

# Variabilidad intraestacional de las condiciones níveas en los Andes Centrales relacionadas con los cambios en el régimen hidrológico del río Atuel

Araneo, D. C.<sup>1,2</sup>; Rivera, J. A.<sup>1</sup>; Villalba, R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geociología, IANIGLA. – CCT CONICET Mendoza. Av. Ruiz Leal s/n, Parque San Martín. (5500) Mendoza. Argentina. [daraneo@mendoza-conicet.gov.ar](mailto:daraneo@mendoza-conicet.gov.ar)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNCuyo, Mendoza, Argentina.

---

► **Resumen** — En este trabajo se estudian los principales modos de variabilidad intra-estacional de escurrimientos superficiales del Río Atuel, provincia de Mendoza, mediante el análisis de componentes principales aplicado a su ciclo hidrológico anual y su relación con la variabilidad local de la precipitación y la temperatura en la región de la cuenca y la circulación atmosférica asociada a nivel hemisférico.

La tercera componente principal (PC 3) representa la alternancia de anomalías de caudal entre los meses de octubre-noviembre, diciembre, enero y febrero y explica el 9.7% de la varianza total. Por su parte, la PC 4 representa la alternancia de caudales por encima/debajo de la media entre los meses de noviembre, enero y febrero; explicando el 7.5% de la varianza total. Estas componentes explican más de la mitad (58%) de la variabilidad intra-estacional de caudales del río y el 17.2% del total.

Ambos patrones se encuentran vinculados a la variabilidad intra-estacional de anomalías de temperatura sobre la región de la cuenca, las cuales actúan propiciando o inhibiendo la fusión de nieve invernal y el consecuente aumento o disminución anómala de caudales del río, respectivamente. A su vez, estas anomalías de temperatura se asocian a anomalías de presión en altura y/o superficie, en gran parte vinculadas a trenes de onda de Rossby que se extienden a lo largo del Pacífico sur y Sudamérica.

**Palabras clave:** Río Atuel, Mendoza, variabilidad intra-estacional, circulación atmosférica global, ciclo hidrológico anual.

► **Abstract** — “Intraseasonal variability of the snow conditions in the Central Andes related to changes in the hydrological regime of the Atuel river”. By means of the principal component analysis applied to the Río Atuel hydrological annual cycle, the main modes of intra-seasonal variability of the river surface runoff are studied. The relationships between principal components (PCs) and the local variability of precipitation and temperature in the basin, and the associated global atmospheric circulation are analyzed. The third principal component (PC 3) represents the alternation of streamflow anomalies between Oct.-Nov., Nov.-Dec., Dec.-Jan. and Jan.-Feb.; and it accounts for 9.7% of the total variance. On the other hand, the PC 4 represents the alternation of anomalies of the runoffs between November, January and February; accounting for 7.5% of the total variance. These components explain more than half (58%) of the intra-seasonal variability of the river streamflows, and stand for 17.2% of the total.

Both PC 3 and 4 patterns are linked to the intra-seasonal variability of temperature anomalies over the basin region. This variability acts promoting or inhibiting the melting winter snow and consequent abnormal increase or decrease in river flows, respectively. In turn, these temperature anomalies are associated with pressure anomalies in height and/or low levels, largely related to Rossby wave trains that extend along the South Pacific and South America.

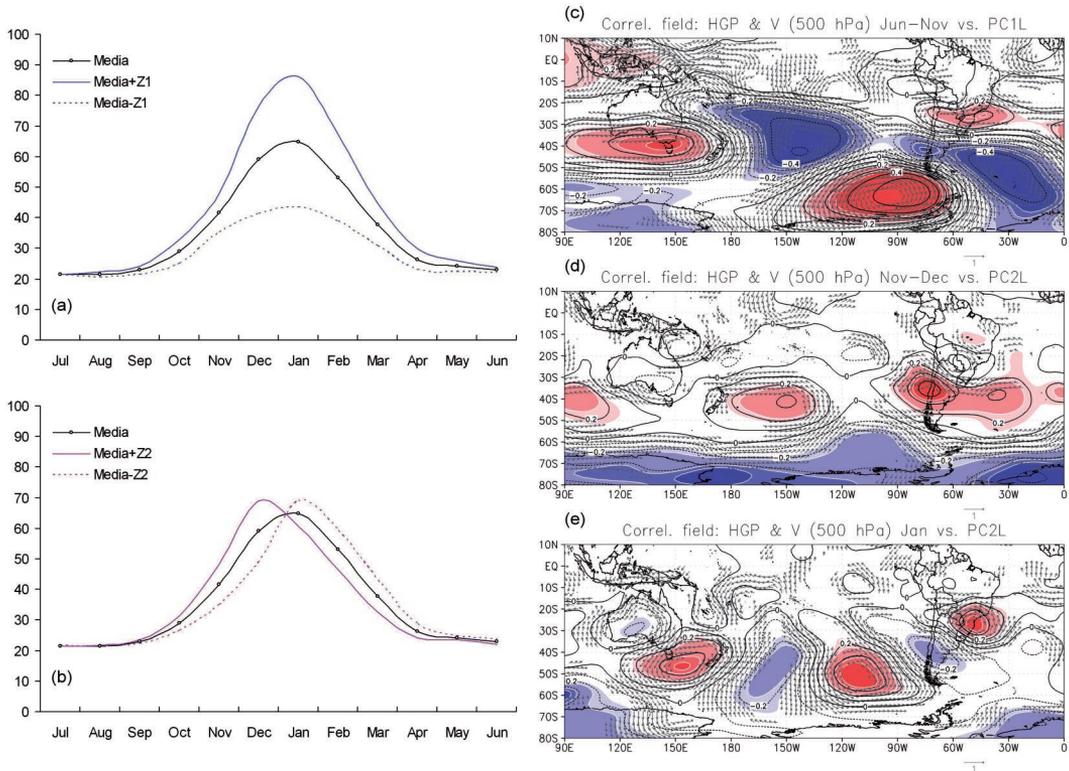
**Keywords:** Río Atuel, Mendoza, intraseasonal variability, global atmospheric circulation, hydrological annual cycle.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios inducidos por el clima en el régimen anual de los ríos alimentados por la nieve tienen serias implicaciones para la gestión de los recursos hídricos. En los Andes Centrales (AC) de Argentina-Chile ( $28^{\circ}$ - $36^{\circ}$ S), la nieve acumulada en invierno sobre las montañas de gran altitud es el componente dominante de los caudales de los ríos de la región durante la temporada de fusión de primavera-verano (Masiokas *et al.*, 2006). Aunque la topografía introduce complejidad en las respuestas de la capa de nieve al ciclo anual de temperatura, la existen-

