

## Relación del derrame anual del río San Juan con índices multivariados que estiman el comportamiento del enso y el anticiclón del Pacífico Sur

Arnobio Germán Poblete<sup>1</sup>, María Agustina Albeiro Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geografía Aplicada – FFHA – UNSJ

Corresponding author: Arnobio Germán Poblete, agpoblete@gmail.com

(Recibido: 01-12-2023. Publicado: 27-12-2023.)

DOI: 10.59427/rcli/2023/v23.179-189

### Resumen

*En búsqueda de índices más efectivos para explicar la condición dinámica que influye sobre las nevadas en los Andes Áridos, representadas por el derrame del río San Juan (DJUA); en este trabajo se analizan dos de ellos, cuya ventaja es que son multivariados, y, por lo tanto, más representativos de las condiciones climáticas imperantes en el período abril-septiembre. Uno de ellos, es el Índice Multivariado de El Niño Oscilación del Sur -ENSO- (MEI), que combina variables tanto oceánicas como atmosféricas, en una serie temporal desde 1979 a 2023. Por otra parte, para medir el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur Occidental (ASPSO), de gran magnitud y extensión, se considera que el índice de presión del Pacífico Sur (IPPS), elaborado e implementado por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), es el más adecuado. Del análisis mediante metodologías estadísticas específicas de dichos índices, se concluye que ambos ratifican la Megasequía imperante en los Andes Áridos desde 2010, y, además, muestran una tendencia de que esta se podría prolongar en el tiempo.*

**Palabras claves:** Nevadas, megasequía, andes áridos, mei, IPPS.

### Abstract

*In search of more effective indices to explain the dynamic condition that influences snowfall in the Arid Andes, represented by the San Juan River spill (DJUA); in this work, two of them are analyzed, whose advantage is that they are multivariate, and, therefore, more representative of the climatic conditions prevailing in the April-September period. One of them is the Multivariate El Niño Southern Oscillation Index -ENSO- (MEI), which combines both oceanic and atmospheric variables, in a time series from 1979 to 2023. On the other hand, to measure the Western South Pacific Subtropical Anticyclone (ASPSO), of great magnitude and extension, the South Pacific Pressure Index (IPPS), developed and implemented by the Chilean Meteorological Directorate (DMC), is considered to be the most appropriate. From the analysis using specific statistical methodologies of these indices, it is concluded that both ratify the Megadrought prevailing in the Arid Andes since 2010, and in addition, show a trend that this could continue over time. .*

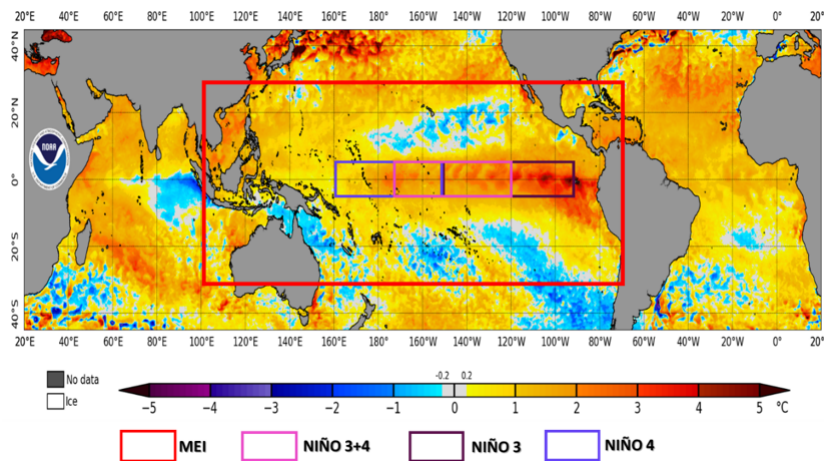
**Keywords:** Snowfall, megadrought, arid Andes, mei, IPPS.

# 1. Introducción

En búsqueda de índices más efectivos e inclusivos para explicar la condición dinámica que influye sobre las nevadas en los Andes Áridos, representadas por el derrame del río San Juan (DJUA); en este trabajo se analizan dos de ellos, cuya ventaja es que son multivariados, y, por lo tanto, más representativos de las condiciones climáticas imperantes en el período considerado (abril-septiembre). Uno de ellos, es el Índice Multivariado de El Niño Oscilación del Sur -ENSO- (MEI), que combina variables tanto oceánicas como atmosféricas (Wolter & Timlin, 1993), para producir una serie temporal de las condiciones del ENSO, desde 1979 a 2023. Las cuales, son:

1. Presión a nivel del mar (SLP);
2. Temperatura de la superficie del mar (SST);
3. Vientos zonales en superficie (U);
4. Vientos meridionales en superficie (V); y
5. Radiación de onda larga (OLR).

