

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

Arnobio G. POBLETE¹, Laura A. AGUIAR²

1-Instituto de Geografía Aplicada de la Universidad Nacional de San Juan y LCS
agpoblete@gmail.com

2- Instituto de Geografía Aplicada de la Universidad Nacional de San Juan
aguiarlauri@yahoo.com.ar

RESUMEN

Dada la crisis hídrica que soporta Cuyo en la actualidad, agudizada desde 2010, resulta fundamental investigar la variabilidad temporal de los derrames anuales de los ríos de los Andes Áridos, que dependen esencialmente de la provisión de agua proveniente de un régimen nival de alta montaña, con el fin de identificar sus tendencias decrecientes y caracterizar sus periodos extremos; por ser los más perjudiciales para las actividades socioeconómicas. Los autores estudiaron la estructura temporal de los derrames de dichos ríos verificando diferencias marcadas entre ambos durante los eventos extremos, tanto excesos como sequías, ocasionados principalmente por la influencia de las temperaturas superficiales del mar en el área "Niño" 3+4, estado del Anticiclón del Pacífico Sur y Oscilación Decadal Pacífica, entre otros, pertenecientes a la circulación regional. Por lo que en este artículo pretenden encontrar el origen dinámico de esas diferencias.

Palabras Clave: derrames extremos, ríos cuyanos, nevadas, Andes Áridos, circulación regional.

RELATIONSHIP BETWEEN REGIONAL AIR CIRCULATION FACTORS AND COUPLING OCEAN - ATMOSPHERE WITH RUN OFF EXTREMES OF SAN JUAN AND MENDOZA RIVERS

ABSTRACT

Given the water crisis currently supports Cuyo, intensified since 2010, it is essential to investigate the temporal variability of annual runoff from the Arid Andes rivers, in order to identify their declining secular trends and further characterize the extreme periods; since these happen to be the most harmful to the socio-economic activities. Despite its negative effects they were minimized since 1980 by the existence of dams. Both are the main factor of economic development: intensive farming practiced in the great oasis of Mendoza and San Juan, which depends essentially of provision of water from these rivers. They have a snowy regime related to the Arid Andes. The authors studied the temporal structure of runoff verifying these rivers had differences during extreme events, both excesses as well as drought caused mainly by the influence of sea surface temperatures in the "Niño" 3 + 4, the status of South Pacific Anticyclone and Pacific Decadal Oscillation and other factors belong to regional circulation. The aim of this article is to find the dynamical origin of these differences.

Key words: extreme runoff, Cuyo's rivers, snowfall, Arid Andes, regional circulation.

INTRODUCCIÓN

Dada la crisis hídrica que soportó Cuyo desde 2010 hasta 2014 atenuada en la actualidad, resulta fundamental investigar la variabilidad temporal de los derrames anuales de los ríos andinos provenientes de los Andes Áridos, con el fin de caracterizar sus tendencias seculares decrecientes y, además, de identificar y caracterizar sus periodos extremos puesto que éstos resultan ser los más perjudiciales para las actividades socioeconómicas.

La sequía que ocurrió entre los años 1968 a 1971 (Poblete et. al. 2012) fue la más significativa por su duración y repercusión debido a su impacto adverso en la agricultura y la energía hidroeléctrica dando lugar a la multiplicación de artículos y conferencias que hacían proyecciones apocalípticas (Ramlot, 1970). Además, en esa época se generó una discusión académica sobre la importancia del evento ocurrido, desde su origen climático-dinámico hasta el de sus consecuencias, (Rutlant, 1989). La cantidad de investigaciones realizadas

en ese marco, fueron cuantiosas e importantes, poniendo de manifiesto la necesidad de contar con embalses para salvar dicha irregularidad, de donde surgió la decisión de construir el dique de Ullum en San Juan (inaugurado el 3 de diciembre de 1980), sumándose a los de El Carrizal (1971) y al reciente Los Potrerillos (2007) en el río Mendoza, entre otros. Le siguieron, ordenados por su severidad, los años secos de 1996, 1911, 1924, 1976 y 2010.

Los excesos fueron episódicos y de menor duración en los años: 1919, 1914, 1941, 1953, 1981, 1982, 1987, 1997, 2002 y 2005, provocando crecidas que, en algunos casos, destruyeron rutas y puentes. Sus efectos negativos fueron minimizados debido a la existencia de los embalses citados. Ambos extremos incidieron fuertemente en el principal factor de desarrollo socioeconómico: la actividad agropecuaria intensiva que se practica en los principales oasis de Mendoza y San Juan, que dependen esencialmente de la provisión de agua proveniente de la aportada por los ríos que tienen un régimen nival de alta montaña.

Los autores estudiaron la estructura temporal de los derrames de los ríos Mendoza (RMZA) y San Juan (DJUA) (Poblete et. al. 2013a) verificando diferencias marcadas entre ambos durante los eventos extremos, tanto excesos como sequías, ocasionados principalmente por episodios registrados en las temperaturas superficiales del mar en el área evento El Niño 3+4 (SSTN3+4), estado del Anticiclón Pacífico Sur (PSGO) y Oscilación Decadal Pacífica (PDO), entre otros, pertenecientes a la circulación regional. Por lo que en este artículo se pretende encontrar el origen dinámico de esas diferencias, (Poblete, et. al., 2014).

DATOS Y MÉTODOS

Ubicación de las Cuencas

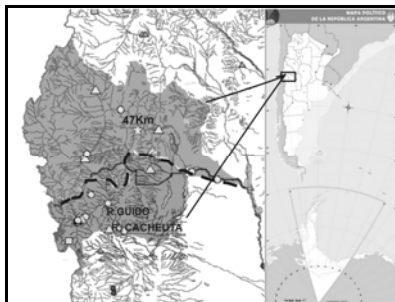


Fig. 1a: Ubicación de los ríos San Juan y Mendoza, sus cuencas y localidades donde se realizan los aforos que se utilizan en este trabajo. Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2010

Relieve asociado a las Cuencas



Fig. 1b: Orografía asociada a las cuencas de los ríos San Juan y Mendoza. (Google Earth, 2014)

Para realizar este trabajo se tomó como base los derrames anuales del río San Juan (DJUA) y río Mendoza (RMZA) como años hidrológicos citándose los como el primero, obtenidos de los registros correspondientes al periodo 1909-2012 de las estaciones hidrometeorológicas de Guido y Cacheuta para el caso del río Mendoza y los del Km 47 del cauce del río San Juan aportados por la Dirección de Hidráulica de la provincia de San Juan (Fig. 1a); complementados por los provenientes de la Red Hidrometeorológica Nacional de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2010). Como la serie de Cacheuta cubre un lapso considerable del siglo XX (1909-10, 1989-90) y la de Guido se extiende hasta la actualidad (1956-57, 2009-10) se verifica la consistencia y homogeneidad de los datos en el periodo común de ambas y se decide ensamblarlas para obtener una serie larga con la cual se pueda hacer el análisis propuesto.

La **metodología básica** empleada se detalla sucintamente a continuación:

1. **Variable estandarizada:** Mide la desviación de cada dato respecto de la media en unidades de desviación típica con el objeto de normalizar y a dimensionar las variables para obtener una comparación óptima.

La nueva variable:

(Ecuación 1)

$$z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S}$$

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 ($S_z=1$),

2. Índice de Correlación Pearson: se aplica para calcular la asociación entre variables

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})}{s_x} \frac{(y_i - \bar{y})}{s_y}, \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde n= número de datos, x_i es el dato en la posición i, con \bar{x}, \bar{y} medias de las dos series, S_x, S_y desviaciones estándar de las variables x e y.

