

PATRONES DE VARIABILIDAD INTERANUAL A INTRA-ESTACIONAL DEL CICLO HIDROLÓGICO DEL RÍO CHUBUT Y CONDICIONES ATMOSFÉRICAS ASOCIADAS

Diego C. Araneo^{1,2}, Juan A. Rivera¹ y Ricardo Villalba¹
daraneo@mendoza-conicet.gob.ar

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

² **Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNCuyo, Mendoza, Argentina**

RESUMEN

Se identifican los modos principales de variabilidad del ciclo hidrológico anual del Río Chubut y las condiciones atmosféricas responsables de las variaciones interanuales a intra-estacionales de sus caudales.

Las primeras cuatro componentes de variabilidad explican alrededor del 33, 23, 15 y 10% de la varianza total.

El primer patrón (PC1) representa una fluctuación de caudales por encima/debajo de lo normal principalmente durante junio-noviembre, relacionada con la variabilidad del aporte de humedad desde regiones tropicales del Pacífico central, debido a anomalías de presión en latitudes subtropicales del océano, principalmente durante mayo-agosto.

La CP2 se caracteriza por anomalías de caudal durante junio-julio que cambian de signo en agosto-noviembre; principalmente relacionadas con anomalías de presión en niveles altos. Para déficit hídrico en junio-julio y superávit en agosto-noviembre, una anomalía negativa de presión en altura se observa sobre el centro del país, originando precipitaciones sobre el litoral pero inhibiéndolas en Patagonia. Esta anomalía se encuentra frente a la costa sur de Chile en los meses posteriores, inestabilizando la atmósfera y aumentando las precipitaciones en la cuenca. El caso opuesto se explicaría por anomalías de presión y precipitaciones de signo contrario.

Las PC3 y PC4 representan fluctuaciones intra-estacionales de caudal vinculadas principalmente a la variabilidad local mensual a bimestral de las precipitaciones y, en menor medida, de las temperaturas. Estas anomalías locales estarían explicadas por anomalías de presión y circulación de altura en escala sinóptica a global, en varios casos formando parte de sistemas cuasi-estacionarios o trenes de ondas que se extienden sobre la región y los océanos adyacentes.

ABSTRACT

The main variability modes of the Río Chubut annual hydrological cycle and atmospheric conditions responsible for their interannual to intra-seasonal streamflow variations are identified.

The first four components of variability explain for about 33, 23, 15 and 10% of the total variance.

The first pattern (PC1) represents a fluctuation of runoffs above/below normal mainly during June to November, related to the variability of the contribution of moisture from tropical regions of the central Pacific, due to pressure anomalies in subtropical latitudes of the ocean, mainly during May to August.

The CP2 is characterized by abnormal streamflows during June-July that change signs from August to November. These anomalies are mainly related to the pressure at high levels. For water deficit and surplus in June-July and August-November, respectively, a negative pressure anomaly is observed at high levels above the center of the country, causing precipitation in the litoral but inhibiting them in Patagonia. This anomaly is located off the southern coast of Chile in subsequent months, inducing instability in the atmosphere and increasing the precipitation in the basin. The opposite case is explained by pressure and rainfall anomalies of opposite sign.

The PC3 and PC4 represent intra-seasonal streamflow fluctuations mainly related to monthly to bimonthly local variability of rainfall and, in a lesser degree, temperatures. These local anomalies would be explained by abnormal pressure / circulation at high levels from synoptic to global scales, which, in several cases, form part of quasi-stationary systems or wave trains, extending over the region and adjacent oceans.

Palabras clave: Río Chubut, variabilidad inter- intra-estacional, circulación atmosférica

1) INTRODUCCIÓN

El régimen hídrico de los ríos argentinos que nacen sobre la cordillera de los Andes depende de diversos factores relacionados principalmente con las latitudes sobre las que descansa su cuenca. Los caudales de los ríos de Cuyo se encuentran altamente correlacionados entre sí (Menegazzo y Radicella, 1982) y, aunque casi la totalidad de su derrame anual se produce durante el período cálido; su volumen depende básicamente de la precipitación nívea de invierno sobre las altas cumbres y su posterior derretimiento en primavera-verano. En la región patagónica, donde la altura de la cordillera es menor, pueden distinguirse dos subregiones en relación con las características hidrológicas de los ríos correspondientes. En el norte su régimen de caudal muestra dos máximos, uno en invierno —debido a las lluvias— y otro en primavera y comienzos de verano —como producto del derretimiento de nieve— (Quintela y Scarpati, 1993). En el sur los dos procesos dan un único máximo que se extiende de junio a noviembre.

Existen numerosos trabajos que vinculan las descargas totales anuales de estos ríos con las fluctuaciones del ciclo El Niño / Oscilación del Sur (ENOS). Compagnucci y Araneo (2007) destacan una relación casi simultánea entre las fluctuaciones de caudal de los ríos del norte patagónico y la variabilidad de la temperatura superficial del mar en la región Niño3+4, vinculando además años de exceso (déficit) de caudal en el río Chubut con eventos El Niño (La Niña).

La condición atmosférica más importante en niveles bajos asociada con altas (bajas) descargas del Chubut es el debilitamiento (fortalecimiento) de la circulación atmosférica media (Araneo y Compagnucci, 2008). Este patrón también fue encontrado por Montecinos y Aceituno (2003) vinculado al aumento de los episodios de bloqueo en los mares Amundsen-Bellingshausen, y relacionados con condiciones húmedas invernales en el centro de Chile durante los episodios de El Niño. En niveles altos, la variabilidad de escorrentía anual del Chubut se relaciona principalmente con un patrón de onda más corta en el Pacífico subtropical que atraviesa Sudamérica en forma casi zonal. Por otra parte, Compagnucci y Araneo (2005) estudiaron las diferencias más relevantes de la circulación asociada a los extremos de caudal de los ríos del norte patagónico, representados por el Chubut, con respecto a los de Cuyo, representados por el Atuel; las cuales serían: 1) el corrimiento de los sistemas de circulación hacia mayores latitudes, 2) la mayor relevancia de los sistemas de latitudes medias, 3) la menor importancia de los sistemas ubicados sobre el Pasaje de Drake y 4) la presencia en altura de un tren de ondas estacionarias de menor longitud que atraviesa el continente por latitudes subtropicales provenientes del Pacífico central en dirección NO-SE.

