

ANÁLISIS DE LA TEMPORADA NIVAL 2015 QUE INTERRUPIÓ LA SEQUÍA EN LOS ANDES ÁRIDOS INICIADA EN 2010

Arnobio G. Poblete

Instituto de Geografía Aplicada – Departamento de Geografía de la UNSJ
agpoblete@gmail.com

Maira Antonella Atencio

Instituto de Geografía Aplicada – Departamento de Geografía de la UNSJ
atenciomaira@gmail.com

Paola Belen Monroy

Instituto de Geografía Aplicada – Departamento de Geografía de la UNSJ
aloapneleb_88@hotmail.com

Maria Jose Vera

Instituto de Geografía Aplicada – Departamento de Geografía de la UNSJ
mariajosevera42@gmail.com

[FECHA ENTREGA 10/06/2016 - FECHA APROBADO 20/06/2016]

1. RESUMEN

A nivel mundial existe un creciente interés en investigar sobre la disponibilidad de los recursos hídricos a escala global. En ese contexto, las regiones de Cuyo y Chile Central sufrieron las consecuencias de una sequía nival en los Andes Áridos, que comenzó en 2010 con temporadas hídricas deficitarias hasta 2014. Sin embargo, las nevadas del 2015 interrumpen a la misma debido a las condiciones de borde favorables por la presencia de un evento El Niño muy significativo en el área 3+4 (SSTN3+4), sumado a un Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur Oriental (ASPSO) debilitado y una Oscilación Decadal Pacífica (PDO) positiva, condiciones que auguraban intensas nevadas, pero que se materializó de manera muy irregular.

Lo descripto refuerza la necesidad de investigar con mayor detalle el proceso nival en el área estudio con el propósito describir cualitativamente y analizar estadísticamente esta singular temporada con énfasis en explicar

los episodios extremos como resultado de los forzantes que la produjeron.

Se comprobó que la temporada nival 2015 fue muy irregular y atípica puesto que antes del 4 de julio precipitaron nevadas insignificantes, pero a partir del 12 de ese mes las que se produjeron fueron muy importantes, registrándose la mayor de la temporada entre el 5 y 9 de agosto, mientras que, en setiembre hubo precipitaciones nivales de menor cuantía, inferiores a las caídas en octubre.

Comparada con los periodos normales, la secuencia nival de 2015 se muestra totalmente disímil por su asimetría, sin embargo por el volumen acumulado, en el lapso abril-octubre, se generó un derrame del río San Juan de 1890 Hm³, muy superior al de la temporada anterior que fue solo de 900 Hm³. Otro elemento a tener en cuenta para el pronóstico de los caudales estivales, es la primavera anormalmente fría que coadyuvó a que la ablación se retarde respecto de otros años.

2. ABSTRACT

Globally there is a growing interest in research on the availability of water resources globally. In this context, the regions of Cuyo and Central Chile suffered the consequences of a snowy drought in the arid Andes that began in 2010 with loss-water seasons until 2014. However, in 2015 interrupted due to conditions favorable edge by the presence a very significant increase in the area 3 + 4 (SSTN3 + 4), added to a Subtropical South Pacific anticyclone Oriental (ASPSO) weakened and positive Decadal Oscillation Pacific (PDO), conditions predicted heavy snow event El Niño, but He materialized very irregular.

Described reinforces the need to further investigate the snowy process in the study area with purpose to describe qualitatively and statistically analyze this unique season with emphasis on explaining the extreme events as a result of the forcings that produced it.

It was found that the snowy season 2015 was very irregular and atypical since before July 4 had insignificant snowfall, but from the 12th of the month which occurred were very important, with most of the season between 5 and 9 August, while in September there were minor nivales rainfall, lower falls in October.

Compared to normal periods, the nival sequence 2015 shown totally dissimilar by its asymmetry, however, by the accumulated volume in the period from April to October, a runoff of the San Juan River 1890 Hm³,

much higher than the generated Last season was only 900 Hm³. Another element to consider for forecasting summer flows, is the unusually cold spring which contributed to the ablation is delayed compared to other years.

3. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe un creciente interés en investigar sobre la disponibilidad de los recursos hídricos a escala global, debido al crecimiento sostenido de la población y a la mayor presión que las sociedades modernas ejercen sobre las demandas en la cantidad y calidad del agua, (Vorosmarty, C.J. et al. ,2013).

Esto se manifiesta en Cuyo con la preocupación de los agricultores por la sequía agrícola que se produce cuando las reservas hídricas disponibles no son capaces de satisfacer las demandas de agua de los cultivos, (Ramlot, M. J. P., 1970).

