

# Características hídricas y climáticas del norte Patagónico

*Paula Elisa Romero<sup>1</sup>, Eugenia María Garbarini<sup>1</sup> y Marcela Hebe González<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - FCEN-UBA.

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera – CONICET/UBA; UMI-IFAECI/CNRS

E-mail: [eugenia.garbarini@yahoo.com.ar](mailto:eugenia.garbarini@yahoo.com.ar)

[paulaelisaromero@gmail.com](mailto:paulaelisaromero@gmail.com)

RESUMEN: La región norte patagónica está compuesta por varias cuencas: la de los ríos Limay, Neuquén, Negro y Colorado. Las dos primeras son relevantes en cuanto a la generación de energía hidroeléctrica y las dos últimas son zonas bastante áridas pero con valles dedicados al cultivo de frutales. En el río Limay el año hidrológico comienza en marzo con máximos caudales en julio, con un desfase de 1 mes respecto del máximo medio de precipitación mensual. El caudal medio anual se correlaciona significativamente (0,76) con la lluvia media anual en Angostura y también lo hacen los picos máximos (0,49). Las otras cuencas analizadas también inician su año hidrológico entre marzo y junio y se correlacionan significativamente con la precipitación. La mayor correlación se obtuvo entre el caudal del río Neuquén y la precipitación de la estación Los Carrizos (0,89). Además, el estudio de las tendencias de precipitación anual muestra que la región del Comahue es la única que presenta una tendencia negativa (-0,44 mm/año). Los forzantes climáticos de variabilidad interanual muestran que la precipitación se ve favorecida en el oeste de la región por la fase cálida del ENOS en primavera, la fase negativa de la Oscilación Antártica en otoño y primavera y el corrimiento del anticiclón del Atlántico hacia el oeste en verano y otoño. A su vez, en el este de la región se ve favorecida por la fase cálida del ENOS en invierno y otoño y la fase positiva del Dipolo del Índico en primavera; y en toda la región cuando el anticiclón del Pacífico está debilitado, principalmente en otoño, invierno y primavera.

## INTRODUCCION

La región patagónica argentina es una zona que ha sido muy poco estudiada aún desde el punto de vista climático. Sin embargo, la zona norte de la Patagonia que resulta de especial interés, abarca varias jurisdicciones (provincia de Neuquén y norte de provincia de Río Negro) y converge en diversos usos del recurso hídrico tales como: la generación hidroeléctrica para el sistema interconectado nacional, el abastecimiento de agua para el desarrollo de economías de subsistencia local, la actividad frutícola tanto para el mercado local como el de exportación, el abastecimiento de agua para el uso residencial, la industria del petróleo (incluyendo yacimientos convencionales y no convencionales), y la minería. Esta complejidad socio-ambiental se expresa en procesos de sobreexplotación, distribución inequitativa del acceso-control de los recursos naturales; en desplazamientos poblacionales y en la densificación urbana que incluye el poblamiento en áreas de riesgo. La zona noroeste de esta zona es la denominada Comahue y su principal recurso es la generación de energía hidroeléctrica. Hacia el este se encuentra el valle del río Negro y del río Colorado donde la producción frutícola es un recurso económico muy relevante. Para cualquiera de estas

actividades el monitoreo y eventual pronóstico de variables meteorológicas como la precipitación son de gran importancia. La zona del Comahue presenta un régimen de lluvias invernales mientras que hacia el este en la Patagonia las lluvias son escasas pero predominan en verano. La variabilidad interanual de las precipitaciones en el área total es muy grande y generalmente depende de forzantes climáticos de escala hemisférica como es la temperatura de la superficie del mar en los Océanos Pacífico, Atlántico e Índico y de los sistemas de onda de Rossby que se desplazan por el Pacífico y arriban a la cordillera de los Andes sur donde la altura moderada de la misma, permite el acceso de los frentes y la humedad hacia Argentina.

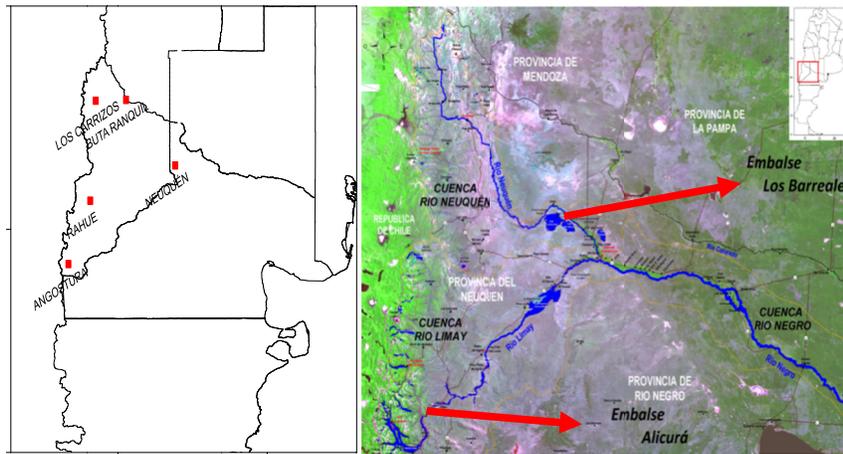
Algunos autores han estudiado la variabilidad de baja frecuencia de las lluvias especialmente en Patagonia (Castañeda y González, 2008, Barros y Mattio, 1978 y Barros y Rodríguez Sero, 1979) y obtuvieron una tendencia a un aumento progresivo de las lluvias en el norte patagónico y un decrecimiento en el oeste montañoso. Otros trabajos detallaron el estudio de la variabilidad de la precipitación en escalas interanuales (Aravena et al. 2008, Russian et al. 2010, González y Vera, 2010, González et al., 2010, Scarpati et al., 2014), generaron pronósticos estadísticos para la precipitación estacional (González y Cariaga, 2011, González y Herrera, 2013) y estudiaron forzantes de teleconexiones presentes en los patrones asociados a la lluvia (González, 2013).