Si bien estos trabajos relacionan la variabilidad del escurrimiento total anual de los ríos andinos argentinos con la variabilidad en baja frecuencia del ENOS y la circulación atmosférica a escala global, aún quedan cuestiones por resolver sobre la variabilidad de los caudales y su relación con las fluctuaciones de las condiciones atmosférico-oceánicas en frecuencias de escala inter- a la intra-estacional. En este estudio se identifican los modos principales de variabilidad del ciclo hidrológico anual del Río Chubut y las condiciones atmosféricas responsables de las variaciones interanuales a intra-estacionales de sus caudales.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Los registros de caudales medios mensuales del Río Chubut en la estación de aforo de Los Altares (43°51'00''S; 68°30'00''O; 275 m), de abril de 1943 a marzo 2013, fueron proporcionados por la

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (<http://www.hidricosargentina.gov.ar/index.php>). Dado que Río Chubut muestra los caudales mínimos en marzo-abril, definimos el ciclo hidrológico anual desde abril de cada año hasta marzo del año siguiente. Con el fin de determinar las principales características de la variabilidad en el ciclo hidrológico anual, se aplicó el análisis de componentes principales (PCA) a los 70 ciclos completos en el registro de datos, de acuerdo a los procedimientos descritos en Araneo y Villalba (2014).

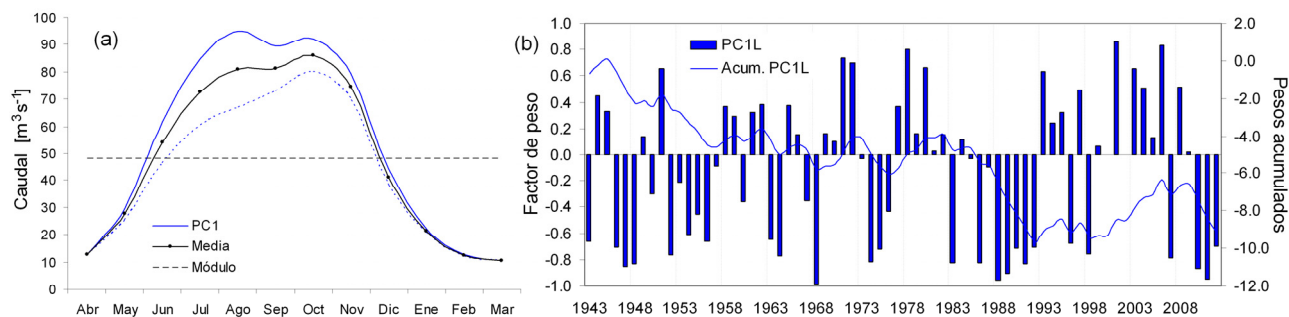


Figura 1. (a): Componente principal 1 (PC1) en modo directo (línea continua) e inverso (línea punteada), asociada al régimen anual de caudales del río Chubut. La curva negra con puntos representa el hidrograma medio y la línea horizontal punteada el módulo medio del río. (b): Serie de factores de peso asociados a la PC1 (PC1L) (barras verticales) y serie de factores de peso acumulados (línea continua).

Con el fin de determinar las relaciones entre la variabilidad interanual a intra-estacional del ciclo de caudales y las características climáticas locales y globales, se calcularon campos de correlación para cada mes durante el período 1958-2013, entre las componentes de peso (PC loadings, PCL) y las siguientes variables meteorológicas: altura geopotencial (HGP, en m) y vector de viento (V , en $m s^{-1}$) en los niveles de 1000 y 500 hPa; agua precipitable (PW, en mm) y precipitación (PPP, en mm); función corriente (Ψ , en $m^2 s^{-1}$) en $\sigma=0.995$ y temperatura del aire en 2 m (T , en $^{\circ}C$). Las correlaciones con el vector del viento se calcularon separadamente para las componentes zonal (r_u) y meridional (r_v), analizando luego el vector de correlación conjunta $\vec{r} = r_u \hat{i} + r_v \hat{j}$. Se determinaron los coeficientes de correlación significativos al 90, 95, 99 y 99,5% de confianza utilizando de acuerdo al test t de Student. Los vectores \vec{r} se consideraron significativos cuando al menos uno de sus componentes (r_u o r_v) resultó mayor que el valor crítico al nivel de significancia del 95%. Los datos de altura geopotencial, viento y agua precipitable con cobertura global en cuadrícula regular de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ de latitud y longitud; y de función corriente con cobertura global de 192×94 puntos en cuadrícula T62 Gaussiana; se obtuvieron del Reanálisis 1 de NCEP (período 1948-2012; ver Kalnay et al., 1996); mientras los de precipitación y temperatura de superficie se adquirieron del registro interpolado de la Universidad de Delaware (v3.01, período 1901-2010, con una cobertura continental en cuadrícula de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ de latitud y longitud); todos proporcionados por el sitio web del PSD NOAA en <http://www.esrl.noaa.gov/psd>.