En ese contexto, las regiones de Cuyo y Chile Central sufrieron las consecuencias de una sequía nival en los Andes Áridos que comenzó en 2010 con temporadas hídricas deficitarias hasta 2014. Sin embargo, la de 2015 produjo la interrupción de aquella respondiendo

a las condiciones de borde favorables, dadas por un escenario hemisférico dominado por la presencia de un evento El Niño muy significativo y pronunciado en el área 3+4 (SSTN3+4), sumado a un Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur Oriental (ASPSO) debilitado y una Oscilación Decadal Pacífica (PDO) positiva; condiciones que auguraban una precipitación nivea intensa, no obstante, se materializó con una temporada muy irregular (Poblete et. al., 2016).

El panorama descripto refuerza la necesidad de investigar con mayor detalle el proceso nival de la región en estudio como resultado de los forzantes que la produjeron.

De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se tiene como propósito describir el escenario climático que dio lugar a esta singular temporada y analizarla estadísticamente con énfasis en explicar los episodios extremos.

4. DATOS Y MÉTODOS

A causa de la insuficiencia de mediciones nivales que abarquen un período mayor que 100 años en los Andes Áridos (ver figura 1), se emplean como índice para estimarlas a los registros de los derrames anuales del río San Juan (DJUA- figura 2-) en el período 1909-2014, puesto que cuantifican lo sucedido en la temporada nival correspondiente (Poblete, 2013). Los mismos

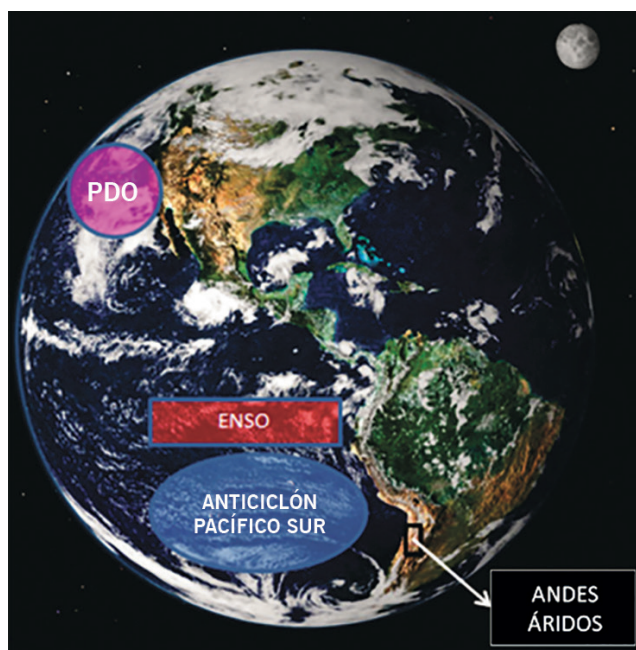


Figura 1: Ubicación del área de estudio y de los factores analizados en este trabajo. Elaboración propia.

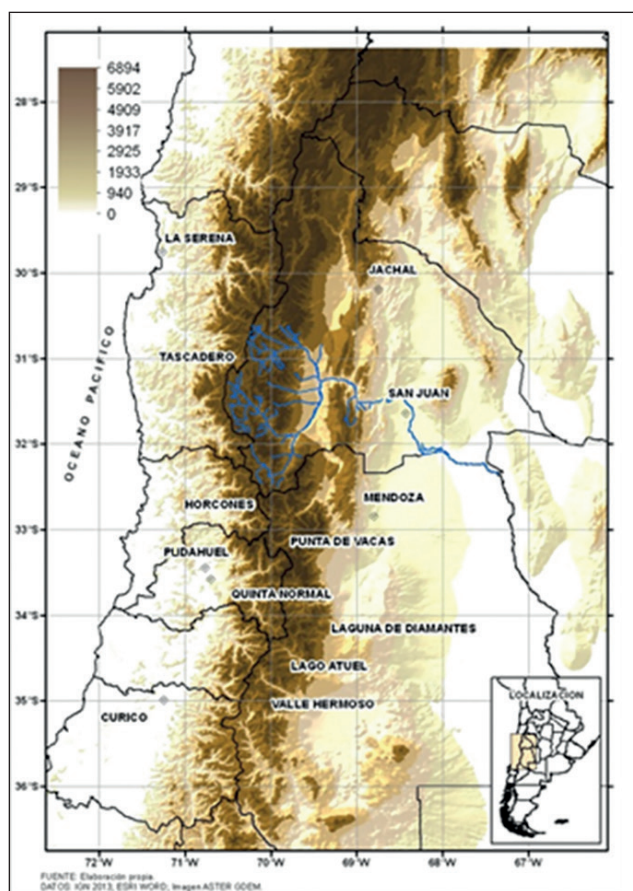


Figura 2 : Ubicación de las estaciones de medición en el área de estudio y del índice que la representa en azul (río San Juan-DJUA-). Adaptado de Viale (2010).

fueron aportados por el Departamento de Hidráulica de la Provincia de San Juan y la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2014). Las mediciones de nieve de la temporada abril-septiembre fueron descargados de la estación Tascadero, pertenecientes a la red que administra CEAZA (Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, <http://www.ceaza.cl/>), localizada en Chile a pocos Km al oeste de la cuenca del río San Juan - Figura 2.