3. El coeficiente τ de Kendall: (Kendall 1975) usado para valuar la correspondencia entre pares de registros y se define como sea $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ un conjunto de rangos que se obtienen de ordenar las observaciones de las variables originales X e Y, respectivamente, de manera que todos los valores de (x_i) y (y_i) son únicos. Cualquier par de observaciones (x_i, y_i) y (x_j, y_j) se dice que son *concordantes* si: para $x_i > x_j, y_i > y_j$ o si $x_i < x_j, y_i < y_j$. Son *discordantes* si $x_i > x_j, y_i < y_j$ o si $x_i < x_j, y_i > y_j$. Si $x_i = x_j$ o $y_i = y_j$ la pareja no es ni concordante ni discordante.

$$\tau = \frac{(\text{Nro. acuerdos}) - (\text{Nro. desacuerdos})}{\frac{n(n-1)}{2}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

El τ de Kendall también se lo usa como coeficiente de correlación no paramétrico (Kendall 1938). (WMO, 1966)

4. Medias móviles: implementadas para suavizar una secuencia temporal y 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:

$${}^L\bar{Y}_i = \frac{1}{L} \sum_{t=(1-L)/2}^{(L-1)/2} Y_{i+t} \text{ (Ecuación 4)}$$

Nótese que lo ideal es que L sea impar para que la media móvil ${}^L\bar{Y}_i$ este 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, (Hill 1973)

5. **Coefficiente de Spearman** utilizado en el cálculo de la significación de la tendencia en una serie temporal. El tiempo lamentablemente es
- 6.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N^3 - N} \quad r_s \approx N \left(0, \frac{1}{n-1} \right) \text{ (Ecuación 5)}$$

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:

$$t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \text{ (Ecuación 6)}$$

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

Sí $|t| \leq t_T$ no hay correlación significativa al α %, en los datos. (Siegelet. al. 1988)

Para el análisis espacial se utilizó el *Reanalysis* del NCEP/NCAR de la NOAA. En todos los casos se usaron planilla de cálculo y software matemático específico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realiza una caracterización de los ríos en estudio para tenerla como referencia en el análisis de los extremos diferenciados. En la Tabla 1 y la Fig. 2 se muestran los estadísticos de ambos ríos.

Tabla 1: estadísticos básicos de los derrames anuales de los ríos Mendoza (RMZA) y San Juan (DJUA).

| Estadísticos | río-Mendoza | río San Juan |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Nº de datos | 101 | 101 |
| Media | 1566.465 | 2051,010 |
| Coef. % -95.000 | 1464.980 | 1815,053 |
| Coef. % +95.000 | 1667.950 | 2287,967 |
| Mediana | 1453.000 | 1696.000 |
| Mínimo | 803.000 | 627,500 |
| Máximo | 3597.000 | 7085,000 |
| Primer Cuartil | 1219,000 | 1195,000 |
| Tercer Cuartil | 1724,500 | 2439,000 |
| Percentil 10 | 1083,000 | 977,000 |
| Percentil 90.000 | 2168,000 | 3711,000 |
| Desviación Standard | 517,077 | 1195,247 |

| EXTREMOS | Río Mendoza Hm ³ | Río San Juan Hm ³ |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|
| MUY SECO | < 1083,000 | < 977,000 |
| SECO | < 1219,000 | < 1195,000 |
| NORMAL | 1453,000 | 1696,000 |
| HUMEDO | > 1724,500 | > 2439,000 |
| MUY HUMEDO | > 2168,000 | > 3711,000 |

Límites de derrames extremos para ambos ríos

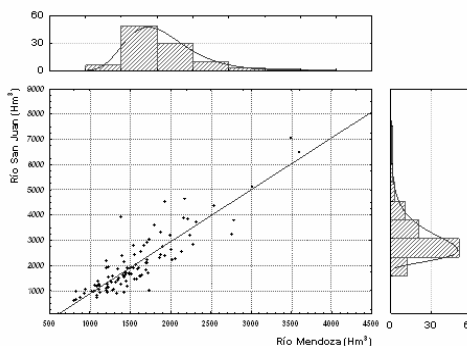


Fig. 2: Ajuste lineal que muestra la alta correlación entre ambos ríos. También se dibujan los respectivos histogramas con ajuste lognormal. Puesto que es la mejor distribución que se ajusta a la estructura de ambos ríos (Poblete et. al. 2002).

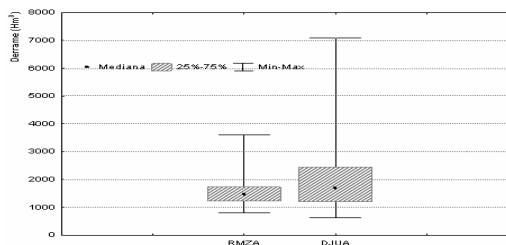


Fig. 3: Estructura estadística de los derrames anuales de los ríos San Juan y Mendoza mostrada con los grafos caja-bigote (Poblete et. al. 2002).

En ellas se observa que el río San Juan tiene un derrame medio de 2.051 hm³ mientras que el río Mendoza 1.566 hm³, parámetros que no describen adecuadamente el comportamiento promedio de ambos, puesto que tienen una distribución lognormal como se muestra en la Fig. 2, donde se ve que ambos ríos se ajustan a esta con un significativo sesgo positivo, es decir que están

afectados por los extremos máximos. Sin embargo, el río Mendoza muestra un marcado sesgo negativo lo que indicaría que es más sensible a los extremos mínimos que el río San Juan; a dichos promedios se los utiliza como referencia para los análisis subsiguientes.

Se aprecia que el río Mendoza tiene una menor variabilidad (desviación estándar = 517 hm^3 y un mínimo absoluto de 803 hm^3) que la del río San Juan (desviación estándar = 1.195 hm^3 y un mínimo absoluto de 627 hm^3), graficados en la Fig3.

Para identificar los extremos diferenciados de los ríos analizados se realizan las Figs. 4 y 5.

Series Temporales de los ríos Mendoza y San Juan

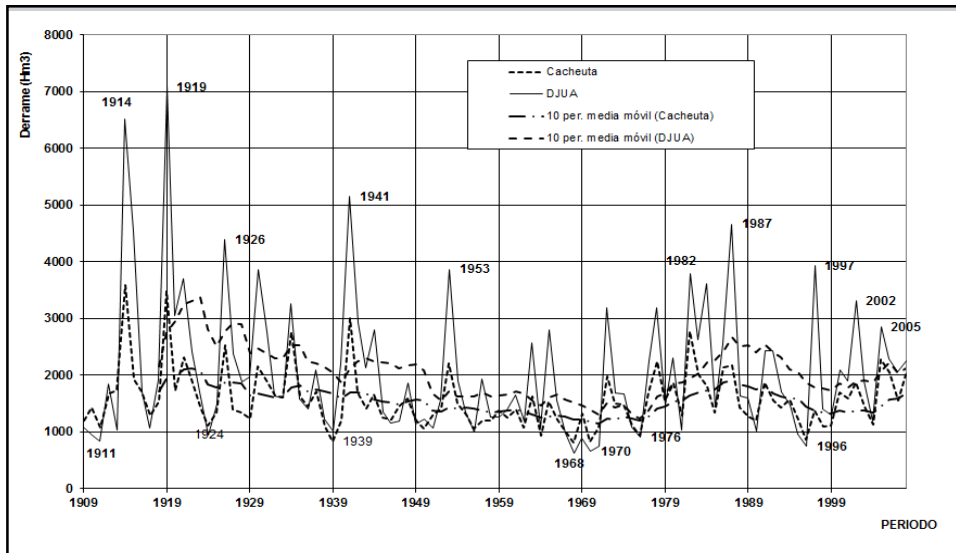


Fig.4: Variabilidad interanual de los derrames anuales de los ríos Mendoza y San Juan con sus tendencias lineales no significativas, medias móviles (lag = 10), y años en los cuales se produjeron extremos. Elaboración propia.