Las mismas se registran sobre una amplia área del océano Pacífico tropical (30°S - 30°N y 100°E -70°W – figura 1) que excede ampliamente la zona donde se realizan las mediciones del Niño 3+4 e Índice Oceánico de El Niño -ONI- (120°-170°W y 5°N-5°S) y del Niño 3 (90°-150°W y 5°N-5°S) y Niño 4 (150°W-160°E y 5°N-5°S). Las variables del MEI se interpolan en una cuadrícula de 2,5° de latitud y longitud, a través de la Función Ortogonal Empírica (EOF) (Wolter & Timlin, 2011), en temporadas bimestrales.

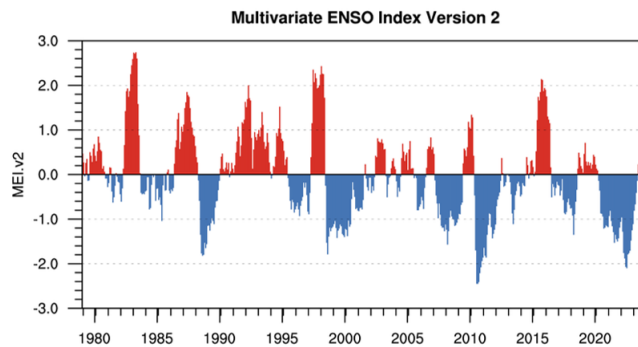


**Figura 1:** Localización del MEI, Niño 3+4, ONI, Niño 3 y Niño 4.

Con el rango de los valores del MEI obtenidos, se deducen las características del ENSO correspondiente:

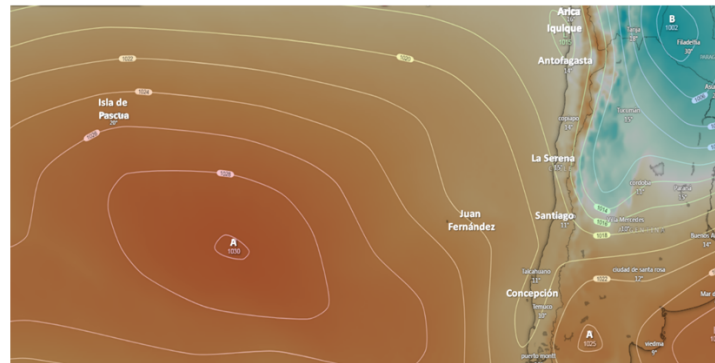
- El Niño (evento cálido):  $\geq 0,5$ ;
- Neutro/normal: 0,5 a -0,5;
- La Niña (evento frío):  $\leq -0,5$ .

Su variabilidad interanual estandarizada, se muestra en la figura 2.



**Figura 2:** Variabilidad interanual estandarizada del MEI desde 1979 a 2023.

Por otra parte, para medir algo de tal magnitud y extensión como un anticiclón, se deben tener en cuenta desde los datos grillados hasta índices que lo representen. A pesar de que varios autores (Poblete & Monroy, 2019; Poblete et. al, 2015; Vargas, 2012; Bobba, 2011; Foppiano & Saavedra, 1992; Navarrete, 1942) utilizan la Presión de Santiago (PSGO), se considera que el índice de presión del Pacífico Sur (IPPS), elaborado e implementado por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), es el más adecuado (Poblete & Aguiar, 2013). Para estimarlo, se toman los registros de presión atmosférica en las estaciones meteorológicas de Arica, Iquique, Antofagasta, Isla de Pascua, La Serena, Juan Fernández, Santiago y Concepción (figura 3). De esta manera, se puede estimar la intensidad del anticiclón a lo largo de sus bordes oriental y occidental y centro, principalmente.



**Figura 3:** Estaciones meteorológicas que se utilizan para calcular el IPPS.

Una vez obtenido el índice, la intensidad del Anticiclón Sur del Pacífico Suroccidental (ASPSO), se estima mediante la siguiente escala (Campos, 2018):

- Débil: <0
- Normal: entre 0 y 1
- Intenso: entre 1 y 2
- Muy intenso: entre 2 y 3
- Extremadamente intenso: >3

## 2. Metodología

Los datos fueron obtenidos de NCAR, Dirección Meteorológica de Chile y Departamento de Hidráulica.

La metodología estadística utilizada para su procesamiento, se describe a continuación.

### • Coeficiente de correlación de Pearson:

$$r = \frac{1}{n} \frac{\sum (x - \bar{X})(x - \bar{Y})}{S_x S_y} \quad (1)$$

Si el r de Pearson no es extremo (-1; 1 o 0) se pueden usar las siguientes dójimas de hipótesis:

#### 1- Estadístico “t”

$$t = r \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \text{ con una distribución t con n-2 grados de libertad} \quad (2)$$

#### 2- Estimador “Z”, con:

$$Z = \frac{z_r - \mu_z}{\sigma_z} \quad z_r = \frac{1}{2} \ln \frac{(1+r)}{(1-r)} \quad \mu_z = \frac{1}{2} \ln \frac{(1+\rho)}{(1-\rho)} \quad \sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}} \quad (3)$$

En una serie temporal se entiende por “tendencia” a la variación en el largo plazo de la variable considerada. Las lineales pueden variar dependiendo fuertemente del período en que se computan, WMO (1966).

