

Análisis climatológico dinámico de la transición entre el periodo nival seco 2010-2014 a uno normal 2015-2016, en los Andes Áridos

Arnobio Germán Poblete*
María José Vera**

Recibido el 25 de abril de 2017; aceptado el 30 de mayo de 2017

Abstract

The agricultural sectors and the populations of Cuyo and central Chile have an increasing interest in knowing the availability of the hidric resource that makes possible the activities in their respective cultivated spaces. It depends on the amount of snow precipitated in the river basins with high mountain snow regimes, located in the surroundings of the Arid Andes; Presenting great interannual and seasonal variability. The large scale factors generate such variabilities that are manifested as slow changes leading to high frequency, associated with precipitation in the region. Most of them are consistent with the ENSO phases and in particular with the SST (Sea Surface Temperatures) in the Niño 3 + 4 area, followed by the ASPSO (Subtropical Anticyclonic East South Pacific), the PDO (Pacific Decadal Oscillation) and others.

In that context, these regions suffered the consequences of a drought from 2010 with deficient hidric seasons including 2014. The 2015 caused the interruption of the same due to very favorable edge conditions. However the 2016 in spite of that by its amount snowfall the cut that made the 2015, had edge conditions very dissimiles to the previous one.

The purpose of this paper is to describe statistically and dynamically the three snow seasons mentioned, in order to discriminate the factors and agents that produced the corresponding hidric resource, and in this way to elucidate apparent contradictions between the respective hemispheric border conditions and the runoff of the Rivers that depend on them. In addition, to identify other factors not taken into account in previous theoretical analyzes.

* Director y profesor del Instituto de Geografía Aplicada (IGA), Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina, correo electrónico: agpoblete@gmail.com

** Instituto de Geografía Aplicada (IGA), Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina.

Key words: *Arid Andes, Snow Seasons, Border Conditions, Differences, Hidric Resources.*

Resumen

Los sectores agropecuarios y las poblaciones de Cuyo y Chile Central, tienen un interés creciente por conocer la disponibilidad del recurso hídrico que hace posible las actividades en sus respectivos espacios cultivados. El mismo depende de la cantidad de la nieve precipitada en las cuencas de los ríos con régimen nival de alta montaña, ubicadas en el entorno de los Andes Áridos; presentando una marcada variabilidad interanual y estacional. Los factores de gran escala generan dichas variabilidades que se manifiestan como cambios lentos que conducen a los de alta frecuencia, asociados a las precipitaciones en la región citada. La mayoría de los mismos, son coherentes con las fases del ENSO y en especial con las SST (Temperaturas Superficiales del Mar) en el área Niño 3+4, siguiéndole por orden de importancia el ASPSO (Anticiclón Subtropical Pacífico Sur Oriental), la PDO (Oscilación Decadal Pacífica) y otros.

En ese contexto, dichas regiones sufrieron las consecuencias de una sequía nival desde 2010 con temporadas hídricas deficitarias incluido el 2014. La de 2015 produjo la interrupción de la misma debido a condiciones de borde muy favorables. Sin embargo 2016, a pesar de que por su monto reforzó el corte que realizó la del 2015, tuvo condiciones de borde muy disímiles a la anterior.

Este trabajo tiene como propósito describir estadística y dinámicamente las tres temporadas nivales citadas, con el objeto de discriminar los factores y agentes que produjeron el recurso hídrico correspondiente, y de esa manera dilucidar aparentes contradicciones entre las condiciones de borde hemisféricas y los derrames de los ríos que dependen de las mismas. Además identificar otros factores no tenidos en cuenta en análisis teóricos previos.

Palabras clave: *Andes áridos, temporadas nivales, condiciones de borde, diferencias, recurso hídrico.*

Introducción

Los sectores agropecuarios y la población cuyana en general, tienen un interés creciente en conocer la disponibilidad del recurso hídrico que hace posible las actividades en sus oasis productivos. Como se sabe el mismo depende de la cantidad de la nieve precipitada en las cuencas de los ríos con régimen nival de alta montaña, la cual presenta una gran variabilidad interanual y estacional. Investigadores como Masiokas *et. al.* (2006), (Quintana J.M. 2004), postulan que los factores de gran escala conducen la variabilidad interanual observada en otras menores, que se manifiestan como

cambios rápidos o de alta frecuencia, tal es el caso de las precipitaciones en la región central de Chile y Andes adyacentes que, en la mayoría de los mismos, son coherentes con las fases del ENSO (El Niño Southern Oscillation) (Aceituno P. *et. al.*, 1992). Poblete, encontró una significativa asociación entre los derrames del río San Juan y las SST (Temperaturas Superficiales del Mar), en el área Niño 3+4 (SSTN3+4), siguiéndole por orden de importancia el ASPSO (Anticiclón Subtropical Pacífico Sur Oriental), y la PDO (Oscilación Decadal Pacífica) (Poblete *et. al.*, 2013; Compagnucci, R.H., 2000; Quinn, W.H., 1992; Minetti, J.L.; W.M. Vargas y A.G. Poblete, 1999; Minetti, J.L., 1984). En la región en estudio, la asociación entre el ENSO y los derrames de los ríos cuyanos fue tratada por Campagnucci, Vargas (1998), Aceituno y Vidal (1990), Aceituno, P.; Garreaud, R. (1995), Poblete *et. al.* (2000, 2014).

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 incluido el 2014. La de 2015 produjo la interrupción de la misma respondiendo a 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 nívea intensa, no obstante, se materializó con una temporada muy irregular (Poblete *et. al.*, 2016).

La correspondiente a 2016, por su monto, reforzó el corte que realizó la del 2015 a la sequía citada, a pesar de que el ENSO (El Niño Oscilación del Sur) tenía una condición Neutra y un ASPSO potenciado.

Este trabajo tiene como propósito describir estadísticamente las tres temporadas nivales citadas, en especial su variabilidad estacional y explicitar los factores climatológicos dinámicos, oceánicos, circulación regional y de la cupla océano-atmósfera que, concatenados, produjeron sus respectivas características con el objeto de individualizar y discriminar los que produjeron las nevadas en las temporadas analizadas. Por otra parte, lograr más elementos de juicio a tener en cuenta para entender los episodios níveos como función de las condiciones de borde imperantes en cada una de ellas y de esa manera dilucidar las aparentes contradicciones entre éstas y los montos de las mismas, por último identificar otros factores que influyeron y no fueron tenidos en cuenta en el análisis previo.

Datos y métodos

La ubicación del área de estudio y factores que intervienen en la generación de los procesos de precipitación de nieve, se muestran en las Figuras 1 y 2.

A causa de la insuficiencia de mediciones nivales en los Andes Áridos (véase Figuras 1 y 2) que abarquen un periodo mayor a 100 años, se emplea como índice para valuarlas a los registros de los derrames anuales del río San Juan (DJUA) entre 1909-2016, puesto que representan lo sucedido en la temporada nival correspondiente véase Figuras 5 y 6 (Poblete, 2014). Los datos del DJUA fueron aportados por el Departamento de Hidráulica de la Provincia de San Juan y la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2014). Los registros de nieve de abril-septiembre fueron descargados de la Estación Salamanca y controlados por los de Estación Tascadero localizadas en Chile a pocos kilómetros al oeste de la cuenca del río San Juan (Figura 2). Los datos de EAN fueron aportados por la estación Horcones (Figura 2), administrada por la Dirección General de Irrigación de Mendoza.

