

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

**MODOS PRINCIPALES DE VARIABILIDAD DEL CICLO
HIDROLÓGICO DEL RÍO CHUBUT Y CONDICIONES
ATMOSFÉRICAS Y OCEÁNICAS ASOCIADAS**

**Federico Gomez^{1,2} (<https://orcid.org/0009-0008-3374-7780>) y Diego Araneo^{1,3}
(<https://orcid.org/0000-0002-8599-6120>)**

¹**Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CONICET CCT
Mendoza, Argentina.**

²**Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento
de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires, Argentina**

³**Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Mendoza,
Argentina**

Autor correspondiente: Federico Gomez, federicogomez1995@gmail.com

Manuscrito recibido el 15 de diciembre de 2025, en su versión final el 14 de abril de 2026

RESUMEN

El río Chubut se extiende a lo largo de 1080 kilómetros desde su nacimiento en los Andes patagónicos hasta su desembocadura en el océano Atlántico. Su cuenca ocupa más del 60% del territorio provincial, con una descarga anual media de 1,1 km³, constituyendo la principal fuente de agua dulce de la región y posibilitando la generación de energía hidroeléctrica en el dique Ameghino. En este trabajo, se implementó una metodología basada en el análisis de componentes principales (ACP) para la individualización y el estudio de los



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

principales patrones de variabilidad del río Chubut. Este análisis se aplicó a una serie de valores quincenales de caudal observados durante el periodo comprendido entre 1943 y 2019. Las componentes principales (PCs) resultantes fueron correlacionadas con variables atmosféricas derivadas del reanálisis ERA5 a niveles sinóptico y hemisférico en intervalos clave representativos de cada PC, con el objetivo de identificar posibles mecanismos relacionados con el origen de cada modo de variabilidad.

En el presente estudio se exponen las tres primeras PCs, que explican el 59,1% de la varianza total del río. Las variabilidades interanual (PC1) e interestacional en dos componentes (PC2 y PC3) exhibieron una relación directa con las anomalías de precipitación sobre los Andes patagónicos. Aunque las anomalías de temperatura en la cuenca contribuirían a explicar las de caudal en ciertos períodos, no sería la variable dominante. La precipitación sobre la región que constituye la naciente verificó una correspondencia directa con cambios en el caudal del río, estando las alteraciones en esta variable asociadas a variaciones en el transporte de humedad desde el océano Pacífico tropical a nivel interanual, junto con alteraciones de la circulación local en la Patagonia propiciados por la propagación de trenes de ondas baroclínicas, en escalas temporales de mayor frecuencia.

Se examinó la relación entre los cambios identificados en la circulación local y hemisférica con ciclos climáticos de gran escala. La PC1 exhibió una correlación directa con ENOS, respaldada por el correspondiente campo de SST. Las PC2 y PC3 exhibieron patrones de correlación de altura geopotencial que resultaron compatibles con las anomalías observadas en escenarios de SAM negativa y positiva. Sin embargo, no se observó una relación significativa entre sus series de factores de carga y otra representativa del ciclo climático mencionado.

Palabras clave: Recursos hídricos, cuencas patagónicas, dinámica atmosférica de gran escala, variabilidad climática, técnicas estadísticas autovectoriales



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

MAIN MODES OF VARIABILITY FOR THE CHUBUT RIVER AND ASSOCIATED ATMOSPHERIC AND OCEANIC CONDITIONS

ABSTRACT

The Chubut river, with a length of 1.080 kilometres, originates in the Patagonian Andes and terminates at the Atlantic Ocean. The catchment of the river encompasses over 60% of the province's territory, with an annual mean discharge of 1.1 km³, constituting the primary source of freshwater and enabling hydroelectric power generation at the Ameghino dam. In this study, with the objective of individualizing and studying the modes of variability for the Chubut river, a methodology based on a principal component analysis (PCA) was implemented. This analysis was applied to a series of biweekly gauge data for the period between 1943 and 2019. The calculated principal components (PCs) were correlated from atmospheric variables obtained from the ERA5 reanalysis at synoptical and hemispherical levels for key temporal intervals, in order to identify potential mechanisms related to the origin of each mode of variability.

In the present study, the initial three PCs were investigated, accounting for 59.1% of the total variance for the Chubut river. The interannual (PC1) and interseasonal in two PCs (PC2 and PC3) modes of variability demonstrated a direct correlation with precipitation anomalies in the Chubut river headwaters. Although temperature anomalies in the basin would help explain flow anomalies in certain periods, it would not be the dominant variable. The precipitation variable in the headwaters was found to be directly correlated with changes in streamflow. In this regard, precipitation anomalies were associated with shifts in moisture transport from the tropical Pacific Ocean. Conversely, higher-frequency modes of variability exhibited a correlation with circulation alterations in the Patagonian region, within the context of wave train propagation.

Potential links between the aforementioned alterations in circulation and large-scale climatic cycles were investigated. The PC1 loading series demonstrated a direct correlation with ENSO. This finding is supported by calculated correlation patterns for SST.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

Geopotential height correlations related to PC2 and PC3 displayed arrangements coinciding with those typical for negative and positive SAM scenarios, respectively. Nevertheless, no significant correlation between the loadings series and another one representative of SAM was calculated.

Key words: Hydrological resources, Patagonian basins, large-scale atmospheric dynamics, intraseasonal variability, eigenvector statistical techniques

1. INTRODUCCIÓN

El río Chubut constituye uno de los principales cursos fluviales de la Patagonia en términos de extensión territorial de su cuenca. Desde su nacimiento en las inmediaciones del Cerro de las Carreras, ubicado en la provincia vecina de Río Negro, su tronco principal recorre una longitud total de 1.080 kilómetros hasta su desembocadura en el Océano Atlántico, en las cercanías de la ciudad de Rawson, capital provincial de la provincia de Chubut (Pascual et al., 2020). La relevancia del río Chubut se atribuye a la magnitud de su área total (Fig. 1), la cual abarca más del 60% del territorio de la provincia homónima (Depetris y Pasquini, 2021), y la dependencia de una porción importante de la población de sus recursos hídricos. De este modo, con su descarga anual media de $1,1 \text{ km}^3$, según los datos aportados por el Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH), más de 200.000 habitantes de la provincia de Chubut dependen de este curso fluvial como fuente principal de agua dulce (Depetris y Pasquini, 2021). A su vez, el curso principal del río Chubut dio lugar a la construcción del dique Florentino Ameghino. Dicho embalse cuenta con dos generadores hidroeléctricos que producen el 6% de la energía total consumida en la provincia de Chubut (Pascual et al., 2020). Asimismo, el dique permite regular el cauce corriente abajo, en lo que se conoce como el valle inferior, donde se concentra la mayor parte de los habitantes de la provincia, y actividades agrícolas y ganaderas que dependen directamente de la disponibilidad de agua potable. En el periodo comprendido entre 1992 y 2022, la expansión



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

de la superficie edificada en los centros urbanos del valle inferior del río Chubut experimentó un incremento del 70% (Márquez et al., 2022). Estas poblaciones y, principalmente las actividades agrícola-ganaderas ponen de manifiesto la presión ejercida sobre los recursos hídricos de la cuenca.

El caudal del río Chubut tiene su origen principal en las precipitaciones que se acumulan en las zonas cordilleranas de las provincias de Río Negro y Chubut. La región en cuestión se distingue por presentar condiciones climáticas húmedas caracterizadas por la presencia de precipitaciones líquidas y sólidas, concentradas principalmente durante los meses invernales. Se estima que el área que da lugar a la naciente del río recibe, en promedio, entre 600 y 1.000 milímetros anualmente (Moyano y Moyano, 2013). La acumulación de precipitaciones nivas en zonas altas, en conjunto con la escorrentía de lluvias, da lugar al patrón característico que exhibe el ciclo hidrológico del río Chubut, que se extiende de abril a marzo, considerando como punto de partida el mes de menor caudal medio. El cauce en estudio presenta un máximo dual entre junio y noviembre, alimentado inicialmente por precipitaciones líquidas y posteriormente por la fusión del manto nivoso acumulado (Moyano y Moyano, 2013), registrando un promedio mensual máximo de 169,3 m³/s en el mes de octubre.

En las secciones inferior y media del curso del río Chubut, la mayor parte de la extensión de la cuenca se distingue por presentar condiciones de estepa árida. En este sentido, se estima que durante el periodo estival, las áreas urbanas y agrícolas del valle inferior consumen, en promedio, 556 hm³/año de los recursos hídricos del río. Este consumo se sitúa significativamente por debajo de la descarga media anual del río, pero ejerce una presión sobre la disponibilidad de agua potable en situaciones de sequía (Pascual et al., 2020). En virtud de la presente dependencia, resulta imperativo considerar las posibles tendencias observadas y proyectadas para la cuenca en estudio en un contexto de cambio climático. Moyano y Moyano (2013) verificaron cambios en el caudal del río Chubut contrastando las marchas anuales de caudales mensuales promedios para las estaciones hidrométricas de El Maitén y Los Altares durante los periodos 1943-1970 y 1971-2011. En este sentido, los



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

autores establecieron una correlación entre el aumento generalizado de las temperaturas medias y el incremento del caudal medio entre junio y octubre, en contraste con los registros hidrométricos para los meses entre noviembre y enero, que sugirieron que la disminución del flujo medio calculada para dichos meses estuvo asociada a un agotamiento temprano del manto nivoso acumulado. Poblete y Albeiro Castro (2023) verificaron la presencia de una caída abrupta de la descarga anual media del Chubut en 1985 desde 1.550 a 1.362 hm³, junto con una tendencia lineal decreciente con una significancia estadística al 95% de confianza. Este patrón de cambio climático repentino ha sido también corroborado por Lauro et al. (2019). La administración de los recursos hídricos del río Chubut constituye un desafío a largo plazo, donde los modelos climáticos proyectan una reducción de la descarga anual de entre el 30 y el 40% en un contexto de aumento de la temperatura media superior a 1,5°C y de disminución de las precipitaciones registradas de entre el 10 y el 30% (Pascual et al., 2020, Pessacg et al., 2020).

El clima de la Patagonia, abarcando tanto la región húmeda que da origen al río Chubut como las zonas áridas que conforman las secciones baja y media de su cuenca, se ve predominantemente influenciado por el desplazamiento de sistemas húmedos desde el oeste y por la orografía, la cual modifica el transporte de humedad desde el océano Pacífico (Arias et al., 2021; Isla e Isla, 2024). En este contexto, se han llevado a cabo estudios que han explorado la influencia de patrones atmosféricos de gran escala sobre la cuenca. Lauro et al. (2019) examinaron la relación entre los caudales anuales y estacionales con el Modo Anular del Sur (SAM, por sus siglas en inglés), El Niño-Oscilación Sur (ENOS) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). En el contexto del río Chubut, se identificaron correlaciones negativas con la SAM entre -0,29 y -0,39 en otoño, primavera y a nivel anual, con un nivel de significancia del 95%. Los autores del estudio también verificaron una relación negativa entre el caudal del río en estudio y la PDO durante el periodo estival. Berri et al. (2019) examinaron la incidencia del ENOS en el caudal del río Chubut, evidenciando una correlación positiva entre El Niño y el flujo medio del río para la segunda mitad del año. Por otro lado, La Niña mostró una correlación similar en los meses de enero y febrero. Araneo y



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

Compagnucci (2008) estudiaron la correlación entre el periodo de mayor de descarga del río Chubut y variables de circulación seleccionadas, considerando un mes de desfase, vinculando la dependencia de las descargas anuales con la variabilidad de las precipitaciones locales debido a patrones establecidos de circulación atmosférica sobre el Pacífico.

El propósito del presente estudio es caracterizar la variabilidad del caudal del río Chubut desde un nivel interanual hasta intervalos quincenales, e identificar el rol de las variables climáticas locales y de gran escala sobre la misma. Para ello, se emplearán datos observados extraídos de estaciones hidrométricas libres de intervención humana sobre el cauce del río, así como resultados del reanálisis ERA5 en el periodo 1943-2019. De este modo, se espera poder actualizar y complementar investigaciones previas al incorporar nuevas variables e intervalos temporales.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

El presente estudio empleó datos diarios provenientes de la estación hidrométrica Los Altares (43°53'S – 68°24'O, 246 msnm) en el periodo comprendido entre 1943 y 2019, los cuales fueron provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. La estación seleccionada se encuentra libre de intervención humana, debido a su ubicación en una sección superior del curso del río Chubut con respecto al dique Florentino Ameghino y el valle irrigado. Al mismo tiempo, los datos de la estación de caudal empleada reflejaron el aporte de la totalidad de los afluentes ya incorporados al curso principal del río. Los datos diarios fueron en primer lugar agrupados en promedios de periodos de 14, 15 o 16 días considerando la distribución temporal de los meses a lo largo del año. Estos promedios quincenales se establecieron con la restricción de que no se permitieran más de cuatro datos diarios faltantes en el periodo sujeto a promedio. En casos en los que se evidenció la ausencia de uno o dos datos quincenales consecutivos, los mismos fueron subsanados mediante el cálculo del promedio ponderado de los valores inmediatamente anteriores y posteriores. En caso de



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

mayor ausencia de datos, el año completo debió ser descartado de la consideración para el análisis. Esta situación alcanzó a los años 1987, 1989 y 1990.