En la Fig. 4 se observa la variabilidad interanual de ambos ríos notándose las diferencias entre sus derrames que favorecieron, en la mayoría de los casos, al río San Juan. Sus comportamientos resultan bastante homogéneos en las frecuencias lentas como lo muestran sus respectivas medias móviles (Ecuación 4).

Series Temporales Estandarizadas de los ríos Mendoza y San Juan

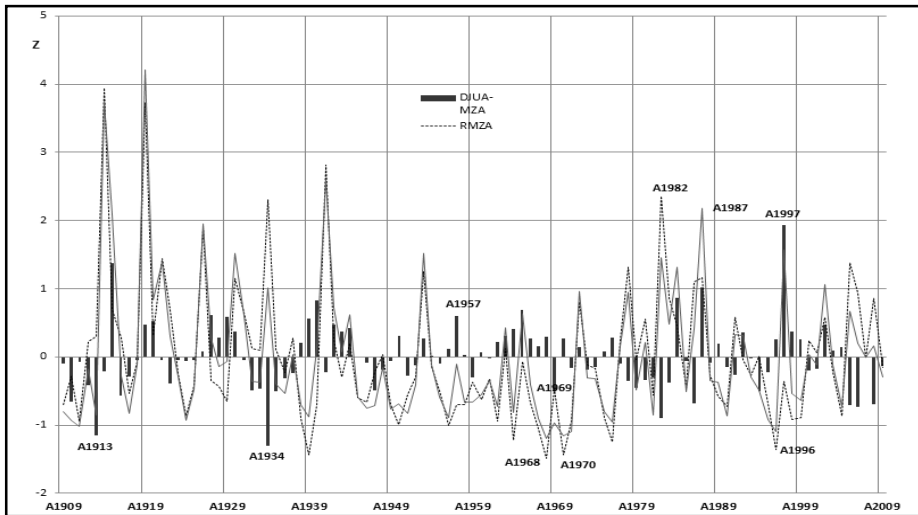


Fig. 5: Variabilidad interanual de los derrames anuales estandarizados de los ríos Mendoza (línea de puntos) y San Juan (línea continua), con sus diferencias (barras). Se identifican los años con derrames extremos. Elaboración propia.

Para identificar los extremos no coincidentes, se estandarizan (Ecuación 1) ambas series y se las grafica en la Fig. 5. En la misma se detectan los años en los cuales ocurrieron los eventos extremos que difieren.

| N° de orden | PERIODO | DJUA | N° de orden | PERIODO | DJUA | N° de orden | PERIODO | Mendoza | N° de orden | PERIODO | Mendoza |
|-------------|---------|-------|-------------|---------|--------|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| 1 | A1968 | 627,0 | 1 | A1919 | 7085,0 | 1 | A1968 | 803 | 1 | A1914 | 3597 |
| 2 | A1970 | 662,0 | 2 | A1914 | 6526,0 | 2 | A1939 | 829 | 2 | A1919 | 3486 |
| 3 | A1971 | 742,0 | 3 | A1941 | 5152,0 | 3 | A1970 | 830 | 3 | A1941 | 3014 |
| 4 | A1996 | 743,0 | 4 | A1987 | 4664,0 | 4 | A1996 | 870 | 4 | A1982 | 2778 |
| 5 | A1911 | 834,0 | 5 | A1915 | 4534,0 | 5 | A1976 | 927 | 5 | A1934 | 2754 |
| 6 | A1969 | 892,0 | 6 | A1926 | 4392,0 | 6 | A1964 | 939 | 6 | A1926 | 2535 |
| 7 | A1976 | 910,0 | 7 | A1997 | 3935,0 | 7 | A1967 | 1023 | 7 | A1921 | 2307 |
| 8 | A1924 | 937,0 | 8 | A1930 | 3871,0 | 8 | A1956 | 1050 | 8 | A2005 | 2274 |
| 9 | A1910 | 944,0 | 9 | A1953 | 3868,0 | 9 | A1950 | 1055 | 9 | A1978 | 2241 |
| 10 | A1995 | 956,0 | 10 | A1982 | 3793,0 | 10 | A1962 | 1081 | 10 | A1953 | 2211 |

Tabla 2: Derrames máximos y mínimos de los ríos San Juan y Mendoza ordenados de mayor a menor y viceversa. Elaboración propia.

Con el objeto de apreciar con mayor detalle el comportamiento desigual de ambos ríos en cuanto a sus extremos, salvo en el mínimo absoluto de 1968, se elabora la Tabla 2 en la que se observa la no coincidencia temporal de los mismos: el segundo año más seco en el río San Juan se produjo en 1970 (662

hm³) mientras que en el Mendoza ocurrió en 1939 (829 hm³). El más húmedo se produce en 1919 (7.085 hm³) en el DJUA, mientras que en RMZA, ocurre en 1914 (3.597 hm³). Teniendo en cuenta este hecho y otros que se pueden apreciar en dicha tabla, se decide aplicar el test no paramétrico τ de Kendall puesto que éste, en esencia, evalúa las coincidencias/no coincidencias de los rangos de ambas series (Ecuación 2). Para valuar su performance se lo compara con el coeficiente de correlación de Pearson (r) (Ecuación 1) y el no paramétrico de Spearman (r_s) (Ecuación 5), dando los siguientes resultados: $r = 0,89$, $r_s = 0,84$ y el $\tau = 0,66$ lo que muestra nítidamente que, a pesar de existir una fuerte correlación entre ambos ríos, la cantidad de acuerdos en los rangos de sus derrames constituyen solo un 66%.

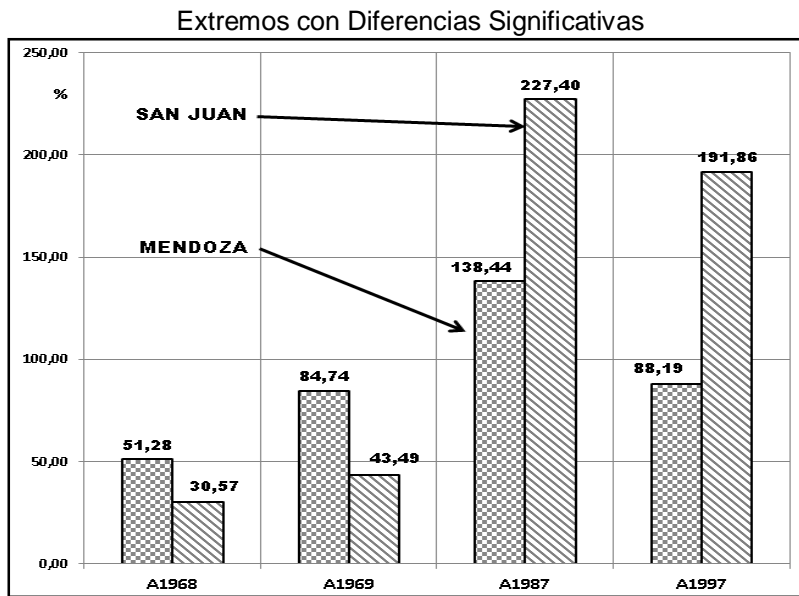


Fig.6: Años seleccionados con una significativa diferencia de extremos entre los ríos Mendoza y San Juan. Elaboración propia.