Estudio y análisis de campo realizado

Los autores realizaron una visita a la Estación Horcones (Figura 2), situada en las proximidades del cerro Aconcagua, Provincia de Mendoza, con el objeto de verificar cómo se mide la nieve caída. En este caso observaron los siguientes métodos:

Pluviómetros especiales para medida de la nieve, también llamados nivómetros, que tienen como propósito contabilizar la precipitación caída en forma de nieve. Llevan un líquido especial (aceite o parafina) para evitar la evaporación de su contenido, ya que sus medidas suelen recogerse mensualmente.

Medida de altura de la capa de nieve. La capa de nieve es la que se acumula sobre el suelo en el momento de la estimación. Los autores observaron cómo se realiza una medición directa de la misma mediante una varilla graduada (Figura 3), y una cinta métrica que registra los centímetros acumulados (Figura 4).

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 mediante el índice IPPS (Índice de Presión del Pacífico Sur) <<http://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml>>. Los de la PDO (Oscilación Decadal Pacífica) descargados del sitio <<http://jisao.washington.edu/pdo/>>. Y los del Jet Stream del sitio <ClimateReanalyzer.org>.

Se utilizaron las herramientas estadísticas usuales entre las que se destaca la variable estandarizada, que mide la desviación de cada dato respecto de la media en unidades de desviación típica.

La nueva variable:

$$z_i = \frac{x_i - X}{S} \tag{1}$$

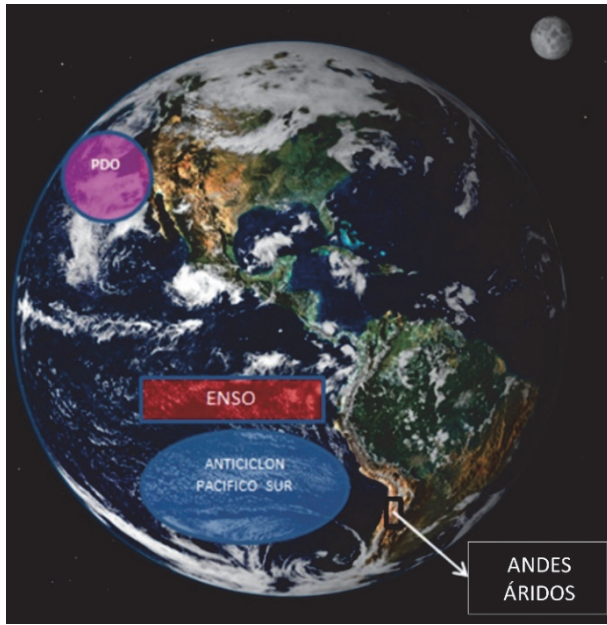


Figura 1. Ubicación del área de estudio y de los factores analizados en este trabajo. Elaboración propia.

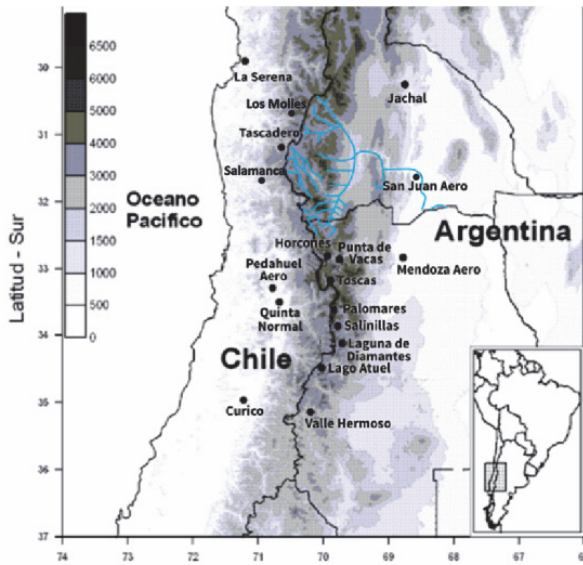


Figura 2. Ubicación del área de estudio y del índice que la representa en azul (río San Juan-DJUA). Adaptado de Viale (2010).



Figura 3. Introducción de la varilla de campo de nieve.



Figura 4. Medición de la altura de nieve por medio de una cinta métrica.

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 ($S_z=1$), (Draper *et. al.*, 1976:10).

Modelos de dispersión y de comportamiento atmosférico: cartográfico y climatológico.

La verificación de las condiciones atmosféricas imperantes (Bajas Segregadas, Vaguadas, Jet Stream entre otros) en los días de mayor caída de nieve registrados en las tres temporadas se analizaron *on line* en el Modelos de Circulación General (CGM) EarthWindMap <<https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/>>.

Para registrar la ocurrencia de la Corriente en Chorro y el “Río Atmosférico” se utilizó el Modelo Reanalyzer.org; que ejecuta una visualización interactiva de conjuntos de datos meteorológicos y climáticos para una región dada, también proporciona herramientas con las que se pueden manipular estadísticamente y cartografiar. Complementado para realizar la climatología sinóptica con imágenes satelitales y de Neofanalis, aportadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina.

Software de generación estadístico

El paquete estadístico utilizado para implementar las metodologías que se detallan a continuación fue una planilla de cálculo complementado por varios programas estadísticos específicos.

Resultados y discusión

Se analizaron los eventos níveos registrados en las temporadas nivales de 2014, 2015 y 2016 con el objeto de comparar sus secuencias respectivas y determinar los factores y elementos que influyeron en las mismas.

La Figura 5 muestra los eventos de precipitación nívea registrados en la Estación Salamanca (véase ubicación en la Figura 2), en las temporadas 2014, 2015 y 2016. Se observa una marcada diferencia de montos entre 2014 “en el periodo seco” y las subsiguientes. En las mismas los episodios níveos se presentan de manera muy irregular tanto en su ocurrencia como en su volumen por lo que se tratara de explicitar las causas de dichas diferencias. En los tres casos hay nevadas que por su magnitud son las más relevantes de cada temporada (12 de junio del 2014, 6 de agosto de 2015 y 3 de junio de 2016 y sus adyacentes) las que serán estudiadas pormenorizadamente.

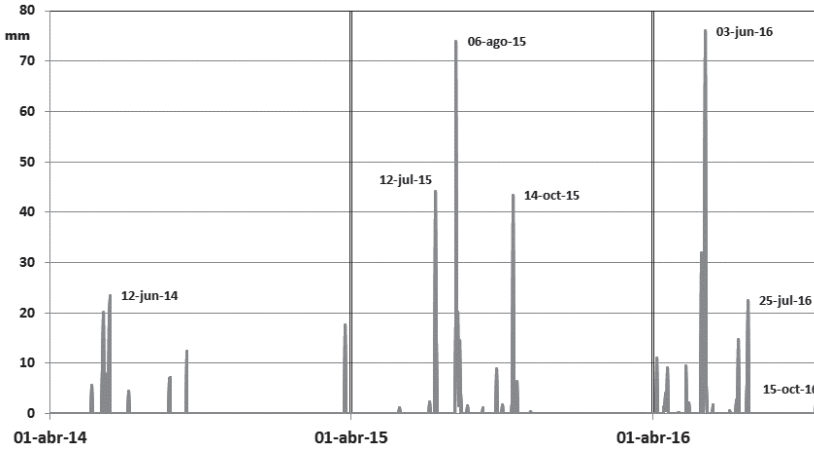


Figura 5. Episodios de caída nival registrados en la Estación SALAMANCA (véase Figura 2) en las temporadas 2014, 2015 y 2016.