Las SSTN3+4 fueron obtenidas del sitio <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/>, los del ASPSO recopilados de diversas fuentes tales como La Dirección Meteorológica de Chile, Laboratorio Climatológico Sudamericano sede NOAA y otras vía internet. Los de la PDO descargados del sitio <http://jisao.washington.edu/pdo/>. La ubicación aproximada de los mismos se muestra en la figura 1 y 2.

Se utilizaron las herramientas estadísticas usuales entre las que se destaca:

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 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 ($Z = 0$) y desviación típica = 1 ($S_z = 1$). (Siegel, S. y Castellan, N, 1988).

Medias Móviles

Consisten en una serie de medias aritméticas (simples o ponderadas) calculadas a lo largo del tiempo para un período de duración seleccionado L . O sea:

$${}_L\bar{Y}_i = \frac{1}{L} \sum_{t=(i-L)/2}^{(i+L)/2} Y_{i+t} \quad (2)$$

Nótese que lo ideal es que L sea impar para que la media móvil ${}_L\bar{Y}_i$ esté centrada en el período t_k donde k es el subíndice correspondiente a la misma. Los datos que se pierden son los $(L-1)/2$ primeros y los $(L-1)/2$ últimos de la serie (Montgomery, et al. 2008).

Tests de Spearman

Se usa para estimar la significación de la tendencia de una serie temporal.

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

Donde 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:

$$t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \quad (4)$$

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

Si $|t| \leq t_T$ no hay tendencia significativa al α %, en los datos. (Siegel, S. y Castellan, N, 1988).

Test de Mann-Kendall (MK).

El estadístico univariado de MK para una serie temporal $\{Z_k, k = 1, 2, \dots, n\}$ de datos se define como:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(T_j - T_i)$$

$$\text{Sign}(T_j - T_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } T_j - T_i > 0 \\ 0 & \text{if } T_j - T_i = 0 \\ -1 & \text{if } T_j - T_i < 0 \end{cases}$$

$$T = \square_{j < i} \text{sgn}(Z_i - Z_j) \quad (5)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{if } x = 0 \\ -1, & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

Si no hay ligaduras (rangos iguales) entre las observaciones y no existe una tendencia en la serie de tiempo, el resultado se distribuye asintóticamente normal con:

$$E(T) = 0 \quad \text{y} \quad \text{Var}(T) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (6)$$

(Siegel, S. y Castellan, N, 1988).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de examinar la secuencia temporal de las nevadas registradas entre abril- septiembre, se decide describir las condiciones de borde imperantes a mediados del mes de julio 2015, como representativas de la

situación media en el periodo en el que se registraron las más significativas, con el objeto de caracterizar climáticamente el escenario que produjo el proceso nival que se investiga.