3) RESULTADOS

La primera componente principal (PC1) del ciclo anual de caudales del río Chubut explica el 33.2% de la varianza total, y representa un ciclo hidrológico con caudales por encima (modo directo) o debajo (modo inverso) de lo normal, sobre todo para los meses de mayor escurrimiento (Fig. 1a). En consecuencia esta componente se asocia a años con déficit o superávit en el derrame total anual. La serie de factores de peso asociada a esta componente (PC1 loadings, PC1L), muestra largos períodos de años con prevalencia de signos iguales (Fig. 1b); por ejemplo, negativos en 1946-1957 y 1983-1992 (serie de factores acumulados decreciente) representando períodos de déficit anual, y positivos en 1999-2006 (serie de acumulados creciente) representando años de superávit. Los campos de correlaciones entre la PC1L y las diversas variables atmosféricas (Fig. 2) maximizan sus valores al considerar los períodos mayo-agosto para estas últimas. En el caso de la T (Fig. 2a), se observan correlaciones positivas al norte de la cuenca y negativas al sur. Adicionalmente, se

destacan importantes correlaciones positivas con la PPP (Fig. 2b) sobre la región de la cuenca. Esto implica la presencia de anomalías de PPP positivas (negativas) sobre la cuenca, y de T positivas (negativas) al norte y negativas (positivas) al sur de la misma, para años con superávit (déficit) de caudal representados por el modo directo (inverso) de esta componente. Adicionalmente, las correlaciones con la HGP y el V en 500 hPa revelan un centro con valores negativos sobre el Pacífico Sur que se extiende en dirección NO-SE desde el Mar del Coral hasta la región de la cuenca del Chubut, y positivos al NE y al sur (con valores significativos al O del Pasaje de Drake y sobre el mar de Ross) de este centro. Esta configuración, con anomalías de igual signo en el caso de la PC1 en modo directo, representa una reducción anómala de los oestes en latitudes medias y un debilitamiento del anticiclón del Pacífico, con stormtracks retirados hacia el norte (afectando la cuenca) y un flujo anómalo que recorre el Pacífico en sentido NO-SE desde el ecuador hacia la región del Chubut. Este flujo también se ve reflejado en superficie por las correlaciones (/anomalías) de función corriente (Fig. 2d), lo que junto a las correlaciones/anomalías positivas de PW coincidentes con el mismo, revelan un gran aporte de humedad sobre la cuenca proveniente desde latitudes bajas del océano, y explica las correlaciones/anomalías positivas de PPP observadas sobre la cuenca para el caso de la PC1 en modo directo (/altos caudales). Recíprocamente, signos y circulaciones contrarios a los descritos, explicarían las variaciones de caudal representadas por la PC1 en modo inverso (i.e. años con déficit hídrico).

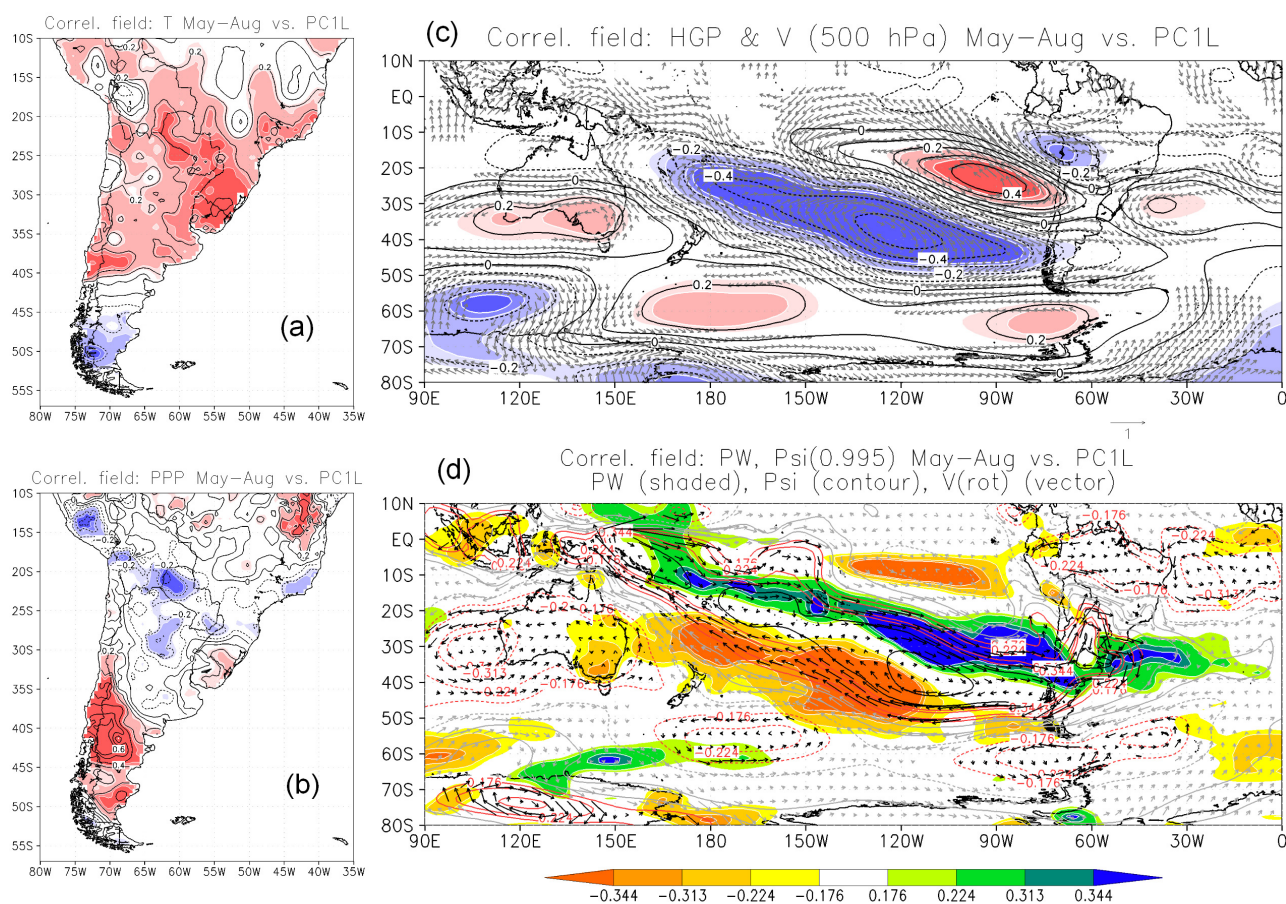


Figura 2. Campos de correlaciones de la serie de pesos PC1L (Fig. 1b) con la temperatura (a) y la precipitación (b), para el período mayo-agosto. (c): Ídem (a)-(b) pero para la altura geopotencial (contornos) y el vector de viento (vectores) en el nivel de 500 hPa. (d): Ídem (c) pero para agua precipitable (sombreado) y función corriente en el nivel $\sigma=0.995$. Los vectores representan la componente no divergente del viento asociada a las líneas de corriente. En (a)-(c), los valores sombreados (de claro a oscuro) corresponden a correlaciones significativas al 90, 95, 99 y 99.5% de confianza (positivos en rojo, negativos en azul). En (c) sólo se muestran los vectores con al menos una componente, r_u o r_v , significativa al 95% de confianza. En (d), los valores sombreados y las líneas en rojo (de menor a mayor valor absoluto) corresponden a correlaciones significativas al 90, 95, 99 y 99.5% de confianza (contornos y vectores en gris son no significativos).