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

$$\text{La nueva variable: } z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S} \tag{4}$$

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  $=1$  ( $S_z=1$ ). (Otnes, 1972).

- **Test de Spearman:** empleado para estimar la significación de la tendencia.

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

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

$$\text{Se construye el estadístico: } t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \tag{6}$$

Se extrae  $t_T$  de la tabla “t” de Student con  $v = N-2$  grados de libertad.  
Si  $-t_{\alpha/2} \leq t_T \leq t_{\alpha/2}$  no hay tendencia significativa al  $\alpha\%$ , en los datos

- **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:

$$T = \sum_{j < i} \text{sgn}(Z_i - Z_j) \tag{7}$$

Donde:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{if } x = 0 \\ -1, & \text{if } x < 0 \end{cases} \tag{8}$$

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:

$$E(T) = 0 \text{ y } \text{Var}(T) = n(n-1)(2n+5)/18 \tag{9}$$

Este test no paramétrico es conveniente para identificar el intervalo en el cual la tendencia es más pronunciada, Kendall M.G. (1975), Mann H.B. (1945).

- **Test de Break Regression (BR):**

El procedimiento de las regresiones de ruptura (BR) consiste en calcularlas punto a punto durante un corrimiento sobre toda la serie temporal, y en cada uno de ellos aplicar un test de significación de la tendencia. Cuando ésta es significativa en un punto dado se lo considera como un cambio abrupto de la recta de regresión, (Mudelsee, 2009).

Este método está incluido dentro de la llamada Regresión Segmentada (Piecewise Regression -PR-) que identifica “puntos de ruptura” (‘breakpoints’), donde hay claramente dos o más relaciones lineales diferentes en los datos con un brusco cambio repentino en la direccionalidad. En esta ponencia se describe sucintamente, el procedimiento de cálculo de la BR, cuyos algoritmos para un tiempo continuo son:

$$X_{\text{trend}}(T) = X_{\text{break}}(T) = \begin{cases} x_1 + \frac{(T-t_1)(x_2-x_1)}{(t_2-t_1)} & T \leq t_2 \\ 2x + \frac{(T-2t)(x_3-x_2)}{(t_3-t_2)} & \text{para } T > 2 \end{cases} \tag{10}$$

Donde  $X_{\text{break}}(T)$  es el punto de ruptura poblacional de la tendencia  $X_{\text{trend}}(T)$ .

Como se ve, en el algoritmo (4) tiene cuatro parámetros libres:  $x_1$ ,  $t_2$ ,  $x_2$  y  $x_3$ . Donde  $x_i$  son realizaciones de las series en los tiempos  $t_i$ , con  $i=1, 2, 3, \dots$

Una formulación alternativa incluiría los siguientes parámetros:  $\beta_1 = (x_2 - x_1) / (t_2 - t_1)$  y  $\beta_2 = (x_3 - x_2) / (t_3 - t_2)$ . Con  $\beta_i$  la pendiente de la recta  $i$ .

La ruptura (break) describe un cambio en la tendencia lineal en un punto ( $t_2$ ,  $x_2$ ), a partir de las pendientes  $\beta_1$  a  $\beta_2$  correspondientes a las rectas anteriores y posteriores al quiebre.

Asumiendo que la desviación estándar  $S(i)$  mide la variabilidad, el modelo de quiebre se ajusta mediante la minimización de la siguiente suma de mínimos cuadrados ponderada:

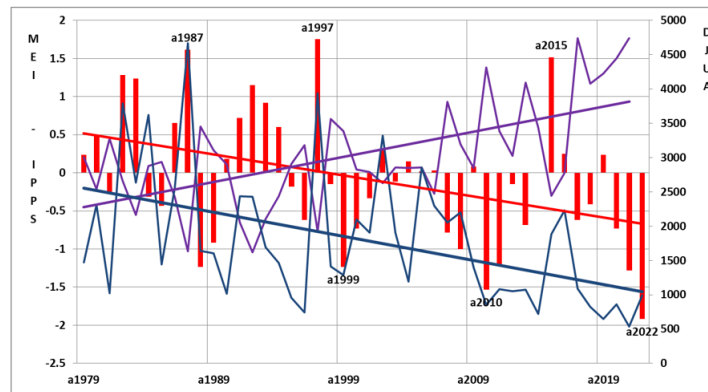
$$SSQW(x_1, t_2, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^n \frac{[x(i) - x_{break}(1)]^2}{S(i)^2} \tag{11}$$

Donde  $x_{break}(i)$  es la, versión muestral en tiempo discreto de  $X_{break}(T)$  poblacional.

Debido a que se supone que la ruptura o quiebre es una descripción adecuada sobre toda la longitud de registros en el intervalo limitado por  $t_1$  y  $t_3$ , sólo un punto de tiempo, a saber:  $t_2 = t(i_2)$ , con  $i_2$  un número entero entre 1 y  $n$ , es considerado como candidato para el corte ( $t_2$ ).