cia de series de caudales de más de un siglo hace que los AC sean particularmente adecuados para la identificación de cambios hidrológicos a largo plazo.

Mediante análisis de componentes principales (PCs), Araneo y Villalba (2014) estudiaron la variabilidad interanual a interestacional de caudales del Río Atuel, discriminando entre componentes relacionadas con la precipitación y la temperatura, asociadas respectivamente a variaciones en la acumulación de nieve / total anual de caudal (PC1, con 49% de varianza explicada) (Figura 1a) y adelantamientos / retrasos de la fusión de nieve / pico anual de caudales



**Figura 1.** Patrones principales números 1 (a) y 2 (b) de variabilidad del ciclo hidrológico anual del Río Atuel. En ambos paneles, la línea continua negra con puntos representa el ciclo medio y las líneas punteadas representan los modos inversos de cada patrón. Panel (c): Campo de correlaciones entre la serie de pesos asociada a la PC 1 y la altura geopotencial (contornos) y el viento (vectores) en 500 hPa para el periodo jun-nov. 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). Sólo se muestran los vectores con al menos una componente,  $r_u$  o  $r_v$ , significativa al 95% de confianza. Paneles (d) y (e): Ídem panel (c) pero para la PC 2 en los periodos nov-dic y enero, respectivamente. (ver Araneo y Villalba, 2014).

(PC2, con 21% de la varianza explicada) (Figura 1b). Adicionalmente los autores mostraron que caudales superiores (inferiores) a la media en relación con abundantes (escasas) nevadas en los AC (PC1), se asocian a desplazamientos de los stormtracks hacia el norte (sur) (Figura 1c), remotamente inducidos por temperaturas superiores (inferiores) a la media en la superficie del Pacífico ecuatorial —evento El Niño (La Niña)— (ver además: Quinn y Neal, 1983; Ruttlant y Fuenzalida, 1991; Montecinos y Aceituno, 2003). Adicionalmente, estudios recientes de Masiokas *et al.* (2010) y Villalba *et al.* (2012) también han identificado posibles influencias de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y el Modo Anular del Sur (SAM; Thompson y Wallace, 2000) en los modos de baja frecuencia de la variabilidad de los caudales en los AC y el norte de la Patagonia de Argentina y Chile.

Por otro lado, el adelantamiento (atraso) de los picos de caudal hacia noviembre-diciembre (enero-febrero) (PC2), son concurrentes con temperaturas superiores (inferiores) a la media en toda la cuenca del Atuel durante finales de primavera, inducidas por un aumento (disminución) de la circulación meridional de los trópicos debido al fortalecimiento (debilitamiento) del anticiclón del Atlántico Sur (Araneo y Villalba, 2014) (Figura 1d). Estas anomalías de circulación están vinculadas a la fase positiva (negativa) persistente del SAM para finales de primavera, el cual constituye una medida de estas alteraciones físicas del flujo básico en latitudes medias/altas. Además, años con caudales reducidos (aumentados) en enero, y consecuentemente un relativo adelanto (retraso) del máximo caudal hacia noviembre-diciembre (enero-febrero), también están asociados con una anomalía fría (caliente) en los niveles altos de la atmósfera durante enero, inducida por centros de baja (alta) presión sobre la región como parte de un tren de ondas estacionarias de Rossby casi zonal que se extiende desde Australia hasta el Atlántico Sur (Figura 1e).

