con un ASPSO más intenso, por el aumento del flujo de agua subantártica.

De los años con sequía identificados en el ranking, que son anteriores a 1948, se concluye que:

- 1910: tanto el ENSO como la PDO contribuyeron al déficit de nevadas.
- 1911 y 1924: solo la PDO influye negativamente, puesto que el ENSO apunta a una neutralidad.

En estos tres años se da la ocurrencia de una corriente de Humboldt fría, que podría estar asociada a un ASPSO intenso.

De lo expuesto, se colige que los factores negativos más relevantes en las sequías son: el geopotencial de los 500 mb y en segundo lugar los *Westerlies*.

El primero, es determinante en su rol de bloqueo (en ese nivel) de los mecanismos precipitantes (condición suficiente) provenientes de áreas subpolares, y además contribuye a la presurización del ASPSO que cumple múltiples funciones en el resto de los factores negativos, puesto que por subsidencia refuerza la escasa disponibilidad de humedad (condición necesaria) debido al enfriamiento de la costa pacífica chilena.

Los *Westerlies* son el segundo factor negativo debido a que representan al contraste térmico generado por el aumento de los GEI y el enfriamiento de la estratósfera en latitudes altas (*jet polar*) que induce a que los mismos se intensifiquen en alturas más cercanas a la superficie.

Se mostró la complejidad de la concatenación de factores que generan las sequías nivales más severas en los Andes Áridos y que, en la mayoría de los casos, no son coincidentes ni periódicas; por lo cual no existe un patrón modelable que pronostique con una adecuada precisión la ocurrencia de una nueva sequía o su continuidad, debido a que estos predictores no se asocian siempre de la misma manera.

Financiación

Proyecto Análisis del Posible Impacto del Cambio Climático Global en los Recursos Hídricos, Ambiente y Confort Humano en las Regiones de Cuyo y Chile Central. CICITCA-UNSJ. Res. 591/20-CS-UNSJ.

Agradecimientos

Al Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IDIH) –Universidad Nacional de San Juan– por el lugar de trabajo.

Referencias

Flores, C. y Aliaga, M., (2020). *Diagnóstico del estado hidrogeológico de la Cuenca del Limarí*. Dirección General de Aguas. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.

Camus, P. y Jaksic, F. (2021). La gran sequía de 1968: efectos sociopolíticos y crisis de la democracia en Chile. *Revista de historia (Concepción)*, 28(2), 271-293. doi: <https://dx.doi.org/10.29393/rh28-34gspf20034>

Diario de Cuyo (20 de noviembre de 2021). *Documento ante la crisis hídrica*. Diario de Cuyo. diariodecuyo.com.ar/.

Garreaud, R. D., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M. y Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and earth system sciences*, 21(12), 6307-6327. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>

Garreaud, R. D. (2015). *El Niño que nos dejó esperando*. Departamento de Geofísica, Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H. y Veloso-Aguila, D. (2020). The central Chile mega drought (2010–2018): a climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421-439. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.6219>

Lauro, C., Vich, A., y Moreiras, S. M. (2015). Variabilidad del régimen fluvial en cuencas de la región de Cuyo. *Geoacta*, 40(2), 28-51.

NOAA (2020). National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 1994, updated monthly. NCEP/NCAR Global Reanalysis Products, 1948-continuing. Research Data Archive at NOAA/PSL: [/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html](http://data/gridded/data.ncep.reanalysis.html).

Otnes, R. K. y Enochson, L. (1972). *Digital time series analysis*. Nueva York: John Wiley & Sons.

Escribá, K. G. y Poblete, A. G. (2020). Caracterización estadística y dinámica del clima de Pampa El Leoncito y su entorno (Calingasta-San Juan). *Revista Geográfica digital*, 17(33), 29-43. doi: <http://dx.doi.org/10.30972/geo.17334103>

Poblete, A. G., y Albeiro, M. A. (2021). Influencia del ENSO en los factores y agentes climáticos que inciden en las precipitaciones níveas de los Andes Áridos. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, (29), 078-078.

Poblete, A. G., y Vera, M. J. (2017). Cuantificación de la incidencia del ENSO en las nevadas de los Andes Áridos de Sudamérica en el periodo 1909-2015. *Geográfica digital*, 14(27), 1-15.

Prieto et. al (2021). Sequías extremas en Mendoza durante el siglo XX y principios del XXI. Administración de la carencia y conflictos socio-políticos. En: A. G. Zarrilli y M. Ruffini, *Medio Ambiente y transformación rural en la Argentina contemporánea* (pp. 1-20). Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes.

Ramlot, M. (1972). *Hacia un porvenir de la región cuyana*. Mendoza: Instituto de Estudios del Desarrollo del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNC.

Singer, H. S. y Álvarez, O. P. (1975). Un aporte al estudio de la sequía en Chile. *Revista Geográfica*, 83, 109–125.

Fecha de recepción: 3 de julio de 2022

Fecha de aceptación: 9 de abril de 2023

© 2023 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 2.5 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es_AR