### 3. Resultados y discusión

La respuesta de los índices postulados para diagnosticar y/o prever el comportamiento interanual del DJUA, se analiza a continuación:

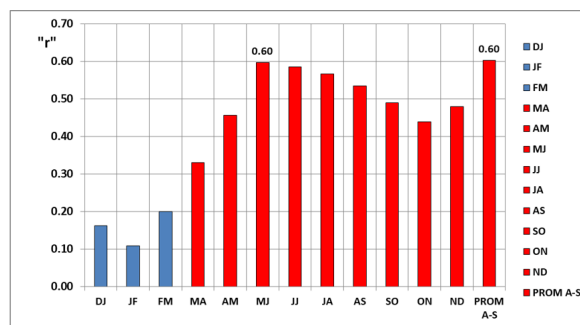


**Figura 4:** Variabilidad interanual del MEI (barras rojas), IPPS (línea morada) y DJUA (línea azul), y sus respectivas tendencias, desde 1979 a 2022.

La figura 4, muestra la variabilidad interanual de los índices (MEI – IPPS – DJUA), con sus respectivas tendencias. Verificándose que cuando el DJUA crece, son más relevantes los valores del MEI, y viceversa, corroborado mediante una correlación positiva de  $r$  de Pearson = 0,61 (significativa al 1%). Mientras que, cuando disminuye el DJUA, el IPPS aumenta y viceversa, ratificado con un  $r$  de Pearson de -0,68 (significativa al 1%).

Lo que revalida la fuerte influencia positiva en favor de las nevadas del ENSO, y la negativa el ASPSO.

Para identificar cómo influye el comportamiento mensual del MEI sobre el DJUA, se construye la figura 5. Verificándose que desde el período marzo-abril (MA) hasta noviembre-diciembre (ND), las correlaciones entre ellos son significativas ( $\tau$  de Spearman = -0,326,  $t = -2,262 < T$  crítico 97,5% = 2,016 -significativo- y Mann-Kendal  $t = -0,228 < T$  crítico 97,5% = 0,202 -significativo-); destacándose el binomio mayo-junio (MJ) y el promedio abril-septiembre (PROM A-S) de los mismos.



**Figura 5:** Índice de correlación mensual entre el MEI y el DJUA.

De lo que se infiere, que desde el binomio MJ, se puede prever un comportamiento favorable/desfavorable para las precipitaciones níveas en el año considerado: si el MEI es positivo y mayor que 0,5 se esperan nevadas por encima de lo normal; y viceversa con valores por debajo de -0,5. Los registros comprendidos entre ellos, se consideran neutros, y de esa manera, se hacen relevantes los factores y agentes de la cupla océano-atmósfera, que no tienen que ver directamente con el ENSO (Poblete & Vera, 2017).

De la figura 6 y tabla 1, se verifica que la media del MEI es de -0,1; con una desviación estándar de 0,9. Su valor máximo es de 2, y su mínimo de -1,9. Se debe tener en cuenta que su percentil del 10% es de -1,1; mientras que el del 90% es de 1. La estructura simétrica del grafo caja-bigote indica que la serie sigue una distribución normal. Se decide detectar el ritmo de crecimiento/decrecimiento del MEI, identificando los cambios abruptos que ha tenido en su devenir temporal, aplicando la metodología de Break Regression.

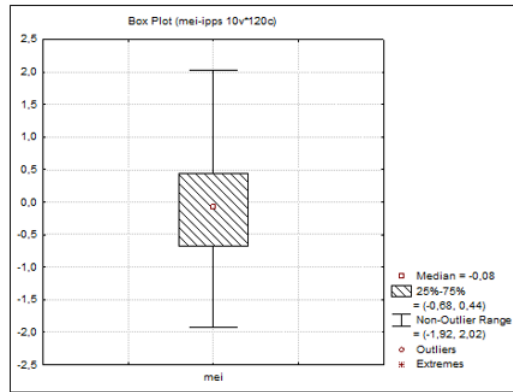


Figura 6: Grafo de caja-bigote del MEI.

Tabla 1: Estadísticos la serie temporal del MEI en el período 1979-2023.

MEI	Número de datos	Media	Mínimo	Máximo	1° cuartil	3° cuartil	Percentil del 10%	Percentil del 90%	Desviación estándar
MEI	43	-0,1	-1,9	2	-0,7	0,4	-1,1	1	0,9

Los cambios abruptos del MEI (figura N°7), se detectan en los períodos:

- 1979-1997, con una media de 0,36;
- 1998-2019, con un promedio de 0,29;
- 2020-2023, con 0,97.

El primer intervalo, es el más alto de la serie, puesto que abarca el período cuando se registraron los “Niño” más relevantes (1982 – 1987 - 1997). En el segundo, el único evento significativo del ENSO en su fase cálida, fue el de 2015. En el tercero, se muestra la gran influencia de una etapa con dominio de fase fría (“Niña”), que por no disponer de datos completos correspondientes a 2023, no se puede inferir un cambio en su ritmo. Lo descripto explicaría la persistencia de la Megasequía 2010-2022 (Marchant, 2022; Olivares, 2022; Garreaud, 2016).

