

## VARIABILIDAD DE LAS CONDICIONES NÍVEAS EN LOS ANDES CENTRALES RELACIONADAS CON LOS CAMBIOS EN EL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL RÍO ATUEL

Diego C. Araneo<sup>1,2</sup> y Ricardo Villalba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, IANIGLA / CONICET, CCT-Mendoza, Argentina; [daraneo@mendoza-conicet.gov.ar](mailto:daraneo@mendoza-conicet.gov.ar)

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Básicas, ICB / UNCuyo, Mendoza, Argentina.

Los cambios inducidos por el clima en el ciclo hidrológico de los ríos alimentados por la nieve en regiones montañosas, tienen fuertes implicancias en la gestión de los recursos hídricos. En los Andes Centrales de Argentina y Chile (30-35° S), la nieve acumulada en las altas cumbres durante el invierno es el componente dominante de los caudales en la temporada de fusión de primavera-verano (Masiokas *et al.* 2006). Aunque la topografía andina introduce complejidad en la respuesta de la capa de nieve al ciclo de la temperatura, la existencia de extensas series de caudales anuales, de más de un siglo de longitud, hace que los Andes Centrales sean particularmente adecuados para la identificación de cambios hidrológicos a largo plazo.

En este trabajo se aplicó un análisis de Componentes Principales (CPs) (Lattin *et al.* 2003) a los hidrogramas anuales del Río Atuel en el período 1906-2012, a fin de identificar los modos principales de variabilidad en los regímenes anuales de caudal. Los dos primeros patrones discriminan una componente pluvial (49% de la varianza), asociada a las variaciones en el volumen total anual del escurrimiento por acumulación de nieve durante el invierno, y una componente térmica (21% de la varianza), relacionada con el período de fusión de nieve y en consecuencia con adelantamientos / retrasos en la ocurrencia del máximo estival anual de caudales (Fig. 1). La evolución temporal de los pesos (i.e. correlaciones entre cada CP y los hidrogramas originales de cada año) para la CP1 revela una tendencia negativa predominante en el período 1917-1976 y desde 1988 en adelante, lo que sugiere la propensión a sufrir largos períodos de tiempo con escurrimientos reducidos durante el siglo pasado (Fig. 2a, c). A su vez, los pesos asociados a la CP2 son predominantemente positivos desde 1948 hasta el presente, revelando una tendencia a la ocurrencia de los máximos caudales más frecuentemente en la primavera tardía desde mediados del siglo 20 (Fig. 2b, d).

Los campos de correlaciones entre diversas variables descriptoras de la circulación atmosférica obtenidas del Reanálisis 1 de NCEP (Kalnay *et al.* 1996) y las series de pesos asociadas a las CPs revelan que caudales superiores a la media en primavera-verano relacionados con abundantes nevadas en las altas cumbres de los Andes Centrales están asociados a un desplazamiento hacia el norte del “stormtrack”, inducido de forma remota por temperaturas de la superficie del mar superiores a la media en el Pacífico ecuatorial (Fig. 3a, b). Por otro lado, el adelantamiento del pico de caudales hacia noviembre-diciembre es concurrente con temperaturas superiores a la media en toda la cuenca del río, debido a la intensificación de la circulación meridional de los trópicos por el fortalecimiento del anticiclón del Atlántico Sur (Fig. 3c). Estas anomalías de circulación están, a su vez, vinculadas a la persistente fase positiva del Modo Anular del Sur (Thompson y Wallace 2000) durante las últimas décadas. Además, años con caudales reducidos en enero, y por lo tanto contribuciones de escurrimiento proporcionalmente mayores en noviembre-diciembre, están asociados con enfriamientos anómalos en altos niveles de la atmósfera, inducidos por centros de baja presión sobre la región como parte de un tren quasi-zonal de ondas de Rossby estacionarias que se extiende desde Australia hasta el Atlántico Sur (Fig. 3d).

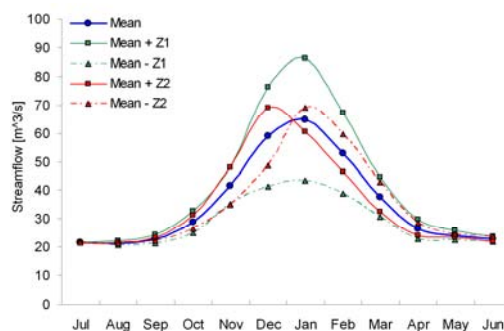


Figura 1. Ciclo hidrológico anual medio del Río Atuel (línea azul con círculos) y sus desviaciones más frecuentes estimadas a partir de un PCA del ciclo anual en el período 1906 a 2012. La variabilidad interanual del ciclo anual se puede descomponer en un componente dependiente de la nieve, relacionado con la variabilidad por encima (media+Z1) / debajo (media-Z1) del escurrimiento normal (PC1) y en una componente térmica de primavera-verano, lo que determina el cambio estacional (pico temprano: media+Z2 / pico tardío: media-Z2) del máximo de caudal mensual (PC2). Puesto que los componentes Z son adimensionales, la escala en el eje y (en  $m^3 s^{-1}$ ) es válida para el hidrograma medio e ilustrativo para los PC.