Dado que la variabilidad interanual de la precipitación está relacionada con el caudal de los ríos y estas dos variables conjuntamente redundan en las actividades económicas de la región, este trabajo intenta estudiar dicha relación y establecer los puntos de partida para un estudio detallado de las causas que generan los extremos de precipitación y, a su vez, cómo influyen los forzantes climáticos a dicha variabilidad interanual.

## DATOS UTILIZADOS

Los datos de precipitación mensual que fueron utilizados en este estudio derivan de 5 estaciones de diferentes fuentes (Servicio Meteorológico Nacional, Sub Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, la Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, Comité Interjurisdiccional del Río Colorado).

La región de estudio abarca 4 cuencas principales, Limay al sur, Neuquén y Colorado al norte y al este la cuenca del Río Negro. Las estaciones de medición de precipitación se encuentran en la región meridional de los Andes entre 35° y 43°S, abarcando las provincias argentinas de Neuquén y de Río Negro. En la provincia de Neuquén se encuentran las cuencas del río Neuquén en el norte y el río Limay en el sur. La cuenca del Río Negro se extiende desde la confluencia de los ríos Neuquén y Limay hasta su desembocadura en el mar Argentino. Mientras que al norte la cuenca del Río Colorado divide la provincia de La Pampa de la Río Negro y hacia el oeste de dicha cuenca el Río Colorado divide la provincia de Mendoza de la de Neuquén (Figura 1).



**Figura 1**-Ubicación de las estaciones analizadas (a) y localización de los embalses según AIC. (b) La figura 1b) fue extraída de <http://www.aic.gov.ar>

Para estudiar los caudales se utilizaron datos de series de caudales naturales entrantes a los embalses para lo que seguidamente se detalla: para el río Limay, aguas arriba del embalse Alicurá; Neuquén, aguas arriba del embalse Barreales. En el caso del río Negro es una serie que considera las condiciones naturales como suma de los ríos Limay y Neuquén con el fin de que el caudal del río Negro no esté afectado por la operación de los embalses “Alicurá” y “Los Barreales”. Los datos de caudal del río Colorado provienen de la estación Buta Ranquil.

Los datos de precipitación y caudal tienen todos menos del 20% de sus datos faltantes y los mismos fueron completados utilizando la media mensual del período 1985-2012, común a todas las estaciones.

Para estudiar la relación entre el caudal de cada cuenca y la precipitación mensual, se tomaron estaciones de referencia para cada cuenca en un período común. Así en la cuenca del río Limay se consideraron como estaciones representativas a Angostura (71,66°O 40,78°S) y Rahue (70,93°O 39,36°S), para la cuenca del río Neuquén a la estación Los Carrizos (70,75°O, 37,12°S), para la cuenca del río Negro a la estación Neuquén (68,08°O 38,57°S) y para la cuenca del río Colorado a la estación Buta Ranquil (69,73°O 37,1°S). Los períodos de registro se detallan en la siguiente tabla 1.

Se consideró para el estudio la precipitación anual acumulada durante el año hidrológico en cada cuenca y se la correlacionó con el caudal medio anual. También se correlacionaron los picos máximos de lluvia y caudal y se evaluó su desfase.

**Tabla 1-**Altura, ubicación y período de registro de las estaciones seleccionadas

Estación	Altura (msm)	Lat (°S)	Long (°O)	Período
Angostura	774	40,78	71,66	1976-2012
Rahue	845	39,36	70,93	1976-2012
Los Carrizos	1233	37,12	70,75	1981-2012
Neuquén	260	38,57	68,08	1951-2012
ButaRanquil	850	37,1	69,73	1970-2012

Para la zonificación de la Argentina se utilizaron datos de precipitación mensual provenientes de 67 estaciones meteorológicas para el periodo 1961-2012. Los datos fueron provistos por la red de medición del Servicio Meteorológico Nacional y de la Subsecretaria de Recursos Hídricos de la Nación. Los datos faltantes fueron completados con el valor medio de la serie correspondiente. Este estudio se realizó aplicando la metodología de Lund (1963) con un coeficiente de correlación de 0,6 a los datos de precipitación mensual en el periodo de estudio, resultando en 9 regiones con distinto régimen de precipitación anual. Luego, para calcular las tendencias de precipitación anual y estacional se consideró un ajuste lineal por el método de los cuadrados mínimos y la significancia utilizada fue del 90% y probada utilizando un test de distribución Normal.

La relación entre la variabilidad interanual de la precipitación estacional y diferentes índices representativos de forzantes atmosféricos fue analizada utilizando la metodología de correlación durante el período común 1979-2012. Las correlaciones resultaron significativas al 95% de confianza utilizando un test Normal, cuando superaron el valor 0,3. Los datos de TSM utilizados para evaluar la TSM media en la región EN3.4 provienen de HadISST1 del Hadley Centre; el índice AAO se obtuvo de Climate Prediction Center y el valor del DOI se obtuvo de la Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). La posición latitudinal del anticiclón semi permanente del Atlántico (AALAT) se obtuvo localizando el máximo de altura geopotencial en 1000 hPa con reanálisis ERA-interim de European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

## RESULTADOS

### *La relación entre los caudales y la precipitación en el norte patagónico*

Se calculó la precipitación media mensual promedio en el período de registro en las estaciones de referencia y el caudal medio mensual en las estaciones de aforo de cada uno de los ríos. Las Figuras 2a, 2b, 2c, 2d y 2e muestran dicha evolución. Puede observarse que la precipitación presenta un ciclo anual muy marcado con máximo en invierno, especialmente en junio en las cuencas de los ríos Limay (Angostura y Rahue), Neuquén

(Los Carrizos) y Colorado (Buta Ranquil) mientras que en el río Negro (Neuquén) existen 2 máximos relativos: uno en mayo y otro en octubre. La lluvia disminuye sustancialmente en los meses de verano en todas las cuencas. Sin embargo al considerar la precipitación anual media acumulada en el año calendario (Tabla 2) se observan valores muy altos en el caso de Angostura (1592,5mm con desvío estándar de 80,7mm), menores en Rahue y Los Carrizos y valores bajos en la medida que las estaciones se sitúan más al este (en las cuencas de Colorado y del Negro) disminuyendo hasta valores de 188,6 y 167,1mm respectivamente.