En este trabajo se estudian los principales modos de variabilidad intra-estacional

de caudales del Río Atuel, provincia de Mendoza, mediante el análisis de las PCs 3 y 4, siguiendo la metodología descrita en Araneo y Villalba (2014), y su relación con la variabilidad local de la precipitación y la temperatura en la región de la cuenca y la circulación atmosférica asociada a nivel hemisférico.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

Los registros de caudales medios mensuales del Río Atuel en la estación de aforo de La Angostura (35°05'57"S, 68°52'26"W; 1.200 m), de julio de 1906 a junio de 2012, fueron proporcionados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (<http://www.hidricosargentina.gov.ar/index.php>). El área de la cuenca aguas arriba de esta estación de aforo es de 3.800 km<sup>2</sup> y no hay actividades humanas en el área que alteren la escorrentía natural. Dado que el Río Atuel muestra los caudales máximos y mínimos en verano e invierno, respectivamente, definimos el ciclo hidrológico anual de julio a junio. Seguidamente, a fin de determinar las principales características de la variabilidad intra-estacional en el ciclo hidrológico anual, se aplicó el análisis de componentes principales (PCA) a los 106 ciclos completos en el registro de datos. Los caudales mensuales fueron dispuestos en una matriz  $\mathbf{X}_{[12,106]}$  cuyas columnas consisten de cada ciclo anual del período 1906-2012, dispuestos a partir de julio (año  $t$ ) a junio (año  $t+1$ ). Posteriormente, los valores medios mensuales se convirtieron en índices restando la media mensual sobre el total de 106 años, obteniendo la matriz de desvíos  $\tilde{\mathbf{X}}$ . Sobre la base de esta matriz, las matrices de componentes de puntaje  $\mathbf{Z}$  (patrones o PCs) y de pesos  $\mathbf{F}$  (series de tiempo de los coeficientes de correlación entre los patrones y las variables originales; PC loadings, PCL) se obtuvieron de las relaciones:

$$\mathbf{Z} = \tilde{\mathbf{X}}_s \mathbf{U}$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{U} \mathbf{D}^{1/2}$$

donde  $\tilde{\mathbf{X}}_s$  es la matriz estandarizada asociada a  $\tilde{\mathbf{X}}$  (es decir, la matriz que se obtiene restando a cada elemento de  $\tilde{\mathbf{X}}$  la media de la columna correspondiente y dividiendo esa diferencia por la desviación estándar de la columna correspondiente) y  $\mathbf{Q}_{[106,106]}$  y  $\mathbf{D}_{[106,106]}$  son, respectivamente, la matriz de autovectores y autovalores asociados a  $\mathbf{R} = (\tilde{\mathbf{X}}_s' \tilde{\mathbf{X}}_s) / 12$  (la matriz de correlación entre las columnas de  $\tilde{\mathbf{X}}$ , y donde la prima denota la transpuesta de una matriz).

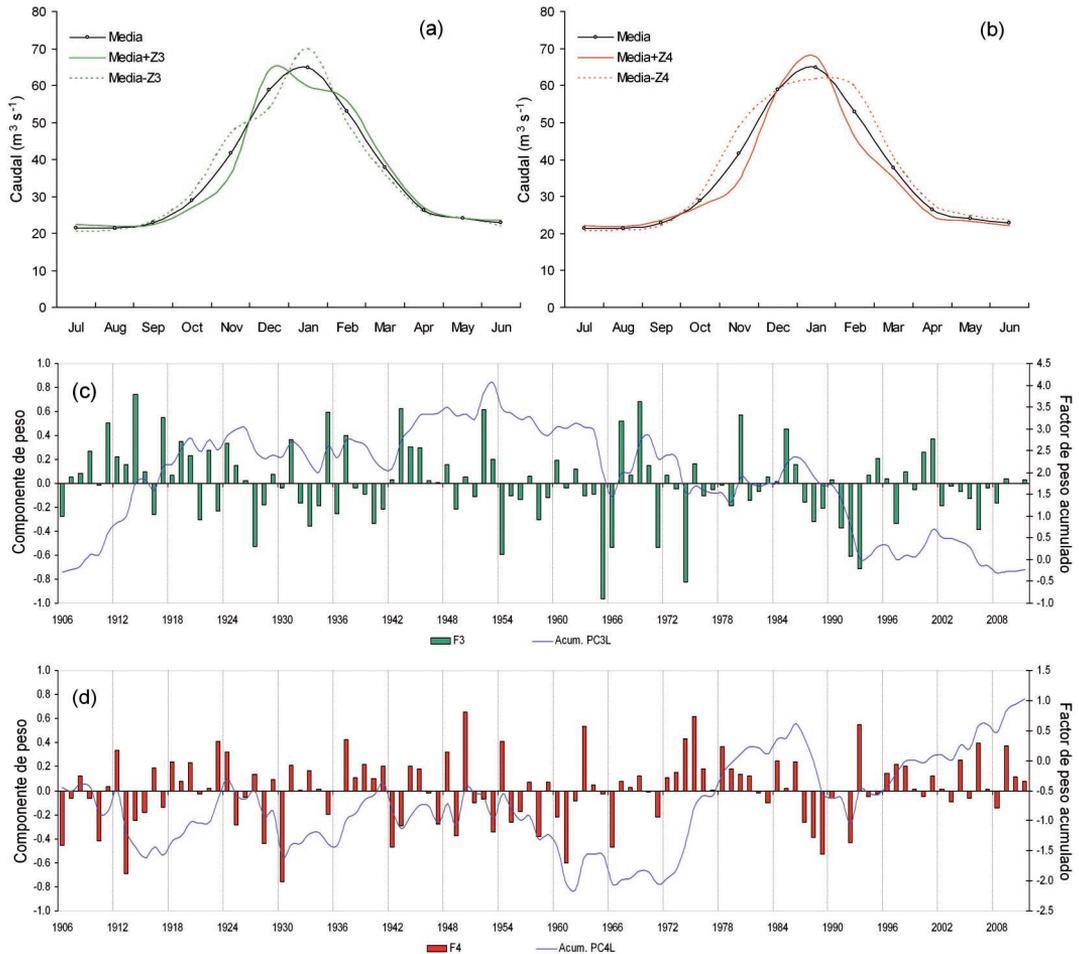
Con el fin de determinar las relaciones entre la variabilidad intra-estacional del ciclo de caudales y las características climáticas locales y globales, se calcularon campos de correlación para cada mes durante el período 1958-2011, entre las componentes de peso (PC loadings, PCL) y las siguientes variables meteorológicas: altura geopotencial (HGP, en m) y vector de viento ( $\mathbf{V}$ , en m s<sup>-1</sup>) en los niveles de 1000 y 500 hPa; precipitación (PPP, en mm) y temperatura del aire en 2 m (T, en °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 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 y viento, con cobertura global en cuadrícula regular de 2,5° × 2,5° de latitud y longitud, 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° × 0,5° de latitud y longitud); todos proporcionados por el sitio web del PSD NOAA en <http://www.esrl.noaa.gov/psd>.