Las diferencias de extremos más notorias detectadas se muestran en la Fig. 6, coinciden en los mínimos en el periodo más seco registrado en ambos ríos (1968 – 1969); sin embargo, en ambos casos los mínimos del RMZA (51.28% y 84.74% respectivamente) son mayores que los del DJUA (30.57% y 45.49%) y en los máximos que ocurrieron en 1987 y 1997 producto en parte de los dos eventos El Niño más importantes desde 1.909 - ver Tabla 3 - en este caso el DJUA (227% y 191.90%) supera al RMZA (138% y 88.2%). Por lo expuesto el río San Juan es más extremo que el río Mendoza. Se aclara que no se

consideran los máximos de 1919 (DJUA) y 1914 (RMZA) debido a que no se cuenta con las herramientas de análisis espacial provistas desde 1948.

Teniendo en cuenta las marcadas diferencias mostradas, se decide hacer un análisis climatológico dinámico para identificar las causas físicas de las mismas.

1. Análisis dinámico de los casos extremos más destacados

Como los años anómalos se encuentran en el lapso más seco registrado en los Andes Áridos en todo el período desde 1.909 y, como además, los húmedos coincidieron con los eventos El Niño más importantes mencionados, se cree necesario hacer un análisis del estado de las SSTN3+4, el PSGO, la PDO y otros factores de circulación regional tales como el agua precipitable, OLR, *baroclinicidad*, *westerlies*, *geopotenciales* y *corriente en chorro*.

| EL NIÑO | | | | LA NIÑA | | | |
|---------|------|----------|--------|---------|------|----------|--------|
| RANKING | AÑO | NIÑO 3+4 | DJUA | RANKING | AÑO | NIÑO 3+4 | DJUA |
| 1 | 1997 | 1,81 | 3935,0 | 1 | 1988 | -1,52 | 1640,0 |
| 2 | 1987 | 1,60 | 4664,0 | 2 | 1975 | -1,25 | 1086,0 |
| 3 | 1941 | 1,56 | 5152,0 | 3 | 1916 | -1,23 | 1708,0 |
| 4 | 1930 | 1,31 | 3871,0 | 4 | 1910 | -1,19 | 944,0 |
| 5 | 1982 | 1,12 | 3793,0 | 5 | 2010 | -1,19 | 1059,0 |
| 6 | 1972 | 1,03 | 3196,0 | 6 | 1998 | -1,16 | 1411,0 |
| 7 | 1965 | 1,02 | 2801,0 | 7 | 1973 | -1,14 | 1685,0 |
| 8 | 1914 | 0,97 | 6526,0 | 8 | 1909 | -1,10 | 1091,0 |
| 9 | 1919 | 0,95 | 7085,0 | 9 | 1955 | -1,09 | 1347,0 |
| 10 | 2002 | 0,91 | 3316,0 | 10 | 1999 | -1,04 | 1291,0 |
| 11 | 1940 | 0,89 | 2201,0 | 11 | 1954 | -0,96 | 1905,0 |
| 12 | 1925 | 0,84 | 1494,0 | 12 | 1964 | -0,95 | 1076,0 |
| 13 | 1926 | 0,73 | 4392,0 | 13 | 1970 | -0,92 | 662,0 |
| 14 | 1915 | 0,72 | 4534,0 | 14 | 1950 | -0,84 | 1225,0 |
| 15 | 2009 | 0,66 | 1700,0 | 15 | 1933 | -0,83 | 1605,0 |

Tabla 3: Ranking de los principales eventos El Niño y La Niña medidos como la anomalía de la temperatura superficial del mar en el área Niño 3+4 (SST3+4) en el periodo nival (Abril-Septiembre).Elaboración propia.

Serie Temporal Estandarizada de la Oscilación Decadal Pacífica Suavizada

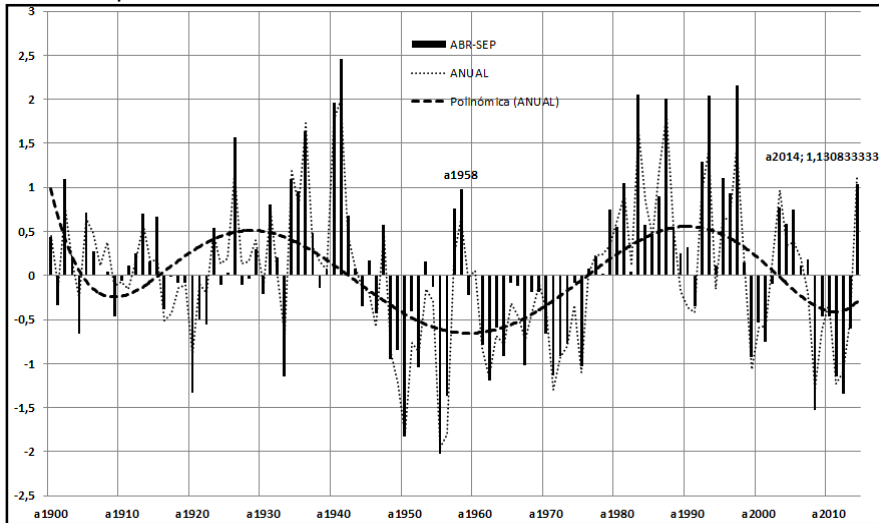


Fig.7: Marcha interanual de la Oscilación Decadal Pacífica (PDO) entre 1.900 y 2.013. Elaboración propia.

Serie Temporal Estandarizada de la Oscilación del Anticiclón del Océano Pacífico Sur Suavizada

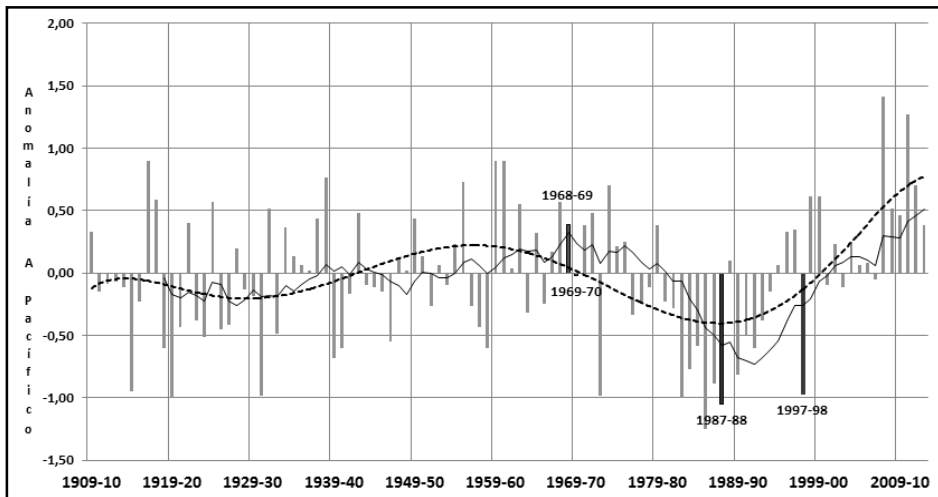


Fig.8: Marcha interanual de las anomalías estandarizadas de la actividad del Anticiclón del Océano Pacífico Sur -1.909, 2.013-. Elaboración propia.