La PC2 explica el 23.0% del total de varianza y, en modo directo, representa un régimen de caudales con valores inferiores a la media en junio-julio, y superiores en agosto-noviembre (viceversa en modo inverso) (Fig. 3a). La serie de factores de peso asociados (PC2L) (Fig. 3b) revela gran variabilidad interanual en sus signos y por lo tanto gran alternancia interanual entre modos directo e inverso en la influencia de esta componente sobre el ciclo hidrológico; aunque se observan también algunos períodos largos con predominancia de un mismo signo (como el período 1967-1975 con signos positivos).

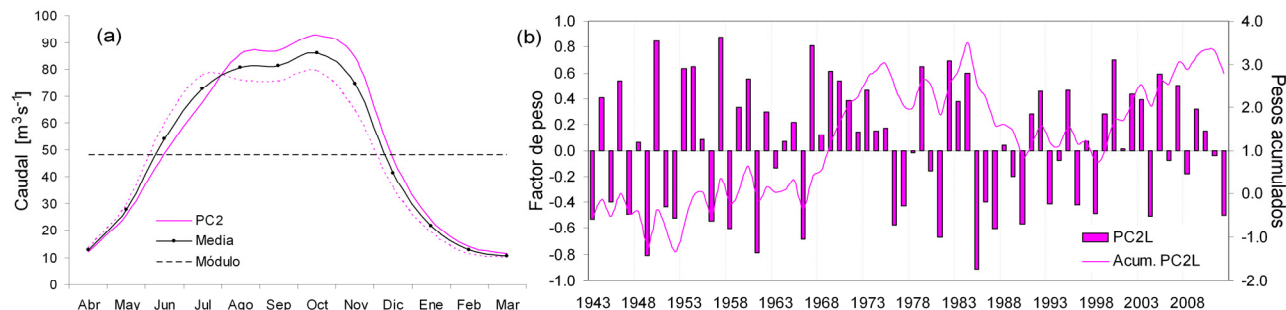


Figura 3. Ídem Fig. 1 pero para la componente principal 2.

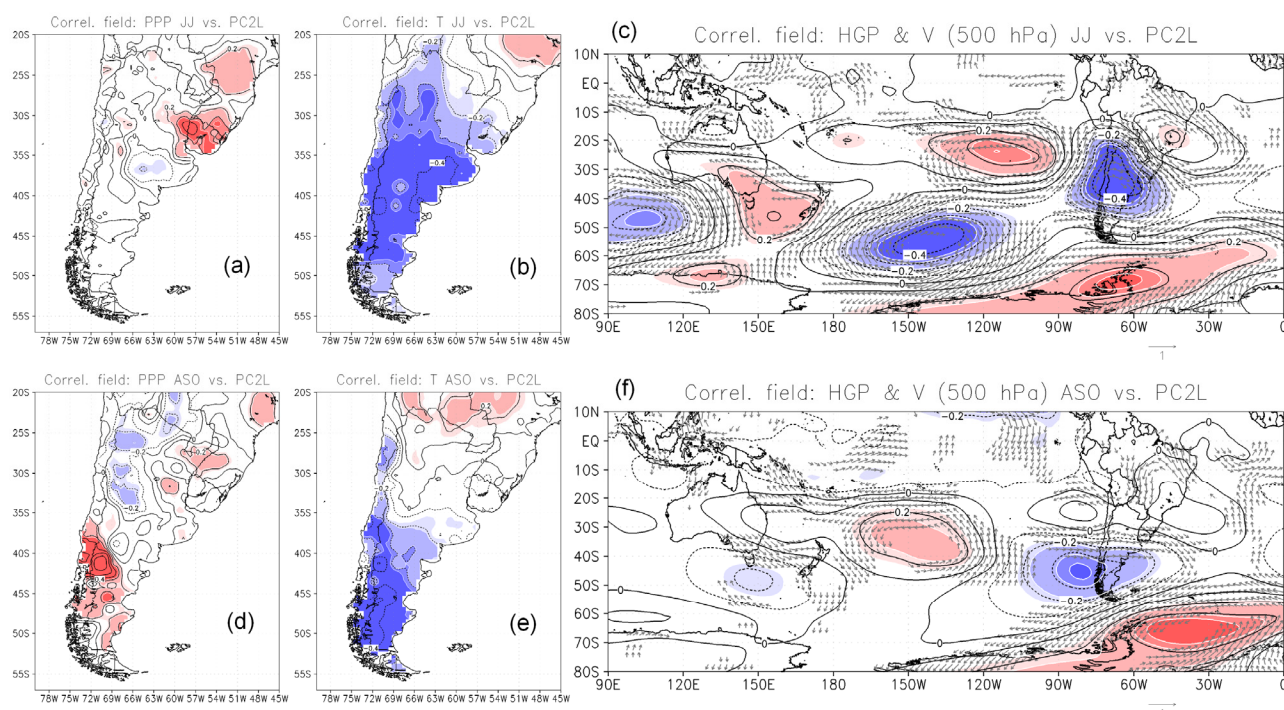


Figura 4. Campos de correlaciones de la serie de pesos PC2L (Fig. 3b) con la precipitación (a) y la temperatura (b), para el período junio-julio. (c): Ídem (a)-(b) pero para la altura geopotencial (contornos) y el vector de viento (vectores) en el nivel de 500 hPa. (d), (e) y (f): Respectivamente análogos a los anteriores pero para el período agosto-octubre. Las características gráficas de estos campos son análogas a las correspondientes de la Fig. 2a-c.