**Tabla 2-** Cuenca, precipitación anual media acumulada en la estación de referencia de la cuenca, valor medio, desvío estándar para el ciclo anual.

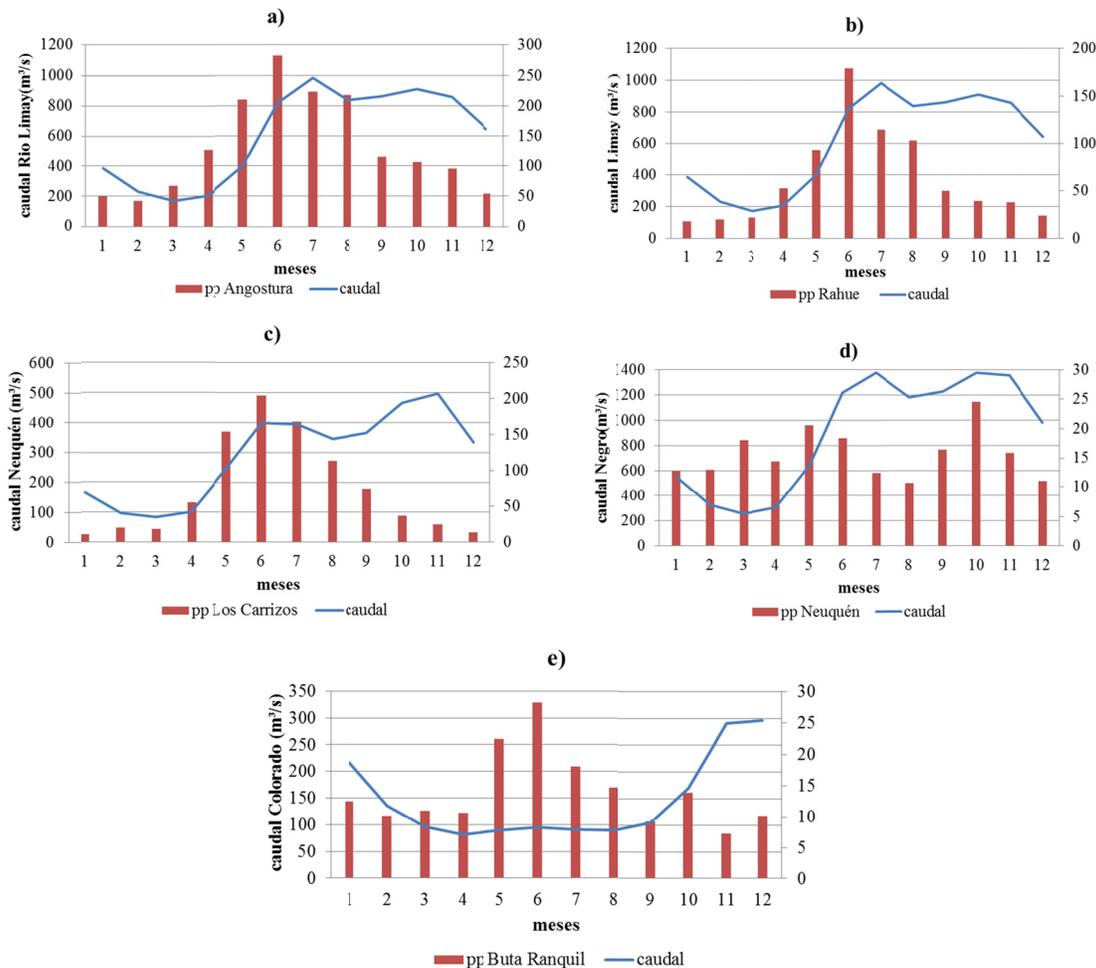
Río	pp anual (mm)	Valor medio (mm)	Desvío estándar pp(mm)
<b>LIMAY</b>	Rahue: 750,3	62,5	49,9
	Angostura: 1592,5	132,7	80,7
<b>NEUQUEN</b>	892,8	74,4	68,5
<b>NEGRO</b>	188,6	15,7	4,18
<b>COLORADO</b>	167,1	12,9	7,32

Con respecto a la evolución de los caudales medios mensuales (Fig.2a, 2b, 2c, 2d y 2e) los mismos son máximos en julio en el caso del Limay, un máximo en junio y otro en octubre en el Neuquén, un máximo en julio y otro en octubre en el Negro y máximo en diciembre en el Colorado. El caudal medio anual (Tabla 3) más grande lo registra el río Negro con 900,1 m<sup>3</sup>/s, luego los valores son menores para el Limay y el Neuquén y los más bajos se observan en el Colorado (146,4 m<sup>3</sup>/s).

**Tabla 3-**Cuenca, caudal medio anual en la estación de aforo, desvío estándar para el ciclo anual.

Río	Caudal medio anual (m <sup>3</sup> /s)	Desvío estándar (m <sup>3</sup> /s)
<b>LIMAY</b>	608,5	308,4
<b>NEUQUEN</b>	291,6	148,1
<b>NEGRO</b>	900,1	451,5
<b>COLORADO</b>	146,4	79,5

Como se sabe el año hidrológico en cada río comienza cuando se registra el mínimo caudal medio mensual. Entonces para las cuencas del Río Limay, Neuquén y Río Negro el año hidrológico comienza en el mes de Marzo mientras que para la Cuenca del Río Colorado el ciclo hidrológico comienza en Abril.



**Figura 2**–Ciclo anual de precipitación (rojo) para la cuenca del río Limay en estación Angostura (a) y en estación Rahue (b), en la cuenca del río Neuquén (c), del río Negro (d) de Buta Ranquil y del caudal del Río Colorado (e). En azul se indican los ciclos anuales de caudal en las estaciones de aforo en cada cuenca.