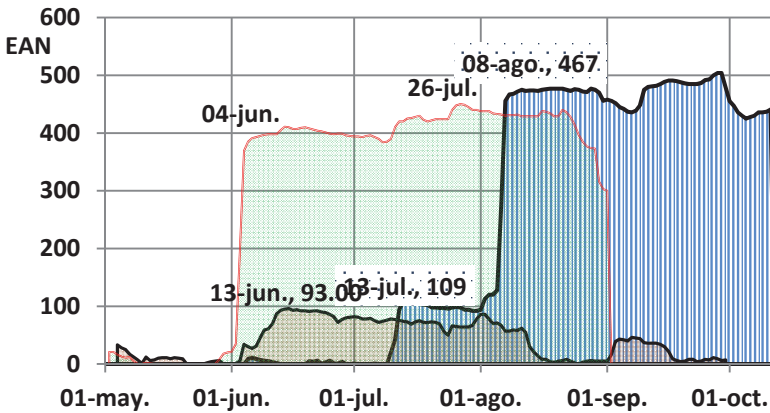


Figura 6. Acumulación de nieve medida con el Equivalente de Agua de Nieve (EAN) en las temporadas 2014 (marrón), 2015 (celeste) y 2016 (verde). Elaboración propia.

En la Figura 6, se observa la acumulación nívica a partir de los días más significativos para las tres temporadas, notándose que la de 2014 se mantuvo con montos muy reducidos pero con una secuencia amplia (desde el 1 de mayo al 2 de octubre). La del 2015 fue muy atípica puesto que hasta el 11 de julio prácticamente no nevó (véase Figura 14), desde el 13 de julio hubo una acumulación moderada que fue aumentada significativamente con las nevadas del 6 al 8 de agosto y como colofón se extendió hasta octubre con el aditamento de una tardía el 14 de ese mes. Finalmente la de 2016

tuvo episodios de nivales reducidos hasta fines de mayo, lo que fue revertido significativamente por una gran nevada registrada el 3 de junio que aumentó considerablemente la EAN, que se extendió, con una alimentación esporádica el 25 de julio, hasta mediados de agosto cuando cae abruptamente generando uno de los agostos más secos de Chile Central.

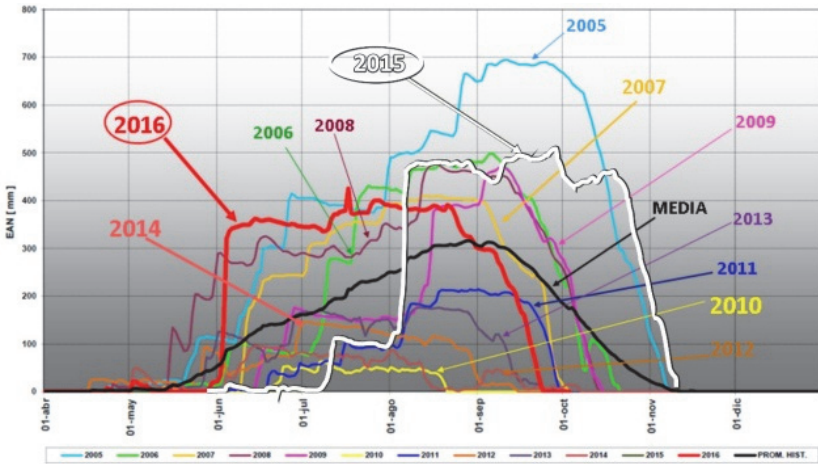


Figura 7. Equivalente de agua de nieve (EAN) registrada en la Estación Horcones (véase Figura 2), dependiente de la Dirección General de Irrigación de Mendoza (DGI). Temporadas 2005-2016.

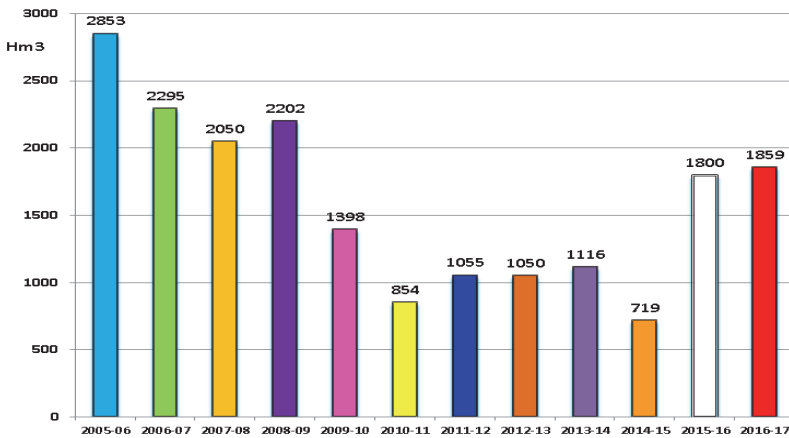


Figura 8. Derrames anuales del río San Juan medidos en Hm³ correspondientes a las temporadas 2005-2016. Obsérvese que los colores de las barras son coincidentes con los de las temporadas en la Figura 5.

Para valuar la dispersión temporal de los periodos nivales analizados con respecto de la media (negro), se utiliza la Figura 7 en donde se grafica desde el 2005 al 2016. La más compatible con la misma es la de 2014, mientras que la de 2016 está sesgada a la izquierda y la del 2015 presenta un sesgo a la derecha mostrando la irregularidad de ambas, lo que se tratará de dilucidar dinámicamente más adelante. La estrecha relación entre las temporadas nivales y los derrames anuales del río San Juan se aprecia en la Figura 8 con la delimitación del periodo seco 2010-2014 y su interrupción en las temporadas 2015-2016.

Análisis de las condiciones de borde

Para explicar la irregularidad descrita en el párrafo anterior se analizan las condiciones de borde imperantes en los años correspondientes.

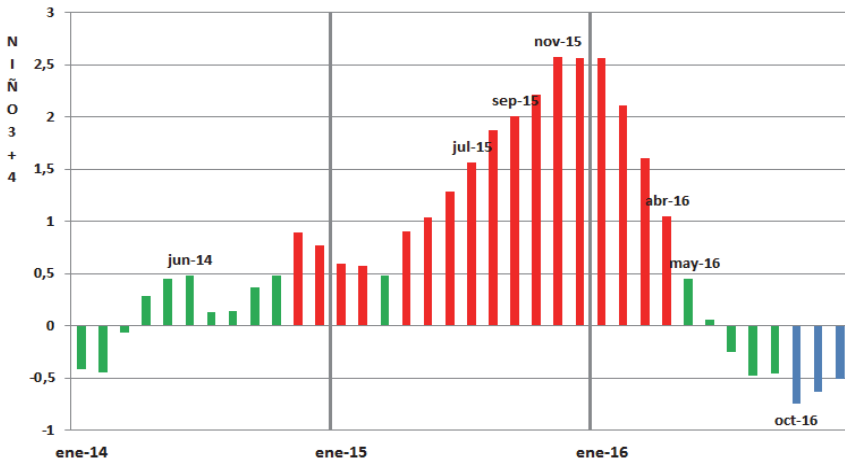


Figura 9. Comportamiento de las SST en el área Niño 3+4 medidas en anomalías con respecto de la normal, Niño (rojo), Niña (azul) y Neutra (verde).

Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Nino34/>.

En la Figura 9 se observa el comportamiento de la componente oceánica del ENSO medida mediante las SST en el área NIÑO 3+4, nótese que en el 2014 comienza con una condición Neutra y recién en noviembre y diciembre se insinúa un Niño débil, ese estado se extiende en los primeros meses del 2015 con una breve pausa en marzo, desarrollarse a partir de abril alcanzando su máximo en noviembre, diciembre y enero de 2016. Desde febrero decrece abruptamente hasta abril y a partir de mayo pasa a una fase Neutra hasta alcanzar el estado “La Niña” desde octubre del mismo año.

La Figura 10 muestra el comportamiento de la PDO en las temporadas analizadas, obsérvese que en todo el periodo es positiva, es decir que contribuye como disparador a propiciar las nevadas (Poblete, 2008). Se observa que en el 2014 tiene un máximo en mayo, lo que indicaría un efecto retardado respecto de la mayor nevada de ese año que aconteció entre el 12 y 13 de junio. En 2015 tiene valores relativamente altos en julio y agosto, coherente con los episodios níveos del 5 y 8 del último mes, los más importantes de este año; acaecidos después de una significativa nevada ocurrida el 12 de julio que interrumpió la secuencia sin nevadas iniciada en abril. Mientras que en 2016, sus valores más altos se registraron en abril y mayo previos a la más significativa de ese año ocurrida el 3 de junio, corroborando el efecto inercial ya descripto.

La Figura 11, muestra el comportamiento del anticiclón del Pacífico Sur en el periodo analizado, se debe tener en cuenta que es un factor que inhibe la llegada de agentes precipitantes tales como frentes en superficie, vaguadas y bajas segregadas entre otros. En 2014 el ASPSO estuvo potenciado contribuyendo a una temporada nival seca, sin embargo en junio se despresuriza favoreciendo la ocurrencia de la nevada más significativa del 12 de este mes. En la temporada nival 2015, se muestra debilitado en especial en los meses de agosto cuando ocurre la precipitación nívea más importante coadyuvando a su magnitud; en octubre también sigue débil lo que explicaría en parte la extensión hasta este mes del periodo nival correspondiente. Por último, en el 2016 se muestra un ASPSO potenciado en toda la temporada nival y paradójicamente con un máximo en junio, mes en el que se produjo la mayor nevada de este año, esta supuesta contradicción induce a realizar un análisis más pormenorizado de los agentes que contribuyeron a alcanzar ese volumen.

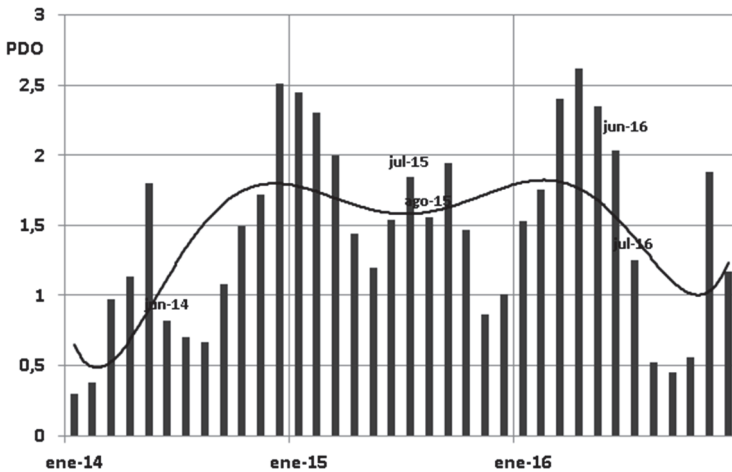


Figura 10. Variabilidad estacional de la Oscilación Decadal Pacífica (PDO) en los años analizados.

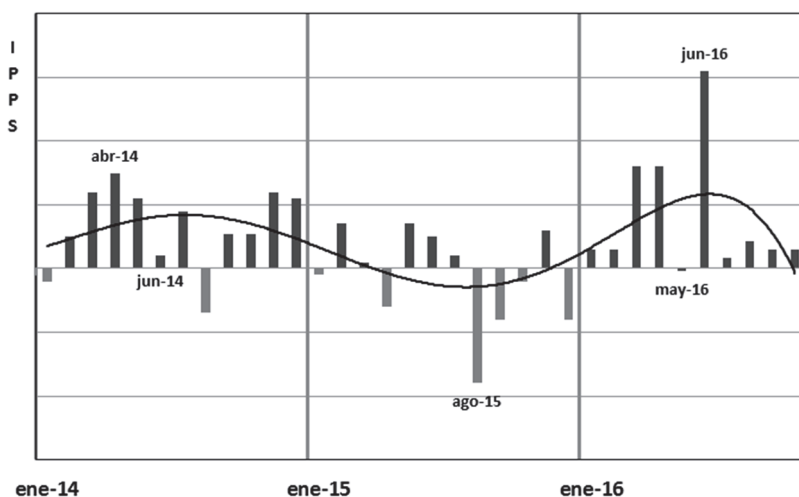


Figura 11. Variabilidad estacional del Anticiclón del Pacífico Sur medido con el IPPS de la Dirección Meteorológica de Chile.

Análisis dinámico de los días que aportaron mayores volúmenes de nieve en las respectivas temporadas

De lo descrito se verifica que las nevadas en las tres temporadas son episódicas y discontinuas, teniendo grandes diferencias en los montos. Tan es así que algunos de ellos podrían, con su aporte, caracterizar la cuantía nívica de la temporada correspondiente. Además las mismas no presentan un patrón estadístico común que se ajuste a una distribución dada, como por ejemplo las nevadas medias que se aprecian en la Figura 5 (negro).

Una vez identificados los días aludidos se procede a analizarlos dinámicamente:

- I. Temporada 2014, 12 de junio: en la Figura 12 se aprecia la típica configuración sinóptica de un zonda, es decir un frente frío casi paralelo a las costas chilenas, asociado a una baja presión generada por la pronunciada vaguada que se observa en la Figura 13; el cual al cruzar la cordillera genera la nevada identificada en la Figura 5 y el vuelco de aire a sotavento con el correspondiente calentamiento termodinámico. Se deduce que la nevada más importante de 2014 estuvo asociada a un proceso Fohen (Poblete A.G., 2016).
- II. Temporada 2015, 12 de julio y 6-8 de agosto: es la más difícil de explicar dinámicamente por su irregularidad y su paradójica contradicción con las condiciones de borde descritas anteriormente, sin embargo por la magnitud de los episodios nívicos que se analizan a continuación, interrumpió la sequía que se venía produciendo desde 2010.