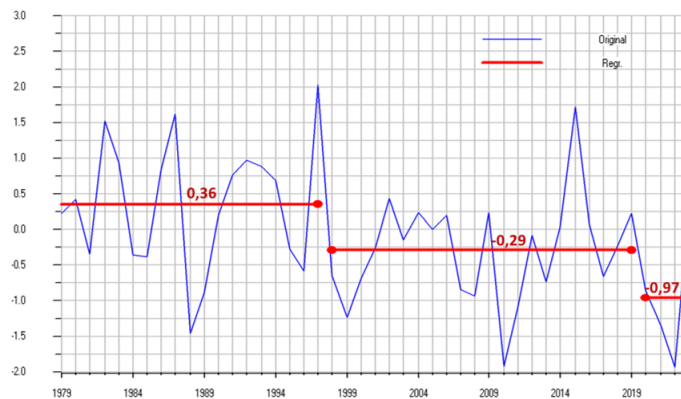
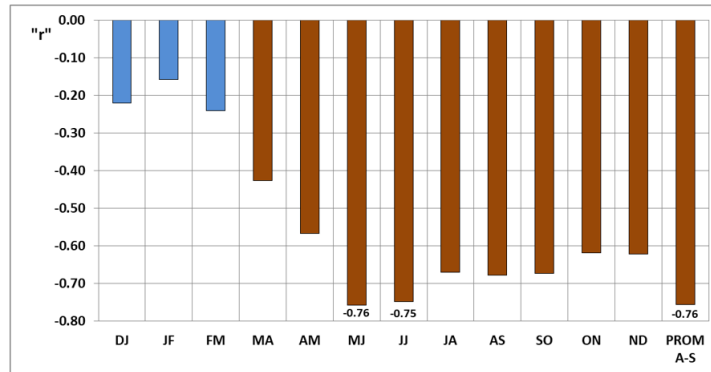


Figura 7: Cambios abruptos del MEI en el período 1979-2023.

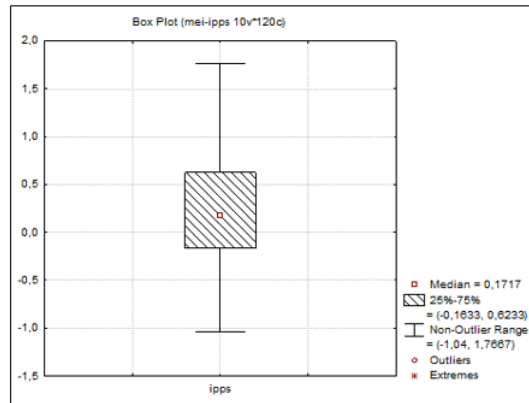
La figura 8 muestra las correlaciones de los valores mensuales del IPPS con los del DJUA. Se observa que, salvo los períodos diciembre-enero (DJ), enero-febrero (JF) y febrero-marzo (FM), el resto presenta muy significativas correlaciones negativas ( $\tau$  de Spearman = 0,296,  $t = 2,173$ ;  $T$  crítico 97,5 % = 2,009 -significativo- y Mann-Kendal  $t = 0,192$ ;  $T$  crítico 95 % = 0,189 -significativo-), destacándose los binomios de MJ (-0,76), junio-julio -JJ- (-0,75) y el PROM A-S (-0,76).



**Figura 8:** Índice de correlación mensual entre el IPPS y el DJUA, con los respectivos promedios abr-sep.

Esto demuestra la fuerte influencia desfavorable que ejerce el ASPSO sobre las nevadas; es decir que mientras más alta y significativa es la correlación inversa, mayor es la probabilidad de escasez nívea. También es importante destacar, que el valor del IPPS en los binomios MJ y JJ, es adecuado para vaticinar el monto de las precipitaciones níveas en los Andes Áridos, dentro del año analizado.

En la figura 9 y la tabla 2, se verifica que la media del IPPS es de 0,3; con una desviación estándar de 0,7. Su valor máximo es de 1,2, y su mínimo de -1. Se debe tener en cuenta que su percentil del 10 % es de -0,6; mientras que el del 90 % es de 1,2. La estructura del grafo caja-bigote (figura N° 9) indica que la serie sigue una distribución aproximadamente normal, con un leve sesgo hacia los máximos.