### *La relación entre la evolución media anual de precipitación y caudal*

En esta sección se relacionó el ciclo medio anual de precipitación en la estación de referencia con el ciclo anual de caudal para cada cuenca. También se evaluaron los picos máximos observados cada año tanto en el caudal como en la precipitación para cada año hidrológico.

El caudal medio del río Limay en el período 1976-2012 tiene un año hidrológico que comienza en marzo y termina en febrero obteniendo un pico máximo medio en julio de 983,2m³/s, desfasado un mes de la precipitación máxima registrada en Angostura (282,1mm en junio) y en Rahue (178,9 mm en junio) (Figura 2a). Otro máximo relativo se observa en octubre, generado por el aporte conjunto de la lluvia y la fusión de la nieve en primavera.

El caudal medio del río Neuquén para el período 1981-2012 tiene un año hidrológico que comienza en marzo y termina en febrero y su pico máximo medio es en Noviembre de 496,9m³/s, observándose también un pico relativo máximo en julio. Si lo comparamos con la precipitación en la estación Los Carrizos para el mismo

período que registra una máxima media de precipitación en junio de 204,0 mm, el caudal máximo medio está desfasado 1 mes (Julio) con respecto al máximo medio de precipitación

Para el caudal medio del Río Negro en el período 1951-2012 el año hidrológico comienza en marzo y termina en febrero, con un pico máximo medio en Julio de 1377,5 m<sup>3</sup>/s y otro en octubre de 1375,26 m<sup>3</sup>/s. Comparándolo con la precipitación registrada en la estación Neuquén en el mismo período se observa que el caudal máximo de julio se relaciona con el máximo de precipitación observado en mayo, es decir con un desfase de 2 meses. Además el caudal máximo observado en octubre presenta un desfase nulo con el máximo de precipitación. Este máximo está asociado no solo a la precipitación sino también al agua proveniente de deshielo si lo hubiera (Figura 2d).

Por último para el caudal medio del Río Colorado para el período 1970-2012, el año hidrológico comienza en abril y termina en marzo registrando un pico máximo medio en diciembre de 295,7m<sup>3</sup>/s. Comparando con la precipitación de la estación de referencia Buta Ranquil para el mismo período se observa que el máximo de precipitación se produce en junio y alcanza un valor de 28,2 mm, resultando un desfase de 6 meses (Figura 2e). El máximo caudal en Diciembre puede estar asociado simultáneamente a la precipitación y al posible deshielo.

#### *Relación entre la variabilidad interanual de la precipitación y el caudal*

Se analizó la relación entre la variabilidad interanual de ambas variables: precipitación anual acumulada durante el año hidrológico y caudal medio anual durante el año hidrológico. Esto difiere de las variables anuales consideradas en las secciones anteriores donde la precipitación anual se acumulaba en el año calendario al igual que el cálculo del caudal medio. La variabilidad interanual muestra la forma en que los caudales y la precipitación acumulada durante el año hidrológico varían año a año. La Tabla 4 muestra los valores medios de caudal y el valor medio de precipitación acumulada durante el año hidrológico para el período completo en cada cuenca y sus desvíos estándar. La precipitación es máxima en la cuenca del Limay (1639,7mm en Angostura y 778,7mm en Rahue), disminuye en la cuenca del Neuquén (898,1 en Los Carrizos) y es mínima en las cuencas del río Negro (194,4mm en Neuquén) y Colorado (191,7mm en Buta Ranquil). El máximo caudal se registra en el río Negro (967,9 m<sup>3</sup>/s); siguiendo el río Limay con 664,3 m<sup>3</sup>/s y finalmente el río Neuquén (298,8 m<sup>3</sup>/s) y el Colorado (155,3 m<sup>3</sup>/s).

La Tabla 5 muestra la variabilidad interanual de los máximos de precipitación y del caudal. El mayor máximo medio de lluvia se registra en la estación Angostura de la cuenca del Limay (378,9mm) siguiendo los Carrizos del río Neuquén (290mm) y con valores más bajos la estación Neuquén del río Negro (63,3mm) y la estación Buta Ranquil del río Colorado con 65,5mm. El valor de caudal máximo medio mayor se registra en río Negro (1916,9 m<sup>3</sup>/s), luego en el río Limay (1351,3 m<sup>3</sup>/s) y con menores valores el río Neuquén (653,4 m<sup>3</sup>/s) y el Colorado (390,8 m<sup>3</sup>/s).

**Tabla 4-** Valores medios, desvío estándar para la precipitación (mm) y para el caudal (m<sup>3</sup>/s) para las cuencas estudiadas.

Cuenca	pp/caudal	Estación	Valor medio	Desvío estándar
LIMAY	pp	Angostura	1639,7	375,2
		Rahue	778,7	205,4
	Caudal		644,3	149,09
NEUQUEN	pp	Los Carrizos	898,1	317,02
	Caudal		298,8	103,92
NEGRO	pp	Neuquén	194,4	81,38
	Caudal		967,9	262,05
COLORADO	pp	Buta Ranquil	191,7	86,64
	Caudal		155,3	49,88

**Tabla 5-** Valores medios, desvío estándar para los máximos medios de precipitación (mm) y de caudal (m<sup>3</sup>/s) para las cuencas estudiadas.