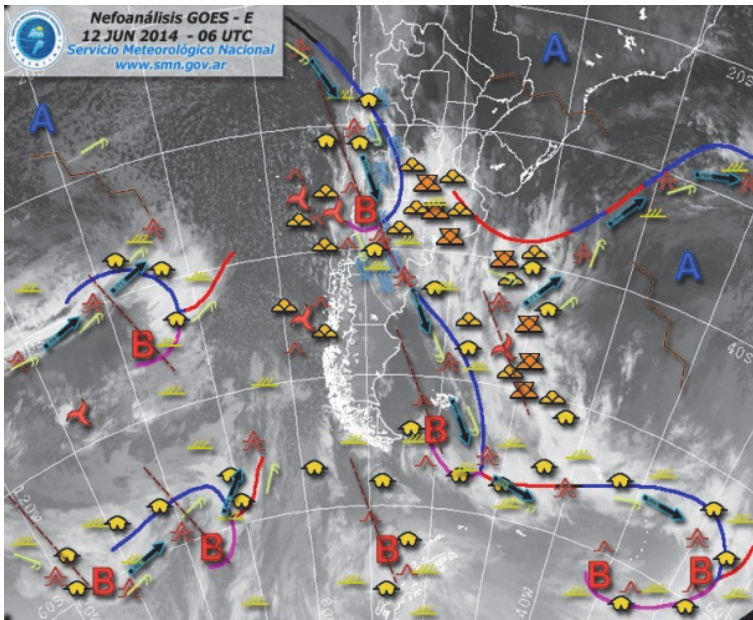


Figura 12. Situación sinóptica asociada al 12 de junio de 2014.
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Argentina.

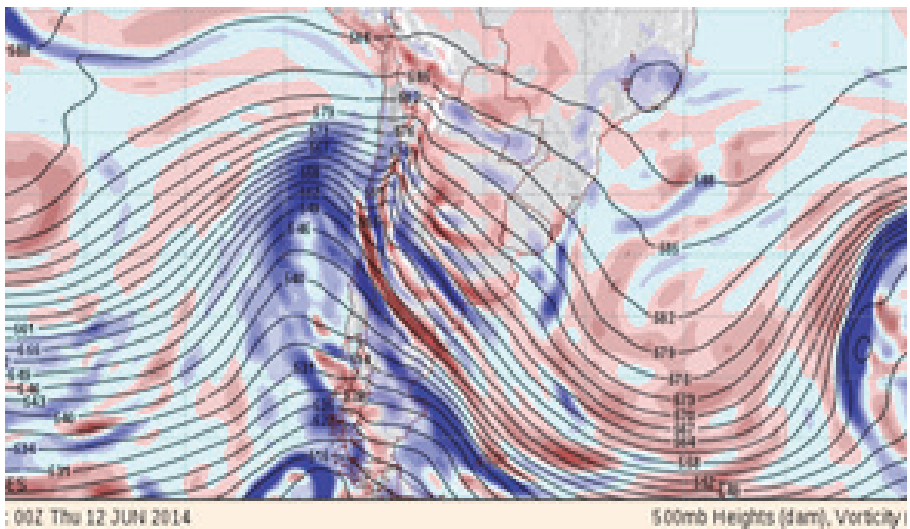


Figura 13. Carta del geopotencial de los 500 mb correspondiente al 12 de junio de 2014.
Fuente: <<http://wxmaps.org/pix/sa1.00hr.png>>.

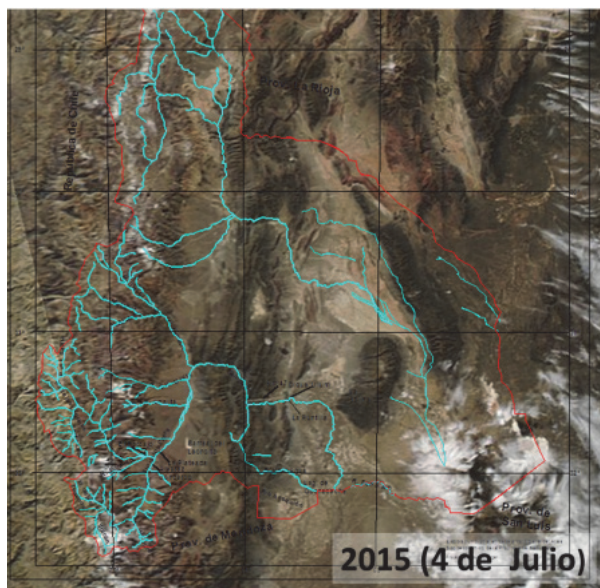


Figura 14. Estado de la cordillera hasta el 4 de julio de 2015.
Fuente: elaboración propia sobre imágenes de NOAA-MODIS.

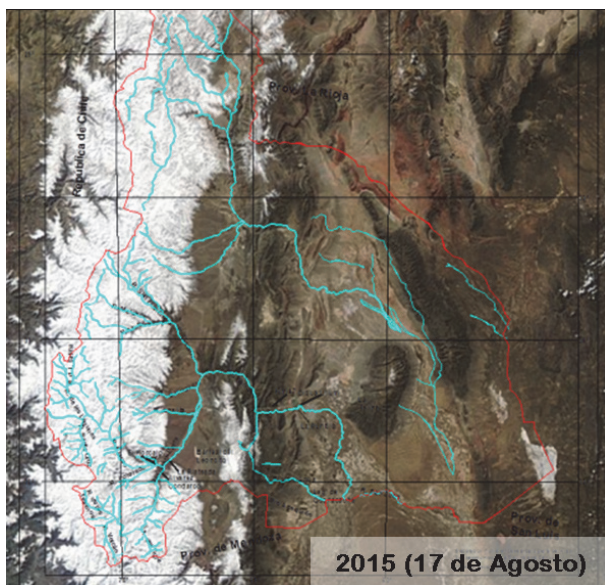


Figura 15. Estado de la cordillera el 17 de agosto de 2015, después de las cuantiosas nevadas del 12 de julio y 5-9 de agosto.
Fuente: elaboración propia sobre imágenes de NOAA-MODIS.

En un trabajo anterior los autores comprobaron que esta temporada fue quizás la más atípica de la analizadas, puesto que a pesar de tener condiciones de borde muy favorables desde su inicio, no se produjeron nevadas hasta el 12 de julio (salvo la extemporánea del 27 de marzo) cuando se interrumpió la ausencia de precipitación nívea (véanse Figuras 5 y 6).

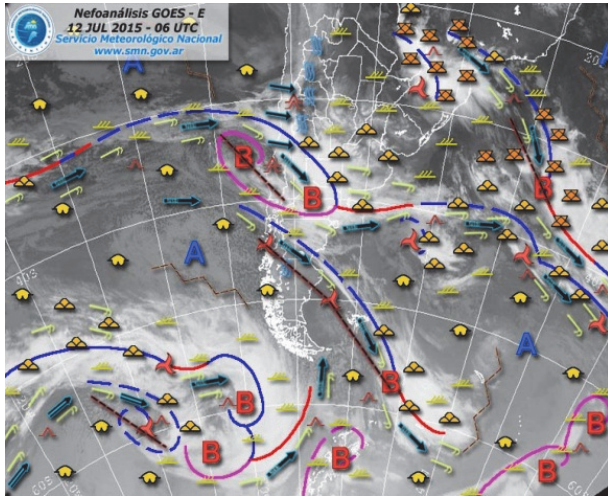


Figura 16. Carta sinóptica en superficie correspondiente al día 12 de julio de 2015. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

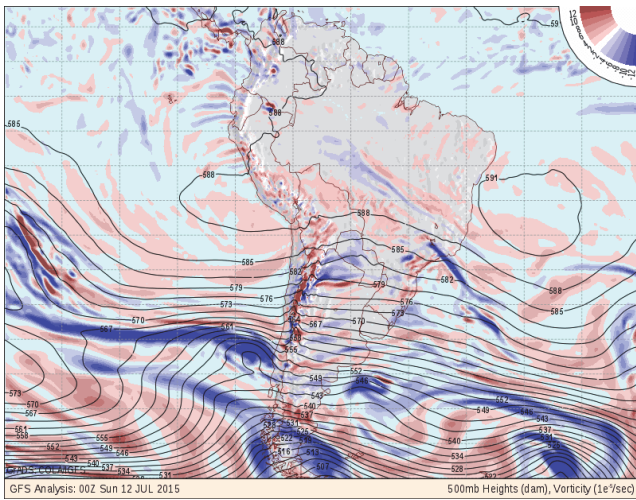


Figura 17. Carta del geopotencial de los 500mb correspondiente al día 12 de julio de 2015. Fuente: <<http://wxmaps.org/pix/sa1.00hr.png>>.