La Tabla 3 muestra el estado del SSTN3+4 en los períodos nivales correspondientes evaluado desde 1909 a 2012 se observa que no es el único factor determinante de la sequía, puesto que el año 1968 se presenta en un estado neutro (SST3+4= 0,12; 53,28% del derrame normal del río Mendoza y 30,57% del río San Juan) siendo el mínimo absoluto tanto de los derrames del río San Juan como los del río Mendoza. Mientras que el año 1969, como ya se advirtió, el segundo menor derrame para el río San Juan no coincide con el del río Mendoza que se registra en el año 1939 en ambos casos las SSTN3+4 están en estado neutro (Tabla 4) la PDO en la fase fría (Fig.7) y PSGO moderadamente potenciado (Fig. 8).

Sin embargo, como se vio en los máximos, las SSTN3+4 resultan dominantes en: 1987 con (SST3+4= 1,60; 138,44% para el río Mendoza y 227% para el río San Juan) y en 1997 (SST3+4= 1,81; 88,20% para el río Mendoza y 191,89% para el río San Juan) coherente con el estado positivo de la PDO, fase caliente (Fig. 7) y un PSGO debilitado (Fig. 8). De esto se deduce que la incidencia del estado del Océano Pacífico Ecuatorial fue determinante en los máximos e irrelevante en los mínimos mientras que PSGO se muestra con anomalías positivas en los mínimos y negativas en los máximos (Fig.8) que resulta coherente con su relación inversa con las nevadas.

2. Para dilucidar específicamente qué otros factores dinámicos de la circulación regional influyeron, se realiza el siguiente análisis:

2.1. Año 1968, mínimo absoluto en ambos ríos: se produjo el clímax del período más seco registrado en los ríos San Juan y Mendoza, ver Fig. 4, (Poblete et. al., 2012), como ya se mencionó el déficit fue más intenso en el río San Juan. Para determinar las causas dinámicas de ese mínimo absoluto y de la diferencia entre ambos ríos, se realiza el siguiente análisis:

| Año | MAM | AMJ | MJJ | JJA | JAS | ASO | Abr-Sept |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1968,00 | -0,70 | -0,30 | 0,00 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 0,00 |
| 1969,00 | 0,70 | 0,60 | 0,60 | 0,40 | 0,40 | 0,60 | 0,53 |
| 1970,00 | 0,10 | 0,00 | -0,30 | -0,60 | -0,80 | -0,90 | -0,42 |
| 1971,00 | -0,90 | -0,80 | -0,80 | -0,80 | -0,80 | -0,80 | -0,82 |

Tabla 4: Valores del Oceanic Niño Index (ONI) para el periodo 1968-1971, Fuente: NOAA-EE.UU.

La tabla 4 muestra el estado de las SSTN3+4 en todo el período seco donde está incluido el año analizado y se aprecia que están neutras en todo el lapso

nival. La Oscilación Decadal Pacífica (PDO) estaba en su fase fría lo que es coherente con la sequía registrada (Fig. 7) y además un Anticiclón del Océano Pacífico moderadamente potenciado que, como se sabe, inhibe las nevadas (Fig. 8). Por otra parte, en la figura 9 se observa la humedad específica (gr/kg) en el nivel de los 500 mb (aproximadamente 5500 msnm), observándose un marcado déficit en ambas cuencas sin diferencias significativas entre ellas (anomalías de -0,12 gr/kg en ambas). La radiación saliente en onda larga (OLR) presenta anomalías positivas, lo que implica una inhibición de la convección y, por lo tanto, de la precipitación (Fig. 10). En el geopotencial (altura en la que se encuentra una presión dada) de los 500 mb se observa la presencia de un anticiclón de bloqueo en latitudes medias sobre el Océano Atlántico, al este de la Patagonia, centrado aproximadamente en 50°S y 60°W (Fig. 11) que desvía la trayectoria de las vaguadas, bajas segregadas y otros factores precipitantes.

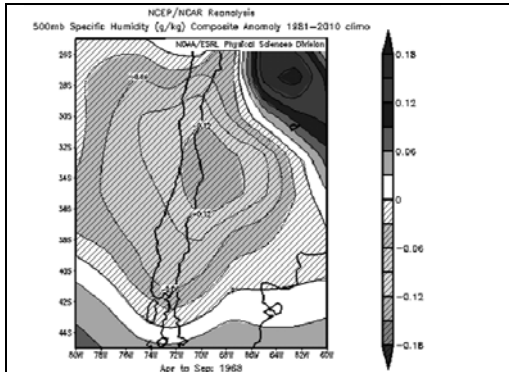


Fig. 9: Humedad específica (gr/kg) en el nivel de los 500 mb, en el período abril - setiembre del año 1968. Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. NOAA. Elaboración propia.

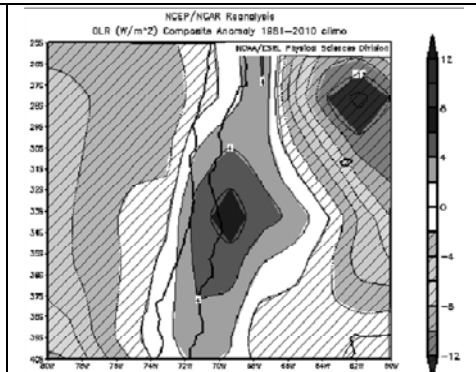


Fig. 10: Radiación saliente en onda larga (OLR). Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.

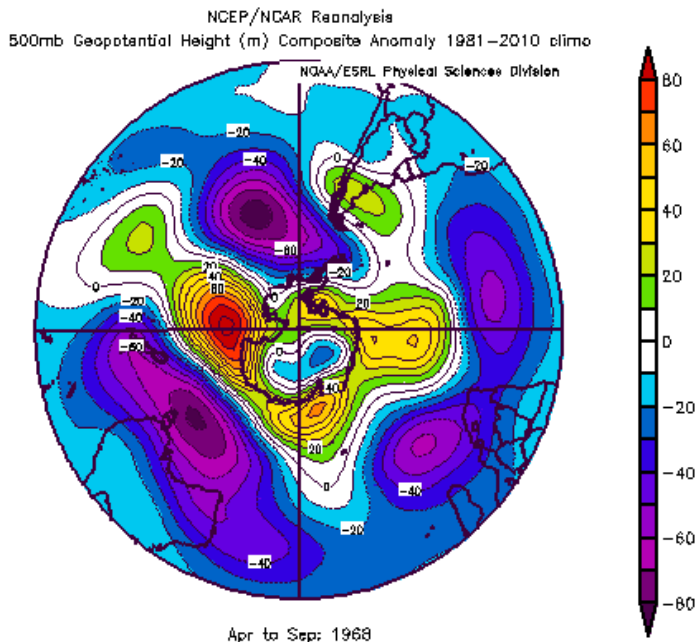


Fig. 11: Geopotencial de los 500 mb para el Hemisferio Sur en el período abril-setiembre del año 1968. Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.

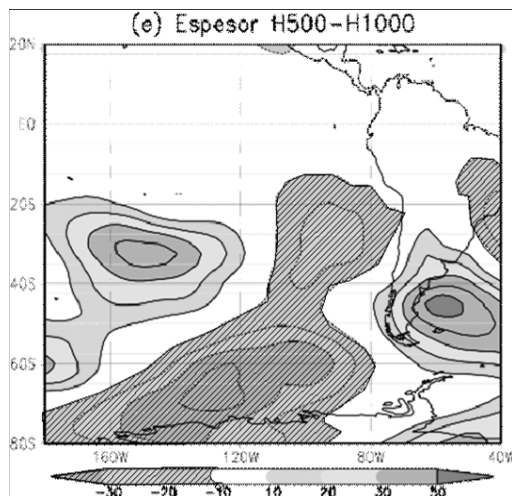


Fig. 12: Anomalías del espesor de las alturas geopotenciales de los 1000 y 500 hPa. Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.