Cuenca	pp/caudal	Valor medio	Desvío estándar
LIMAY	Angostura	378,9	107,33
	Rahue	237,1	83,3
	caudal	1351,3	432,6
NEUQUEN	Los Carrizos	290,5	112,5
	caudal	653,4	236,6
NEGRO	Neuquén	63,3	31,93
	caudal	1916,9	573,9
COLORADO	ButaRanquil	65,5	37,02
	caudal	390,8	142,2

Con el fin de evaluar la relación entre la variabilidad interanual de la lluvia acumulada y el caudal medio en el año hidrológico se consideraron las correlaciones entre estas variables para todas las cuencas (Tabla 6). Los resultados muestran que el caudal medio anual del río Limay se correlaciona significativamente (0,76) con el 95% de confianza con la precipitación anual acumulada en Angostura durante el período 1976-2012. Para el mismo caudal y para el mismo período se correlaciona significativamente (0,88) con la precipitación anual acumulada en Rahue. Con el mismo nivel de confianza, para el período 1981-2012 el caudal medio

anual del río Neuquén se correlaciona significativamente (0,89) con la precipitación anual acumulada en la estación Los Carrizos. Por último, el caudal del río Negro se correlaciona aunque no significativamente (0,25) con la precipitación de la estación Neuquén para el período 1951-2012. Sin embargo la correlación entre el caudal del río Negro y la precipitación de la estación Angostura en la cuenca del Limay y Los Carrizos en la cuenca del río Neuquén fueron altas y significativas: 0,79 y 0,84 respectivamente, manifestando que el caudal del río Negro está ampliamente afectado por la lluvia en las cuencas del Limay y del Neuquén siendo la lluvia en ellas más representativa de su caudal que la de la estación Neuquén. El caudal medio anual del Río Colorado y la precipitación anual acumulada de Buta Ranquil presentan una correlación no significativa (0,08) para el período 1970-2012. Estos valores de correlación indican que aproximadamente un 58% del caudal medio del río Limay es explicado por la precipitación media acumulada en Angostura durante el año hidrológico mientras que el 79% del caudal medio del Neuquén es explicado por la precipitación acumulada anualmente en Los Carrizos. Esto indica que el resto de la variabilidad interanual de los caudales son explicados por otros factores entre los que se encuentran el agua proveniente de deshielo, el caudal base del año anterior, entre otros.

**Tabla 6-**Resultados de las correlaciones entre el caudal y estaciones de precipitación para el período de registro. Con excepción de estación Neuquén y Buta Ranquil, todos los coeficientes resultaron significativos con un 95%de confianza.

	Precipitación					
	Cuenca	Angostura	Rahue	Los Carrizos	Neuquén	Buta Ranquil
Caudal	LIMAY	0,76	0,88			
	NEUQUEN			0,89		
	NEGRO	0,79		0,84	0,25	
	COLORADO					0,08
	<b>Período</b>	<b>1976-2012</b>	<b>1976-2012</b>	<b>1981-2012</b>	<b>1951-2012</b>	<b>1970-2012</b>

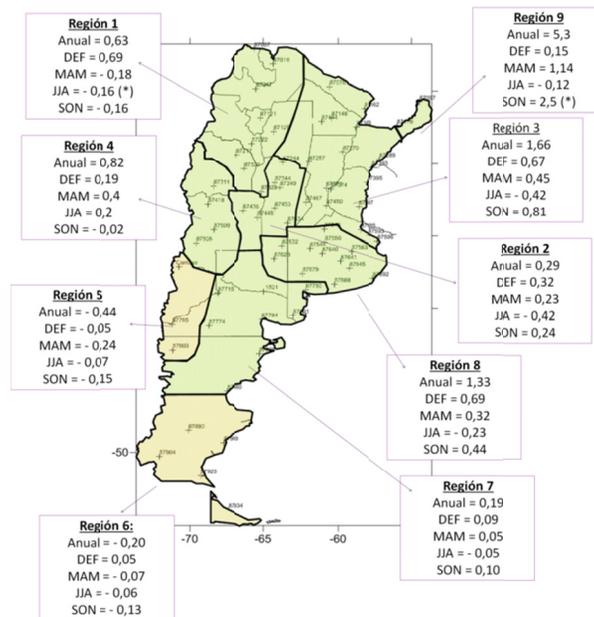
También es importante observar la relación existente entre la variabilidad interanual de los máximos de lluvia y la de los máximos de caudal. Los resultados muestran por un lado, una correlación significativa del 95% entre el pico máximo de precipitación de la estación Angostura y Rahue con el pico máximo de caudal del río Limay de 0,49 y 0,51, respectivamente. Con la misma significancia el máximo caudal del río Neuquén y la máxima precipitación de Los Carrizos presentan un coeficiente de correlación de 0,73. Con respecto al máximo caudal del río Negro y la máxima precipitación de la estación Neuquén el coeficiente de correlación es 0,15; sin embargo aumenta a 0,54 cuando se lo compara con los máximos de la estación Angostura y 0,56 con los máximos de los Carrizos. Finalmente río Colorado y la estación Buta Ranquil presenta un coeficiente de correlación de 0,39. Todos estos coeficientes son significativos con el 95% de confianza.

La variabilidad interanual del desfase entre los máximos de lluvia y de caudal fue considerada. Se puede observar que el río Limay presenta un desfase medio de 1,8 meses con respecto a Angostura y 2,1 meses con respecto a Rahue, un desfase medio en el río Neuquén de 2,5 meses, río Negro 3,8 meses y por último río Colorado de 5,3 meses.

### Las tendencias de precipitación

La aplicación de la metodología de Lund dio como resultado la definición de 9 regiones con distintos regímenes de precipitación. Para cada una de las regiones obtenidas se construyó la serie promedio areal de precipitación para todas las estaciones incluidas en ellas. A estas series se les calculó la tendencia lineal, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 3.

Con un 90% de confianza se puede afirmar que la tendencia anual de precipitación es negativa en la zona del Comahue (región 5). En todo el territorio este de la Argentina se observan tendencias positivas en verano, otoño y primavera y negativas en invierno (regiones 7 y 8).