En la Figura 16 muestra la situación sinóptica que trajo como consecuencia la nevada descrita en el párrafo anterior, con una baja en superficie transportando consigo el frente que produjo la misma; generada por una vaguada con dirección zonal que presenta una protuberancia a punto de segregarse (Figura 17).

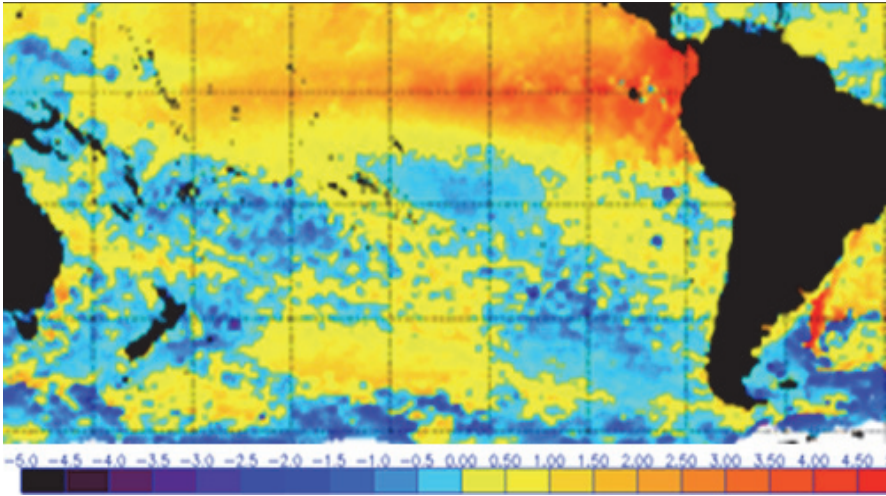


Figura 18. Anomalía de la temperatura superficial del mar correspondiente al día 6 de agosto de 2015.

Fuente: <<http://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/sst/anomaly/index.html>>.

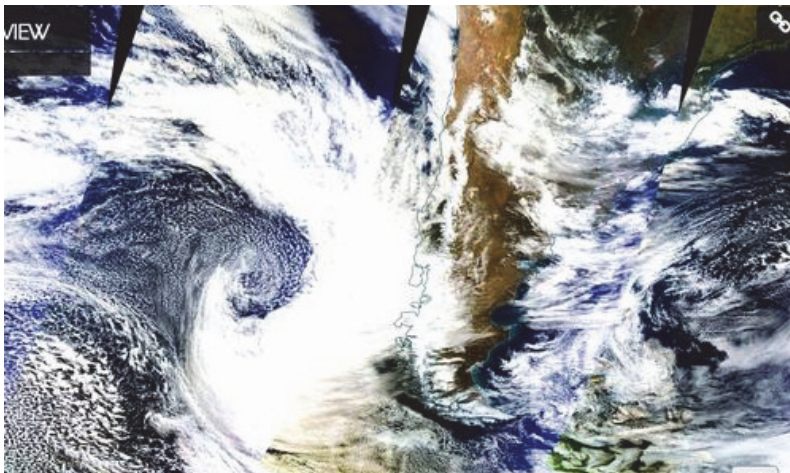


Figura 19. Imagen satelital que muestra la estructura nubosa asociada al frente transportado por una depresión fría, correspondiente al 04 de agosto de 2015.

Fuente: Worldview de la NASA.

La nevada más importante de la temporada 2015 fue el producto de la conjunción de factores de circulación y de la cupla océano-atmosfera que confluyeron entre los días 5 y 8 de agosto, los mismos fueron: un Niño alcanzando su máxima intensidad (Figuras 9 y 18), un ASPSO debilitado (Figura 11) que posibilitó la llegada de una baja muy fría asociada a un considerable frente tal como lo muestra la Figura 19 (ver la convección producida por un océano más caliente que el aire “burbujeó convectivo”).

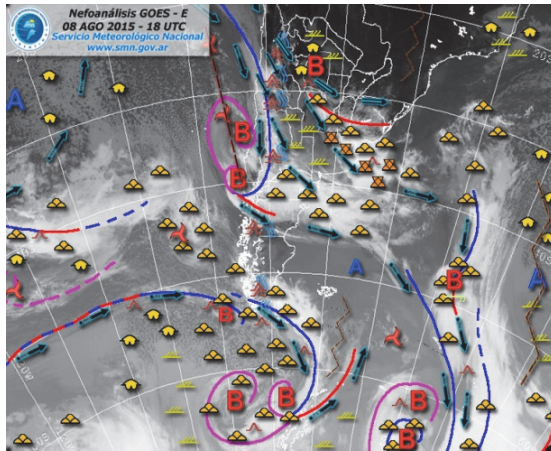


Figura 20. Carta sinóptica en superficie correspondiente al día 8 de agosto de 2015. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

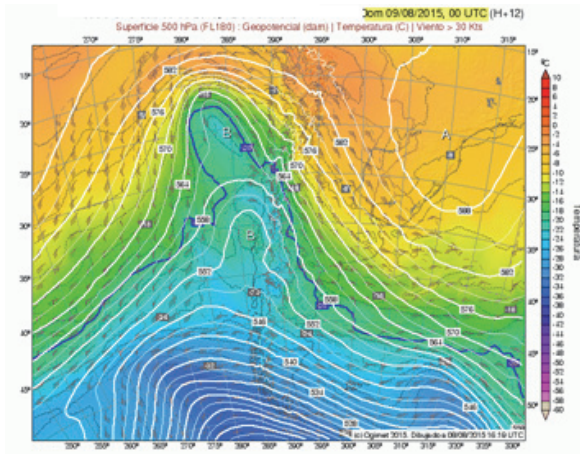


Figura 21. Carta del goepotencial de 500 mb correspondiente al 8 de agosto de 2015 a las 21:00 horas. Fuente: <<http://wxmaps.org/pix/sa1.00hr.png>>.

Lo descrito se materializa sinópticamente según se muestra en la Figura 20 del día 8 de agosto cuando la baja en superficie (generada por una vaguada muy aguda como se aprecia en el geopotencial de los 500 mb de la Figura 21) impacta en la costa chilena, y a su vez el frente frío en la cordillera, produciendo la precipitación nítida aludida.