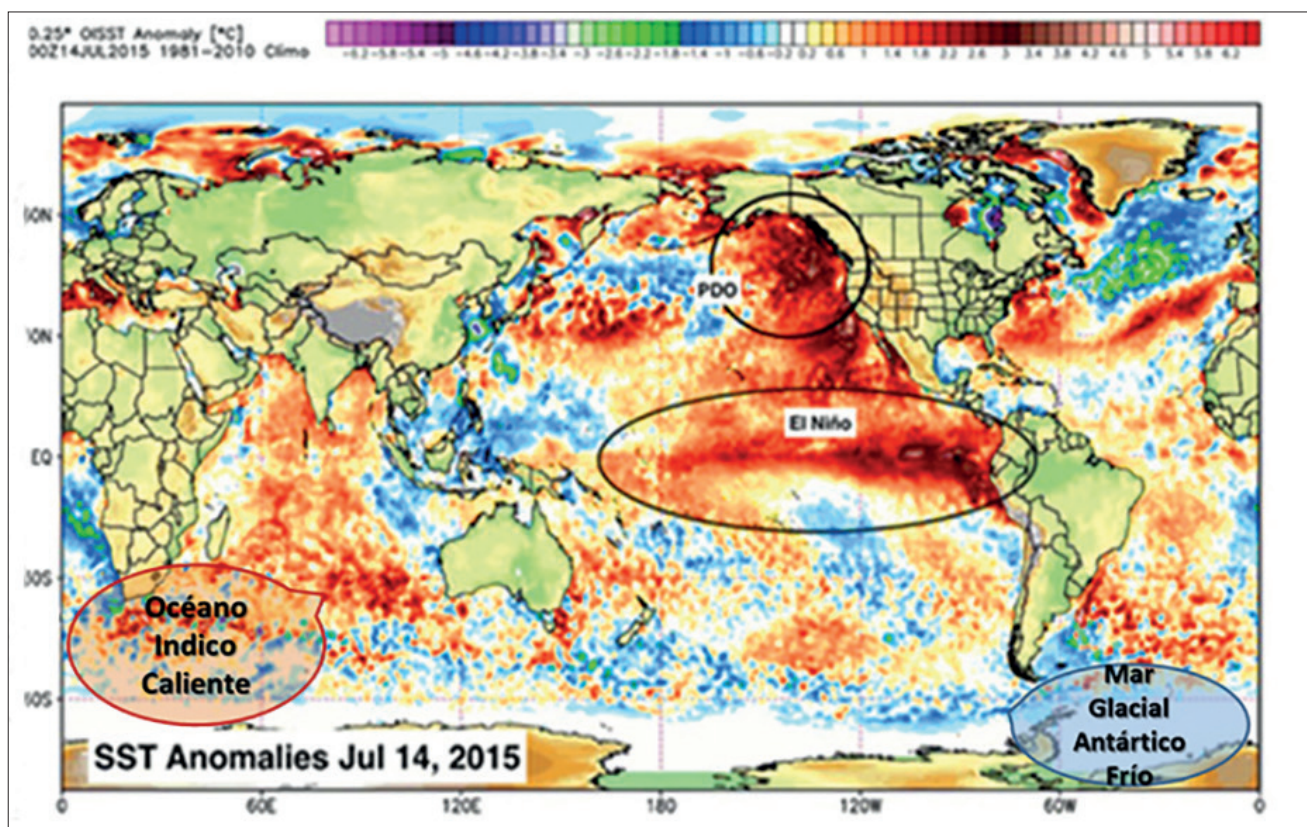


Figura 3: Condiciones de Bordo imperantes el 14 de julio de 2015: SST en el área Niño 3+4, con anomalías por encima de lo normal, PDO positiva, Océano Índico Caliente y Mar Glacial Antártico anormalmente frío.

Fuente: <http://www.climate4you.com/SeaTemperatures.htm#>. Recent sea surfacetemperature.

La figura 3 muestra el contexto climático global constituido por las condiciones de borde imperantes, a mediados de julio. Las mismas se derivan del estado de los principales factores que inciden en las precipitaciones nivales de los Andes Áridos (Poblete et. al., 2013): un "Niño" muy intenso con las anomalías de las SST que en el área 3+4 superan los 2°C, una PDO positiva por el marcado contraste de temperaturas entre las costas canadienses y el centro del Pacífico Norte, un océano Índico caliente que refuerza la incidencia de las SSTN3+4, un Mar Glaciar Antártico y corriente de las Malvinas con anomalías negativas que a su vez originan una primavera fría. A lo que se suma un Anticiclón Pacífico Sur debilitado en todo el periodo, como se observa en la figura 4

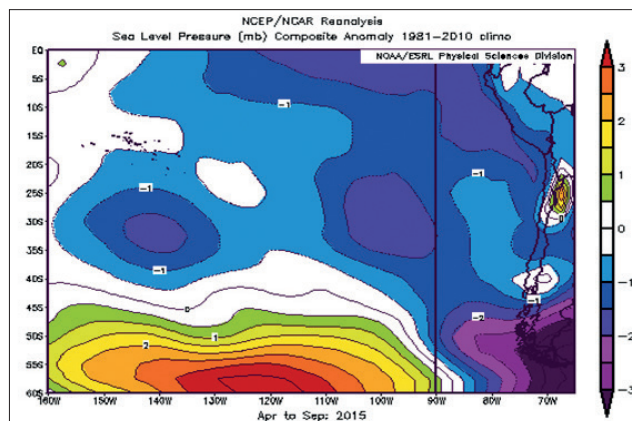


Figura 4: Anticiclón Pacífico debilitado en el periodo abril - septiembre de 2015. Fuente Reanalysis NCEP / NCAR.