La disposición de los datos quincenales se llevó a cabo sobre una matriz bidimensional. En dicha matriz, cada fila representa de manera individualizada cada quincena del año, ordenadas de acuerdo con el año hidrológico del río. Las columnas, por su parte, corresponden a los años que poseen datos disponibles dentro del periodo objeto de estudio. Con posterioridad a un proceso previo de estandarización y normalización, los valores de la tabla descripta fueron sometidos a un análisis de componentes principales (ACP) según los lineamientos establecidos por Araneo y Villalba (2015). El ACP permite la individualización y caracterización de los modos de variabilidad de las series anuales de caudal del río en estudio a través de una serie de componentes principales (PCs). La metodología en cuestión manifiesta sus resultados a través de una cantidad finita de conjuntos de anomalías que señalan los modos en los que se altera el caudal de cada quincena (*scores*) según cada PC, en conjunto con una serie de factores de carga que indican la influencia de los PCs en cada año (*loadings*).

En el presente estudio se han empleado los resultados del ACP para investigar posibles relaciones entre los *loadings* correspondientes a cada PC con la temperatura a dos metros (t2m) y la precipitación en superficie (pp) en la región de la naciente del río Chubut. Estas variables fueron extraídas del reanálisis ERA5 (Hersbach et al., 2020; Hersbach et al., 2023) desarrollado por el “European Centre for Medium-Range Weather” (ECMWF). ERA5 es un conjunto de reanálisis de escala global que abarca un amplio espectro de variables en el periodo que va desde 1940 hasta la actualidad. Esta base de datos comprende un total de 137 niveles verticales, con una resolución horizontal de 0,25° x 0,25° (recalibrada a 0,5° x 0,5° para los fines de este estudio). El reanálisis ERA5 fue seleccionado principalmente por su alta resolución, por contar con datos a nivel diario y por abarcar totalmente el periodo cubierto por la estación de aforo empleada. Balmaceda-Huarte et al. (2021) evaluaron el desempeño de un grupo de modelos de reanálisis, hallando para ERA5 los mejores valores de correlación con respecto a datos observados en la región patagónica para los estadísticos referidos a la



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

precipitación. Sin embargo, los autores advirtieron la presencia de *bias* negativos de temperatura y positivos para la precipitación en zonas montañosas. Particularmente, a efectos de los resultados incluidos en este trabajo, las series de precipitación y temperatura de la estación Los Altares verificaron una correlación de 0,63 y 0,96 con el promedio areal para las variables pp y t2m de ERA5 sobre la naciente del río, respectivamente.

El análisis de las correlaciones entre los *scores* de cada PC y la serie de correlaciones entre las variables locales (t2m y pp) con la marcha de *loadings* para cada quincena permitió examinar los mecanismos subyacentes al desenvolvimiento de las características de cada modo de variabilidad. En el caso de algunas PCs, fue necesario implementar un desfase entre ambas series con el propósito de optimizar la relación entre ellas. Esta medida se adoptó en consideración a que el efecto de fenómenos climáticos específicos sobre el flujo del río no es inmediato, como por ejemplo la escorrentía posterior a un temporal en la región que constituye el origen del curso fluvial.

La comparación entre las series correspondientes a los *scores* de cada PC y las surgidas de la relación entre los *loadings* y las variables locales permitió identificar ventanas temporales clave en la construcción de los patrones que caracterizan a cada modo de variabilidad. En este sentido, se evaluaron las relaciones entre dichos periodos del año seleccionados con grupos de variables atmosféricas provenientes de ERA5 a nivel hemisférico junto con t2m y pp a nivel regional (30°-60°S, 55°-85°O). Las imágenes generadas incluyeron correlaciones entre las series de *loadings* para cada PC con promedios anuales de las quincenas seleccionadas, lo que resultó en la obtención de mapas de correlación entre cada PC y las variables elegidas para la ventana temporal correspondiente. En la sección de resultados, se presentan mapas de dimensión hemisférica que incluyen altura geopotencial junto con viento (expresada con vectores) en 500 y 1000 hPa, agua precipitable (pw, en mm) junto con función corriente (psi) y componente rotacional del viento en 1000 hPa, y temperatura superficial del mar (SST, en °C); acompañadas de los mapas regionales de t2m y pp mencionados. Los resultados obtenidos se presentan en forma de mapas



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

sombreados, en los cuales cada tono representa distintos niveles de significancia estadística (90%, 95%, 97,5% y 99%) para la correlación entre la variable y el PC.

Previo al análisis de correlaciones con variables de ERA5, en la sección de resultados se presentan las tres primeras componentes principales (PCs) que caracterizan la variabilidad de la marcha anual de caudal del río Chubut, ordenadas según su porción de varianza explicada. En este sentido, se expondrán las series anuales de promedios quincenales, acompañadas por el efecto inducido por el PC en cuestión, tanto bajo su modo directo (+ Z) como inverso (- Z), junto con la serie temporal de *loadings* correspondiente. De esta manera, años con *loadings* positivos (negativos) se asocian al esquema directo (inverso) del patrón de PC correspondiente, con preponderancia acorde a la magnitud del factor de carga. Adicionalmente, a estas series de *loadings* (PCL), se les aplicó una técnica estadística para la identificación de saltos climáticos de acuerdo con los lineamientos de Rodionov (2004), lo cual permitió el reconocimiento de períodos con diferencias significativas de medias a un nivel de confianza del 90%.

En última instancia, se les aplicó una técnica de descomposición empírica de modos (CEEMDAN, Colominas et al., 2014) a las series de *loadings* con el objeto de conocer los ciclos subyacentes que componen la variabilidad de cada PC. Asimismo, las series de *loadings* junto con sus modos fundamentales resultantes de CEEMDAN fueron correlacionadas con series representativas de marchas anuales para oscilaciones climáticas de gran escala: El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), obtenidas de Huang et al., 2017, y el Modo Anular del Sur (SAM), obtenida de https://atm.bio.mie-u.ac.jp/earth/AAOindex%20img/eof_SVSAM_extend_monthly_ERA5.txt (accedido el 25/11/2025). De este modo, fue posible indagar acerca de la posible influencia de oscilaciones de gran escala sobre cambios en el caudal del río Chubut, tanto para sus PC como los ciclos subyacentes de cada uno.

En este sentido, se presentan tres imágenes exhibiendo los modos fundamentales junto con una estimación de las frecuencias estimadas, obtenidas mediante un análisis espectral de Blackman-Tuckey (Otnes y Enochson, 1978) y de la varianza relativa, correspondientes a los



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

resultados de CEEMDAN para cada PC. Asimismo, los resultados de las correlaciones entre estas series y las oscilaciones climáticas se presentan en una tabla.

3. RESULTADOS

3.1 Modos de variabilidad de caudal del río Chubut

El primer modo identificado (PC1) se refiere a la variabilidad interanual y explica el 29,8% de la varianza total del caudal del río Chubut. En este sentido, el modo directo (inverso) de la PC1 se caracteriza por anomalías positivas (negativas) de caudal que se extienden a lo largo de todo el año hidrológico. Este incremento (reducción) de caudales es más notorio durante el periodo de máximo flujo del río Chubut, el cual se extiende entre los meses de junio y noviembre (Fig. 2.a). Por su parte, el análisis de saltos climáticos ha permitido identificar dos periodos (1986-1992 y 2010-2019) en los cuales los *loadings* se situaron significativamente debajo de la media, lo cual es compatible con periodos de sequía extendida (Fig. 2.b). En el caso del primer intervalo temporal con *loadings* medios negativos, la presencia de datos faltantes en el mismo cuestiona la relevancia de este periodo.

PC2 explicó el 17,3% de la varianza total y se relacionó con la variabilidad interestacional del caudal en el ciclo hidrológico del río. En términos generales, la PC2 ejerce su influencia retrasando (adelantando) el tiempo de inicio del periodo de máximo flujo del río en su modo directo (inverso). El fenómeno en cuestión se caracterizó por un incremento (reducción) de caudal durante el periodo comprendido entre los meses de agosto y diciembre, en detrimento (favor) del flujo del río Chubut en los meses entre abril y julio (Fig 2.c). El análisis de saltos climáticos no detectó ningún cambio abrupto en la media de la marcha de los *loadings* para PC2 (Fig. 2.d), por lo que no se observa que el adelantamiento o atraso del período de máximos caudales sea un fenómeno que suceda en periodos de varios años consecutivos.

La última componente principal explorada en este estudio fue la PC3. Este modo de variabilidad representó el 12% de la varianza total y se vinculó con cambios a nivel



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

intermensual. En este sentido, el modo directo (inverso) de la PC3 combinó excesos (déficits) de caudal para el mes de agosto y la primera quincena de septiembre junto con reducciones (incrementos) de flujo entre los meses de mayo y julio, y entre la segunda quincena de septiembre y enero (Fig. 2.e). La serie de valores de *loadings* evidencia un conjunto de periodos de 5 y 15 años de duración que alternan medias negativas y positivas desde 1968 en adelante (Fig. 2.f).

3.2 Relación entre los modos de variabilidad de caudal y variables atmosféricas

Las componentes principales previamente presentadas fueron emparejadas con promedios quincenales de variables de circulación a nivel hemisferio, junto con la temperatura y la precipitación en superficie a nivel regional. El cálculo de las correlaciones mencionadas se llevó a cabo para intervalos específicos del año que resultaron relevantes, seleccionados en función de la incidencia de cada PC en la dinámica anual del caudal del río Chubut. En consecuencia, se obtuvieron valores de correlación para cada punto geográfico entre la serie de *loadings* y la serie de promedios estacionales para cada variable de ERA5.

3.2.1 PC1: Variabilidad interanual

Los campos de correlaciones entre las variables de ERA5 (pp y t2m) y la serie de *loadings* para la PC1 maximizan sus valores cuando se considera el periodo comprendido entre la segunda quincena de abril y la primera de agosto. En consecuencia, el intervalo temporal en cuestión incluye la temporada de máxima descarga del río Chubut, donde PC1 ejerce su influencia más significativa, aplicando un desfase de un mes.

En primera instancia, se elaboraron mapas regionales de correlación para las variables t2m (Fig. 3.b) y pp (Fig. 3.a) de ERA5. El mapa correspondiente a la temperatura no exhibió patrones con significancia estadística en la zona de influencia del río Chubut. Se evidencian correlaciones positivas en la zona al norte de 42°S, la cual se intensifica hacia latitudes más bajas. Este patrón resulta compatible con condiciones térmicas más cálidas (frías) de lo normal, de acuerdo con el modo directo (inverso) de PC1. En lo que respecta a la variable de



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

precipitación, se registraron correlaciones positivas con la PC1 en la región cordillerana comprendida entre 33° y 45°S, así como en la meseta y la costa patagónicas, abarcando la totalidad de la cuenca del río Chubut. Este esquema sugiere condiciones más húmedas (secas) de lo normal, de acuerdo con el modo directo (inverso) de PC1. En contraste, el extremo sur de la Patagonia ostentó correlaciones negativas.

La figura 4 presenta cuatro paneles que exhiben correlaciones entre variables de circulación del ERA5 y los *loadings* de la PC1. En primera instancia, se presentan mapas que representan las variables de altura geopotencial y viento en 500 (a) y 1000 hPa (b). En niveles superiores, se evidencia la incidencia de un patrón de tren de ondas sobre Argentina. En este contexto, la región patagónica se encuentra bajo la influencia de un centro de correlaciones negativas, mientras que para el centro y norte del país se obtuvieron valores positivos. En consecuencia, se anticipa que la Patagonia experimentará la influencia de un sistema de baja (alta) presión, caracterizado por la presencia de una vaguada (cuña) sobre la cuenca del río Chubut, bajo el modo directo (inverso) de la PC1. Este sistema concuerda con anomalías positivas (negativas) de precipitación, representadas por las correlaciones mostradas en la Figura 3.a. Por otra parte, el modo directo (inverso) de la PC1 se encuentra asociado con la presencia de un sistema anticiclónico (cyclónico) sobre el centro y norte de Argentina, en concordancia con las anomalías positivas (negativas) de temperatura representadas por las correlaciones sobre dicha región (Fig. 3.b). En el contexto del nivel de 1000 hPa, se evidencia una predominancia de correlaciones negativas sobre Argentina y el océano Pacífico. Este patrón es compatible con una intensificación del flujo del noroeste en latitudes tropicales hacia la Patagonia, según lo indicado por el modo directo de la PC1.

La figura 4.d muestra las correlaciones entre los *loadings* para la PC1 y las variables de agua precipitable y función corriente en 1000 hPa. La característica más relevante observada en la imagen es la confirmación del patrón descrito para la altura geopotencial en 1000 hPa. En este sentido, el modo directo de PC1 es compatible con la presencia de un sistema ciclónico que genera un flujo desde latitudes tropicales, que involucra un transporte de humedad hacia el centro de Argentina y la Patagonia norte. Este patrón de circulación



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

atmosférica se correlaciona con anomalías positivas en el contenido de humedad en la atmósfera sobre la región específica de estudio y el aumento de las precipitaciones sobre la región. En contraposición, sobre el flanco sur de este sistema se observa una contracorriente asociada a un secamiento anómalo (bajos valores de correlación con agua precipitable), que atraviesa el Pacífico desde el extremo sur de Sudamérica (SA) hasta el norte de Australia.

La última variable sujeta al análisis de correlación con los *loadings* de PC1 fue la temperatura superficial del mar (Fig. 4.c). La imagen ilustra un patrón de correlaciones positivas en las regiones de El Niño 3.4 y las costas adyacentes a SA en latitudes subtropicales, complementadas con valores negativos en la región al norte de Australia, el mar de Tasmania y Nueva Zelanda. Esta configuración sugiere la existencia de una correlación entre el modo directo (inverso) de PC1 y el fenómeno de El Niño (La Niña). Por otro lado, también se aprecian correlaciones negativas ligeras sobre el océano Atlántico tropical.