### 3. RESULTADOS

Las PCs 1 y 2 del ciclo anual de caudales del Atuel representan el exceso/déficit de volumen total anual asociado a la variabilidad interanual de precipitaciones nivas de invierno y los adelantamientos/retrasos del pico anual de caudales asociados a la variabilidad de las condiciones térmicas de primavera-verano, respectivamente, explicando un 70.4% de la variabilidad total (Araneo y Villalba, 2014). Las restantes componentes representan variaciones intra-estacionales del régimen de caudales, de las cuales, las PCs 3 y 4 acumulan más de la mitad de la varianza remanente (17.2% del total). La PC 3 explica el 9.7% del total de varianza y, en modo directo, representa un régimen de caudales con valores inferiores a la media en octubre-noviembre y enero, y superiores en diciembre y febrero (viceversa en modo inverso) (Figura 2a). La serie de factores de peso asociados (PC3L) (Figura 2c) revela períodos con valores predominantemente positivos (serie de pesos acumulados creciente) durante los primeros años del siglo pasado (1906 a 1925) y negativos (acumulados decreciente) desde mitad del siglo pasado hasta la actualidad (1954 a 2008), evidenciando un ligero cambio de tendencia en la influencia de esta componente, de su modo directo (a principios de siglo XX) a su modo inverso (en los últimos 60 años).

Los campos de correlaciones entre la PC3L y la temperatura (Figura 3a-d) muestran valores significativos negativos sobre los AC de Argentina para oct-nov y enero y positivos para diciembre y febrero; implicando la presencia de anomalías negativas (positivas) de temperatura para los meses de caudales inferiores (superiores) a lo normal. Adicionalmente, los campos de correlaciones análogos a estos pero para precipitación, no exhiben valores significativos sobre la cuenca del Atuel, con excepción del mes de diciembre que muestra valores negativos sobre las nacientes de río. Sin embargo, las anomalías negativas (positivas) de precipitación sobre la cuenca, asociables a estos valores de correlación, no explicarían las ano-



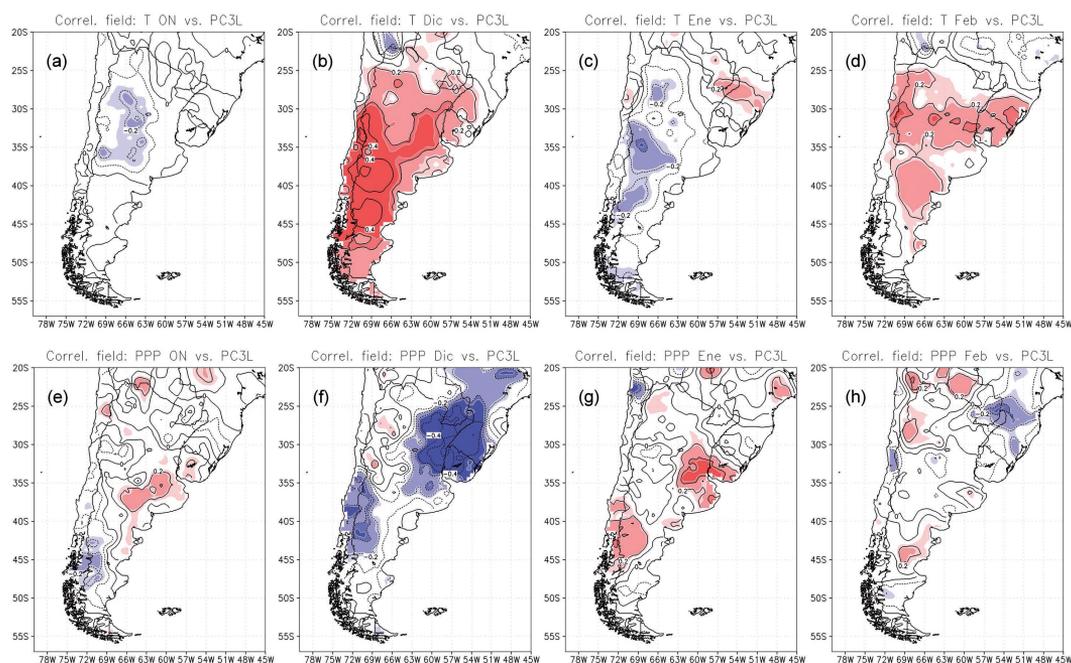
**Figura 2.** Paneles superiores: Patrones principales números 3 (a) y 4 (b) de variabilidad del ciclo hidrológico anual del Río Atuel. En ambos paneles, la línea continua negra con puntos representa el ciclo medio y las líneas punteadas representan los modos inversos de cada patrón. Paneles inferiores: Series de tiempo de factores de peso asociados a las PCs 3 (c) y 4 (d) (barras verticales). En ambos casos, las líneas azules representan las series correspondientes de factores de peso acumulados.