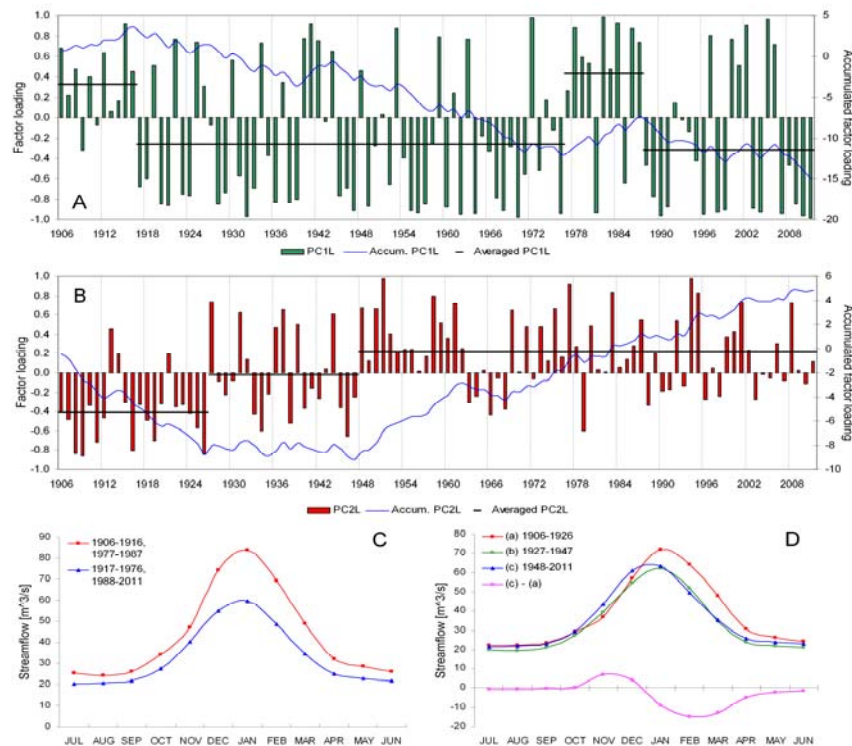


Figura 2. Serie de pesos (barras) correspondientes a las CPs 1 (A) y 2 (B), junto a sus valores acumulados (líneas azules). Las líneas negras horizontales corresponden a los valores de carga promedio para cada período. Los hidrogramas medios para estos períodos se muestran en los paneles C y D, respectivamente. En el panel D, la línea de color rosa en la parte inferior indica la diferencia entre los hidrogramas de medios para los períodos 1948-2011 menos 1906-1926.

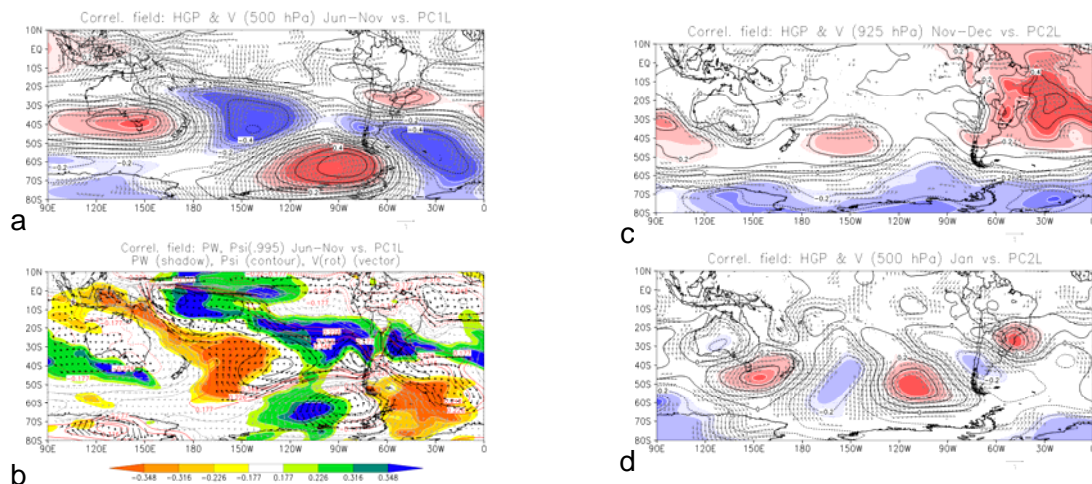


Figura 3. Campos de correlaciones entre la serie de pesos asociada a la CP1 y la altura geopotencial (HGP) y el viento (V) en 500 hPa (a), y el agua precipitable (PW) y la función corriente en  $s=0.995$  (Psi), para el período Junio-Noviembre. Los valores sombreados, de claro a oscuro, son significativos al 90, 95, 99 y 99.5%. Solo se muestran los vectores de viento con al menos una componente significativa al 95%. Los paneles c y d son análogos al a, pero para la CP2 y los campos medios de Noviembre-Diciembre en 925 hPa (c), y Enero en 500 hPa (d).

Kalnay, E. y coautores. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437–471.  
 Lattin, J., Carroll, J.D. y Green, P.E. 2003. Analyzing Multivariate Data. Duxbury Applied Series, Thompson Brooks/Cole. 556 p.  
 Masiokas, M., Villalba, R., y Luckman, B. 2006. Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the. Journal of Climate, 19, 6334–6352.  
 Thompson, D. y Wallace, J. 2000. Annular modes in the extratropical circulation, part I: month-to-month variability. J Clim 13:1000– 1016.