Los campos de correlaciones entre la PC2L y la T (Fig. 4) muestran valores negativos sobre la Patagonia tanto para junio-julio (panel b) como para agosto-octubre (panel e), evidenciando asociables anomalías negativas (positivas) de T sobre la cuenca para todo el período en el caso de la PC2 en modo directo (inverso). Aunque para junio-julio no se observan correlaciones significativas entre la PC2L y la PPP sobre la cuenca, manteniéndose positivas significativas solo sobre Uruguay y el sur de Brasil; durante los siguientes meses (agosto-octubre) se observan importantes correlaciones positivas sobre las nacientes del río, lo que implica anomalías positivas (negativas) de PPP sobre la cuenca para este último período en el caso de modo directo (inverso). En el caso del modo directo (inverso) de la PC2, las bajas (altas) T anómalas durante junio-julio explicarían el déficit (superávit) de caudales representado por la PC2 durante estos meses debido a la consecuente

inhibición (promoción) de la fusión nívea, mientras el aumento (disminución) anómalo de las PPP en los meses siguientes, a pesar de las aún bajas (altas) T, explicarían el posterior superávit (déficit) de caudales mostrado por la PC2 para ago-nov. Los campos de correlaciones con la HGP en 500 hPa muestran un centro de correlaciones negativas que en junio-julio (panel c) ocupa el centro de Argentina-Chile, y posteriormente (panel f) se ubica al O del archipiélago chileno, afectando también la Patagonia. Este centro representa anomalías negativas (positivas) de presión en altura que explicarían tanto la persistencia de las anomalías negativas (positivas) de T sobre la región, como las anomalías positivas (negativas) de PPP, inicialmente sobre Uruguay y posteriormente sobre la cuenca, en el caso de la PC2 en modo directo (inverso). Adicionalmente, durante junio-julio el centro mencionado parece formar parte de un corto tren de ondas que se extiende sobre latitudes subtropicales desde el centro del Pacífico Sur hasta la costa oriental de Brasil; acompañado hacia el sur por un segundo tren de mayor longitud que atraviesa casi zonalmente las latitudes medias-altas desde el sur del océano Índico hasta la península antártica. Ambos trenes parecen fusionarse posteriormente en agosto-octubre para formar un único tren que se extiende en sentido NO-SE desde el centro del Pacífico Sur hasta el sur del Atlántico, del cual también forma parte el centro negativo mencionado.

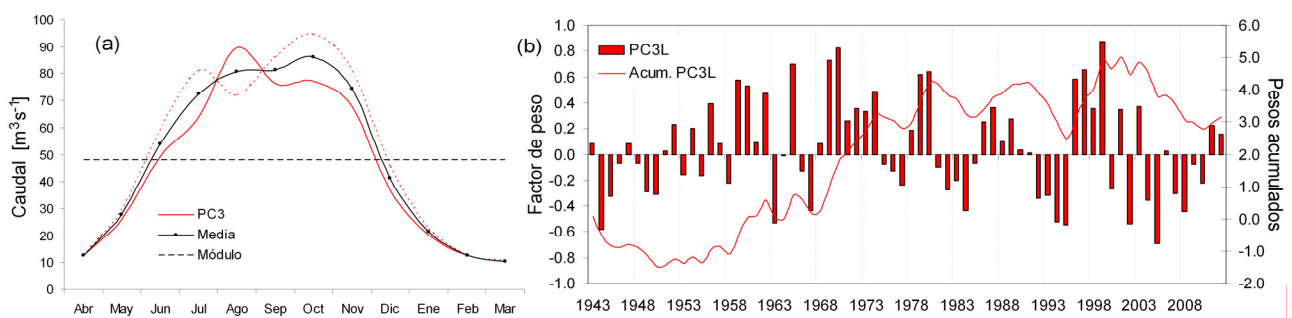


Figura 5. Ídem Fig. 1 pero para la componente principal 3.

La PC 3 explica el 14.6% del total de varianza y, en modo directo, representa un régimen de caudales con valores inferiores a la media en junio-julio y septiembre-noviembre, y superiores en agosto (viceversa en modo inverso) (Fig. 5a). La serie de factores de peso asociados (PC3L) (Fig. 5b) muestra algunos períodos alternados de alrededor de 3 a 6 años con signos predominantemente iguales, más claramente entre 1968 y 1997, lo que sugiere una alternancia entre modos directo e indirecto de esta componente con esa frecuencia de ocurrencia, sobre todo en el período mencionado.

La Figura 6 muestra las correlaciones entre la PC3L y las variables meteorológicas consideradas para los períodos de máxima señal. Durante mayo-agosto se observan correlaciones positivas de T sobre la Patagonia incluyendo el sector de la cuenca del Chubut (panel c), lo que supone anomalías positivas (negativas) en el caso de la PC3 en modo directo (inverso), lo cual favorecería (inhibiría) la fusión de nieve durante la estación fría. Sin embargo, para los meses de mayo-junio y julio-agosto, se observan respectivamente correlaciones negativas y positivas de PPP sobre la cuenca (paneles a y d), con anomalías asociadas del mismo signo (de signo contrario) en el caso del modo directo (inverso). En el caso del modo directo, a pesar que las altas T favorecen la fusión nívea, la escasez de PPP durante mayo-junio explicaría el déficit de caudales mostrado por la PC3 desde comienzos del ciclo hasta julio; luego, a partir de julio y hasta agosto, estas anomalías se revierten dando lugar a abundantes precipitaciones que explicarían el máximo de caudales observado en agosto. Posteriormente, en septiembre-noviembre, se observan correlaciones/anomalías negativas de PPP sobre la cuenca (Fig. 6f) que explicarían el retorno de las condiciones de déficit hídrico observado durante estos meses (Fig. 5a, PC3 modo directo). Durante estos meses las T sólo se mantienen por sobre lo normal en la zona de los últimos tramos del río (Fig. 6g). La alternancia de anomalías negativas-positivas-negativas de PPP descritas anteriormente para el caso de la PC3 en modo directo, durante mayo-junio, julio-agosto y septiembre-noviembre, respectivamente; pueden explicarse por las correlaciones de HGP en 500 hPa y anomalías correspondientes de igual signo en

