

# **Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**



**ASAGAI**  
ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Córdoba - Argentina

# INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la "Tambería de Guandacol" (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios	<i>Martinez, Amancay - Sales, Daniel</i>	1
Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte	<i>Romero, Paula Elisa - González, Marcela Hebe</i>	7
Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires	<i>Lic. Schomwandt, David - Esp. Lic. Lucioni, Nora - Dra. Andrade, María Isabel</i>	15
Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos	<i>Galiano, Valdir Aparecido - Lorandi, Reinaldo - de Lollo, José Augusto</i>	29
Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)	<i>Pizzolon, Lino - Omad, Guillermo - Weidl, Mariana - Claverie, Horacio</i>	41
Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta	<i>Gonzalez, M. A. - Chayle, W.</i>	55
Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)	<i>Avila, Laura Sonia del C.</i>	63
Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón	<i>Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina</i>	77
Reseña de Libros. Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas	<i>Sarra Pistone, Raúl</i>	87
Instrucciones para autores		93
Formulario de suscripción o compra		97



## Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte

## Relationship between flow and precipitation in some basins of northern Patagonia

Romero, Paula Elisa ✉ - González, Marcela Hebe

Recibido: 4 de mayo de 2015 • Aceptado: 4 de marzo de 2016

### Resumen

*El objetivo del presente estudio preliminar es establecer la relación existente entre el ciclo anual medio de caudal y el de precipitación en una estación representativa de las cuencas 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 que producen especialmente el cultivo de frutales. Los datos utilizados fueron la precipitación mensual acumulada diferentes periodos de acuerdo a la cuenca para cinco estaciones y datos mensuales de caudal de los ríos Limay, Neuquén, Colorado y Negro provenientes de diferentes fuentes. Los resultados indican que 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. 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 precipitación 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 precipitación y caudal. La cuenca del río Colorado no presenta esta relación entre precipitación y caudal.*

**Palabras clave:** precipitación, caudal, correlación, tendencia.

### Abstract

*The aim of this preliminary study is to establish the relationship between the mean annual rainfall cycle and flow in a representative station in the basins of Limay, Neuquén, Negro and Colorado rivers. The first two are relevant in terms of hydropower generation and the last two are quite arid valleys but it is especially relevant fruit production. The data used were cumulative monthly rainfall for different periods in each basin for 5 stations and monthly flow data of the Limay, Neuquén, Colorado and Negro rivers from different sources.*

*The results indicate that in the Limay river the hydrological year begins in March with peak flows in July, with a gap of one month from the average monthly maximum precipitation. The interannual variability of mean flows and cumulative rainfall during the hydrological year shows a good relationship indicating that rain values are reflected in the flows in the*

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - FCEN-UBA.

Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera - CONICET/UBA; UMI-FAECI/CNRS

✉ paulaelisaromero@gmail.com

*basins of the Limay and Neuquén while the Negro river flow associated with better precipitation in the basins of the rivers Limay and Neuquén. The same is observed for the relationship between the maximum values of rain and flow. The Colorado River Basin is no relationship between rainfall and flow.*

**Keywords:** *rainfall, flow, correlation, trend.*

## INTRODUCCIÓN

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 precipitaciones invernales mientras que hacia el este en la Patagonia las precipitaciones 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 precipitaciones 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 precipitaciones 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, 2014) y estudiaron forzantes de teleconexiones presentes en los patrones asociados a la precipitación (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.

## DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos de precipitación mensual que fueron utilizadas 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 cuatro 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 (49958 km<sup>2</sup>) y el río Limay en el sur (área: 56000 km<sup>2</sup>). La cuenca del Río Negro (área: 125500 km<sup>2</sup>) 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 (área: 47458 km<sup>2</sup>) 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).

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. 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) con un porcentaje de aporte del 3%, para la cuenca del río Negro a la estación Neuquén (68,08°O 38,57°S) con un porcentaje de aporte del 71% y para la cuenca del río Colorado a la estación Buta Ranquil (69,73°O37,1°S) con un porcentaje de aporte del 32%. Los períodos de registro se detallan en la siguiente tabla 1:

**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
Buta Ranquil	850	37,1	69,73	1970-2012

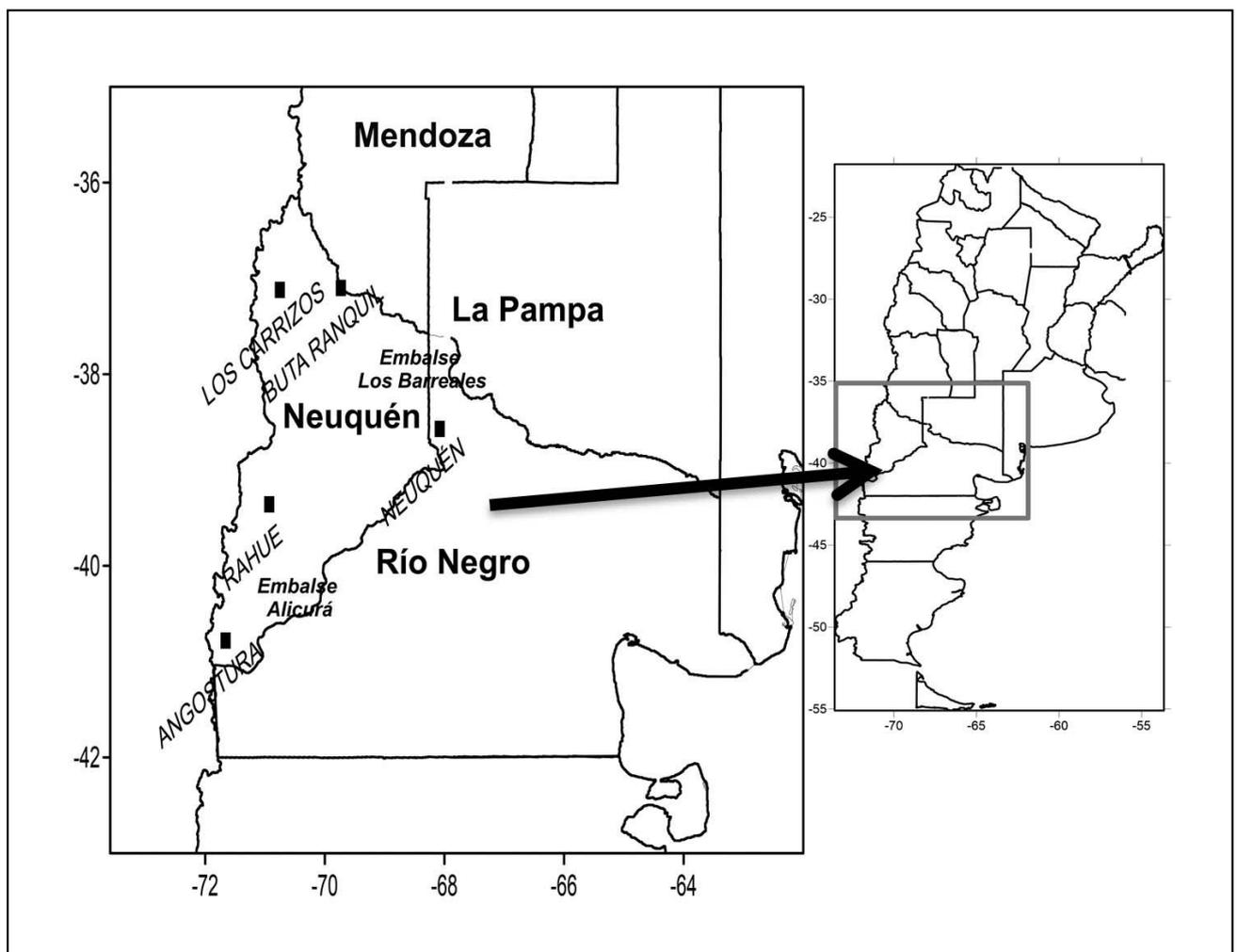
Se consideró para el estudio la precipitación anual acumulada durante el año hidrológico en cada cuenca y se la correlacionó con el caudal medio anual. También se correlacionaron los picos máximos de precipitación y caudal y se evaluó su desfase.

Para el análisis de tendencias se usó un ajuste lineal por cuadrados mínimos y la significancia se evaluó aplicando un test T-Student (Wilks, 2010) al coeficiente de correlación lineal.

## RESULTADOS

### La evolución media anual de la precipitación y del caudal

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 precipitación 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 mm con desvío estándar de 80 mm), 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 mm y 167 mm respectivamente. Al realizar el cociente entre el desvío y la media por el cual se obtiene la variabilidad relativa da como resultado que es mayor en la cuenca de los ríos Neuquén y Limay, disminuyendo en la cuenca de los ríos Colorado y Negro.



**Figura 1. Ubicación de las estaciones analizadas y localización de los embalses según AIC.**

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

Río	Precipitación anual (mm)	Valor medio (mm)	Desvío (mm)	Variabilidad estándar relativa
LIMAY	Rahue: 750	62	49	0,79
	Angostura: 1592	132	80	0,61
NEUQUEN	892	74	68	0,92
NEGRO	188	15	4	0,26
COLORADO	167	12	7	0,56