malías positivas (negativas) de caudal observadas para este mes en el caso del modo directo (inverso) de la PC 3. En consecuencia, la inhibición o promoción de la fusión de nieve acumulada en los meses fríos debido a la alternancia de anomalías negativas y positivas de temperatura sobre la cuenca durante estos meses, explicaría la sucesión de anomalías negativas y positivas de caudal, respectivamente, representada por esta componente de variabilidad intra-estacional de escurrimientos del río.

La Figura 4 muestra los campos de correlaciones entre la PC3L y la altura geopotencial y el viento en los niveles de 1000 y 500 hPa para los mismos períodos de la figura anterior. En oct-nov se observan correlaciones positivas en 1000 hPa sobre el norte patagónico que induce una circulación sobre los AC proveniente desde el sur. Esta circulación implica una advección negativa de temperaturas que explica las anomalías negativas de temperatura sobre la cuenca del Atuel durante este período, con la consecuente in-

hibición de la fusión de nieve y caudales por debajo de lo normal (PC3 modo directo). En niveles altos no se observan correlaciones significativas sobre la región. En el mes de diciembre se muestran correlaciones positivas en 500 hPa sobre los AC, acompañada de una circulación ciclónica en 1000 hPa que advecta aire desde el norte sobre la cuenca. Las consecuentes anomalías positivas de HGP en altura y circulación ciclónica en superficie, implican un aumento de los espesores de la capa 1000-500 hPa sobre la región, con inhibición de la nubosidad y advección positiva de temperatura sobre la cuenca. Esta configuración explica la anomalía positiva de temperaturas sobre el Atuel, con fuerte aumento de la fusión nívica y aumento de caudales observado en el caso del modo directo de la PC3 en este mes. Por el contrario, durante enero las correlaciones en altura cambian de signo observándose un centro

con valores negativos centrado sobre las costas de Chile central que afectan la región de la cuenca. Este centro se encuentra acompañado por otro de signos contrarios en superficie que induce una anomalía de circulación desde el sur sobre la región. Las consecuentes anomalías de HGP negativas en altura y positivas en superficie involucran una disminución de los espesores que implica un enfriamiento anómalo de la capa, reforzado con advección fría en niveles bajos. Esta configuración explica las anomalías negativas de T observadas sobre los AC en enero con la consecuente disminución de caudales por inhibición de la fusión nívica (PC3 en modo directo). Finalmente en febrero, la región de los AC se ve afectada por un centro de correlaciones positivas de HGP en 500 hPa que, al igual que en diciembre, implica una expansión de los espesores en la capa más baja, lo cual explica el retorno de las anomalías