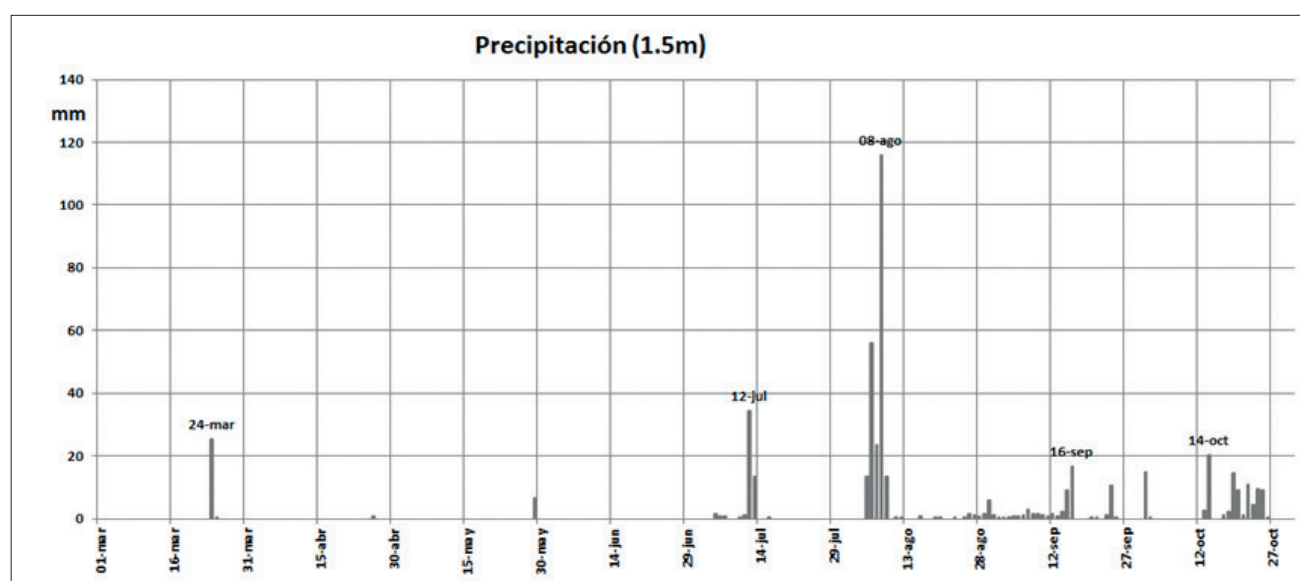


Figura 5: Precipitaciones producidas (mm/día) durante la temporada marzo- octubre de 2015 registradas en la estación Tascadero, en el límite internacional Argentina- Chile, adyacente a la cuenca del río San Juan. Fuente: CEAZA.

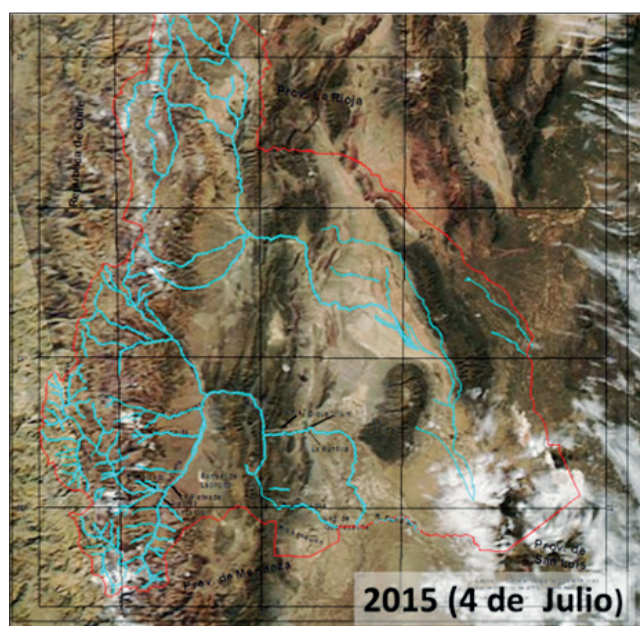


Figura 6: Estado de la cordillera hasta el 4 de julio de 2015. Fuente: Elaboración propia sobre imágenes de NOAA-MODIS.-