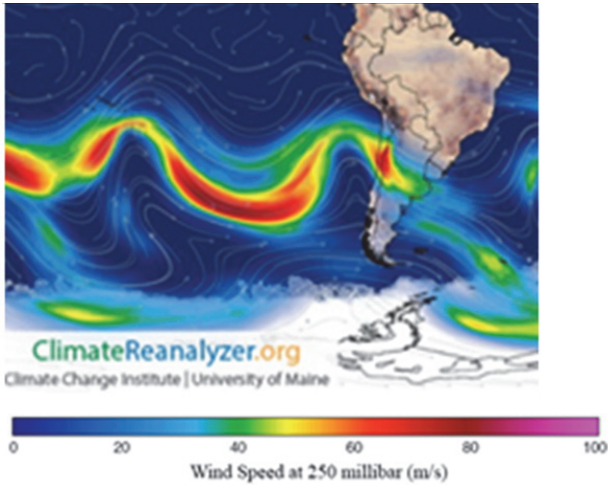


Figura 22. Comportamiento de la Corriente en Chorro estimada por el viento zonal a los 250 mb, en el día 8 de agosto.
Fuente: <ClimateReanalyzer.org>.

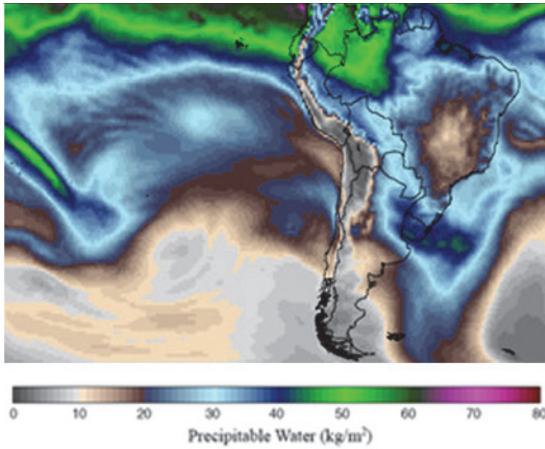


Figura 23. “Río atmosférico” que transporta el agua precipitable desde las regiones ecuatoriales hasta los Andes Áridos en el día 8 de agosto.
Fuente: <ClimateReanalyzer.org>.

Como colofón, en ese marco dinámico favorable, aparece un “río atmosférico” (Poblete, 2016) generado por la inflexión de la corriente en chorro tal como lo muestran las Figuras 22 y 23. Esta amalgama trajo como resultado una acumulación considerable de EAN (Equivalente de agua de nieve, véanse Figuras 6 y 7). Además, debido a una primavera anormalmente fría (Poblete, A.G.; Vera, M.J., 2016), y a un Niño alcanzando su clímax; la temporada se extiende hasta el 15 de octubre (véanse Figuras 5 y 7) dándole otro matiz a la irregularidad descripta.

III. Temporada 2016, 3 de junio: las condiciones de borde correspondientes a la temporada 2016 se presentan teóricamente negativas para la precipitación nívea en los Andes Áridos comparándolas con las de 2015, puesto que el Niño tiene su última rémora en abril, a partir del cual pasa a una fase neutra que domina hasta septiembre cuando alcanza el estado “Niña” (véase Figura 9). A su vez el anticiclón del Pacífico esta potenciado en toda la temporada especialmente en junio (véase Figura 11) que paradójicamente es cuando se produce la máxima nevada. La única que sigue positiva es la PDO (Figura 10). Por ello, se tratará de explicar por qué ante condiciones disímiles respecto de las imperantes en la temporada 2015 sus EAN resultaron prácticamente iguales (aproximadamente 1,850 Hm³, véase Figura 8).

La situación sinóptica que presenta el 3 de junio de 2016, se aprecia en la Figura 24, donde se observa una depresión en superficie asociada a un frente frío todavía en el océano y uno cálido con una inflexión hacia el Comahue, marco que posibilita el advenimiento del Jet Stream como se detalla a continuación.



Figura 24. Situación sinóptica asociada a la nevada del 3 de junio de 2016.
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

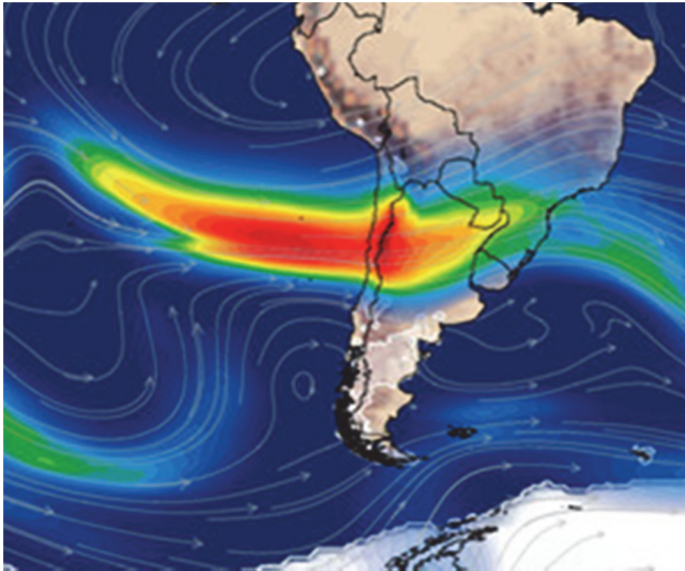


Figura 25. Comportamiento de la Corriente en Chorro estimada por el viento zonal a los 250 mb, el 3 de junio de 2016.
Fuente: <ClimateReanalyzer.org>.

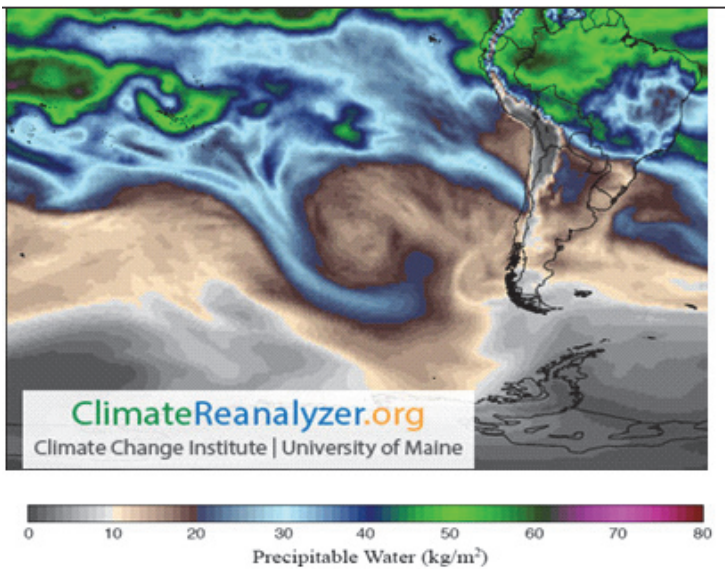


Figura 26. “Río atmosférico” que transporta el agua precipitable desde las regiones ecuatoriales hasta los Andes Áridos el día 3 de junio.
Fuente: <ClimateReanalyzer.org>.

La Figura 25 muestra una intensa corriente en chorro, que posibilita el advenimiento del agua precipitable proveniente de áreas circundantes a la Línea de convergencia intertropical (ZCIT) en forma de un “río atmosférico” (Figura 26), constituyendo la principal causa de la considerable nevada mostrada en la Figura 5.