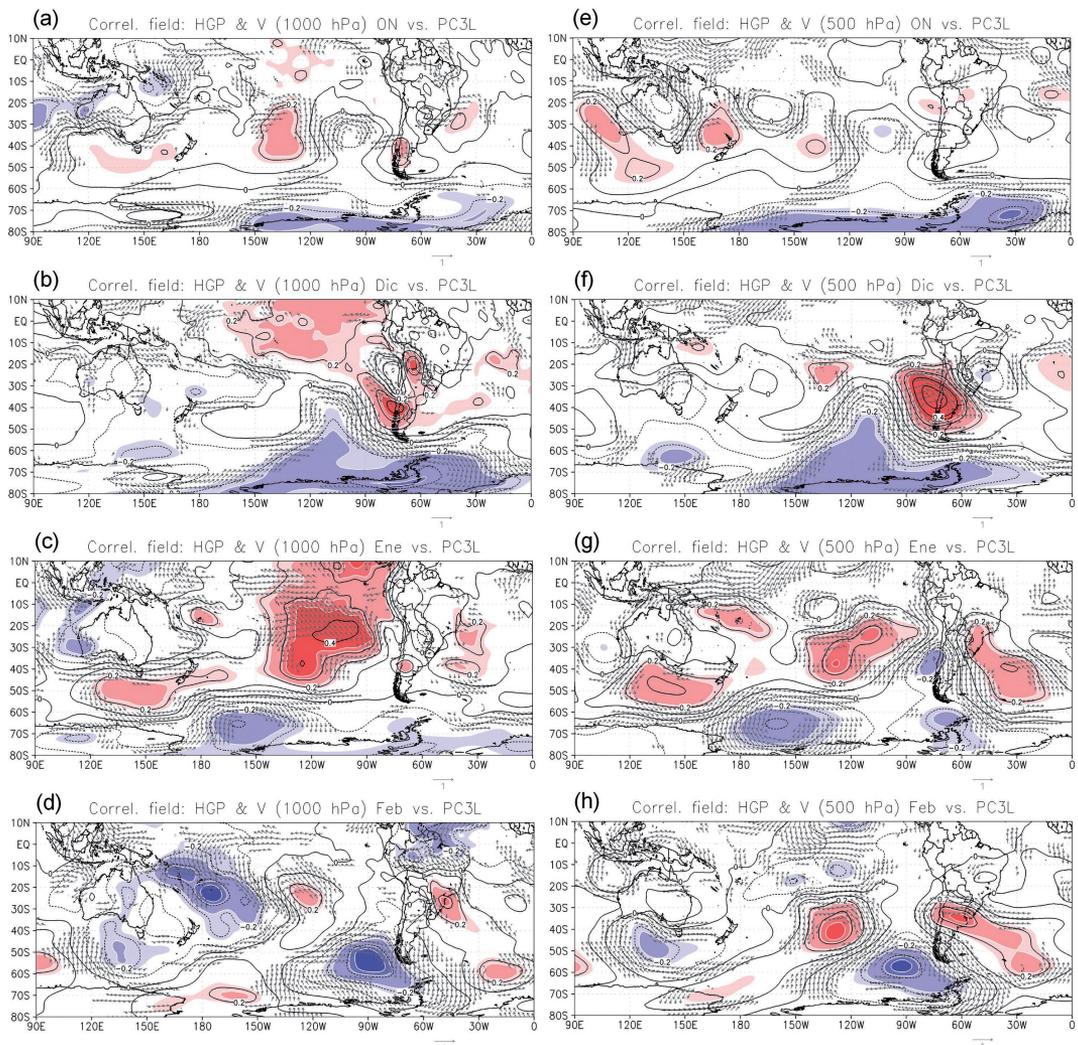
**Figura 3.** Campos de correlaciones entre la serie de pesos asociada a la PC 3 (Fig. 2c) y la temperatura de superficie (paneles superiores) y la precipitación (paneles inferiores), para los periodos/meses (de izquierda a derecha): oct-nov, diciembre, enero y febrero. Los valores sombreados (de claro a oscuro) corresponden a correlaciones significativas al 90, 95, 99 y 99.5% de confianza (positivos en rojo, negativos en azul).

positivas de T para este mes y el consecuente aumento de caudales para el caso modo directo.

Las configuraciones de altura descritas anteriormente para los meses de verano (Figura 4f-g) forman parte de cortos trenes de ondas de Rossby que se extienden sobre la región desde el Pacífico central, más claramente visibles en los meses de enero y febrero. Adicionalmente, signos y circulaciones

contrarios a los descritos en el párrafo anterior, explican las variaciones de caudal representadas por la PC3 en modo inverso.

La PC 4 explica el 7.5% del total de varianza y, en modo directo, representa un régimen de caudales con valores inferiores a la media en noviembre y febrero y levemente superiores en enero (viceversa en modo inverso) (Figura 2b). La serie de factores de peso asociados (PC4L) (Figura 2d) muestra coefi-



**Figura 4.** Campos de correlaciones entre la serie de pesos asociada a la PC 3 (Fig. 2c) y la altura geopotencial (contornos) y el viento (vectores) en 1000 hPa (izquierda) y 500 hPa (derecha), para los periodos/meses (de arriba hacia abajo): oct-nov, diciembre, enero y febrero. 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). Sólo se muestran los vectores con al menos una componente,  $r_u$  o  $r_v$ , significativa al 95% de confianza.

cientes mayormente positivos desde 1972 a 2011, a excepción del período 1987-1992 (serie de factores acumulados creciente en 1972-1986 y 1993-2011 y decreciente en 1987-1992); implicando una tendencia en la influencia de esta componente en su modo directo durante las últimas cuatro décadas.

Los campos de correlaciones entre la PC4L y la temperatura (Figuras 5a-c) muestran valores significativos negativos sobre los AC para noviembre y febrero y positivos para enero (aunque significativos sólo para la región patagónica); implicando la presencia de anomalías negativas (positivas) de temperatura para los meses de caudales inferiores (superiores) a lo normal. Adicionalmente, los campos de correlaciones análogos a estos pero para precipitación, exhiben

valores significativos sobre las nacientes del Atuel en los meses de noviembre —con signo positivo— y enero —con signo negativo y signos positivos sólo hacia el este de Cuyo y el norte patagónico—. Sin embargo, las anomalías de precipitación asociables a las correlaciones con esos mismos signos (con signos contrarios) sobre el oeste de la cuenca, no explicarían las anomalías de caudal observadas para este mes en el caso del modo directo (inverso) de la PC 4. En consecuencia, al igual que lo descrito para la PC 3, la alternancia de anomalías negativas y positivas de caudal representada por la PC 4 también es consecuencia de las variaciones térmicas (anomalías de T) sobre la cuenca.