3.2.2 PC2: Variabilidad interestacional

El segundo modo de variabilidad manifestó su acción en dos ventanas temporales claramente diferenciables y antagónicas entre sí, como se ha descrito en la sección 3.1. En consecuencia, se evaluó la correlación entre los *loadings* de la PC2 y las variables atmosféricas considerando estos periodos del año, obteniendo valores máximos al aplicar una quincena de desfase. De esta forma se realizó el análisis de correlaciones sobre dos ventanas temporales que se extienden desde la primera quincena de abril hasta la primera quincena de julio, y desde la segunda quincena de julio hasta la segunda quincena de noviembre. Análogamente a lo analizado para la PC1, los resultados presentados en esta sección incorporan correlaciones entre la PC2 y las variables de t2m y pp en escala sinóptica, así como con las variables de circulación a nivel hemisférico.

Primer intervalo: desde la 1° quincena de abril a la 1° quincena de julio



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

El intervalo comprendido entre los meses de abril y julio para PC2 se distingue en su modo directo (inverso) por una disminución (incremento) en el caudal medio del río Chubut. El análisis del mapa de correlación de los *loadings* de la PC2 con la t_2m (Fig. 5.c) revela la presencia de valores negativos en la mayor parte del dominio, con un incremento notable de la intensidad en la región norte de la Patagonia. Por su parte, el mapa análogo correspondiente a la variable de precipitación en superficie (Fig. 5.a) exhibe como característica más destacable una relación negativa en los Andes patagónicos, incluyendo parcialmente la región de la naciente del río Chubut. En consecuencia, la versión directa (inversa) de PC2 estaría asociada a condiciones más frías y secas (cálidas y húmedas) con respecto a la media durante el otoño y el inicio del invierno.

Los mapas de altura geopotencial (Fig. 6.a y 6.b) exhiben una configuración de correlaciones que se alinean con un tren de ondas procedente del Océano Pacífico, el cual ejerce su influencia sobre el territorio argentino, específicamente en la región geográfica de la cuenca del río Chubut. En este sentido, se localiza un centro intenso de correlaciones positivas sobre las costas del océano Pacífico en el extremo sur de Sudamérica en 1000 hPa, en torno a $50^{\circ}S - 90^{\circ}O$. Este patrón se caracteriza por su compatibilidad con la presencia de un sistema anticiclónico (cyclónico) que obstaculiza (estimula) los vientos del oeste, actuando como un impedimento (incentivo) en la generación de precipitaciones, en el modo directo (inverso) de la PC2.

En contraste con los hallazgos reportados previamente para la PC1, la trayectoria delineada por los centros de presión indica que este presenta una naturaleza estrictamente zonal en lo que concierne a su ubicación a través del océano Pacífico. Por otra parte, los mapas no exhiben valores estadísticamente significativos de correlación en la región del océano Pacífico ecuatorial, por ejemplo para SST (Fig. 6.c).

La figura 6.d expone las correlaciones entre los *loadings* de PC2 y las variables de agua precipitable y función potencial en 1000 hPa. Los mecanismos descriptos en el apartado de altura geopotencial respecto al origen de las anomalías de precipitación sobre la cuenca del río Chubut son evidentes en este campo. La variable de función corriente, expresada



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

mediante vectores y contornos, describe una serie de sistemas cerrados de circulación dispuestos de manera zonal a lo largo del océano Pacífico sur hasta la Patagonia. Estos centros presentaron una naturaleza ciclónica o anticiclónica, de manera alternada. En el contexto específico de la región patagónica, la disposición de estos centros determina un flujo de aire del sur, asociado a las correlaciones negativas tanto de agua precipitable como de t2m (Fig. 5.c) sobre la región. En virtud de la relación expuesta, para el inicio del ciclo hidrológico (abril a julio), se anticipa que el modo directo (inverso) de la PC2 exhibirá correlación con una anomalía negativa (positiva) de contenido de humedad atmosférica sobre la cuenca, y con circulación del sur (norte) cerca de la superficie.

Segundo intervalo: desde la 2° quincena de julio a la 2° quincena de noviembre

La segunda ventana temporal analizada para la PC2 abarcó el periodo comprendido entre la segunda quincena de julio y la segunda quincena de noviembre, y se caracterizó por un exceso (déficit) de caudales en su modo directo (inverso). El análisis del mapa de correlaciones entre t2m y los *loadings* de la PC2 (Fig. 5.d) revela una predominancia de valores negativos en las regiones centro y sur de Argentina y Chile. Estas correlaciones sugieren anomalías que alcanzaron su máxima intensidad sobre el océano y la Patagonia norte, exhibiendo relación con condiciones térmicas más frías (cálidas) de lo normal para el modo directo (inverso) de la PC2. Por otro lado, la figura 5.b muestra los valores de correlación entre la PC2 y la precipitación durante el mismo periodo. La imagen muestra una región de correlaciones positivas localizada aproximadamente entre 39° y 48°S. Estos valores alcanzan su máxima intensidad en la región que constituye la naciente del río Chubut. En el extremo austral del continente, se evidencia una región con valores negativos de correlación en la ladera oeste de la cordillera de los Andes. De esta manera, los resultados indican que el modo directo (inverso) de la PC2 se relaciona con anomalías positivas (negativas) de precipitación sobre la Patagonia norte, en detrimento (favor) de las registradas al sur de 50°S, sugiriendo un desplazamiento en la posición latitudinal de los oestes.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

El análisis del mapa de correlaciones entre la altura geopotencial en 500 hPa y los *loadings* de la PC2 (Fig. 6.e) revela la presencia de una serie de centros de polaridad alternada en la región del cono sur, como característica más relevante. En este sentido, el modo directo (inverso) se encuentra vinculado a la presencia de un sistema de baja (alta) presión sobre la Patagonia, el cual, a su vez estimula (obstaculiza) el flujo del oeste sobre la región cordillerana que alberga a la naciente del río Chubut, en concordancia con las anomalías positivas (negativas) de precipitación mencionadas. En las áreas situadas tanto al oeste como al este del centro de anomalías negativas, se identificaron otros dos sistemas de anomalías positivas.

En el contexto de las correlaciones entre la altura geopotencial y el viento en 1000 hPa y la PC2 (Fig. 6.f), el análisis del campo reveló correlaciones negativas de geopotencial acompañadas de un flujo del oeste intensificado sobre la Patagonia norte. En virtud de los patrones observados, se hipotetiza que el modo directo (inverso) de PC2 estaría asociado con una predominancia de sistemas ciclónicos (anticiclónicos) sobre la Patagonia central, posicionados de manera que favorezcan (impidan) el flujo del oeste sobre la Patagonia norte. Esta configuración podría estimular (obstaculizar) la generación de precipitaciones y el transporte de humedad en la región. Al mismo tiempo, en el extremo sur del continente y el Pasaje de Drake, los oestes se ven debilitados debido a la conjunción del centro negativo de geopotencial mencionado y un centro positivo ubicado en las inmediaciones de la Península Antártica, lo cual se asocia a la reducción de precipitaciones observado para sobre este sector en la figura 5.b.

El mapa de correlaciones para SST (Fig. 6.g) exhibió nuevamente una ausencia de patrones de correlación significativos en el océano Pacífico ecuatorial, aunque se observan zonas de correlaciones significativas en las adyacencias de SA, en posiciones y signos que coinciden con las correlaciones de geopotencial en altura. Con respecto a las correlaciones entre la PC2 y el contenido de agua precipitable en la atmósfera y la función corriente en superficie (Fig. 6.h), los vectores de componente rotacional ratificaron el estímulo del flujo



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

del oeste sobre la Patagonia norte bajo el modo directo de PC2, mientras se debilitan los oestes sobre el extremo sur con una reducción significativa del contenido de vapor.

3.2.3 PC3: Variabilidad intraestacional

Dado que el patrón de variabilidad de caudal representado por los *scores* de la PC3 se compone de tres períodos alternados de anomalías (Fig. 2.e), se plantea la necesidad de analizar tres grupos de campos de correlaciones entre las series de *loadings* correspondiente (Fig. 2.f) y las variables meteorológicas. Los valores de correlación para los campos analizados se maximizan con alrededor de una quincena de antelación respecto de las anomalías de caudal representadas por la PC3. El primer periodo se extendió desde la primera quincena de mayo hasta la primera quincena de julio; el segundo periodo incluyó las quincenas entre la segunda de julio y la primera de septiembre; y el último se desarrolló entre la segunda quincena de septiembre y la primera quincena de diciembre. De igual forma a lo analizado para las componentes anteriores, se presentarán mapas de correlación para las variables t2m y pp a nivel sinóptico; así como para altura geopotencial y viento vectorial en 500 y 1000 hPa, pw junto con psi en 1000 hPa y SST.

Primer intervalo: desde la 1° quincena de mayo a la 1° quincena de julio

El análisis del mapa de correlaciones entre la t2m y la PC3 para el periodo comprendido entre la primera quincena de mayo y la primera quincena de julio se caracterizó por exhibir una predominancia de valores positivos en la Patagonia al sur de 42°S y en el sector aledaño del océano Pacífico (Fig. 7.d). Este patrón se encuentra relacionado con anomalías positivas (negativas) de temperatura en las regiones previamente mencionadas bajo el modo directo (inverso) de la PC3. En el caso del mapa de correlaciones entre pp y PC3 (Fig. 7.a), se observan correlaciones negativas en toda la región cordillerana ubicada al norte de 46°S sumado a la mayoría del territorio que constituye la provincia de Chubut. Este patrón se asocia a anomalías negativas (positivas) de precipitación, según el modo directo (inverso)



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

de la PC3. Este hallazgo resulta compatible con los *scores* negativos obtenidos por el ACP para este periodo, de acuerdo con el modo directo del presente modo de variabilidad.

Las correlaciones calculadas entre la altura geopotencial en 500 hPa y los *loadings* de la PC3 para la primera ventana temporal (Fig. 8.a) muestran una serie de centros de correlación de signos opuestos que cruzan el territorio argentino hacia el océano Atlántico. En este sentido, se observan como características principales, la presencia de un extenso centro de correlaciones negativas sobre el mar de Amundsen-Bellinghausen y otro de signo opuesto en la Patagonia austral. De esta manera, el modo directo (inverso) de la PC3 se relacionaría con el establecimiento de un anticiclón (ciclón) sobre la Patagonia que debilita (fortalece) los vientos, la convección y el tránsito de sistemas húmedos desde el oeste; junto con la profundización (atenuación) de una baja en el mar de Amundsen-Bellinghausen, promoviendo una fuerte circulación del NO al oeste de la Península Antártica y los oestes sobre el centro y oeste del Pacífico. El mapa análogo para la altura geopotencial en 1000 hPa (Fig. 8.b) refuerza el patrón de anomalías descrito en la figura 8.a, junto con los cambios en los oestes y la baja de Amundsen-Bellinghausen.

El análisis del mapa de correlaciones entre PC3 y agua precipitable, en conjunto con la función corriente en 1000 hPa (Fig. 8.d), revalida el patrón descrito previamente en el apartado correspondiente a la altura geopotencial. En este contexto, se evidencia una región de correlaciones compatibles con movimientos anticiclónicos (ciclónicos) sobre la Patagonia norte, de acuerdo con el modo directo (inverso) de la PC3. Se evidencia así una obstaculización (incentivo) para el transporte de humedad desde el oeste hacia la región de la naciente del río Chubut, confinándolo solo a la porción sur de la Patagonia, el Pasaje de Drake y la Península Antártica, como producto del transporte desde el NO generado por el flujo generado entre los sistemas presión descritos. Por otra parte, las correlaciones con la SST muestran tres centros sobre el Pacífico sur con valores de signos alternados, que responden a la presencia de un centro correlaciones positivas sobre Nueva Zelanda, al centro negativo sobre los mares de Amundsen-Bellinghausen y al arrastre de aguas más cálidas desde el norte frente a las costas del sur de Chile.



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

Segundo intervalo: desde la 2° quincena de julio a la 1° quincena de septiembre

El segundo periodo incluido en el análisis de correlaciones para la PC3 se desarrolló entre la segunda quincena de julio y la primera de septiembre y se caracterizó por un abrupto incremento (reducción) del caudal con respecto a los niveles medios históricos según el modo directo (inverso) de la PC3. En lo que respecta a las correlaciones entre la serie de *loadings* con las variables de t2m y pp a nivel regional durante el periodo en cuestión, el mapa que representa a la temperatura exhibió valores positivos en todo el dominio continental analizado, con la excepción del extremo más austral de Sudamérica (Fig. 7.e). Por su parte, para la precipitación en superficie se aprecia una región con marcados valores positivos para la región andina comprendida entre las latitudes 38° y 50°S, lo cual incluye la naciente del río Chubut (Fig. 7.b). Este patrón está relacionado con un incremento (reducción) anómalo en las precipitaciones bajo el modo directo (inverso) de la PC3 sobre la zona destacada.

El estudio del mapa de correlaciones entre la altura geopotencial a 1000 hPa y los *loadings* de la PC3 (Fig. 8.f) revela una marcada predominancia de valores negativos en la zona de la Patagonia y el océano Pacífico hasta latitudes tropicales. Este patrón es compatible con una intensificación (debilitamiento) del flujo desde latitudes tropicales en el océano Pacífico hacia la Patagonia según el modo directo (inverso) de la PC3. Este comportamiento está en consonancia con las anomalías positivas de precipitación observadas en la región andina (Fig. 7.b). La posición de los sistemas anómalos de presión en 1000 hPa también sugiere la presencia de un flujo desde el norte, compatible con las correlaciones positivas entre PC3 y t2m en el territorio continental del sur de Sudamérica.