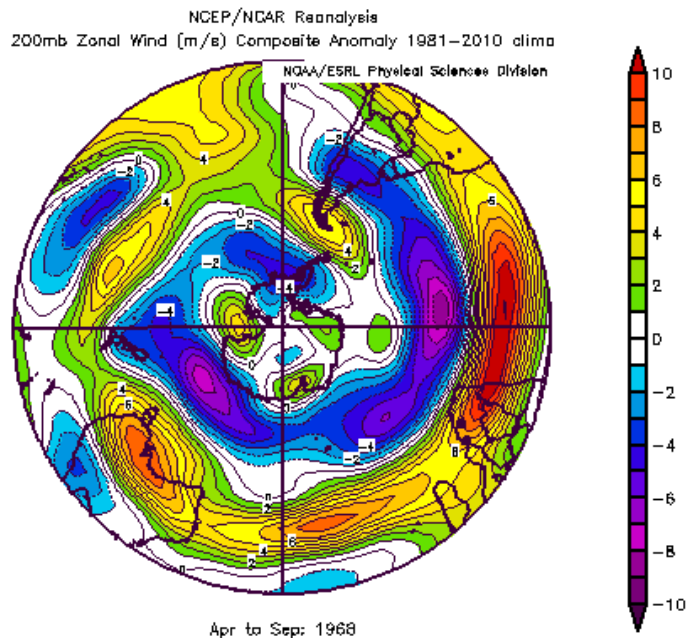


Fig. 13: Viento zonal en el nivel de los 200 mb, usado para estimar la corriente en chorro. Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.

Otro patrón muy importante que confirma dicho bloqueo es el espesor entre los 1.000 y 500 mb (Fig. 12), que denota una marcada baroclinicidad al este del Cono Sur originada por el gradiente térmico meridional que ocasiona una acentuada variabilidad espacial entre anomalías positivas y negativas sobre la costa oriental de Sudamérica, quedando sin la misma la costa oeste y los Andes Áridos; ocasionando de esta manera escaso intercambio meridional de masas entre latitudes medias y altas. Por otra parte en la Fig. 13 se observa el viento zonal en los 200 mb, utilizado para estimar la actividad de la corriente en chorro donde se observa una anomalía negativa y una circulación poco meandrosa, inhibiendo el intercambio horizontal de masas de aire cálidas y húmedas, provenientes de las regiones tropicales, con las frías subpolares respectivamente. La concatenación de los factores mencionados produjo el año nival más seco de todo el período en estudio, siendo quizás la humedad específica y la OLR las que producirían las diferencias entre los mínimos del DJUA y el RMZA.

No encontrando claramente las diferencias entre sus derrames, se las debe atribuir a la orografía, más aun teniendo en cuenta que los macizos que separan

sus cuencas son de tal magnitud que incluyen a los Cerros Aconcagua y Mercedario (Fig. 1b). Debido a esto pueden surgir agentes propios de la mesoescala (determinada por el relieve) tales como vientos con direcciones dependientes de la exposición de las laderas respecto de la radiación y la advección. En presencia de nieve se podría generar “viento blanco” que transportaría a la misma de la cuenca del río Mendoza a la del río San Juan y viceversa.

2.2. Año 1969, con la mayor diferencia entre los mínimos: En este año de déficit para ambos, el río Mendoza fue más húmedo (derramó 84,74% de su media) que el río San Juan (43,5%), la explicación dinámica sería la siguiente:

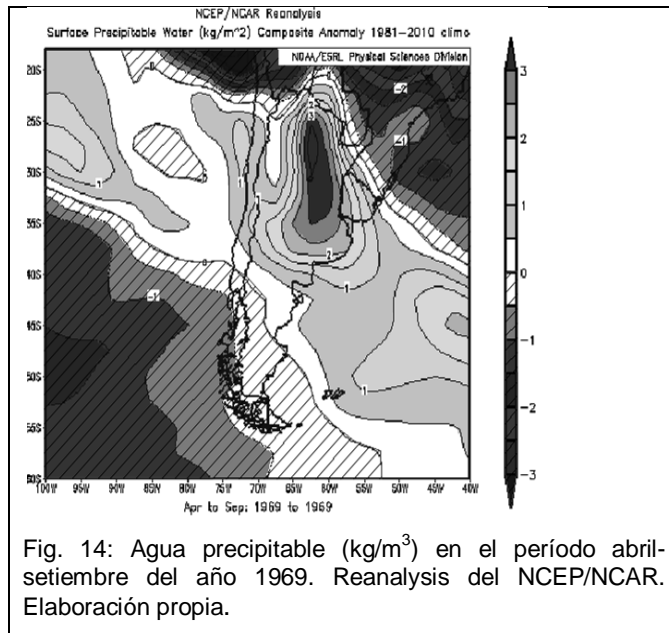
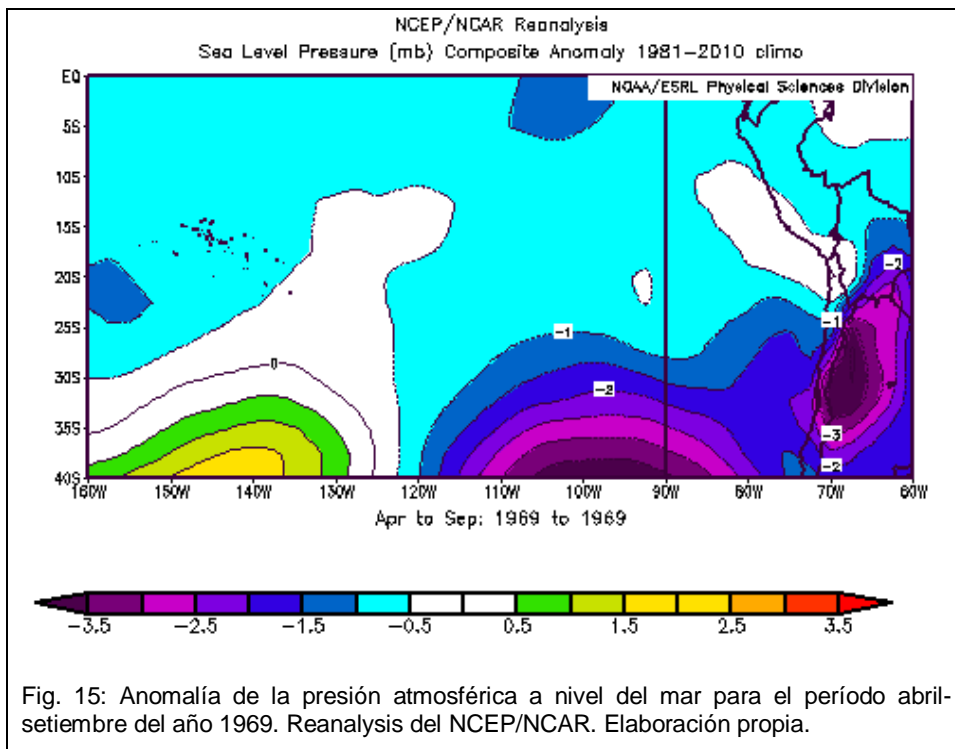


Fig. 14: Agua precipitable (kg/m^3) en el período abril-setiembre del año 1969. Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.