el caso PC3 directo (Fig. 6c, d, h). En mayo-junio, se observan correlaciones/anomalías positivas de HGP sobre la Patagonia, que implican tanto la inhibición de las PPP por estabilización de la atmósfera alta, como la expansión de los espesores de la capa baja y el consecuente aumento de T. Este centro formaría parte de un tren de ondas que se extiende desde el Índico hasta el Atlántico en forma casi zonal. Posteriormente, en julio-agosto, el sistema anterior se desplaza hacia el NE, dejando la región patagónica afectada por un centro de anomalías negativas de HGP ubicado frente a las costas del sur chileno, lo cual inestabiliza la región, con un consecuente aumento de las PPP sobre las nacientes del Chubut. Por último, en septiembre-octubre, el centro negativo anteriormente mencionado se traslada hacia el pasaje de Drake, dejando la región del río afectada por anomalías positivas de HGP frente a las costas chilenas, lo cual vuelve a inhibir las PPP sobre la cuenca al propiciar subsidencia sobre la región y desviar los stormtrack hacia el sur. Patrones con signos contrarios a los descritos, explicarían las variaciones de caudal representadas por la PC3 en modo inverso.

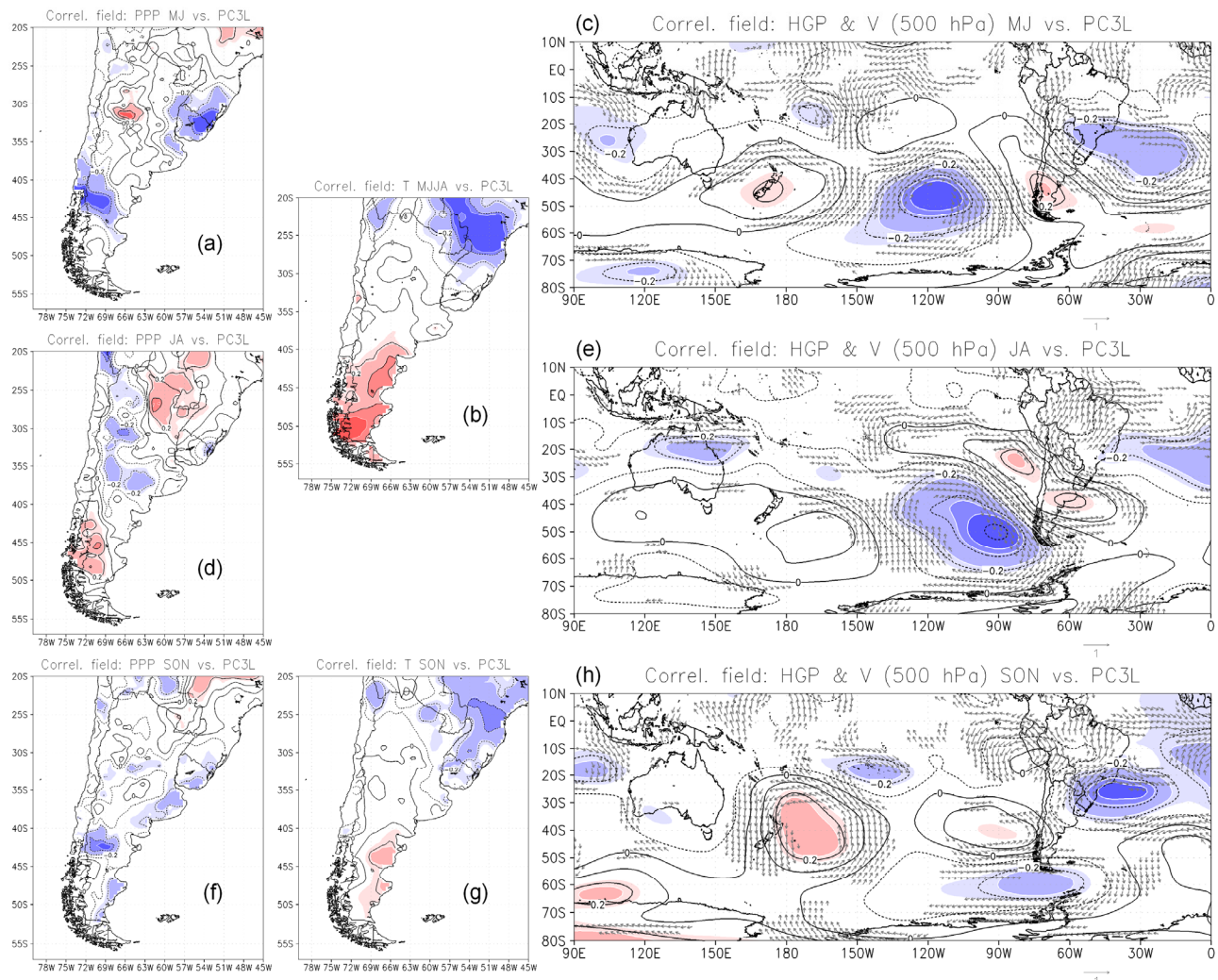


Figura 6. Campos de correlaciones de la serie de pesos PC3L (Fig. 5b) con la precipitación (a) y la altura geopotencial y el viento (c) en 500 hPa, para el período mayo-junio. (b): Análogo a (a) pero para la temperatura en el período mayo-agosto. (d) y (e): Respectivamente análogos a (a) y (c) pero para el período julio-agosto. (f), (g) y (h): Respectivamente análogos a (a), (b) y (c) pero para el período septiembre-noviembre. Las características gráficas de estos campos son análogas a las correspondientes de la Fig. 2a-c.

La PC 4 explica el 10.4% del total de varianza y, en modo directo, representa un régimen de caudales con valores superiores a la media en mayo-junio y levemente en agosto-noviembre, e inferiores en julio (viceversa en modo inverso) (Fig. 7a). La serie de factores de peso asociados (PC2L) (Fig. 3b) revela gran variabilidad interanual en sus signos y por lo tanto gran alternancia

interanual entre modos directo e inverso en la influencia de esta componente sobre el ciclo hidrológico.