Por otro lado, la imagen que manifiesta las correlaciones entre la PC3 y la altura geopotencial en 500 hPa (Fig. 8.e) exhibe patrones sobre el cono sur análogos a los hallados para 1000 hPa. Específicamente en 500 hPa, el flujo del NO sobre la Patagonia norte, asociado a un dipolo formado por un centro ciclónico extendido entre el S y SO del continente y uno anticiclónico inmediatamente al norte del mismo, para el modo directo de la PC3, se concentró de manera exclusiva en dicha región.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

La relación entre la PC3 y el contenido de humedad en la atmósfera junto con psi en 1000 hPa se muestra en la Fig. 8.h. Los patrones más relevantes observados sobre el dominio en estudio se relacionan con la presencia del centro ciclónico austral descrito en los paneles anteriores. Para el modo directo de la PC3, se evidencia el fuerte flujo de humedad proveniente del noroeste, desde el océano Pacífico hacia la Patagonia norte, evidenciado por correlaciones positivas de agua precipitable, principalmente sobre la región de la naciente del río Chubut. Los campos de correlaciones con la SST (Fig. 8.g) muestran un corrimiento hacia el este de los centros observados para el período anterior (Fig. 8.c). Esto sugiere que el centro de correlaciones negativas de geopotencial sobre el sur patagónico podría derivarse del avance hacia el este del ubicado sobre los mares de Amundsen-Bellinghausen en el período previo (Fig. 8.a y b).

Tercer intervalo: desde la 2° quincena de septiembre a la 1° quincena de diciembre

Las figuras 7.c y 7.f exhiben los niveles de correlación entre los *loadings* de la PC3 con pp y t2m, respectivamente, para el periodo comprendido entre la segunda quincena de septiembre y la primera de diciembre. El intervalo en cuestión se distinguió por una reducción (aumento) del caudal en relación con los valores medios, de acuerdo con el modo directo (inverso) de PC3 (Fig. 2.e). En este sentido, la imagen correspondiente a t2m no exhibió patrones relevantes de correlación sobre el territorio continental y únicamente mostró valores positivos sobre el mar Argentino. Sin embargo, el análisis del mapa de correlaciones con precipitación reveló un patrón de valores negativos que se asemeja al observado en el primer periodo (Fig. 7.a). Esta configuración se manifiesta en las zonas altas mediante valores negativos en las latitudes entre 36° y 50°S. Estos valores resultan compatibles con anomalías negativas (positivas) de pp bajo el modo directo (inverso) de PC3.

Los campos de correlación entre los *loadings* de la PC3 y la altura geopotencial en 500 (Fig. 8.i) y 1000 hPa (Fig. 8.j) exhibieron patrones de correspondencia aislados, y de extensión y significancia estadísticas acotadas. Para ambos mapas, se halló la presencia de un centro de valores positivos sobre las costas del océano Pacífico sur centrado alrededor de



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

45°S – 80°O. Este patrón es compatible con un centro de alta (baja) presión obstaculizando (fomentando) el tránsito de sistemas húmedos desde el oeste e inhibiendo (propiciando) la convección sobre la cuenca del Chubut, de acuerdo con el modo directo (inverso) de PC3. Por otro lado, el análisis del mapa de correlación entre PC3 y agua precipitable, en conjunto con función corriente en 1000 hPa (Fig. 8.l), evidencia un flujo hacia el oeste sobre la región cordillerana de la Patagonia norte, aunque sin mostrar significancia estadística. El único sistema destacable, independiente de la influencia del río Chubut, incluyó correlaciones positivas de pw sobre el océano Atlántico tropical, junto con movimientos ciclónicos bajo el modo directo de PC3 durante el periodo en estudio. Las correlaciones con SST (Fig. 8.k) continúan mostrando un patrón de cadena de centros con signos alternados, con leves desplazamientos respecto del período anterior.

3.3 Oscilaciones climáticas y los modos de variabilidad en la cuenca del río Chubut

Las figuras 9, 10 y 11 muestran los modos fundamentales producto del CEEMDAN aplicado a PC1, PC2 y PC3, respectivamente. Por otro lado, la Tabla 1 muestra los valores de correlación entre las series de *loadings* y sus modos fundamentales con las oscilaciones climáticas ENOS, PDO y SAM.

La descomposición empírica de modos asignó 5 o 6 modos fundamentales para describir la variabilidad de las series de *loadings*, las cuales concentraron la mayor parte de la varianza relativa en los primeros 4 modos para cada PC. Además, se observaron modos con frecuencias que no alcanzaron el 90% de confianza estadística requerida para diferenciarse significativamente del continuo nulo de ruido rojo en el análisis espectral de Blackman-Tuckey.

La PC1 exhibió una correlación positiva con un 95% de confianza con ENOS. Este fenómeno se manifestó en los *loadings* y en el modo 1, con frecuencias fundamentales estimadas en 4 y 6 años (siendo la primera no significativa al 90% de confianza según Blackman-Tuckey) (Tabla 1 y Fig. 9). Asimismo, los modos 3 (con un 90% de confianza) y 4 (con un 95% de confianza) observaron correlaciones positivas y negativas, respectivamente,



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

con PDO. Estas series presentaron frecuencias fundamentales estimadas en 11 y 20 años, y 35 años –esta última oscilación, con mayor amplitud entre las décadas de 1970 y 2000–, en consonancia con la periodicidad presentada por la PDO. Las correlaciones con sentido opuesto pueden estar asociadas a la posición en fase o contrafase de los modos fundamentales con respecto de la PDO.

Por su parte, la PC2 muestra un ciclo de variabilidad principal con período de aproximadamente 2.5 años, junto a otros de menor varianza relativa con frecuencias de 6 y 11 años. Sin embargo, para esta componente no se obtuvieron valores de correlación significativos para ninguno de los índices climáticos considerados (Tabla 1 y Fig. 10).

La PC3 muestra su variabilidad repartida en modos cíclicos fundamentales con períodos de aproximadamente 4.5, 6, 9 y 20 años –este último ciclo observado con mayor amplitud a partir de la década de 1980– (Fig. 11). Dicha componente presentó valores significativos de correlación para su modo 5 –frecuencia fundamental estimada de 50 años– con PDO (negativa al 95% de confianza) y SAM (positiva al 90% de confianza) (Tabla 1). La presente relación con PDO podría estar asociada a los ciclos de baja frecuencia identificados por Mantua y Hare (2002). En lo que respecta a SAM, diversos estudios han documentado la influencia de ciclos de entre 50 y 70 años en su evolución (Fogt et al., 2009; Visbeck, 2009; Abram et al., 2014).

3.4 Resumen esquemático de los resultados

En la Tabla 2, se presenta un resumen de los resultados presentados en este trabajo. En todos los casos, se muestra el modo directo de las PCs, siendo también válido el caso opuesto (modo inverso).

4. CONCLUSIONES

La implementación adecuada de un ACP ha logrado caracterizar la variabilidad de la marcha anual del caudal del río Chubut, y establecer las variables climáticas locales de las que depende y los patrones de circulación atmosférica que las fuerzan.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

El primer modo de variabilidad del río Chubut (PC1) explicó 29,8% y describió su variabilidad a escala interanual. Este modo de variabilidad respondió a anomalías regionales de precipitación principalmente durante el periodo que comprende desde la segunda quincena de abril a la primera de agosto. Los resultados hallados para SST y geopotencial en 1000 hPa sugieren una preponderancia del ENOS como modulador de este modo de variabilidad, relacionando la ocurrencia El Niño (La Niña) con la años de exceso (déficit) de caudal en el río. Como se ha puesto de manifiesto en investigaciones precedentes, existe una relación entre los cursos fluviales andinos del sur de Sudamérica y la influencia del ENOS (Berri et al., 2019; Lauro et al., 2019), lo cual corrobora las conclusiones alcanzadas en este estudio. El periodo caracterizado por *loadings* negativos –evidenciado por el análisis de saltos climáticos– confirma la relación entre PC1 y ENOS, a través de una serie de episodios de La Niña (2010-2012, 2016 y 2017-2018). Asimismo, el único episodio de El Niño –en 2015– registrado durante el periodo de bajos caudales medios mencionado coincide con los máximos *loadings* calculados para la PC1 –en un sentido relativo– dentro del periodo en cuestión. Este periodo actual de sequía también fue identificado por otros autores. En este sentido, Hurtado et al. (2023) encontraron cambios abruptos en 2006/7 y 2009/10 a partir de datos de la cuenca alta del Chubut, y Pessacg et al. (2021) identifican este periodo seco de 2010 en adelante empleando curvas de volúmenes abatidos en la estación Los Altares. La serie de *loadings* para la PC1 observó una correlación significativa al 95% con ENOS, ratificando lo expuesto en este apartado. Asimismo, las correlaciones significativas observadas en la PDO y modos fundamentales de baja frecuencia de la PC1 sugieren una posible influencia de esta oscilación climática en la variabilidad de baja frecuencia de esta PC.

La PC2 replicó el 17,3% de la varianza total del río Chubut y se remitió a la variabilidad interestacional. En su variante directa (inversa), esta componente principal actúa mediante una reducción (incremento) del caudal medio durante los primeros meses del ciclo hidrológico generado por la escorrentía de las precipitaciones líquidas, en oposición a un incremento (reducción) del caudal observado durante los meses de fines de invierno y



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

principios de primavera, en el periodo de máximo deshielo. En consecuencia, este patrón de caudales anómalos representa la tendencia a un retraso (adelanto) del periodo de máximos caudales. Las anomalías registradas durante el inicio del ciclo se relacionaron con la propagación de un tren de ondas en latitudes medias a través del océano Pacífico. Estos sistemas ejercen su influencia –según el modo directo de la PC2– sobre la cuenca a través de la acción de un sistema anticiclónico centrado alrededor de $50^{\circ}\text{S} - 90^{\circ}\text{O}$, dando lugar a un flujo anómalo del sur sobre la Patagonia, asociado a condiciones más secas y frías de lo habitual. En el periodo comprendido entre la segunda mitad del invierno y la primavera, el establecimiento de una baja en altura sobre la Patagonia genera condiciones frías en la región, mientras que la posición de dicha baja incentiva el flujo de humedad desde el oeste, favoreciendo la generación de precipitaciones. El cálculo de correlaciones entre la PC2 junto a sus modos fundamentales con oscilaciones climáticas no alcanzó en ninguno de los apartados un nivel de significancia estadística de 90%, descartándose así una relación entre los mismos y un incentivo a los esquemas de propagación de energía a través del océano Pacífico.

El último modo de variabilidad analizado en este trabajo (PC3) concentró la mayor porción de variabilidad de escala intermensual. Esta PC se manifestó a través de alteraciones en el patrón de máximo caudal del río, con un dipolo entre las anomalías de intensidad y duración de estos episodios. En términos generales, la marcha que caracteriza las anomalías asociadas a la PC3 mostró una correlación directa con las anomalías de precipitación en superficie sobre el área de la naciente del Chubut. Sin embargo, se obtuvieron correlaciones positivas para la temperatura en el norte de la Patagonia para todos los intervalos de tiempo analizados, lo cual implica que las anomalías de caudal representadas por este patrón se encuentran vinculadas a las variaciones de la precipitación sobre la cuenca, a pesar de que la temperatura pueda jugar algún rol a favor para las anomalías de agosto, propiciando (inhibiendo) el derretimiento de precipitaciones sólidas en el modo directo (inverso). El primer conjunto de imágenes, que abarca el periodo comprendido entre la primera quincena de mayo y la primera quincena de julio, exhibe un patrón de propagación de un tren de ondas



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

que podría constituir el origen de las anomalías de presión que modulan las precipitaciones sobre la cuenca del río Chubut. Este modelo de transporte energético parece tener como posibles orígenes una baja del mar de Amundsen-Bellinghausen y un anticiclón sobre Nueva Zelanda acompañado de anomalías positivas de SST. En este sentido, se exploraron posibles relaciones entre oscilaciones climáticas y la variabilidad intrínseca de la PC3. Este análisis descartó la presencia de correspondencias significativas estadísticamente con ENOS, hallando únicamente correlaciones relevantes entre el modo 5 y PDO y SAM. Estas asociaciones pueden sugerir una modulación de baja frecuencia de la PC3 por parte de estas oscilaciones climáticas. Por otro lado, las otras dos ventanas temporales sujetas a estudio para la PC3 no exhibieron relación con patrones de gran escala y aparentan estar ligadas a mecanismos locales que afectan las condiciones meteorológicas de la Patagonia norte. En este contexto, tanto los mapas de correlación con la temperatura superficial del mar como los de altura geopotencial no exhibieron características relevantes por fuera de la zona de influencia del río Chubut.

En términos generales, los principales modos de variabilidad del ciclo hidrológico de caudales del Chubut (en el sentido de máximas porciones de varianza explicada), en escalas interanual a intraestacional, estarían asociados a variaciones en el régimen de precipitaciones sobre la cuenca, más que a las fluctuaciones de la temperatura. Los cambios en el caudal a nivel interanual parecen estar mayormente asociados a la oscilación ENOS, la cual exhibe un nivel de correlación significativo con PC1. Los mapas de correlación con altura geopotencial, en concordancia con los mapas de función corriente sugieren que las variaciones en la temperatura sobre la región del Niño 3.4 inducen cambios en el transporte de humedad desde el océano Pacífico ecuatorial hacia la región andina del norte de la Patagonia, que se erige como nacimiento del río Chubut. Los patrones anómalos que constituyeron los cambios en el caudal que caracterizaron la PC2 (variabilidad interestacional) se enmarcaron en la propagación de trenes de ondas, en especial para el periodo comprendido entre abril y julio. Estos patrones de transporte de energía no se relacionaron con cambios en el océano Pacífico tropical y se postula una posible relación con anomalías sobre el continente antártico y el



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

océano circundante. En el caso del último modo de variabilidad presentado en este estudio, el origen de las anomalías que caracterizan la marcha anual de la PC3 aparentan responder a fenómenos de escala local.