**Figura 9:** Grafo de caja-bigote del MEI.

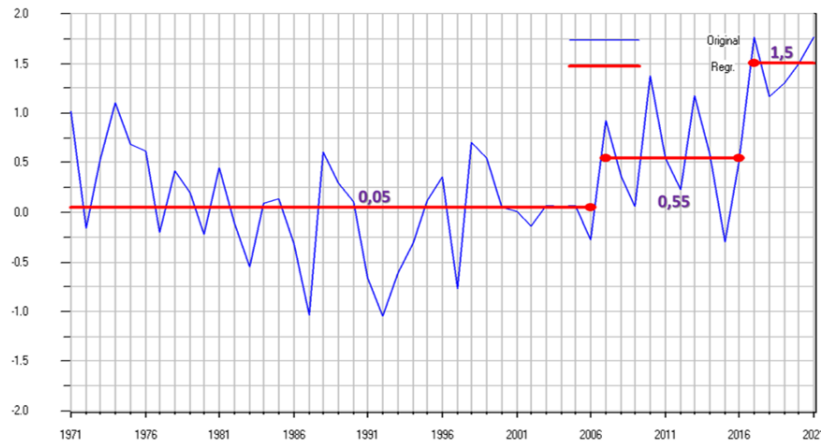
**Tabla 2:** Estadísticos de la serie temporal del IPPS en el período 1971-2021.

	Número de datos	Media	Mínimo	Máximo	1° cuartil	3° cuartil	Percentil del 10 %	Percentil del 90 %	Desviación estándar
IPPS	50	0,3	-1	1,8	-0,2	0,6	-0,6	1,2	0,7

Se decide detectar el ritmo de crecimiento/decrecimiento del IPPS, identificando los cambios abruptos que ha tenido en su devenir temporal, aplicando la metodología de Break Regression.

Los cambios abruptos detectados en el IPPS (figura 10) entre 1971 y 2021, son:

- 1971-2006: promedio de 0,05;
- 2007-2016: media de 0,55;
- 2017-2021: con 1,5.

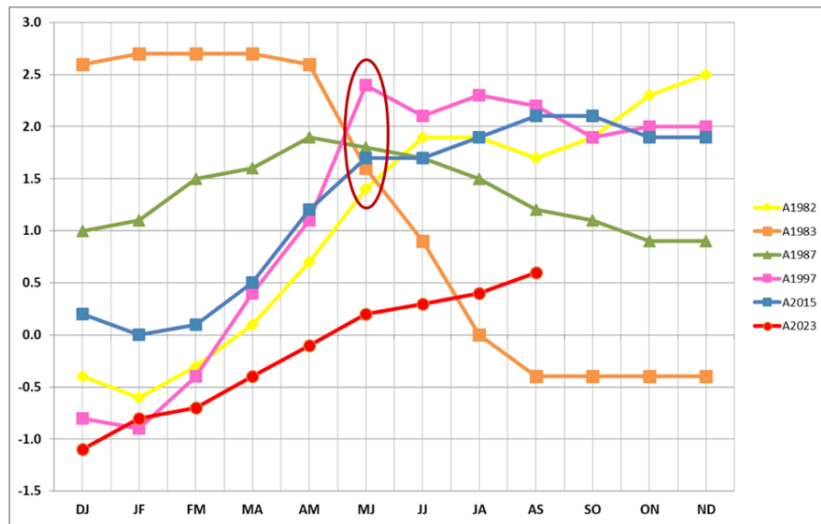


**Figura 10:** Cambios abruptos del IPPS en el período 1971-2021.

Se destaca el continuo ascenso de los saltos, corroborando la tendencia positiva significativa; que en términos hidrológicos implica un factor importante para la disminución de las precipitaciones nievales en los Andes Áridos. Se remarca el comienzo del segundo período (2007), puesto que coincide con el preliminar de la Megasequía que se inicia en 2010, acentuándose desde 2017 ( $x = 1,5$ ) incluyendo el período nival más seco de toda la serie (iniciada en 1909). Sin embargo, se identifica una brusca caída en el año 2015, concordante con un fuerte “Niño”, ratificando lo encontrado por Poblete & Albeiro, 2021.

Este análisis corrobora el importante rol del ASPSO en la magnitud y duración de la Megasequía.

La previsión desde MJ (círculo bordó), coincide con todos los eventos ENSO desde 1979 (Figura 11), comprobándose que el MEI en este período resulta adecuado para realizar una aproximación de cómo sería la temporada nival correspondiente. Sin embargo, por la serie incompleta del mismo hasta la elaboración de este trabajo, el 2023 resultó ser el más bajo (neutro) hasta JA, alcanzando la categoría de “Niño” en AS.



**Figura 11:** Cambios abruptos del IPPS en el período 1971-2021.

Se decide valuar puntualmente la incidencia de los índices en estudio en el DJUA.

La tabla 3, muestra el ranking del ENSO medido con el MEI. Se observa que, no hay una correspondencia directa entre el valor del mismo y el volumen de agua derramada. Por ejemplo, el MEI más alto coincide con el mayor DJUA en el período analizado (1987); sin embargo, el valor que le sigue (2015) no se corresponde con el segundo derrame más alto. Esto indica que el ENSO, no es un factor determinante, sino que, es un “disparador”.

En la tabla 4, tampoco se encuentra una concordancia entre el IPPS y el DJUA; puesto que, 1982 presenta un alto derrame que es correspondido con un IPPS casi nulo.