La Figura 8 es análoga a la 6 pero para la PC4. Las correlaciones con la PPP presentan una alternancia de signos sobre la región de la cuenca que se asocian a anomalías positivas en abril-mayo, negativas en julio y positivas en agosto-noviembre, para el caso de la PC4 en modo directo (viceversa en modo inverso); lo cual se corresponde con el déficit anómalo de caudal mostrado por la componente para julio y el exceso para los meses restantes del período mayo-noviembre. Las T (paneles b, e y h) muestran correlaciones asociables a anomalías positivas (negativas) al norte y negativas (positivas) al sur de la cuenca para abril-junio; y negativas (positivas) los siguientes meses en el área de la cuenca, para el caso de la PC4 en modo directo (inverso). Consecuentemente, para este patrón de variabilidad de caudales PC4 en modo directo, el déficit de escurrimiento en julio estaría asociado las anomalías negativas de PPP en la cuenca, reforzado por las bajas T que inhiben la fusión nívica; mientras los excesos anómalos de caudal durante mayo-junio y agosto-noviembre, estarían explicados por las anomalías positivas de PPP en esos meses, algo más atenuados en el último período debido a las anomalías negativas de T sobre la región. Esta alternancia de anomalías de PPP y T, puede explicarse por los patrones de circulación atmosférica de altura asociados a la PC4 (Fig. 6c, f, i). Para abril-junio, las correlaciones con la HGP muestran la región sur de la Patagonia dominada por un centro de valores negativos que sugiere la presencia de una vaguada anómala en altura que afecta la región con su delantera sobre la cuenca produciendo inestabilidad, aumento de las PPP, y el patrón de T antes mencionado. Posteriormente, en julio, estas anomalías desaparecen, observándose una cuña anómala al O de la Península Antártica que afecta el sur patagónico inhibiendo el paso de las perturbaciones y promoviendo la advección de aire frío sobre la región con la consecuente disminución de las PPP y las T. Hacia el final del ciclo, en agosto-noviembre, la región patagónica vuelve a verse afectada por un centro anómalo de HGP negativo desplazado algo más hacia el NE que el anterior, pero que vuelve a promover el aumento de las PPP y el descenso de las T sobre la cuenca. De forma análoga, patrones con signos contrarios a estos, explicarían las variaciones de caudal representadas por la PC4 en modo inverso.

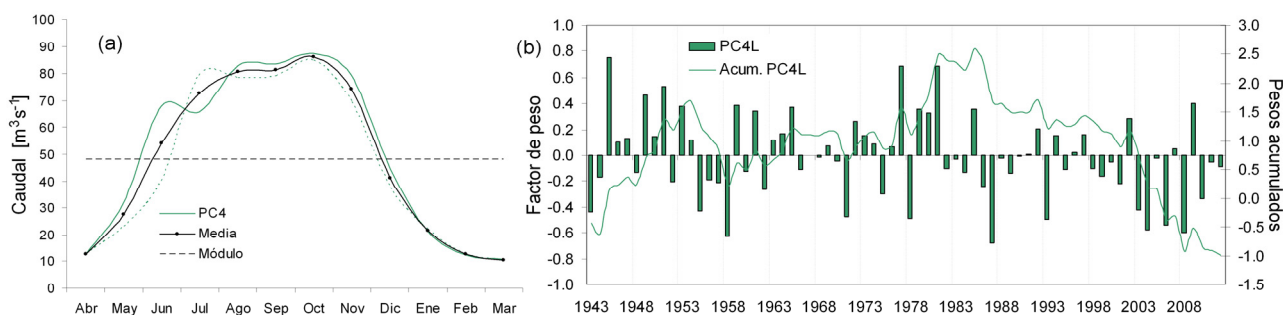


Figura 7. Ídem Fig. 1 pero para la componente principal 4.

4) CONCLUSIONES

Las primeras cuatro componentes de variabilidad del ciclo hidrológico del Chubut explican alrededor del 33, 23, 15 y 10% de varianza (81% de la varianza total), y representan fluctuaciones estacionales e intra-estacionales, principalmente en los meses de mayor drenaje.

El primer patrón (CP1) representa una fluctuación de caudales por encima / debajo de lo normal principalmente durante junio-octubre, relacionada con la variabilidad del aporte de humedad desde regiones tropicales del Pacífico central debido a anomalías de presión en las latitudes subtropicales del océano, principalmente durante mayo-agosto.

Anomalías negativas (positivas) de presión están asociadas a un debilitamiento (fortalecimiento) de los oestes y del anticiclón del Pacífico, junto a un corrimiento hacia el norte (sur) de los “storm-track” con un abundante (reducido) flujo de humedad sobre la cuenca del Chubut desde el oeste, resultando en caudales por encima (debajo) de lo normal. Adicionalmente, se detectaron

prolongados períodos con contribuciones negativas de esta componente (déficit hídrico), por ejemplo en 1946-1957 y 1983-1992.

La CP2 se caracteriza por anomalías de caudal durante junio-julio que cambian de signo en agosto-noviembre, principalmente relacionadas con anomalías de presión en niveles altos de la atmósfera. En los casos de caudales por debajo de lo normal en junio-julio y por encima en agosto-noviembre, una anomalía negativa de presión en altura se observa sobre el centro del país, originando precipitaciones sobre el litoral pero inhibiéndolas en la región patagónica. Esta anomalía se encuentra desplazada frente a las costas de sur de Chile en los meses posteriores, inestabilizando la zona de la cuenca del Chubut y aumentando las precipitaciones. El caso opuesto se explicaría por anomalías de presión y precipitaciones de signo contrario a las anteriores.