Por último, resulta imperativo deliberar acerca de los posibles escenarios futuros para el río Chubut en un contexto de cambio climático. Numerosos estudios prevén que los cambios en la circulación atmosférica en el sur de Sudamérica tengan un impacto significativo en la regiones andinas de Cuyo y la Patagonia norte, lo que podría resultar en una reducción considerable en las precipitaciones medias (Brendel et al., 2020; Rivera et al., 2024). Estas precipitaciones constituyen la principal fuente de caudal para los cursos fluviales que nacen de la cordillera, como el río Chubut. Los efectos sobre el caudal del río pueden manifestarse de dos formas: como cambios generalizados en el caudal medio (PC1) o como alteraciones en el régimen de máximo flujo (PC2 y PC3). En este sentido, Hurtado et al. (2023) efectuaron un cálculo que evidencia un descenso en el caudal medio del río Chubut de 27,8% entre los periodos 1980-2006 y 2007-2021. Dicha disminución se atribuye a un aumento de la temperatura media, asociado a un aumento de la evapotranspiración en la cuenca del río (Hurtado et al., 2023; Pessacg et al., 2020), y a una reducción de las precipitaciones sobre la cuenca del curso fluvial. Los autores del estudio también sostienen que desde 2007, se observa un adelanto en la segunda etapa del máximo de caudal causado por el deshielo, debido al incremento de las temperaturas medias. Este estudio se suma a otros que también han estimado una reducción en el caudal medio del río Chubut (Rivera et al., 2017a). Los resultados del presente estudio no sugieren la presencia de tendencias para los modos de variabilidad interestacional e intermensual, en línea con una ausencia de cambios en la distribución del periodo de máximo caudal para el río Chubut. Por otro lado, la serie de *loadings* de PC1 mostró una tendencia negativa, en gran medida atribuible al salto climático calculado en 2010. Este fenómeno sugiere una reducción en el caudal medio del río Chubut, lo cual concuerda con los estudios mencionados y con la situación de sequía generalizada descrita por Rivera et al (2017b). Resulta de vital importancia ahondar en el estudio de la continuidad de las condiciones actuales de sequía, con el propósito de



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

comprender su posible evolución hacia una posible *nueva normalidad*, lo cual implicaría una significativa repercusión en la administración futura de los recursos hídricos del río Chubut.

REFERENCIAS

Abram, NJ; Mulvaney, R.; Vimeux, F.; Phipps, SJ; Turner, J; England, MH; 2014: Evolution of the Southern Annular Mode during the past millennium. *Nature Climate Change*, 4(7), 564-569. <https://doi.org/10.1038/nclimate2235>

Araneo, DC; Compagnucci, R.; 2008: Atmospheric circulation features associated to Argentinean Andean rivers discharge variability *Geophysical Research Letters*, Vol. 35, L01805. <https://doi.org/10.1029/2007GL032427>

Araneo, DC y Villalba, R.; 2015: Variability in the annual cycle of the Río Atuel streamflows and its relationship with tropospheric circulation. *Int. J. Climatol.* 35: 2948-2967. <https://doi.org/10.1002/joc.4185>

Arias, PA; Garreaud, R.; Poveda, G.; Espinoza, JC; Molina-Carpio, J.; Masiokas, M.; Viale, M.; Scaff, L.; van Oevelen, PJ; 2021: Hydroclimate of the Andes Part II: Hydroclimate Variability and Sub-Continental Patterns. *Front. Earth Sci.* 8:505467 <https://doi.org/10.3389/feart.2020.505467>

Balmaceda-Huarte, R., Olmo, M. E., Bettolli, M. L., & Poggi, M. M. (2021). Evaluation of multiple reanalyses in reproducing the spatio-temporal variability of temperature and precipitation indices over southern South America. *International Journal of Climatology*, 41(12), 5572-5595. <https://doi.org/10.1002/joc.7142>

Berri, G.; Bianchi, E.; Müller, G.; 2019: El Niño and La Niña influence on mean river flows of southern South America in the 20th century, *Hydrological Sciences Journal*, 64:8, 900-909 <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1609681>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

Brendel, AS; del Barrio, RA; Mora, F.; Orrego Leon, EA; Rosales Flores, J.; Campoy, JA; 2020: Current agro-climatic potential of Patagonia shaped by thermal and hydric patterns. Theor Appl Climatol. 142:855-868 <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03350-w>

Colominas, M.; Schlotthauer, G.; Torresa, ME; 2014: Improved complete ensemble EMD: A suitable tool for biomedical signal processing. Biomedical Signal Processing and Control 14 (2014) 19–29 <http://dx.doi.org/10.1016/j.bspc.2014.06.009>

Depetris, P.; Pasquini, A.; 2021: Patagonia's Chubut River: Overview of the Main Hydrological and Geochemical Features. Environmental Assessment of Patagonia's Water Resources, Environmental Earth Sciences. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89676-8_6

Fogt, RL; Perlwitz, J.; Monaghan, AJ; Bromwich, DH; Jones, JM; Marshall, GJ; 2009: Historical SAM variability. Part II: Twentieth-century variability and trends from reconstructions, observations, and the IPCC AR4 models. Journal of Climate, 22(20), 5346-5365. Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P. et al.; 2020: The ERA5 global reanalysis. Q J R Meteorol Soc. 2020; 146:1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P.; Biavati, G.; Horányi, A.; Muñoz Sabater, J.; Nicolas, J.; Peubey, C.; Radu, R.; Rozum, I.; Schepers, D.; Simmons, A.; Soci, C.; Dee, D.; Thépaut, J-N; 2023: ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>

Hurtado, S.; Calianno, M.; Adduca, S.; Easdale, M.; 2023: Drylands becoming drier: evidence from North Patagonia, Argentina. Reg Environ Change 23, 165 (2023) <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02160-w>

Isla, FI; Isla, MF; 2024: The fate of the Patagonian rivers: fluvial captures and climate trends. Acta Geológica Lilloana 35 (2): 167-185. <https://doi.org/10.30550/j.agl/1916>



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

Lauro, C.; Vich, A.; Moreiras, SM; 2019: Streamflow variability and its relationship with climate indices in western rivers of Argentina. Hydrological Sciences Journal, 64:5, 607-619, <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1594820>

Mantua, NJ; Hare, SR; 2002: The Pacific Decadal Oscillation. Journal of Oceanography, 58(1), 35-44. <https://doi.org/10.1023/A:1015820616384>

Márquez, MI; Vázquez, PS; González Zevallos, DR; 2022: Caracterización regional de los usos del suelo y problemáticas ambientales asociadas en la cuenca inferior del río Chubut, Argentina. Papeles de Geografía, 68 (2022), 97-114 <https://doi.org/10.6018/geografia.504921>

Moyano, CH; Moyano, MC; 2013: Estudio hidrológico del río Chubut cuenca superior y media. Contribuciones Científicas GÆA Vol. 25 Págs. 149-164

Otnes, R.; Enochson, L.; 1978: Applied time series analysis ISBN 0-471-24235-7

Pascual, MA; Olivier, T.; Brandizi, L.; Rimoldi, P.; Malnero, HA; Kaless, G.; 2020: Cuenca del Río Chubut. Análisis de Factibilidad para Fondo de Agua. Mayo 2020. Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. 197pp.

Pessacg, N.; Flaherty, S.; Solman, S.; Pascual, M; 2020: Climate change in northern Patagonia: critical decrease in water resources. Theoretical and Applied Climatology, 140(3-4), 807-822. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03104-8>

Pessacg, N.; Liberoff, A.; Salvadores, F.; Rimoldi, P.; Brandizi, L.; Alonso Roldán, V.; Raguileo, D.; Mac Donnell, L.; Ambrosio, M.; Malnero, H.; Rius, P.; Díaz, L.; 2021: Emergencia Hídrica 2021/2022: Situación socioambiental de las cuencas de los ríos Chubut y Senguer. Informe técnico. Grupo técnico del Comité de Cuenca del Río Chubut. www.repositorio.cenpatconicet.gob.ar/123456789/1485



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

Poblete, AG; Albeiro Castro, MA; 2023: Análisis del decrecimiento de los derrames de los ríos Limay y Chubut. Informe Científico Técnico UNPA, 15(1), 6-24.

Rivera, JA; Araneo, DC; Penalba, O.; Villalba, R.; 2017a: Regional aspects of streamflow droughts in the Andean rivers of Patagonia, Argentina. Links with large-scale climatic oscillations. Hydrology Research 49.1 2018. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.207>

Rivera, JA; Penalba, O.; Villalba, R.; Araneo, DC; 2017b: Spatio-Temporal Patterns of the 2010–2015 Extreme Hydrological Drought across the Central Andes, Argentina. Water 2017, 9, 652 <https://doi.org/10.3390/w9090652>

Rivera, JA; Robo, M.; Bianchi, E.; Mulleady, C.; 2024: Impact of climate change on the streamflow in northern Patagonia. Journal of Water and Climate Change Vol 15 No 5, 2074 <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.492>

Rodionov, S.; 2004: A sequential algorithm for testing climate regime shifts. Geophys. Res. Lett., 31, L09204 <https://doi.org/10.1029/2004GL019448>

Visbeck, M.; 2009: A station-based southern annular mode index from 1884 to 2005. Journal of Climate, 22(4), 940-950. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2260.1>



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

Figuras y tablas

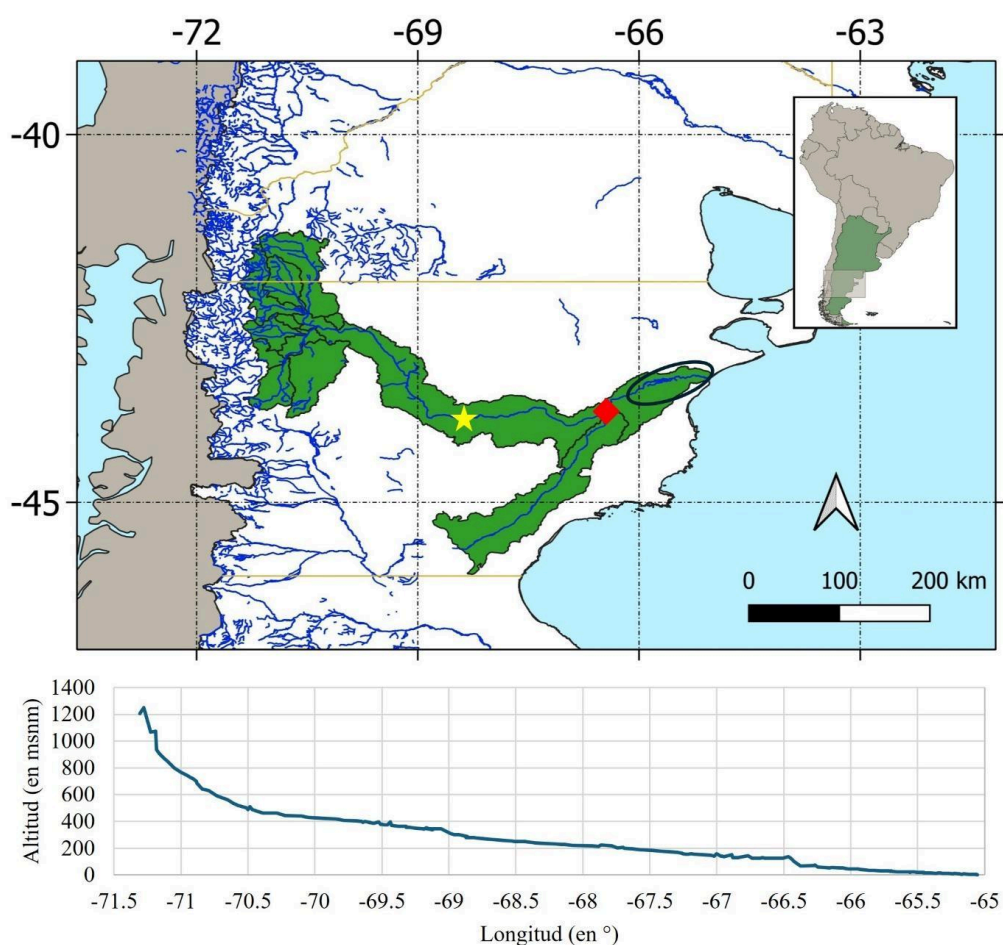


Figura 1. (Arriba) Mapa de la cuenca del río Chubut y sus afluentes. Localización de la estación de aforo Los Altares indicada con una estrella. Localización del dique Florentino Ameghino indicada con un rombo. La elipse negra abarca el territorio del valle irrigado del río Chubut. (Abajo) Perfil topográfico del cauce principal del río Chubut.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