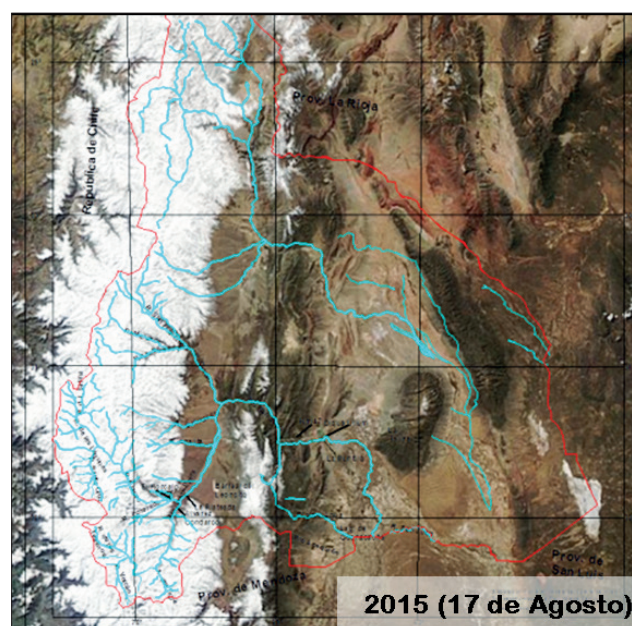


Figura 7: Estado de la cordillera el 17 de agosto de 2015, después de las cuantiosas nevadas del 12 de julio y entre el 5 y 9 de agosto. Fuente: Elaboración propia sobre imágenes de NOAA-MODIS.-

Los registros numéricos de las precipitaciones nivales expresadas en milímetros de agua precipitada, medidas en la estación Tascadero (figura 2), sirvieron para describir objetivamente lo ocurrido en el área de estudio (figura 5). Se observa que comienza con una nevada ex-

temporánea producida el 24 de marzo, la cual tuvo una ablación muy acelerada debido a un abril anormalmente cálido, luego de la misma no precipitó significativamente hasta el 4 de julio, salvo algunas intrascendentes, lo que es corroborado por la figura 6.

Esta situación de ausencia de nevadas es interrumpida el día 12 de julio cuando se produce la primer precipitación nival de importancia (48,7 mm) siguiéndole la más significativa de la temporada que se registró entre el 5 y 9 de agosto con 221,7 mm y un máximo de 115,9

mm el 8 del mismo mes dando por resultado lo que muestra la figura 7: la cordillera con una gran cobertura nival. En setiembre hubo nevadas de menor importancia (53,8 mm en todo el mes) inferiores a las caídas en octubre, que registró un total de 64,5 mm.

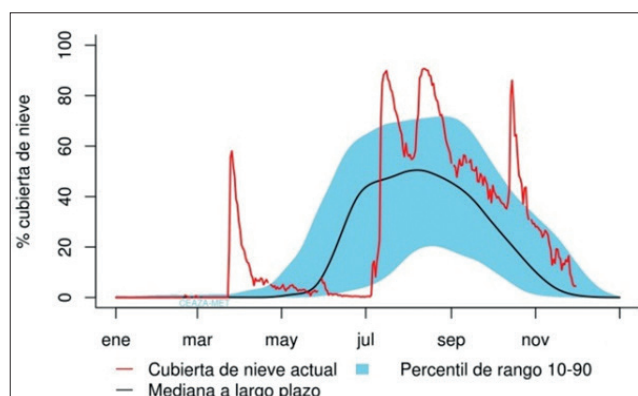


Figura 8: Cubierta de nieve (en porcentaje) caída en la temporada 2015 (línea roja) comparada con la mediana a largo plazo (línea negra) y los percentiles de 10-90% (celeste). Fuente: DGA de Chile.

En la figura 8 se describe el proceso nival completo registrado, donde se compara la temporada 2015 (rojo) con la secuencia mediana (negro) y sus límites de confianza del 10 y 90% (celeste). Nótese la irregularidad respecto de la condición normal y la ocurrencia de nevadas importantes hasta el 16 de octubre.

Para apreciar la magnitud de la precipitación nival caída en la temporada 2015 se la compara con la registrada en el 2014 ambas medidas en equivalente de agua

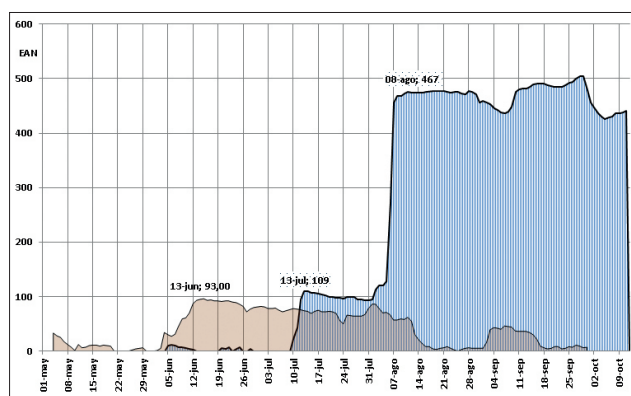


Figura 9: Equivalente de agua de nieve (EAN) de la temporada 2015 en la estación Horcones –ver figura 2– comparada con las registradas en la de 2014. Fuente: elaboración propia con datos de la DGI de Mendoza.

de nieve (EAN) en la estación Horcones (muy cercana a la cuenca del Río San Juan –figura 2): celeste 2015 y marrón 2014 (figura 9). Se aprecia la sustancial diferencia entre ambas, tanto en monto como en la secuencia nival, dado que en 2014 las nevadas de importancia se registraron a mediados de junio; mientras que en el 2015 recién fueron considerables a partir, como ya se dijo, desde 12 julio incrementándose hasta octubre.