Lo anterior se corrobora en la tabla N° 5, comparando simultáneamente al DJUA decreciente con los correspondientes índices en estudio, verificándose que no existe un orden correlativo con los mismos. Corroborado por un  $\tau$  de Spearman estadísticamente no significativo.

**Tabla 3:** Ranking del MEI con los derrames correspondientes (medidos en  $\text{Hm}^3$ ).

AÑO	MEI	DJUA
A1987	1,4	4664
A2015	1,3	1882
A1997	1,2	3935
A1983	1,2	2631
A1982	1,1	3793

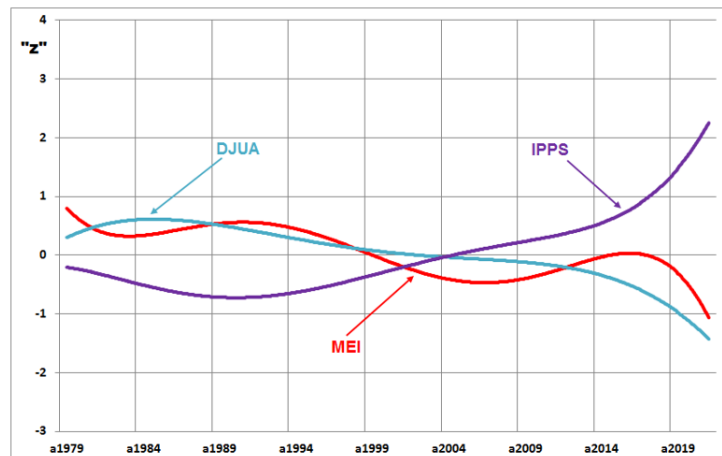
**Tabla 4:** Ranking de IPPS con los derrames correspondientes ( $\text{Hm}^3$ ).

AÑO	IPPS	DJUA
A1987	-1	4664
A1997	-0,8	3935
A1983	-0,6	2631
A2015	-0,3	1882
A1982	-0,1	3793

**Tabla 5:** Ranking de DJUA con los índices correspondientes (MEI – IPPS).

AÑO	DJUA	MEI	IPPS
A1987	4664	1,4	-1
A1997	3935	1,2	-0,8
A1982	3793	1,1	-0,1
A1983	2631	1,2	-0,6
A2015	1882	1,3	-0,3

La tendencia interanual suavizada de los índices en estudio, se muestra en la figura 12. Se observa que el DJUA tiene un decrecimiento ininterrumpido; mientras que el IPPS crece constantemente. Sin embargo, el MEI oscila con una suave fluctuación declinante.



**Figura 12:** Tendencias interanuales suavizadas de los índices multivariantes (MEI – IPPS) y el DJUA, entre 1979 y 2021.

## 4. Conclusiones

Se verificó que cuando el DJUA crece/decrece, son más/menos significativos los valores del MEI ( $r$  de Pearson = 0,61). Mientras que, cuando disminuye el DJUA, el IPPS aumenta y viceversa ( $r$  de Pearson de -0,68). Se detectó que del comportamiento mensual del MEI sobre el DJUA, se destaca el binomio MJ y el PROM A-S. De lo que se infiere, que, desde el primero, se puede prever un comportamiento favorable/desfavorable para las precipitaciones nivas en el año considerado. Sus cambios abruptos, se identifican en los períodos: ●1979-1997, con una media de 0,36; ●1998-2019, con un promedio de 0,29; ●2020-2023, con 0,97. El primer intervalo, es el más alto de la serie, puesto que abarca el período cuando se registraron los “Niño” más relevantes del intervalo de tiempo estudiado (1982 – 1987 - 1997). En el segundo, el único evento significativo del ENSO en su fase cálida, fue el de 2015. En el tercero, se muestra la gran influencia de una etapa con dominio de fase fría (“Niña”), que por no disponer de datos completos correspondientes a 2023, no se puede inferir un cambio en el ritmo. Lo descripto explicaría la persistencia de la Megasequía 2010-2022. Las correlaciones de los valores mensuales del IPPS con los del DJUA, se presentan negativas y muy significativas, destacándose los períodos de MJ, JJ y el PROM A-S. Esto demuestra la fuerte influencia desfavorable que ejerce el ASPSO sobre las nevadas; es decir que mientras más alta y significativa es la correlación inversa, mayor es la probabilidad de escasez nívea. También es importante destacar, que el valor del IPPS en dichos períodos, es adecuado para vaticinar el monto de las precipitaciones nivas en los Andes Áridos, en el año analizado. Sus cambios abruptos entre 1971 y 2021, son: ●1971-2006: promedio de 0,05; ●2007-2016: media de 0,55; ●2017-2021: con 1,5. Es notorio el continuo ascenso de los saltos, corroborando la tendencia positiva significativa; que en términos hidrológicos implica un factor importante para la disminución de las precipitaciones nivas en los Andes Áridos. Se remarca el inicio del segundo período (2007), puesto que coincide con el preliminar de la Megasequía que se inicia en 2010. Se observó a partir de las series suavizadas, que el DJUA tiene un decrecimiento ininterrumpido; mientras que el IPPS crece constantemente. Sin embargo, el MEI oscila con una leve fluctuación declinante. Del análisis de los índices multivariados, se concluye que ambos ratifican la Megasequía imperante en los Andes Áridos desde 2010, y además, muestran una tendencia que se podría prolongar en el tiempo.