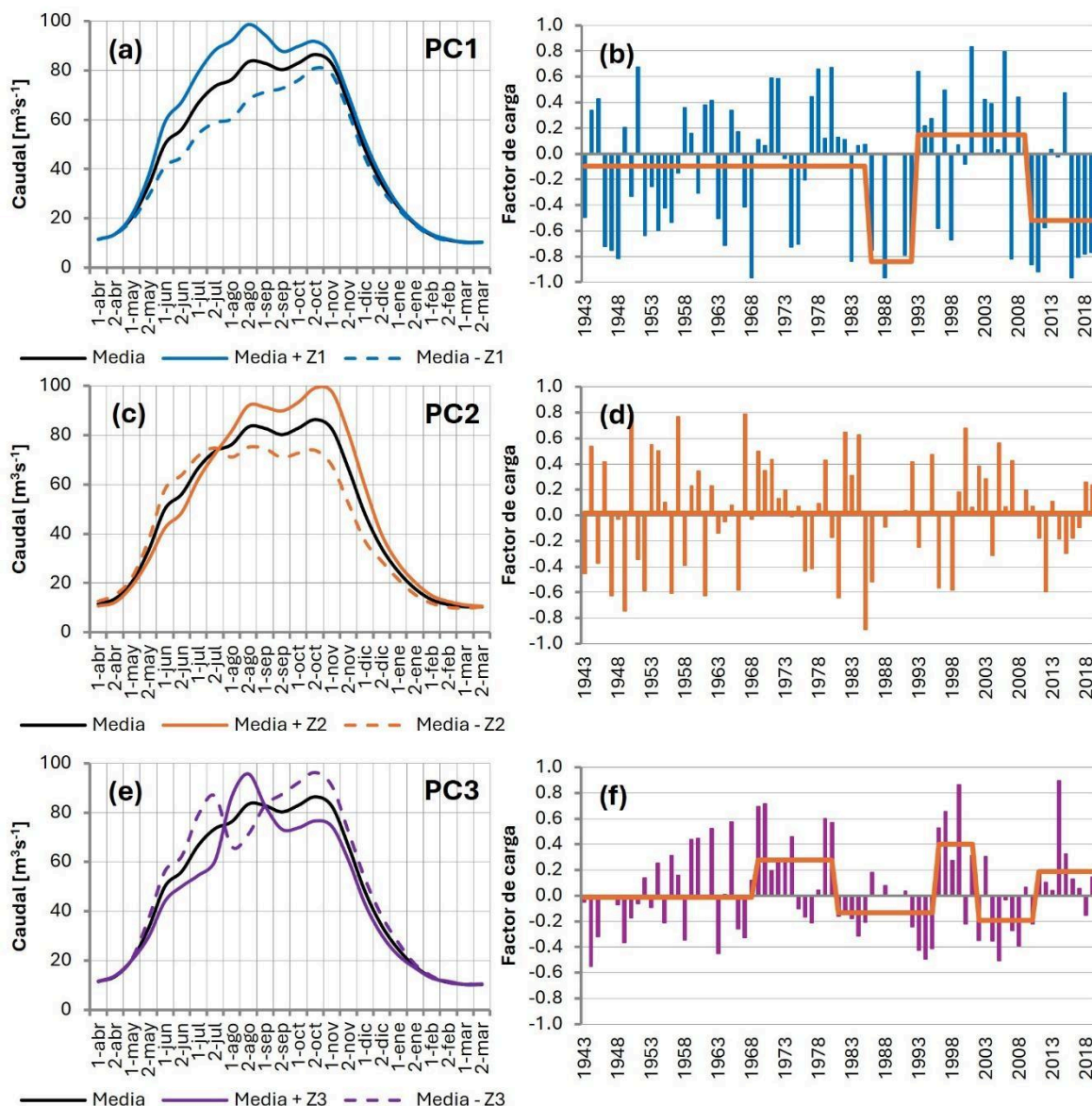


Figura 2. Componentes principales del río Chubut (a, c y e) junto con sus correspondientes series de loadings y análisis de saltos climáticos (b, d y f)



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

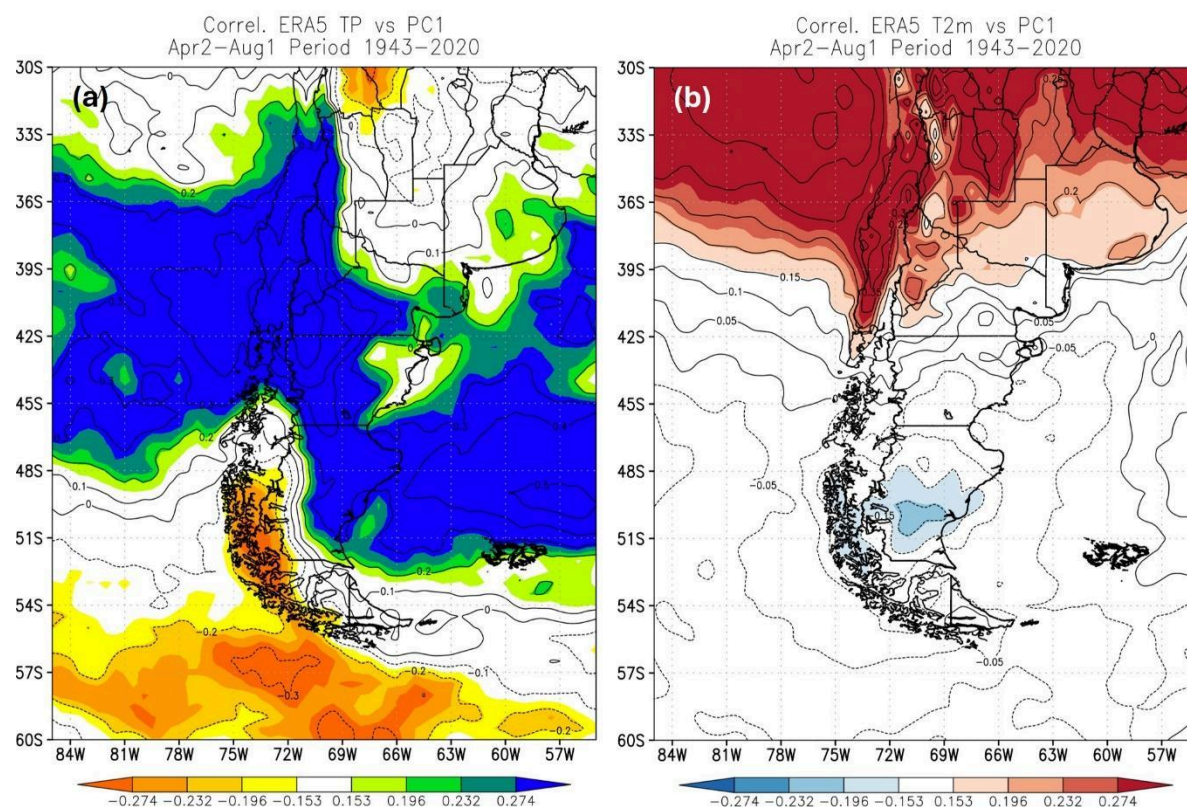


Figura 3. Campos de correlaciones entre la serie de loadings de PC1 y variables de ERA5 de: precipitación en superficie (a) y temperatura a dos metros (b). Los valores sombreados indican niveles de significancia de 90%, 95%, 97,5% y 99% (módulo menor a mayor, respectivamente).



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

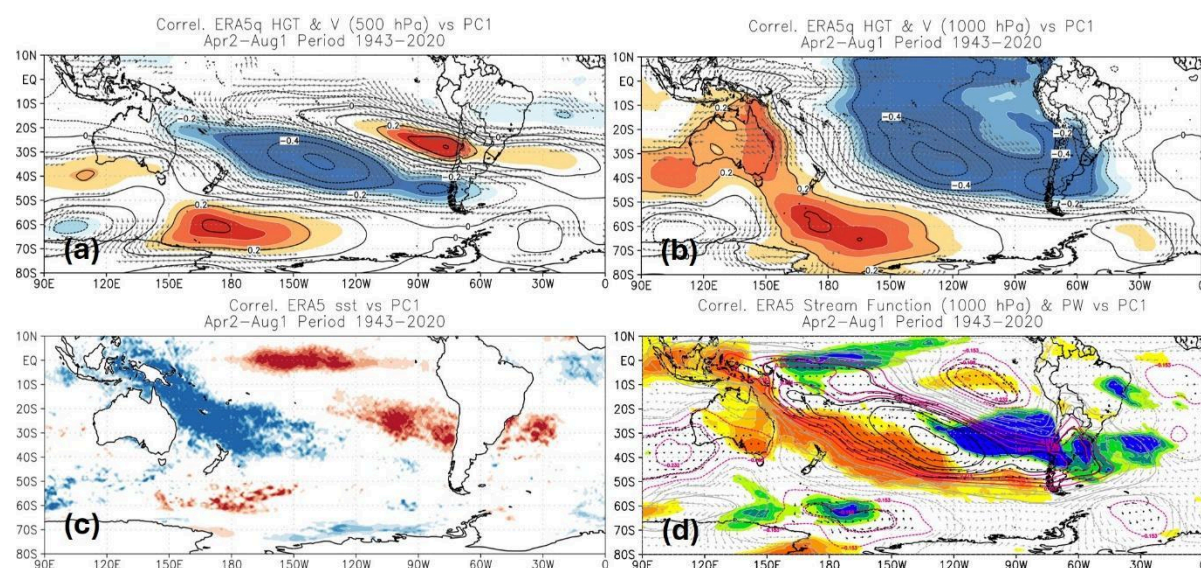


Figura 4. Campos de correlaciones entre la serie de factores de carga de PC1 y variables de ERA5 de: altura geopotencial junto con viento en 500 (a) y 1000 hPa (b), temperatura superficial del mar (c), y agua precipitable junto con función corriente y componente rotacional del viento en 1000 hPa (d). Variables de viento expresadas con vectores. Los valores sombreados indican niveles de significancia de 90%, 95%, 97,5% y 99% con igual escala que la Fig. 3. Para el panel c, los valores negativos y positivos, se indican en grados de azul y rojo, respectivamente. Para la función corriente (panel d), las líneas con valores significativos se grafican en magenta. Para agua precipitable, los valores negativos y positivos están representados en grados de naranja y azul, respectivamente.



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

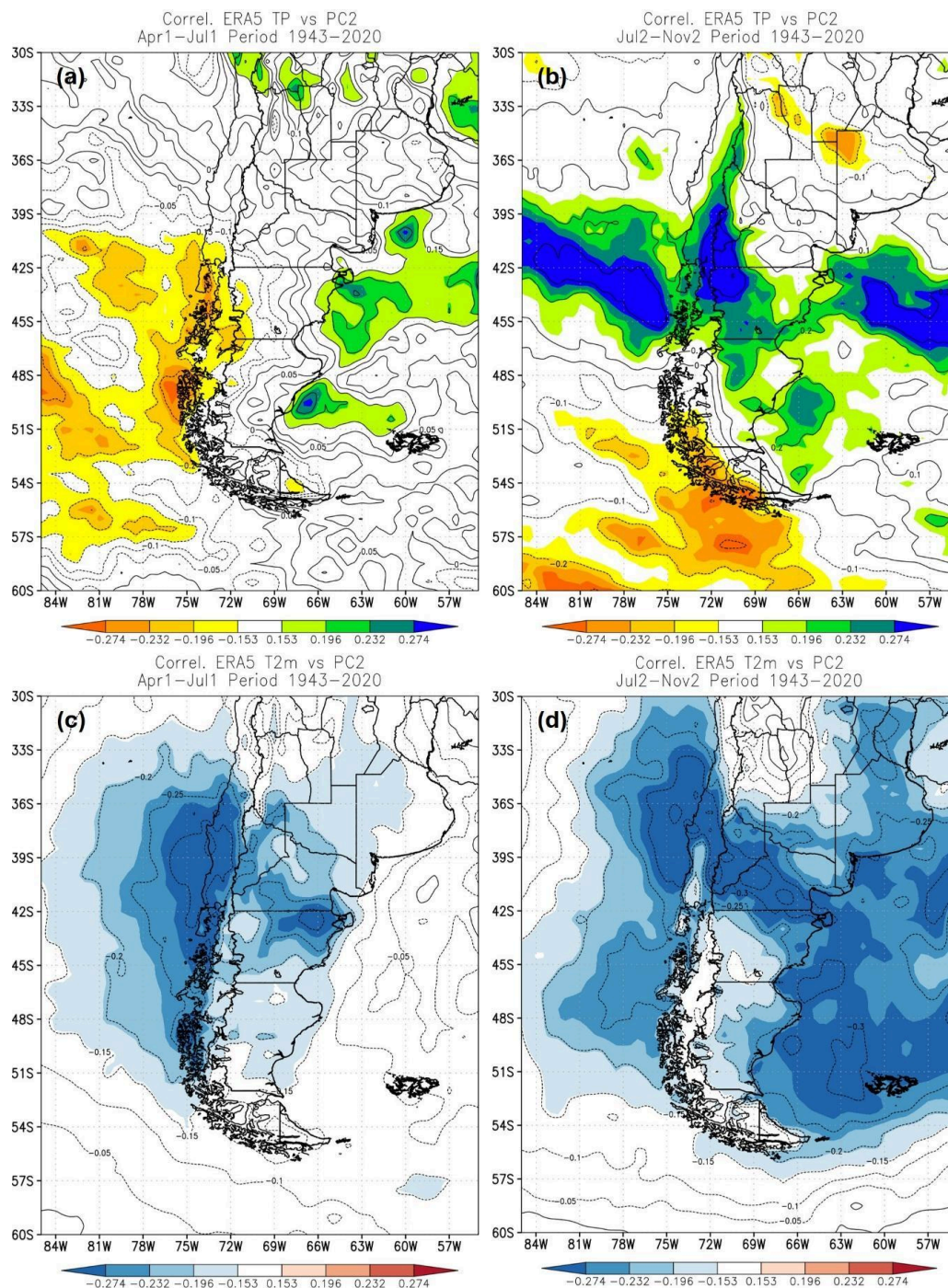


Figura 5. Ídem Figura 3 para PC2. Paneles a y c corresponden al periodo entre abril y la primera quincena de julio, y los paneles b y d al intervalo entre la segunda quincena de julio y noviembre.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