La Figura 6 muestra los campos de correlaciones entre la PC4L y la HGP y el V en los

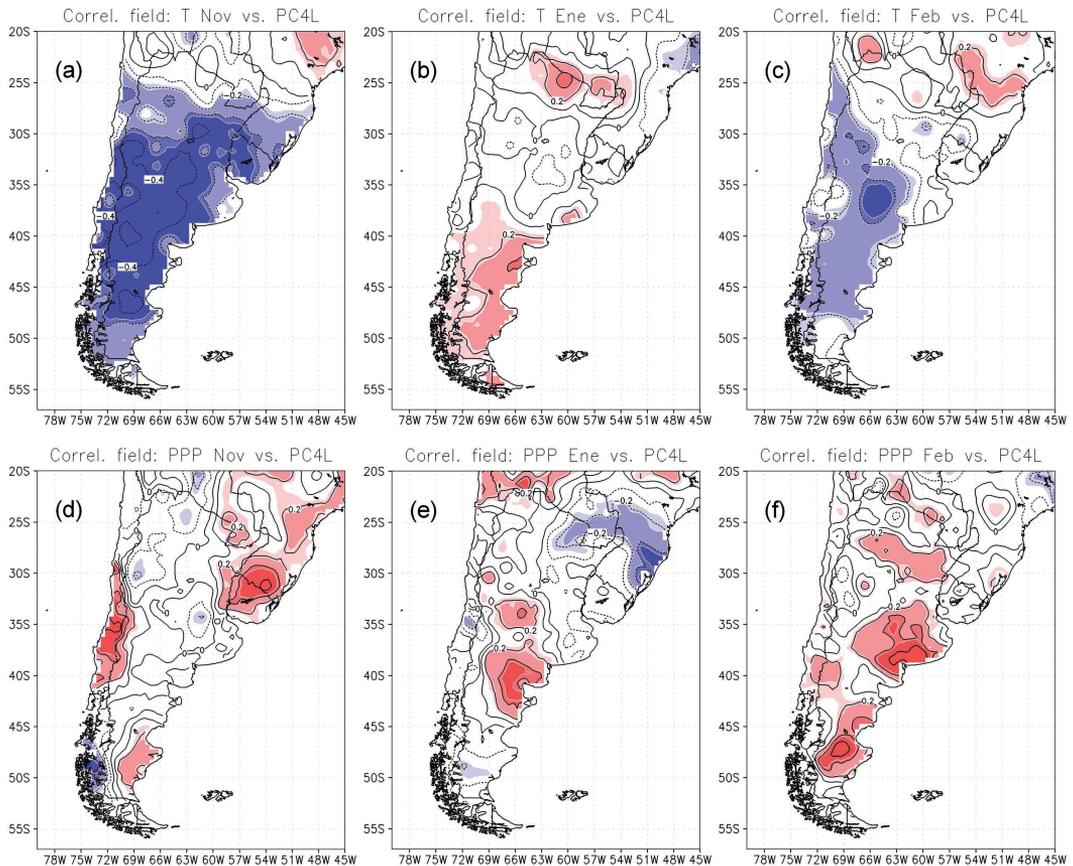


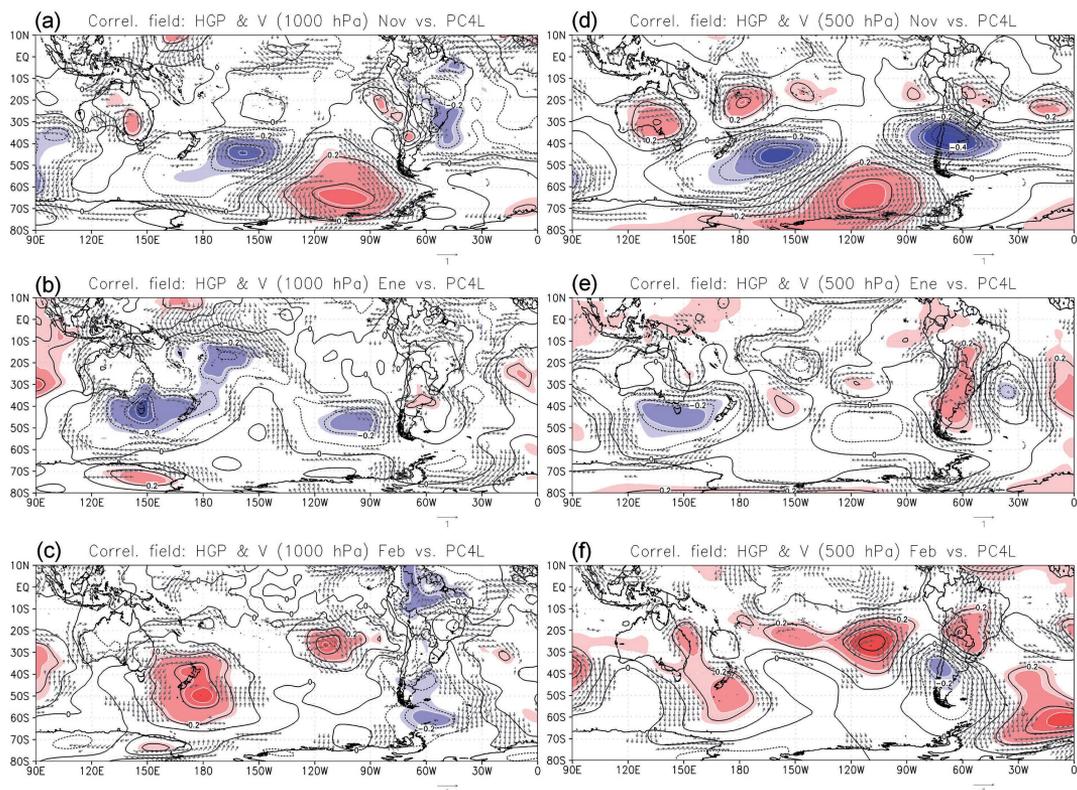
Figura 5. Idem Fig. 3 pero para la serie de pesos asociada a la PC 4 (Fig. 2d) y los meses: noviembre, enero y febrero.