Paradójicamente en este año las SSTN3+4 fueron positivas (Tabla 4) contradiciendo la creencia generalizada de que el ENSO, es el único factor que influye en las nevadas de los Andes Áridos.

En la Fig. 14 se observa que la distribución espacial de la anomalía del agua precipitable es mayor en la cuenca del río Mendoza (2kg/m^3) que en la del río San Juan (1kg/m^3), por lo que sería la principal causa de la diferencia a favor del primero. En la Fig. 15 se aprecia una anomalía negativa de presión atmosférica a nivel del mar, tanto en el Océano Pacífico como en todo el Cono Sur, agudizándose en Patagonia en especial en la zona de los vientos del oeste, lo que causaría que estos estén más activos, implicando que los desplazamiento de los agentes formadores de precipitación en latitudes medias y bajas sean más débiles (Poblete et al., 2013b) (Garreaud, 1999). Esto es corroborado por la débil presurización de PSGO mostrada en la Fig. 8. También se debería tener en cuenta el factor orográfico ya descrito.

2.3. Año 1987, el de mayor derrame desde 1941

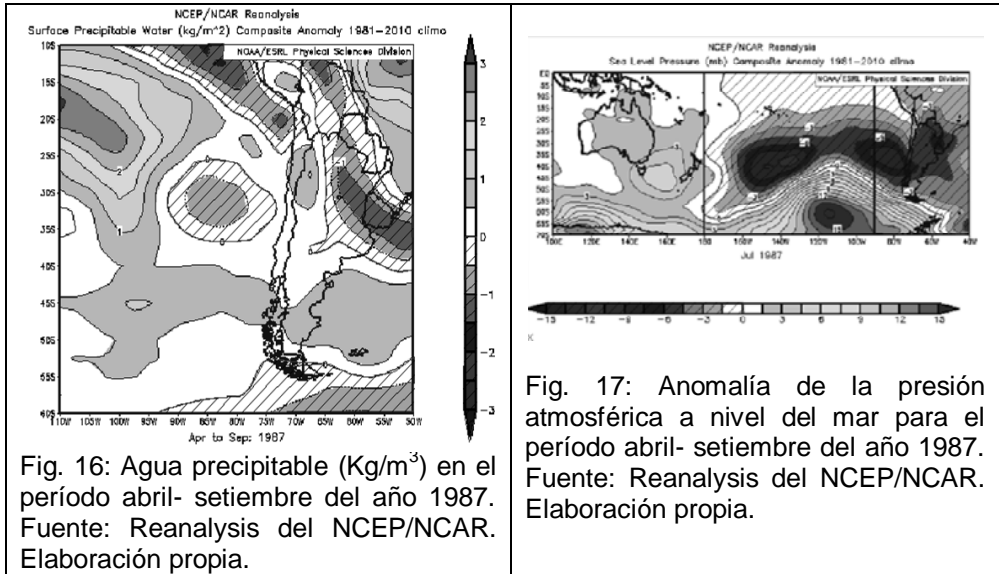


Fig. 16: Agua precipitable (Kg/m^3) en el período abril- setiembre del año 1987. Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.

Fig. 17: Anomalia de la presión atmosférica a nivel del mar para el período abril- setiembre del año 1987. Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.

Se analiza la diferencia ocurrida en el año 1987 en el que se produjo uno de los “Niños” más intensos (1,60 de anomalía en las SST3+4, segundo en el ranking después del de 1997) asociado al derrame más alto de los últimos años del río San Juan (4.664 hm^3), en contraste con el del río Mendoza el cual se encontraba en el quinto lugar (2.168 hm^3) ambos desde 1941.

La Fig. 16 muestra la distribución del agua precipitable en dicho año, se observa que hay un fuerte superávit en el NW de las cuencas producto de las intensas SSTN3+4 por el calentamiento del océano Pacífico Ecuatorial, debido a la presencia de El Niño aludido. El advenimiento de la humedad proveniente de esa dirección, proveyó de mayor cantidad de agua a las cuencas de los ríos Jáchal y San Juan. Dicho transporte pudo estar intensificado por las fuertes anomalías negativas de presión, que se muestran en las Figs. 8 y 17, potenciadas por un anticiclón de bloqueo ubicado aproximadamente entre los 80°W y 140°W en el *track* (trayectoria) de las depresiones subpolares. También en este caso se debe tener en cuenta el factor orográfico.

2.3. Año 1997, el de mayor contraste entre ambos ríos: En este año se verifica la diferencia más grande entre los derrames máximos de ambos ríos: río San Juan con el 191,86% de su promedio, mientras que el río Mendoza sólo el 88,2%.

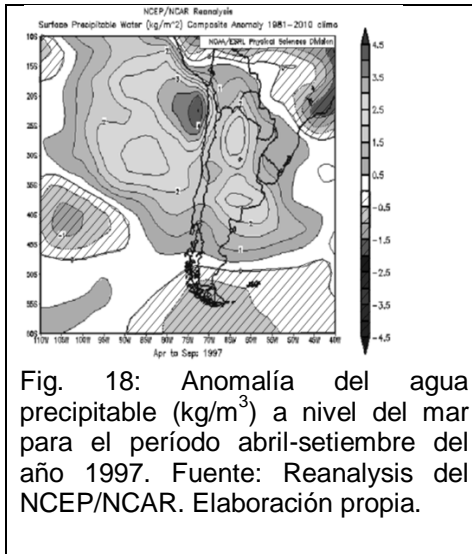


Fig. 18: Anomalia del agua precipitable (kg/m^3) a nivel del mar para el período abril-setiembre del año 1997. Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.

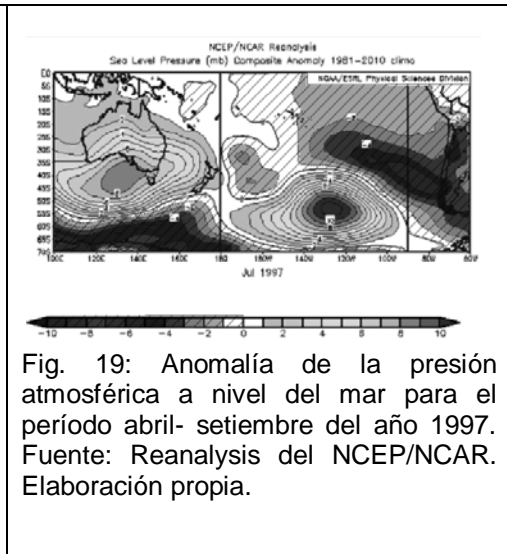


Fig. 19: Anomalia de la presión atmosférica a nivel del mar para el período abril- setiembre del año 1997. Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR. Elaboración propia.

Para explicar dinámicamente ese hecho se realizaron las Figs. 18 y 19. En la primera se observa la anomalía del agua precipitable en superficie, en la que se distingue un marcado superávit (4 kg/m^3) en la costa peruano-chilena y mar adyacente. La cuenca del río San Juan se ve favorecida por: la advección proveniente desde dicho núcleo producida por los vientos zonal y meridional junto al degradé del agua precipitable hacia mayor latitud que favorece más a la del DJUA (2 kg/m^3) que a la del río Mendoza (0.5 kg/m^3) lo que explicaría, en parte la notable diferencia a favor del río San Juan.

En la Fig. 19 se verifica una fuerte anomalía de presión negativa en todo el Cono Sur y el área que ocupa el Anticiclón Subtropical del Océano del Pacífico Sur (PSGO), acorde con la presencia de las SSTN3+4 altas, que favorece el advenimiento de los mecanismos precipitantes, potenciado por un anticiclón de bloqueo que canaliza las depresiones subpolares impulsadas por el gradiente inducido por la baja presión descrita coherente con lo mostrado en la Fig. 8.