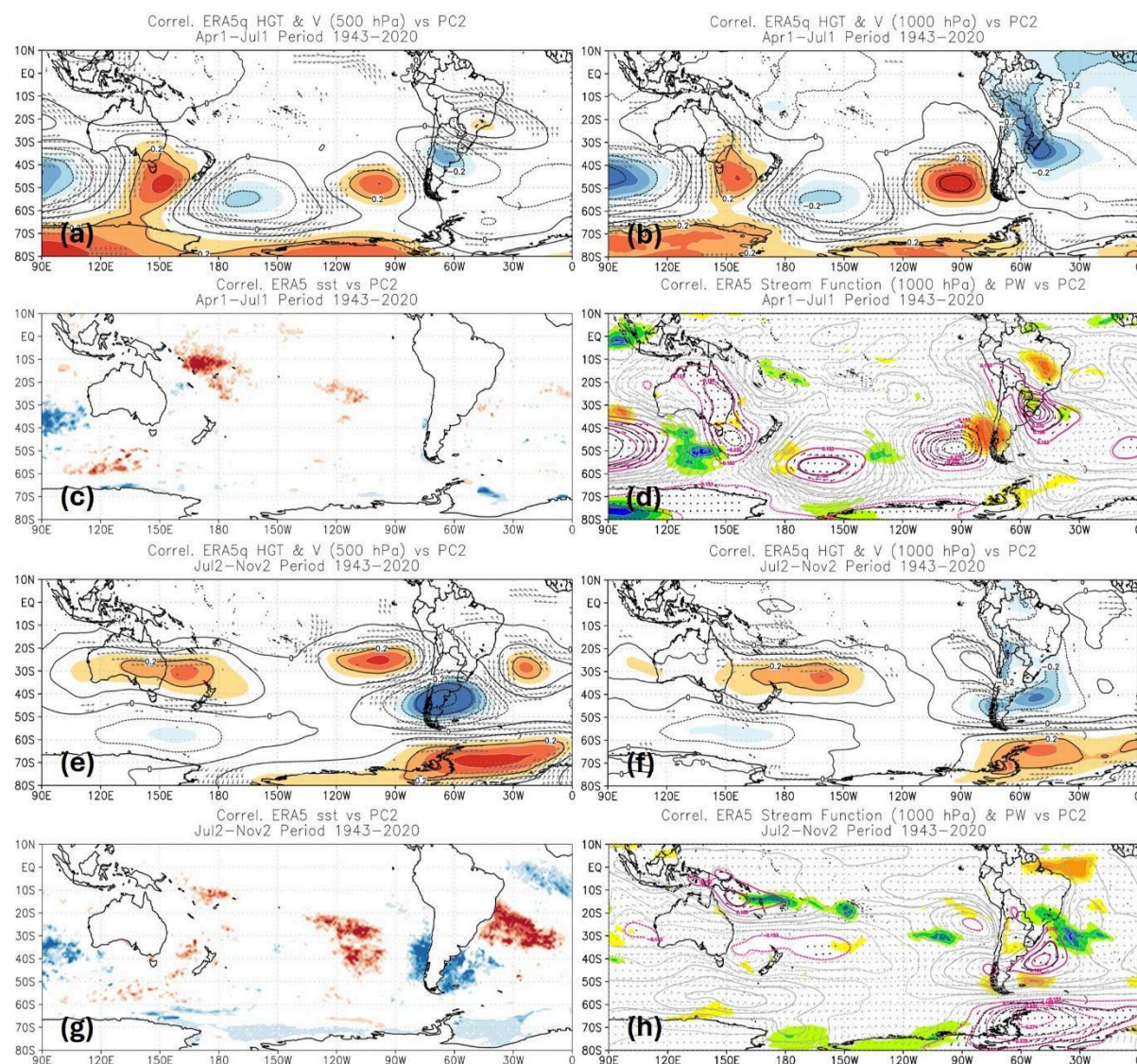


Figura 6. Ídem Figura 4 para PC2. Paneles a – d corresponden al periodo entre abril y la primera quincena de julio, y los paneles e – h al intervalo entre la segunda quincena de julio y noviembre.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

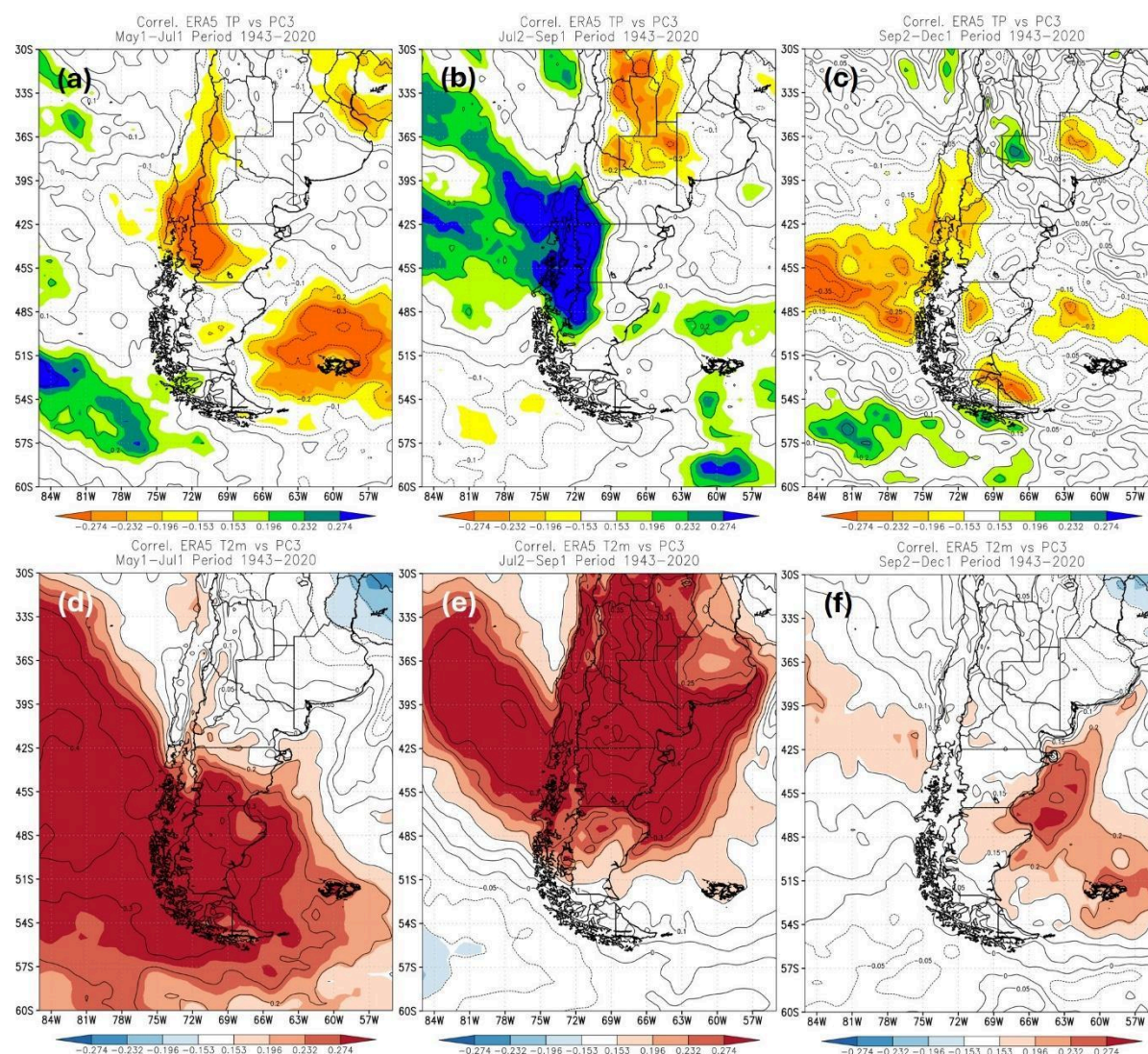


Figura 7. Ídem Figura 3 para PC3. Paneles a y d corresponden al periodo entre mayo y la primera quincena de julio; los paneles b y e, al periodo entre la segunda quincena de julio y la primera quincena de septiembre; y los paneles c y f, corresponden al periodo entre la segunda quincena de septiembre y la primera quincena de diciembre



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

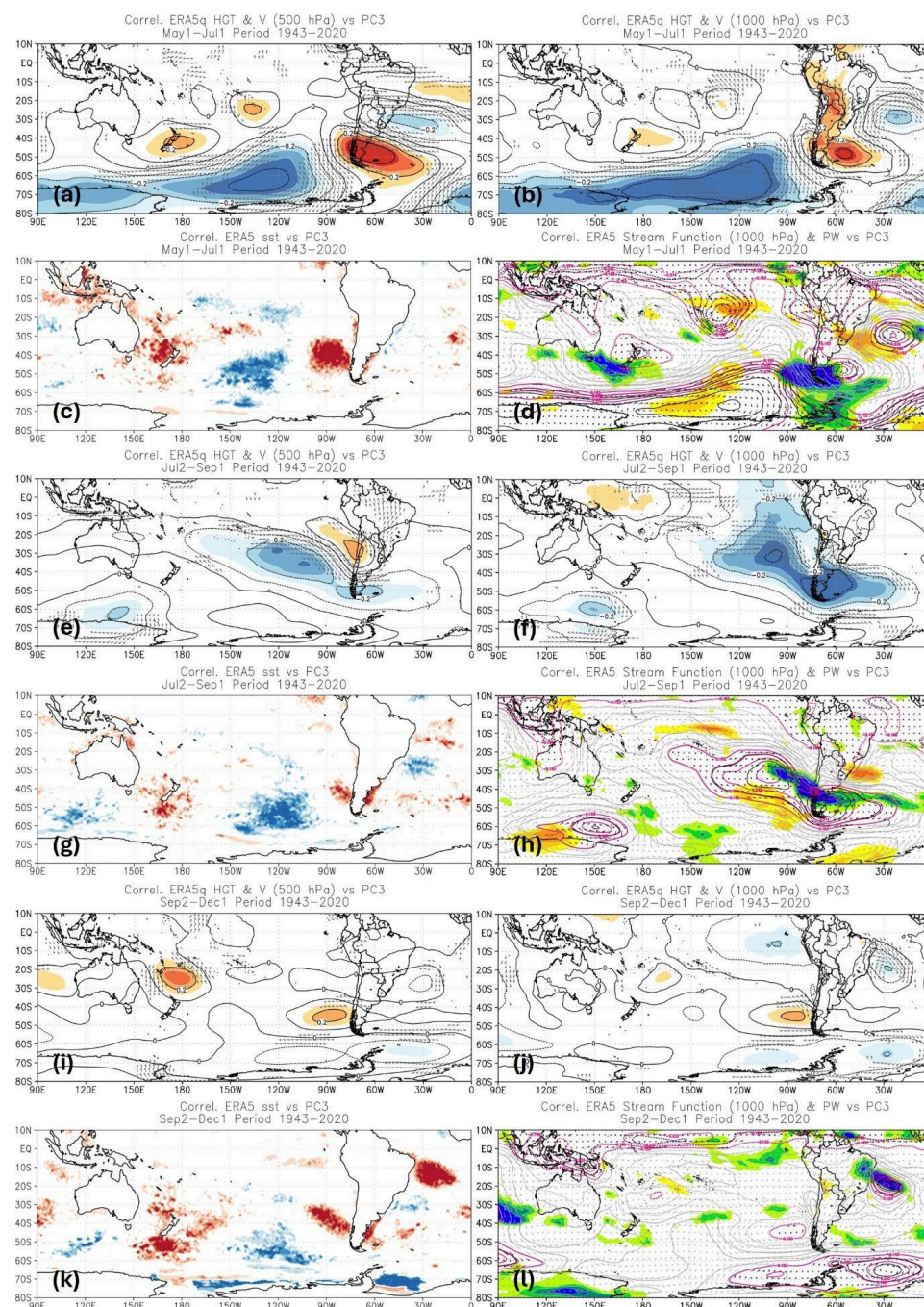


Figura 8. Ídem Figura 4 para PC3. Paneles a – d corresponden al periodo entre mayo y la primera quincena de julio; los paneles e – h, al periodo entre la segunda quincena de julio y la primera quincena de septiembre; y los paneles i – l, corresponden al periodo entre la segunda quincena de septiembre y la primera quincena de diciembre