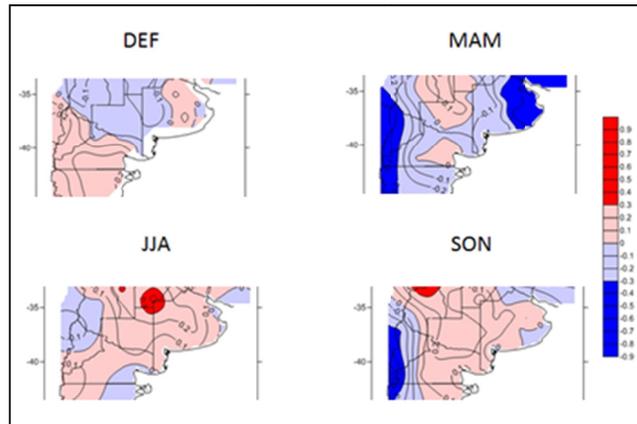
**Figura 3** – Estaciones empleadas en el estudio y regiones según su régimen de precipitación. Las zonas sombreadas en verde poseen tendencia anual positiva y las zonas en naranja tendencia anual negativa, en mm/año. Las tendencias marcadas con (\*) resultaron significativas con un 90% de confianza.

### Los forzantes de variabilidad interanual de la precipitación

Para el estudio de la variabilidad interanual se calcularon los campos espaciales de correlación entre la precipitación estacional y diferentes índices.

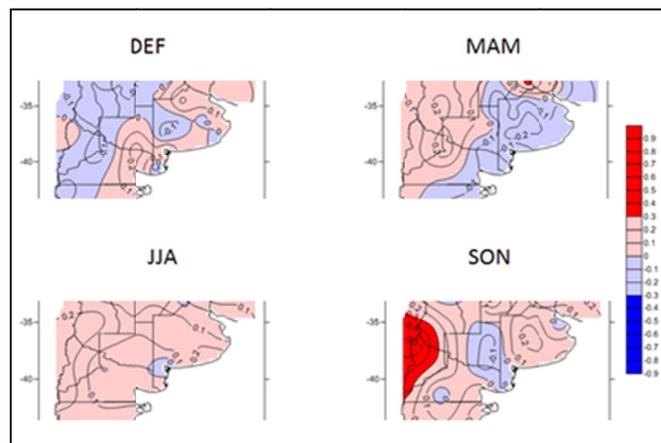
El campo de correlación de la precipitación estacional y la Oscilación Antártica puede verse en la Figura 4. En el caso de una fase positiva de la AAO, el flujo zonal en el océano Pacífico se ve intensificado y, entonces, se registran lluvias inferiores a la media en la cordillera Patagónica en los meses de otoño y

primavera. Como se produce un menor intercambio de energía entre latitudes altas y medias también se registran lluvias que superan la media en invierno en el noroeste de Buenos Aires y en primavera en el norte de Neuquén.



**Figura 4** – Campo de correlación entre la precipitación estacional y el índice de la Oscilación Antártica (AAO) para el periodo 1979-2012. Los valores intensos corresponden a correlaciones significativas.

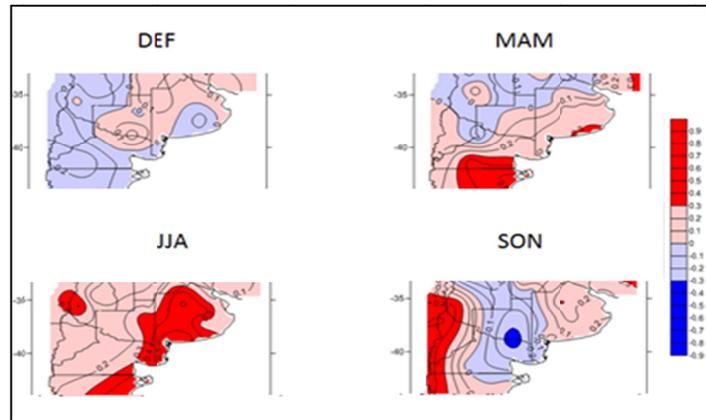
Analizando la correlación entre la precipitación estacional y el Dipolo del Océano Índico en la Figura 5 se obtuvo que si se registra un calentamiento de la región sudoeste del Océano Índico y un enfriamiento de la región noreste, es decir la fase positiva del DMI, mayores precipitaciones se observan en primavera en la región cordillerana del Comahue. En esta zona, en las demás estaciones no se ve una señal significativa de correlación entre ambas variables.



**Figura 5** – Campo de correlación entre la precipitación estacional y el índice del Dipolo del Océano Índico (DMI) para el periodo 1979-2012. Los valores intensos corresponden a correlaciones significativas.

El fenómeno del ENOS tiene particular influencia sobre las precipitaciones en el país, especialmente en primavera. Analizando los campos de correlación de la Figura 6 se obtuvo que en presencia de una fase cálida del ENOS, es decir, durante un evento El Niño, las precipitaciones registran un aumento respecto de su media en otoño en el sur de la provincia de Río Negro. Durante el invierno, la precipitación registra aumentos principalmente en la región central y sur de Buenos Aires y la costa de Río Negro y Chubut. En primavera es cuando la señal presenta mayor intensidad, provocando mayores precipitaciones en el oeste de

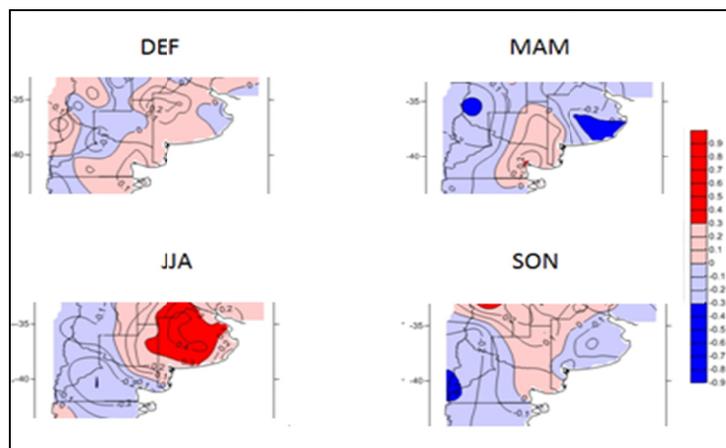
la Patagonia, y menores lluvias en el centro norte de Río Negro.