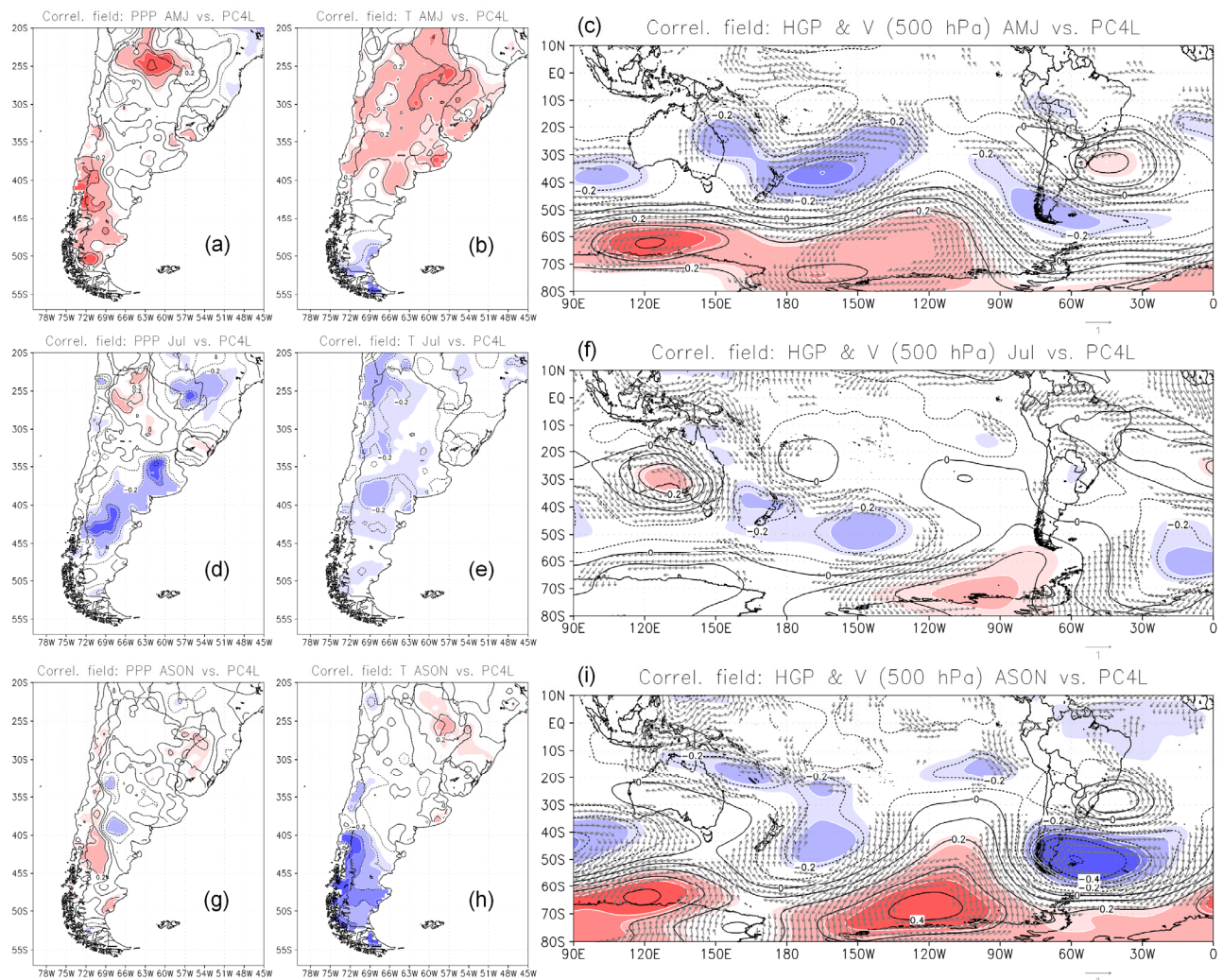


Figura 8. (a), (b) y (c): Respectivamente análogos a los correspondientes de la Fig. 4a-c pero para la PC4L (Fig. 7b) en el período abril-junio. (d), (e) y (f): Respectivamente análogos a los anteriores, pero para el mes de julio. (g), (h) y (i): Respectivamente análogos a los anteriores, pero para el período agosto-noviembre.

Las componentes CP3 y CP4 representan fluctuaciones intra-estacionales de caudal vinculadas principalmente a la variabilidad mensual a bimestral de las PPP durante abril a noviembre, a escala local. La influencia de las anomalías de T podría contribuir a la de los caudales aunque en menor medida que las PPP. Estas anomalías locales de PPP y T estarían explicadas por anomalías de presión y circulación de altura en escala sinóptica a global, en varios casos formando parte de sistemas cuasi-estacionarios o trenes de ondas que se extienden sobre la región y los océanos adyacentes.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha contado con el aporte de los fondos provenientes de los proyectos PIP 2010-439 de CONICET y PICT 2013-0043 de la ANCyT. Se agradece además a la

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación y al NCEP/NCAR por el aporte de los datos empleados.

REFERENCIAS

Araneo D. and Compagnucci R., 2008: Atmospheric Circulation features associated to Argentinean Andean rivers discharge variability. *Geophysical Research Letters*, 35, 1-6, DOI:10.1029/2007GL032427.

Araneo D. y Villalba R., 2014: Variability in the annual cycle of the Río Atuel streamflows and its relationship with tropospheric circulation. *Int. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.4185

Compagnucci R. y Araneo D., 2005: “Identificación de áreas de homogeneidad estadística para los caudales de ríos andinos argentinos y su relación con la circulación atmosférica y la temperatura superficial del mar”. *METEOROLÓGICA*, 30, 1 y 2, 41-53.

Compagnucci R. y Araneo D., 2007: Alcances de El Niño como predictor del caudal de los ríos andinos argentinos. *Ingeniería Hidráulica en México*, 22, 3, 23-35.

Kalnay E. et al., 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 77, 437–470.

Menegazzo de García, M. I. y Radicella, S., 1982; Variación climática-hidrológica en la región cordillerana andina. *Meteorológica*, 13, 49-62.

Montecinos, A., and Aceituno P., 2003: Seasonality of the ENSO related rainfall variability in central Chile and associated atmospheric circulation, *J. Clim.*, 16, 281–296.

Quintela, R. M. y Scarpatti, O. E., 1993: Incidencia del Cambio Global sobre los Recursos Hídricos del Sur de la Patagonia (Argentina). *Geofísica*, 39, 61- 84.