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

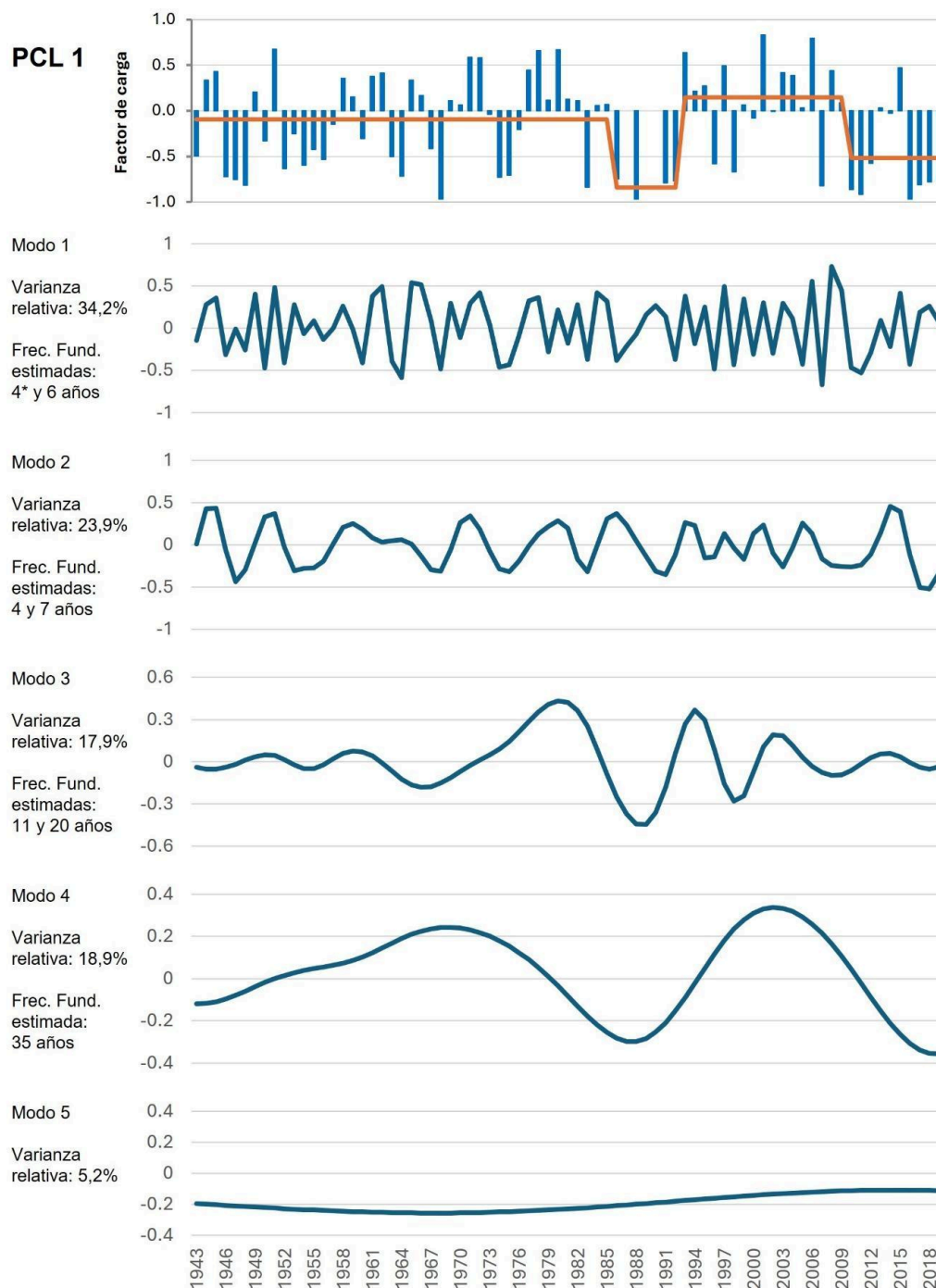


Figura 9: Serie de loadings de la PC1 junto con sus modos fundamentales resultantes de la descomposición empírica de modos CEEMDAN. *Frecuencia no significativa estadísticamente.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

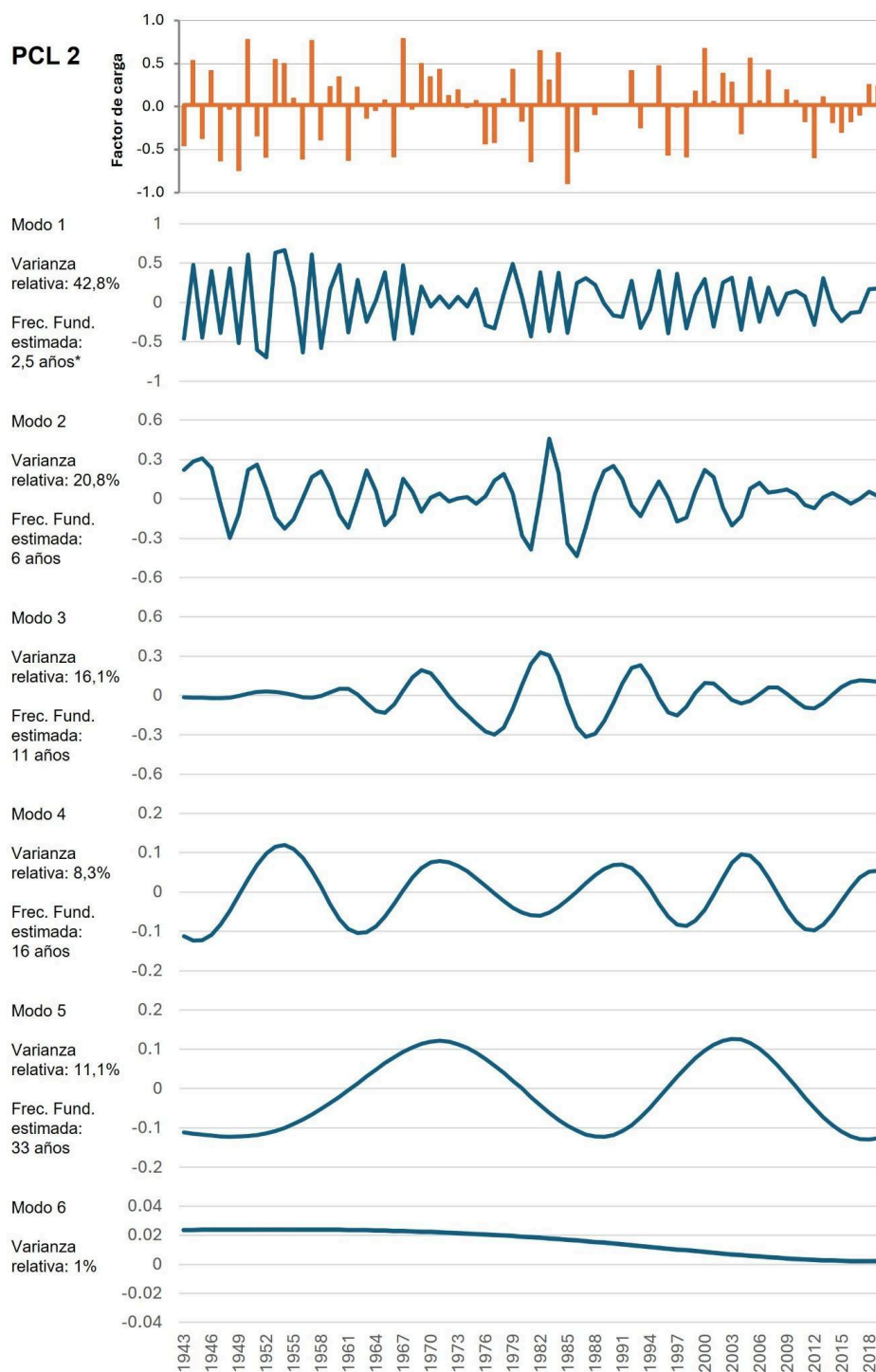


Figura 10: Ídem Figura 9 para PC2 *Frecuencia no significativa estadísticamente.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

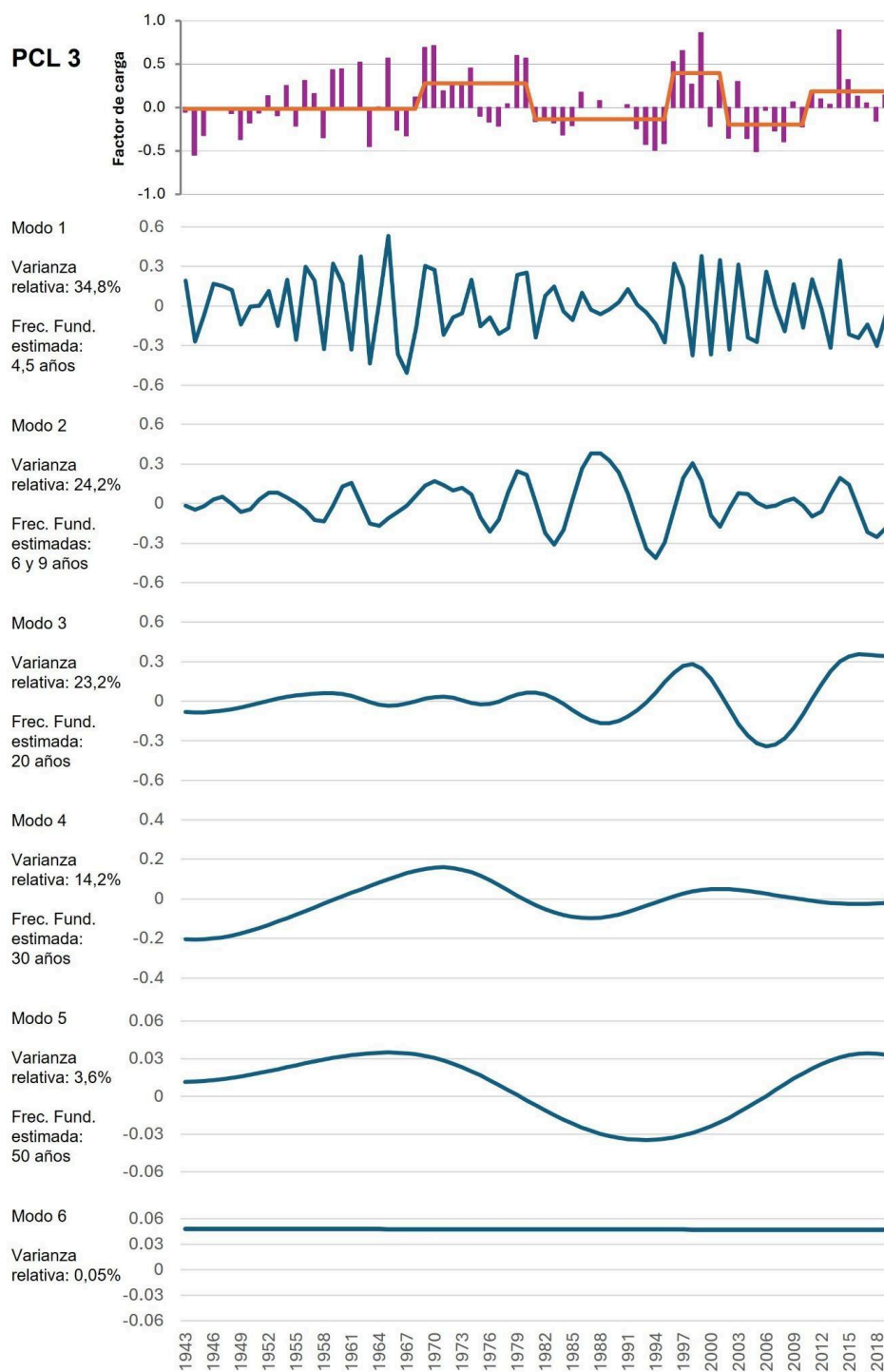


Figura 11: Ídem Figura 9 para PC3.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

		Frec. Fund. Estimada	ENOS	PDO	SAM
PC1	Loadings	No aplica	<i>0.268</i>	0.082	-0.025
	1	4* y 6 años	<i>0.305</i>	0.015	-0.116
	2	4 y 7 años	0.186	0.191	0.096
	3	11 y 20 años	0.101	<i>0.238</i>	0.199
	4	35 años	-0.133	<i>-0.265</i>	-0.141
	5	No aplica	-0.026	-0.008	-0.102
PC2	Loadings	No aplica	-0.048	-0.054	-0.158
	1	2,5 años*	-0.028	0.019	-0.134
	2	6 años	-0.061	-0.108	-0.051
	3	11 años	0.082	0.053	0.106
	4	16 años	0.018	-0.096	-0.138
	5	33 años	-0.139	-0.116	-0.167
	6	No aplica	0.023	-0.067	0.144
PC3	Loadings	No aplica	0.050	0.088	0.055
	1	4,5 años	0.086	0.097	0.118
	2	6 y 9 años	-0.043	-0.042	-0.032
	3	20 años	0.067	0.145	0.044
	4	30 años	-0.089	-0.019	-0.170
	5	50 años	0.000	<i>-0.277</i>	<i>0.225</i>
	6	No aplica	0.022	-0.149	0.183

Tabla 1: Valores de correlación entre las series de loadings del río Chubut junto con sus modos fundamentales y oscilaciones climáticas. Valores significativos al 90%, en cursiva; al 95%, en negrita cursiva; y al 99%, en negrita cursiva subrayada. El apartado de frecuencias fundamentales no aplica para las series de loadings y los modos que representan las tendencias no lineales *Frecuencia no significativa estadísticamente.



Artículo en edición

<https://doi.org/10.24215/1850468Xe045>

	Periodo	Desfasaje (quincenas)	Anomalías de caudal	Correlaciones sobre la naciente		Relación con oscilaciones climáticas	Condiciones atmosféricas
				PP	T2m		
PC1	Abr 2° - Ago 1°	2	+	+	~	<i>Loadings</i> y modo 1 con ENOS (+) al 95% Modos 3 (+) y 4 (-) con PDO	Baja presión sobre la Patagonia sur con una vaguada cruzando la cuenca del Chubut en el contexto de un tren de ondas Advección de humedad sobre Argentina al norte de 45° desde el Pacífico tropical
PC2	Abr 1° - Jul 1°	1	-	~	-	No se detecta	Altas presiones en la costa sur de Chile y bajas en el centro de Argentina en el contexto de un tren de ondas Advecciones negativas de humedad debido a un flujo del SE intensificado
	Jul 2° - Nov 2°		+	+	-		Baja presión sobre la Patagonia, con su consiguiente estímulo a los oestes y las precipitaciones orográficas
PC3	May 1° - Jul 1°	1	-	-	+	Modo 5 con SAM (+) y PDO (-)	Baja sobre Amundsen-Bellinghausen y alta sobre la Patagonia Oestes debilitados sobre la Patagonia norte
	Jul 2° - Sep 1°		+	+	+		Franja de bajas presiones desde la Patagonia hacia el Pacífico central Flujo del NO sobre la Patagonia norte junto con advección positiva de humedad
	Sep 2° - Dic 1°		-	-	~		Alta presión sobre la costa sur de Chile y obstaculización de los oestes sobre la Patagonia Ciclón y anomalías positivas de humedad sobre el Atlántico tropical

Tabla 2. Resumen de los resultados presentados. Los símbolos +, - y ~ representan desvíos con respecto a la media positivos, negativos o no significativos, respectivamente, para la variable presentada en cada columna.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)