De lo que se desprende que la diferencia en los derrames de 1997 se debe principalmente a la mayor disponibilidad de agua precipitable en la cuenca del río San Juan, ya que la anomalía negativa de presión en el Océano Pacífico Sur y la PDO en su fase cálida afectan de igual manera a ambas.

CONCLUSIONES

Como ambos ríos tienen una distribución lognormal presentan un marcado sesgo positivo, es decir que están afectados por los extremos máximos, sin embargo el río Mendoza tiene un significativo sesgo negativo lo que indicaría que es más sensible a los extremos mínimos que el río San Juan, que a su vez tiene una mayor variabilidad.

Presentan extremos no coincidentes salvo en el mínimo absoluto de 1968. El segundo año más seco en el río San Juan se produjo en 1970, mientras que en el río Mendoza aconteció en 1939. En el DJUA el más húmedo se produjo en 1919 mientras que, en el RMZA ocurrió en 1914. El test de Kendall muestra que la cantidad de acuerdos en los rangos de sus derrames constituyen sólo un 66%.

Las SSTN3+4 no es el único factor determinante de los periodos secos puesto que el año del mínimo absoluto se presenta en un estado neutro al igual que en el año 1969. Sin embargo, en los máximos las mismas resultan dominantes: 1987 y 1997. De lo que se deduce que la incidencia del estado térmico del Océano Pacífico Ecuatorial fue determinante en los máximos e irrelevante en los mínimos.

Las causas físicas de las diferencias encontradas son las siguientes: en el año 1968 la conjunción de humedad insuficiente, el anticiclón de bloqueo en la Patagonia, la corriente en chorro poco meandrosa y la baroclinicidad, al este de la zona de estudio, generaron que sea el más seco en ambas cuencas. Sin embargo, en 1969 se determinó que la cuenca del río Mendoza disponía de mayor cantidad de agua precipitable, a lo que se suma "oestes" (vientos constantes del Oeste- *westerlies*-) más activos que promueven vientos zonales más débiles en los Andes Áridos.

En el año 1987 el agua precipitable tiene un superávit en el NW de las cuencas. Su advección proveniente de esa dirección proveyó mayor cantidad de agua a las de los ríos Jáchal y San Juan que a la del río Mendoza. Dicho transporte pudo estar intensificado por las fuertes anomalías negativas de presión en todo el Cono Sur y Océano Pacífico Sur, que se potencian por la presencia de un anticiclón de bloqueo ubicado aproximadamente entre los 80°W y 140°W en la región de las depresiones subpolares.

En el año 1997 se observa que la anomalía del agua precipitable en superficie, presenta un marcado superávit en la costa peruano-chilena y mar adyacente, por lo que la cuenca del río San Juan se ve favorecida por la advección desde dicho núcleo debida a los vientos zonal y meridional sumado al decrecimiento

del agua precipitable hacia mayor latitud que la favorece más que a la del río Mendoza. Esto explicaría, en parte, la notable diferencia a favor del río San Juan. La fuerte anomalía de presión negativa en todo el Cono Sur y el área que ocupa el Anticiclón Subtropical del Océano Pacífico Sur favorece el advenimiento de los mecanismos precipitantes potenciados por un anticiclón de bloqueo que canaliza las vaguadas y bajas segregadas en conjunción con un Anticiclón del Océano Pacífico Sur debilitado. De lo que se desprende que la diferencia en los derrames de 1997 se debe principalmente a la mayor disponibilidad de agua precipitable en la cuenca del río San Juan ya que, la anomalía negativa de presión en todo el área afecta de igual manera a ambas. En todos los casos se debe tener en cuenta el factor orográfico dada la magnitud de los macizos andinos que separan ambas cuencas y que genera agentes mesoscáicos.

Del estudio pormenorizado de los derrames extremos de ambos ríos se concluye que el estado térmico del Océano Pacífico Ecuatorial es determinante en los máximos e irrelevante en los mínimos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las siguientes instituciones y proyectos por sus aportes económicos para el desarrollo de este trabajo: Universidad Nacional de San Juan y ANCYT, PICTO- UNSJ-2009-0150-BID, UNSJ, Proyecto: “Análisis climatológico-dinámico de la crisis hídrica de los últimos años en Cuyo y Chile central en el contexto del Cambio Climático Global”. Cod. F994, RES: 018/14-CS-UNSJ.Laboratorio Climatológico Sudamericano, Secretaría de Energía por los datos proporcionados para esta investigación. NCEP/ENCAR y la NOAA por los datos del re análisis y su tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

GARREAUD, R. D. (1999), Interannual (ENSO) and Interdecadal (ENSO-like) Variability in the Southern Hemisphere Tropospheric Circulation. Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Seattle, Washington.

HILL, I.D. (1973), Algorithm AS 66: The Normal Integral, en: Applied Statistics, v. 22, n.3.

KENDALL, M.G. (1975), Rank Correlation Methods. London, Charles Griffin.

JOHNSEN, S.J., ANDERSEN N. (1978), On power estimation in for Maximum Entropy Spectral, en: Analysis Geophysical, v. 43, n. 4.

KENDALL, M.G. (1938), A new measure of rank correlation, en: *Biometrika*, n. 30, pp. 81 - 93.

NOAA-EEUU National Oceanic & Atmospheric Administration.

<http://www.noaa.gov/>.

POBLETE, A. G., AGUIAR L. SILVA, S., (2002), Estructuras estadísticas de los derrames del río San Juan y el Jáchal y sus relaciones, en: *Revista de Geografía*, n. 6, pp. 58 - 70. Instituto y Departamento de Geografía de la UNSJ.

POBLETE, A. G., ESCUDERO, S. (2013a), La sequía en los Andes Centrales y su repercusión en los ríos San Juan y Mendoza, en: *IV Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas y XI Jornadas Cuyanas de Geografía*. Mendoza. 23, 24 y 25 de Octubre de 2013.

POBLETE, A. G., IRANZO, D.A., (2012), Análisis de los factores de circulación atmosférica regional y cupla océano-atmósfera que generaron el período nival más seco del siglo XX en los Andes Centrales de Argentina y Chile, en: *IX Jornadas Nacionales de Geografía Física, Bahía Blanca*, 19 al 21 de abril de 2012.

POBLETE, A. G., MINETTI, J. L. BORBORE, C. A. (2014), Análisis Wavelet de los principales factores que inciden en la caída de nieve de los Andes Áridos, en: *XXVII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas*. Publicado en Actas. San Juan. Argentina.

POBLETE, A.G., MINETTI J. L., IRANZO. D.A., (2013b), Condiciones de borde atmosféricas y oceánicas que intervienen en la alimentación nívica de los ríos cuyanos, en: *XXIVº Congreso Nacional del Agua 2013*. San Juan, 14 al 18 de Octubre.

RAMLOT, M. J. P., (1970), *Hacia el porvenir de la región cuyana*. Mendoza, Universidad Nacional de Cuyo.

REANALYSIS NCEP/NCAR. Disponible en:

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>.

RUTLANT, W., (1989), *Variabilidad intraestacional e interanual en regiones extratropicales*. Curso de variabilidad climática y su impacto ambiental. Departamento de meteorología. UBA, Buenos Aires.

SIEGEL, S. Y CASTELLAN, N. (1988), *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. McGraw - Hill Inc. Singapore.

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS (2010) Disponible en: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/>.

(WMO) WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1966), *Climatic Change Technical, Note 79*, Geneve.