niveles de 1000 y 500 hPa para los mismos períodos de la figura anterior. Para noviembre se observa un centro de correlaciones negativas de HGP en 500 hPa y positivas en 1000 hPa sobre el centro de argentina, lo cual implica una anomalía negativa de los espesores de la capa inferior y la consecuente disminución de las temperaturas sobre la cuenca del Atuel observada en la figura anterior y la asociada reducción anómala de caudales para este mes en el modo directo de la PC 4 (Figura 2b). Las anomalías asociadas de HGP en altura, forman parte de un tren de ondas que se observa extendiéndose desde el oeste del Pacífico sur hacia el mar de Amundsen y luego virando hacia Sudamérica. Por el contrario, en enero se observan correlaciones/anomalías positivas de HGP en altura ocupando la totalidad de Argentina, lo cual se encuentra vinculado a una expansión de los espesores de la capa más baja y

consecuentes anomalías positivas de T (Figura 5b) y aumento de caudales por incremento de la fusión névea para este mes, asociado a la PC 4 en modo directo. Durante febrero, las correlaciones/anomalías de HGP en 500 hPa vuelven a afectar los AC, conjuntamente con una anomalía negativa de espesores y temperatura sobre la cuenca y la consecuente inhibición de fusión névea y caudales mostrado por la PC 4 en modo directo para este mes. Las configuraciones con signos contrarios a los descritos en este párrafo, explican las variaciones de caudal representadas por la PC 4 en modo inverso.

#### 4. CONCLUSIONES

Mediante el análisis de PCs aplicado al ciclo hidrológico anual de caudales del Río Atuel, se han logrado determinar los principales patrones de variabilidad de escala in-



**Figura 6.** Idem Fig. 4 pero para la serie de pesos asociada a la PC 4 (Fig. 2d) y los meses: noviembre, enero y febrero.

tra-estacional de los escurrimientos superficiales de este río y su relación con las condiciones atmosféricas locales de acumulación nívica y temperatura y circulación de escala sinóptica a global asociada.

La PC 3 representa la alternancia de anomalías de caudal entre los meses de oct-nov, diciembre, enero y febrero y explica el 9.7% de la varianza total. Por su parte, la PC 4 representa la alternancia de anomalías de los caudales entre los meses de noviembre, enero y febrero; explicando el 7.5% de la varianza total. Estas componentes explican más de la mitad (58%) de la variabilidad intra-estacional de caudales de este río, y el 17.2% del total.

Ambos patrones se encuentran vinculados a la variabilidad intra-estacional de anomalías de temperatura sobre la región de la cuenca, las cuales actúan propiciando o inhibiendo la fusión de nieve invernal y la consecuente anomalía positiva o negativa de los caudales del río, respectivamente. A su vez, estas anomalías de temperatura se asocian a anomalías de presión en altura y/o superficie, en gran parte vinculadas a trenes de onda de Rossby que se extienden a lo largo del Pacífico sur y Sudamérica.

#### 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. C. y Villalba, R. 2014. Variability in the annual cycle of the Rio Atuel streamflows and its relationship with tropospheric circulation. *International Journal of Climatology* 35 (10): 2948–2967.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J. E., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R. W., Jenne, R., Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77: 437–471.
- Masiokas, M. H., Luckman, B. H., Villalba, R., Delgado, S., Rabassa, J. 2010. Little Ice Age fluctuations of Glacier Rio Manso in the north Patagonian Andes of Argentina. *Quaternary Research* 73: 96–106.
- Masiokas, M. H., Villalba, R., Luckman, B. H., Le Quesne, C., Aravena J.C. 2006. Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the Region. *Journal of Climate* 19: 6334–6352.
- Montecinos, A. y Aceituno, P. 2003. Seasonality of the ENSO related rainfall variability in central Chile and associated atmospheric circulation. *Journal of Climate* 16: 281–296.
- Quinn, W. y Neal, V. 1983. Long-term variations in the Southern Oscillation, El Niño and the Chilean subtropical rainfall. *Fishery Bulletin* 81: 363–374.
- Rutllant, J. y Fuenzalida, H. 1991. Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology* 11: 63–76.
- Thompson, D.W. J. y Wallace, J. M. 2000. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate* 13: 1000–1016.
- Villalba, R., Lara, A., Masiokas, M. H., Urrutia, R., Luckman, B. H., Marshall, G. J., Mundo I. A., Christie, D. A., Cook, E. R., Neukom, R., Allen, K., Fenwick, P., Boninsegna, J. A., Srur, A. M., Morales, M. S., Araneo, D. C., Palmer, J. G., Cuq, E., Aravena, J. C., Holz, A., Le Quesne, C. 2012. Unusual Southern Hemisphere tree growth patterns induced by changes in the Southern Annular Mode. *Nature Geoscience* 5 (11): 793–798.