Conclusiones

Del análisis realizado se concluye que:

- Las tres temporadas nivales resultaron muy disímiles en cuanto a su distribución temporal con desfases muy marcados. La del 2014 se caracterizó por su escasa precipitación nívea acorde a la sequía aludida. Las dos restantes, alcanzaron montos cercanos a la precipitación media (1800 Hm³) constituyendo el final de aquella.
- Se verificó que las nevadas en las tres temporadas son episódicas y discontinuas sin presentar un patrón estadístico común que se ajuste a una distribución dada.
- Las tres mostraron días claves por su significativo aporte respecto de los restantes que fueron menos relevantes. Los mismos son:
 - 12 junio de 2014, asociado a una típica configuración sinóptica propia de una onda, es decir un frente frío cuasi paralelo a las costas chilenas, generado por una baja presión en superficie conducida por una pronunciada vaguada.
 - 12 de julio de 2015: producida por una baja en superficie generada por una vaguada muy aguda a punto de segregarse asociada a un frente frío causante de la citada nevada.
 - 6-8 de agosto de 2015, fue el resultado de la conjunción de factores de circulación y de la cupla océano-atmósfera que confluyeron: un Niño alcanzando su máxima intensidad, un anticiclón debilitado que posibilitó la llegada de una baja muy fría asociada a un considerable frente. Y además, coadyuvando una pronunciada inflexión de la corriente en chorro, que aportó agua precipitable proveniente del entorno de ICTZ a través de un río atmosférico.
 - 3 de junio de 2016 causada por una depresión en superficie asociada a un frente frío todavía en el océano y uno cálido con una inflexión hacia el Comahue, marco que posibilita el advenimiento del Jet Stream que transporta el agua precipitable proveniente de áreas circundantes a la ICTZ (Línea de Convergencia inter Tropical) en forma de un “río atmosférico”, a diferencia de las registradas en 2015, constituye la principal causa de la considerable nevada registrada en esa fecha.

El aporte más importante de este trabajo fue comprobar que las nevadas en los Andes Áridos responden a diversos factores concatenados, de manera que no operan

individualmente. Decir, por ejemplo, que si hay un Niño muy intenso y una PDO positiva se producirán nevadas cuantiosas y viceversa lo que no se verifica en la realidad; sino también se debe tener en cuenta el estado de los restantes factores tales como el ASPSO, Westerlies, Jet Stream entre otros.

Además ha mostrado la gran importancia que tiene la presencia de agua precipitable en dicha región, condición necesaria para que se produzcan precipitaciones. Siendo la Corriente en Chorro quien la advecta desde regiones ecuatoriales mediante el llamado “río atmosférico”. O bien eventualmente un océano Pacífico en la costa chilena anormalmente cálido y/o una Corriente de Humboldt debilitada.

Otra característica relevante es que las precipitaciones níveas son discontinuas en el espacio y el tiempo con fuertes diferencias en los montos precipitados. Tan es así que hay días que por la magnitud de la nevada que los afecta resultan ser los que caracterizan el volumen total de nieve correspondiente a dichas temporadas.

La asimetría de las mismas responde a las condiciones atmosféricas del Cono Sur en el periodo sesgado, como es el caso de cuantiosas nevadas tardías ocurridas en la primavera de 2015 que fue anormalmente fría por el desplazamiento de la Corriente de las Malvinas hacia latitudes más bajas. Por otra parte no queda totalmente esclarecida la ausencia de nevadas hasta el 12 de julio de ese año, siendo que las condiciones de borde básicas eran muy favorables desde marzo.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Nacional de San Juan, por sus aportes económicos en el desarrollo de este trabajo a través del 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”. Res. 1531-R-16/CS-UNSJ. Al Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IDIH) de la Universidad Nacional de San Juan por facilitar el lugar de trabajo.

Bibliografía

- Acceituno, P. y Garreaud, R., “Impactos de los fenómenos El Niño y La Niña sobre regímenes fluviométricos andinos”, *Rev. Soc. Chilena Ing. Hidráulica*, vol. 10, núm. 2, pp. 33-43, 1995.
- Acceituno, P. y Vidal, F., “Variabilidad interanual en el caudal de ríos andinos en Chile Central en relación con la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Central”, *Revista de la Sociedad Ingeniería Hidráulica*, vol. 5, núm. 1, 1990.
- Acceituno, P.; Fuenzalida, H. and Rosenbluth, B.: “Climate along the extratropical West coast of South America”, in H.A. Mooney; B. Kronberg and E.R. Fuentes (eds.), *Earth Systems responses to global change*, Michigan, Academic Press, pp. 61-69, 1992.

- Compagnucci, R.H. y Vargas, W.M., “Interannual variability of Cuyo Rivers Stream-flow in Argentinean Andean Mountains and ENSO events”, *International Journal of Climatology*, vol.18, pp. 1593-1609, 1998.
- Compagnucci, R.H., “Enso events impact on hydrological system in the Cordillera de los Andes during the last 450 years”, en Volkheimer W. and P. Smolka (eds.), *Southern Hemisphere Paleo-and Neoclimates: Methods and Concepts*, Editorial Springer Verlag, pp. 175-185, 2000.
- Masiokas, M.H., *et al.*, “Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region”, *Journal of Climate*, vol. 19, American Meteorological Society, New York, 2006.
- Minetti, J.L.; W.M. Vargas and A.G. Poblete, “Monitoring El ‘Niño’/ La ‘Niña’, Event Through the Temperature of Lima (Peru)”, *Climatic Change*, 1999.
- Minetti, J.L., “Algunos avances en métodos predictivos para el escurrimiento superficial de ríos andinos centrales en la República Argentina”, Jornadas de Hidrología de nieves y hielos en América del Sur, Programa Hidrológico Internacional UNESCO, Santiago, Chile, 1984.
- Poblete, A.G. y Sánchez G., “Análisis de la posible asociación entre los derrames anuales del río San Juan y el fenómeno de ‘El niño’/‘La niña’”, *Revista de Geografía*, núm. 4, Instituto y Departamento de Geografía, UNSJ, pp. 27-36, 1972. 2000.
- Poblete A.G.; Minetti J.L.; Iranzo D.A., “Condiciones de borde atmosféricas y oceánicas que intervienen en la alimentación nívea de los ríos cuyanos”, San Juan, 2013.
- Poblete A.G.; Minetti, J.; Aguiar L., “Distribución espacial del recurso hídrico superficial de la provincia de San Juan”, *Revista de Geografía*, vol. XVII, núm. 18, San Juan, Argentina 2014.
- Poblete, A.G.; Vera, M.J., “Factores y agentes atmosféricos y oceánicos que generaron la primavera anormalmente fría del año 2015 en el centro-oeste de Argentina”, *Revista de Geografía UNC*, Instituto de Geografía Facultad de Filosofía y Letras Universidad Nacional de Cuyo, 2016.
- Poblete, A.G., “Variabilidad interanual y estacional del viento zonda en la provincia de San Juan y a su asociación con las condiciones climáticas de borde”, *Revista de Geografía*, UNSJ, San Juan, Argentina, 2016.
- Quinn, W.H., *A study of the Southern Oscillation, related climatic activity for A.D.622-1900 incorporating Nile River flood data. El “Niño”- Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*, Chapter Six, pp. 121-149, 1992.
- Quintana, J.M., “Factors affecting Central Chile rainfall variations at interdecadal scales (in Spanish)”, M.S. thesis, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 2004, 88 pp.