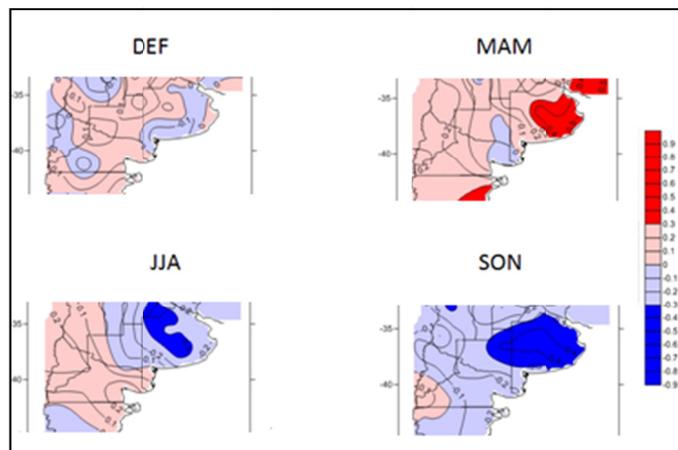
**Figura 6** – Campo de correlación entre la precipitación estacional y el índice de El Niño 3.4 para el periodo 1979-2012. Los valores intensos corresponden a correlaciones significativas.

En el caso de la correlación entre la precipitación estacional y el Anticiclón semipermanente del océano Atlántico en la Figura 7a se obtuvo que cuando la intensidad del anticiclón es mayor, las lluvias aumentan significativamente por sobre el valor normal durante el invierno en la provincia de Buenos Aires. Durante el otoño, en cambio, se registran disminuciones de la precipitación respecto de su media en el centro sur de Buenos Aires y durante la primavera en el sur de Neuquén. Para el caso de la posición latitudinal (Figura 7b), se observa que cuando el anticiclón se encuentra más al norte hay más precipitación en este de Buenos Aires en otoño y menos precipitación en Buenos Aires en invierno y primavera. Por último, teniendo en cuenta la posición longitudinal (Figura 7c) se puede observar que si el anticiclón se encuentra más al este entonces llueve menos en Buenos Aires y la zona cordillerana de la región de estudio en verano y otoño. En cambio, si se encuentra más al oeste llueve más en las mismas zonas. Para el resto del territorio de la región, los cambios están presentes pero no son significativos.

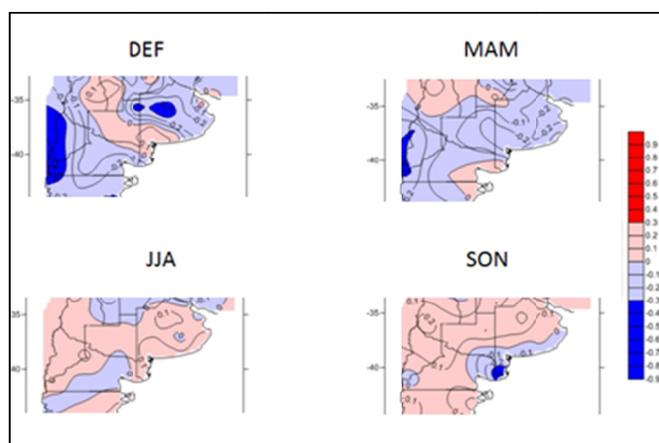
(a)



(b)



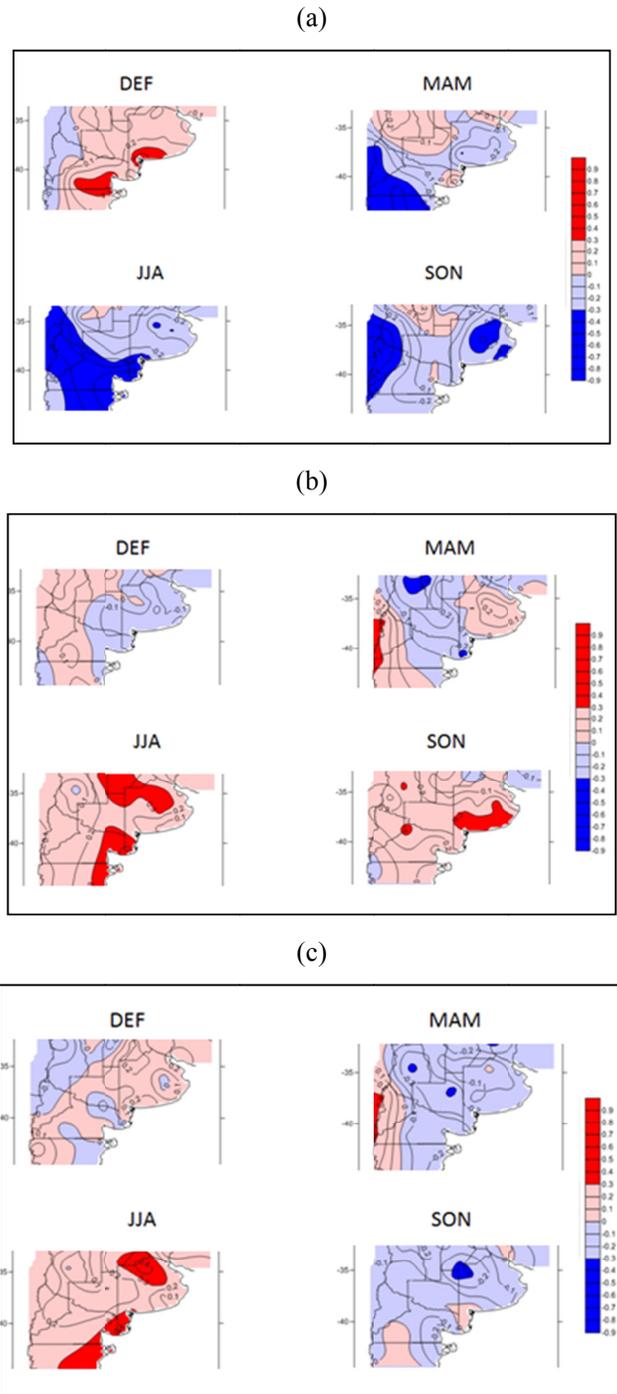
(c)



**Figura 7** – Campo de correlación entre la precipitación estacional y la intensidad (a), ubicación latitudinal (b) y longitudinal (c) del Anticiclón semipermanente del océano Atlántico para el periodo 1979-2012. Los valores intensos corresponden a correlaciones significativas.