## 5. Agradecimientos

Al Programa de Investigación de Plataformas Estratégicas (PIPE), dependiente de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación, del Gobierno de la Provincia de San Juan, por sus aportes económicos.

## 6. Referencias bibliográficas

- Bobba, M. E. (2011). Causas de las sequias de la región del NOA (Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, 2(47E).
- Campos, D. (2018). Por qué nos importa tanto el anticiclón del Pacífico Sur – *MeteoChile blog*.
- Departamento de Hidráulica. Sitio web: <https://hidraulica.sanjuan.gob.ar/>
- Dirección Meteorológica de Chile. Sitio web: <https://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml>
- Foppiano, A. J., & Saavedra, N. (1992). Contribución a la cinemática del anticiclón del Pacífico sur. *Geocarta*, 19.
- Garreaud, R. D., & del Clima, C. Análisis: Implicancias locales de la COP21 (¿Y si nos portamos bien?)—(CR) 2.
- Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*, 4th Ed. Charles Griffin, London.
- Mann, H.B. (1945). *Econometrica*, 13, 245-249.
- Marchant Valdés, E. M. (2022). Análisis y gestión de las aguas subterráneas de la comuna de Cabrero en el marco de la megasequía y déficit hídrico, Región del Biobío, Chile.
- Mudelsee, M. (2009). Break function regression: A tool for quantifying trend changes in climate time series. *The European Physical Journal Special Topics*, 174(1), 49-63.
- Navarrete, J. B. (1942). DIVERSOS TRABAJOS METEOROLÓGICOS REALIZADOS POR EL OBSERVATORIO DEL SALTO. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 23, 395-408.

- NCAR. Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas. La guía de datos climáticos: índice ENSO multivariado".
- NOAA. Coral Reef. Disponible en: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/50km/index.php>
- NOAA. MEI v2. Disponible en: <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>
- Olivares Fernández, A. M. (2022). Estimación de las variaciones volumétricas, en las últimas dos décadas de glaciar Juncal Norte ( 33° S), región de Valparaíso, Chile (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello).
- Otnes, R. K. (1972). Digital time series analysis. John Wiley & Sons, ISBN: 0-471-65719-0.
- Poblete, A. G., & Alberi Castro, M. A. (2021). Influencia del ENSO en los factores y agentes climáticos que inciden en las precipitaciones níveas de los Andes Áridos. Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía, (29), 078-078.
- Poblete, A. G., & Monrroy, P. B. (2019). Validación de la presión en Santiago como índice para estimar la actividad del anticiclón del Pacífico Sur. Revista Geofísica, (66), 25-41.
- Poblete, A. G., & Vera, M. J. (2017). Cuantificación de la incidencia del ENSO en las nevadas de los Andes áridos de Sudamérica en el periodo 1909-2015. Geográfica digital, 14(27), 1-15.
- Poblete, A. G., Iranzo, D. A., & Aguiar, L. A. (2013). Spatio-temporal analysis of the possible shift of the latitudinal position of the South Pacific subtropical anticyclone (L). Revista Universitaria de Geografía, 22(1), 129-146.
- Poblete, Arnobio Germán, Minetti, Juan Leonidas, & Borbore, Carla Antonella. (2015). Posible impacto de la activación de la celda de Hadley en la actual sequía en los Andes Áridos. Revista Universitaria de Geografía, 24(1), 85-97.
- Quintana, J. M., & Aceituno, P. (2012). Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S. *Atmósfera*, 25(1), 1-22.
- VARGAS, J. G. (2012). VARIABILIDAD DEL ANTICICLÓN DEL PACÍFICO SUR Y SU RELACIÓN CON LA OSCILACIÓN DECADAL DEL PACÍFICO: IMPLICANCIAS OCEANOGRÁFICAS A LO LARGO DE LA COSTA CENTRO-NORTE DE CHILE (Doctoral dissertation, Universidad Austral de Chile).
- Windy. Disponible en: <https://www.windy.com/>
- WMO (1966) Climate Change. WMO Tech. Note, No.79, WMO No. 195-TP-100, Geneva.80.
- Wolter K. & Timlin MS. (1993). Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. Proceedings of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Climate Survey, CIMMS and the School of Meteorology, University of Oklahoma: Norman, OK; 52-57.
- Wolter K. & Timlin MS. (2011). Comportamiento de El Niño/Oscilación del Sur desde 1871 según lo diagnosticado en un índice ENSO multivariado extendido (MEI.ext). *Internacional J. Climatología*, 31 , 14pp., 1074-1087.