5.1. Impacto de la temporada nival 2015 en la variabilidad interanual del río San Juan.

El derrame anual del río San Juan, presenta una gran irregularidad con extremos que van desde 7085 Hm³ en la temporada 1919-20 hasta 627 Hm³ en 1968-69, con una media de 2051 Hm³ y una mediana de 1696

Hm³. Su tendencia decreciente no es estadísticamente significativa, ya que los test de tendencia de Spearman ($r_{\text{Spearman}} = -0.1183$) y Kendall ($T_{\text{Kendall}} = -0.0902$) son negativos y tienden a cero. (Poblete, 2016).

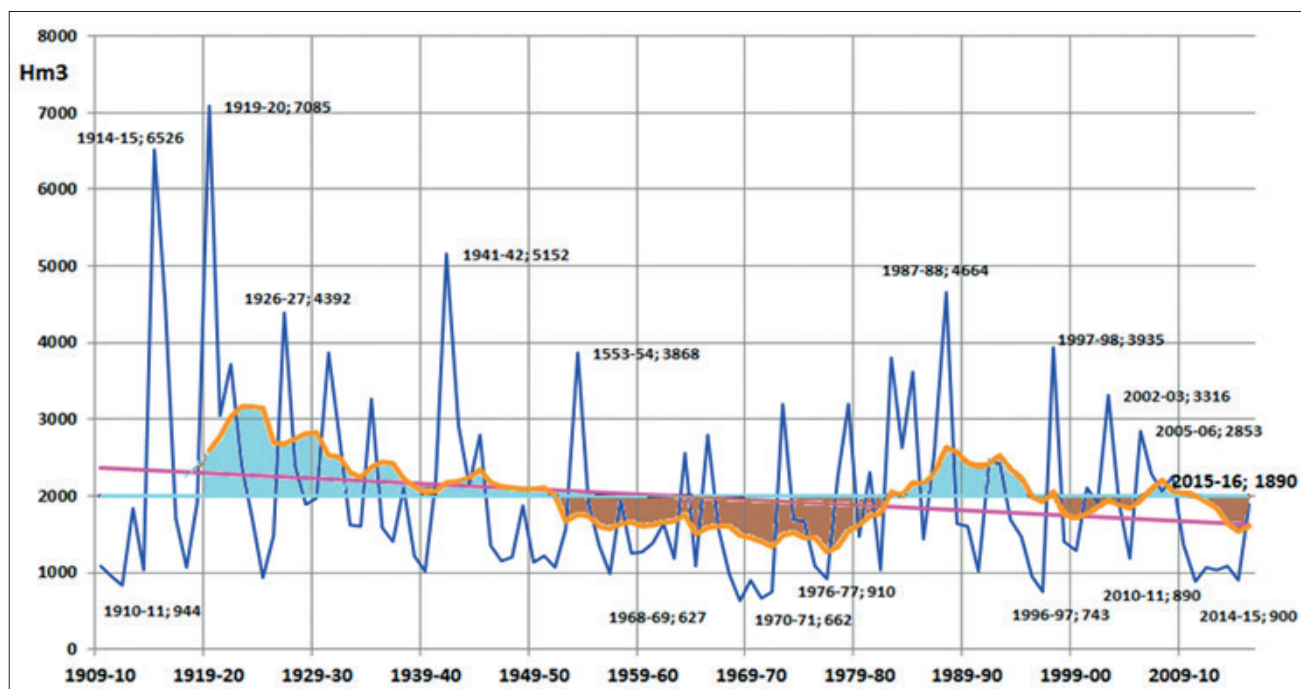


Figura 10: Derrames anuales del río San Juan mostrando sus extremos más relevantes, su media (celeste), tendencia (fucsia) y media móvil (naranja). Con el derrame 2015-16 pronosticado por los autores. También se resaltan los periodos con superávit y sequía. **Fuente:** Elaboración propia.-

Para situar el punto de inflexión generado por la temporada nival 2015 se muestran en la figura 10 los derrames anuales del río San Juan y sus extremos más relevantes. Los más bajos del período 1909-2015 fueron: 1968-69 (627 Hm³), 1970-71 (662 Hm³), 1996-97 (743 Hm³), 2010-11 (890 Hm³), 2014-15 (900 Hm³) y 1976-77 (910 Hm³). Nótese que en la última sequía que se inicia en el 2010 prolongándose hasta 2014, estuvieron dos de los derrames más bajos de la historia y el resto oscilando en los 1000 Hm³, o sea la mitad de su media, el lapso incluido en 2015 analizado dio por resultado, según el derrame pronosticado por los autores

(en noviembre de 2015), 1890 Hm³ muy superior al de la temporada anterior que fue de 900 Hm³ superando su mediana, sin embargo no llegó a su derrame medio que es de 2051 Hm³, aunque con las nevadas tardías de octubre lo podría alcanzar.