En el caso de la correlación entre la precipitación estacional y el Anticiclón semipermanente del océano Pacífico en la Figura 8 se obtuvo que si el anticiclón es más intenso (Figura 8a), entonces se registrará un aumento significativo en las precipitaciones para el verano en el sur de Buenos Aires y centro sur de Río Negro. En las demás estaciones, al tener un anticiclón más intenso se generan disminuciones significativas de precipitación en el centro sur de Río Negro y Neuquén en otoño, centro sur de la región de estudio en invierno y durante la primavera en el centro de Buenos Aires y la provincia de Neuquén. Si se estudia la correlación de la lluvia con la posicional latitudinal del anticiclón (Figura 8b) se puede observar que cuando el anticiclón se encuentra más al norte se registran precipitaciones por encima de la media en la cordillera de Neuquén en otoño, norte de Buenos Aires y este de Río Negro durante el invierno y centro sur de Buenos

Aires durante la primavera. Por último, si se analiza también la posición longitudinal (Figura 8c) se obtiene que si el anticiclón se encuentra más al este se generan mayores precipitaciones en la zona central y norte de Buenos Aires y este de Río Negro para el invierno.



**Figura 8** – Campo de correlación entre la precipitación estacional y la intensidad (a), ubicación latitudinal (b) y longitudinal (c) del Anticiclón semipermanente del océano Pacífico para el periodo 1979-2012. Los valores intensos corresponden a correlaciones significativas.

## CONCLUSIONES

Se consideraron 4 cuencas del norte patagónico correspondientes a los ríos Limay, Neuquén Colorado y Negro. El estudio del ciclo anual de precipitación y caudal mostró un año hidrológico que comienza en otoño para todos los ríos. Excepto el Colorado, el máximo caudal se produce en el invierno y primavera; para el Colorado este máximo está desplazado al verano. El ciclo anual de caudales responde al ciclo anual de precipitación con desfase entre los picos de caudal y lluvia que depende de la cuenca. La variabilidad interanual de los caudales medios y de la precipitación acumulada durante el año hidrológico muestra una buena relación indicando que los valores de lluvia se reflejan en los caudales en las cuencas del Limay y del Neuquén mientras que el caudal del río Negro se relaciona mejor con la precipitación en las cuencas del río Limay y Neuquén. Lo mismo se observa para la relación entre los máximos valores de lluvia y caudal. La cuenca del río Colorado no presenta esta relación entre lluvia y caudal.

Con respecto al estudio de las tendencias de precipitación anual, la región del Comahue presentó una tendencia negativa (-0,44 mm/año) con un 90% de confianza. Los forzantes climáticos de variabilidad interanual mostraron que la precipitación se ve favorecida en el oeste de la región por la fase cálida del ENOS en primavera, la fase negativa de la Oscilación Antártica en otoño y primavera y el corrimiento del anticiclón del Atlántico hacia el oeste en verano y otoño. Al este de la región se confirma que la precipitación se ve favorecida por la fase cálida del ENOS en invierno y otoño y la fase positiva del Dipolo del Índico en primavera; y en toda la región cuando el anticiclón del Pacífico está debilitado, principalmente en otoño, invierno y primavera.

## REFERENCIAS

- Aravena, JC y Luckman, BH. Spatio-temporal patterns in Southern South America. *Int. J. Climatol.* 2008; DOI: 10.1002/joc.1761.
- Barros VR y Mattio HF. Tendencias y fluctuaciones en las precipitaciones de la región patagónica. *Meteorológica* 1978; VIII-IX 237-248.
- Barros V R y Rodríguez Sero JA. Estudio de las fluctuaciones y tendencias de la precipitación en el Chubut utilizando funciones ortogonales empíricas. *Geoacta* 1979; 10 (1) 1979-204.
- Castañeda ME y González MH. Some aspects related to precipitation variability in the Patagonia region in Southern South America. *Atmósfera* 2008; 21(3) 303-317.
- González MH y Vera CS. On the interannual winter rainfall variability in Southern Andes. *International Journal of Climatology* 2010; 30 643-657.
- González MH, Skansi MM y Losano F. A statistical study of seasonal winter rainfall prediction in the Comahue region (Argentina). *Atmósfera* 2010; 23 (3) 277-294.
- González MH y Cariaga ML. Estimating winter and spring rainfall in the Comahue region (Argentina) using statistical techniques. *Advances in Environmental Research* 2011; 11, 103-118.
- González, Marcela Hebe y Herrera Natalia, 2013. "Statistical prediction of Winter rainfall in Patagonia (Argentina)", in "Horizons in Earth Science Research. Volume 11", Editor: Jodi Schlapa, NOVA Publisher, NY, USA. En prensa
- González, Marcela Hebe, 2013. "Some indicators of interannual rainfall variability in Patagonia (Argentina)", Chapter 6 en el libro *Climate Variability □ Regional and Thematic Patterns*, Editor: Dr. Aonover Tarhule.
- Russian G, Agosta E y Compagnucci RH. Variabilidad interanual e interdecádica de la precipitación en la Patagonia norte. *Geoacta* 2010; 35 27-43.
- Olga Scarpati, Eduardo Kruse, Marcela Hebe Gonzalez, Alberto Ismael, Juan Vich, Alberto Daniel Capriolo, Ruben

Mario Caffera, 28 de marzo de 2014, Chapter 23, "Updating the hydrological knowledge: a case of study", Handbook of Engineering Hydrology, Vol. 3: Environmental Hydrology and River Management. Editor: Prof Saeid Eslamian, Taylor & Francis. 443-457.