Otro elemento notable para ser tenido en cuenta en el pronóstico de los caudales estivales, es la primavera anormalmente fría (Poblete y Valdez 2015), que coadyuvó a que la ablación se retarde respecto de otros años. También influyó en el retraso del comienzo de las tradicionales veranadas de los departamentos de Iglesia y Calingasta y sus colaterales chilenos (Diario de Cuyo, nov. 2015).

6. CONCLUSIONES

La secuencia nival de la temporada 2015 fue muy irregular atípica a pesar de que las condiciones de borde favorables fueron incipientes desde el mes de marzo, debido a que hasta el 4 de julio prácticamente no nevó, interrumpiéndose el 12 de ese mes cuando se produce la primera precipitación nival de importancia, siguiéndole la mayor de la temporada que ocurrió entre el 5 y 9 de agosto. En setiembre hubo nevadas de menor cuantía, inferiores a las caídas en octubre.

Comparada con los periodos normales, la secuencia nival de 2015 se muestra totalmente disímil por su asimetría, sin embargo teniendo en cuenta el lapso abril-octubre, se pronostica un volumen de 1890 Hm³, muy superior al de la temporada anterior que fue de 900 Hm³. Otro elemento a tener en cuenta para el monto mensual de los caudales estivales, es la primavera anormalmente fría que induce a pensar que la ablación podría retardarse respecto de otros años.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CICITCA-UNSJ, por los aportes realizados mediante el Proyecto: "Análisis de las Condiciones de Borde, Factores y Agentes Oceánicos de Circulación Atmosférica Regional y de la Cupla Océano-Atmósfera,

que inciden en las Nevadas de Los Andes Áridos". Al Laboratorio Climatológico Sudamericano y Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, por los datos proporcionados para esta investigación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Montgomery D. C., Jennings, C. L., Kulahci, M. 2008. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. ISBN: 978-0-471-65397-4. 472 pages. Ed. Wiley. New York.
- Poblete, A. G., Valdez, V. M., 2015. *Estudio de los factores que produjeron la primavera 2015 más fría desde que se tienen registros en San Juan*. Revista de Geografía de la UNSJ. ISSN 1514-1942- San Juan. Argentina. Enviado.
- Poblete, A. G., Hryciw, M. C., 2016. *Variabilidad interanual del recurso hídrico de los oasis de la provincia de San Juan dependientes de ríos con régimen nival*. Meridiano - Revista de Geografía ISSN 2314-1506. Centro de Estudios Alexander von Humboldt. Buenos Aires.
- 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., Minetti, J. L. 2015. *Identificación de Ondas Coherentes entre las Nevadas en Los Andes Áridos de Argentina-Chile y los Principales Factores Climáticos que las Condicionan*. - Revista de Geofísica Vol.. I.P.G.H- OEA.- ISSN: 0252-9769. México.
- Poblete, A. G., 2015. *Agroclimatología de los valles de Tulúm y Ullúm-Zonda de la provincia de San Juan – Argentina-*. Rev de Geografía UNSJ- ISSN 1514-1942- Vol. 20- Nº 20. San Juan. Argentina.
- Poblete, A. G., Aguiar, L. A. 2015. *Relación Entre los Factores de Circulación Atmosférica Regional y de la Cupla Océano-Atmósfera con los Derrames Extremos de los Ríos San Juan Y Mendoza*. Revista de Geografía UNC. Boletín de Estudios Geográficos Instituto de Geografía Facultad de Filosofía y Letras Universidad Nacional de Cuyo. ISSN 0374-6186. ISSN-L 0374-6186.-
- Poblete, A. G., Quiroga Pérez, M. L. *El Clima del Departamento Iglesia -San Juan, Argentina- su Variabilidad Espacial y Temporal*. Rev de Geografía UNSJ- ISSN 1514-1942- Vol.- Nº San Juan. Argentina.
- POBLETE, Arnobio G. Pérez M. del V. 2015. *Disponibilidad Del Recurso Hídrico Como Base De Cualquier Ordenamiento Territorial En Los Oasis Cuyanos*. Jornadas de Ordenamiento Territorial. PRODEA. San Juan. Argentina.