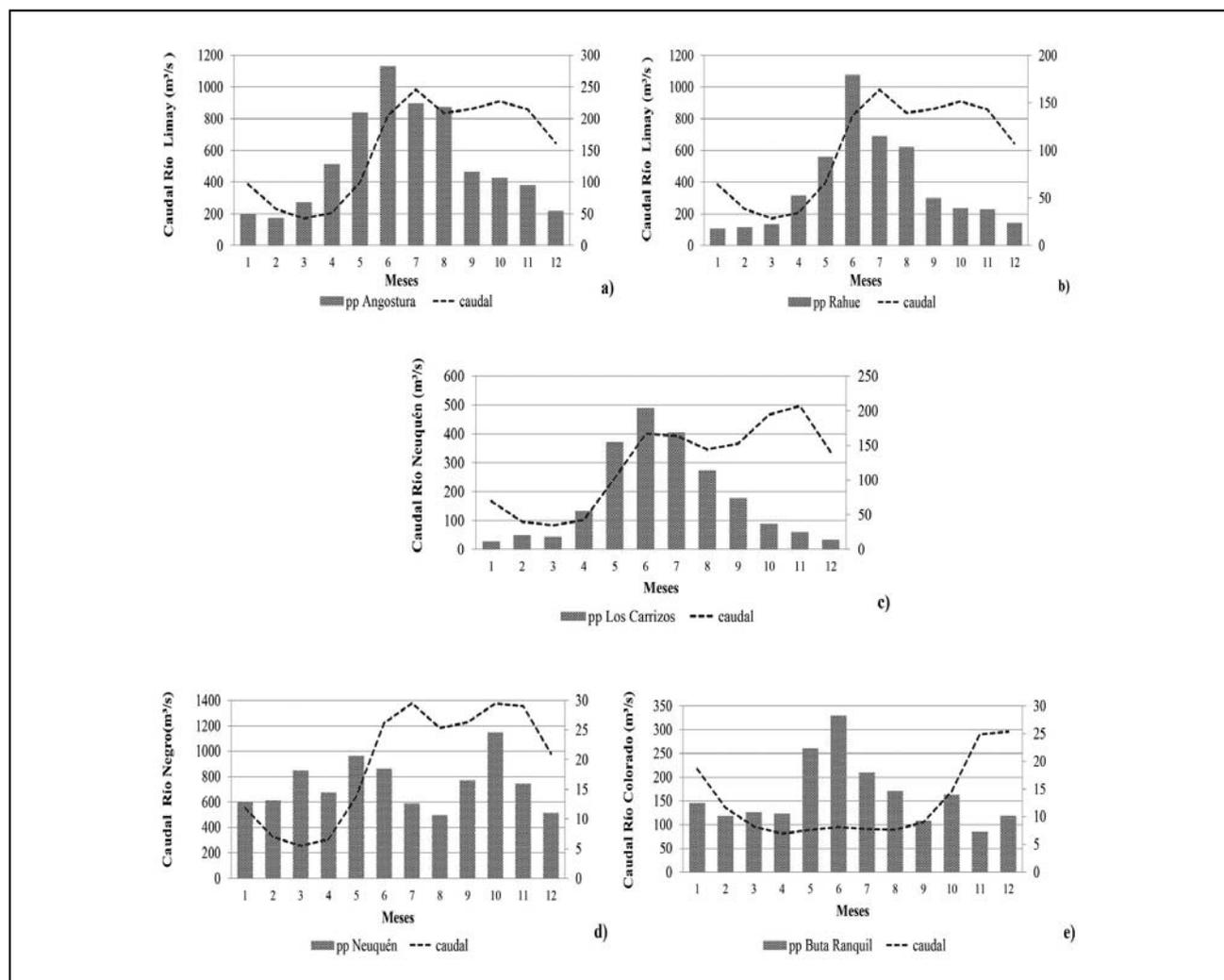
Con respecto a la evolución de los caudales medios mensuales (Figuras 2a, 2b, 2c, 2d y 2e) los mismos son máximos en julio en el caso del Limay, un máximo en junio y otro en octubre en el Neuquén, un máximo en julio y otro en octubre en el Negro y máximo en diciembre en el Colorado. El caudal medio anual (Tabla 3) mayor lo registra el río Negro con 900 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 m<sup>3</sup>/s). Los resultados

indican que la variabilidad relativa es similar en las 4 cuencas con valores que oscilan entre el 50% en el río Negro al 54% en el río Colorado.

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

Río	Caudal medio anual (m <sup>3</sup> /s)	Desvío estándar(m <sup>3</sup> /s)	Variabilidad relativa
LIMAY	608	308	0,51
NEUQUEN	291	148	0,52
NEGRO	900	451	0,50
COLORADO	146	79	0,54

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 (sombra) 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 líneas punteadas se indican los ciclos anuales de caudal en las estaciones de aforo en cada cuenca.**

### Las tendencias de precipitación y de caudal

Se calculó la precipitación anual acumulada durante el año hidrológico para cada estación de referencia durante todo el período de registro. Por ejemplo, para la estación Angostura se computó la precipitación acumulada desde marzo de cada año hasta febrero del año siguiente. Se evaluó la tendencia lineal de dichas series ajustando la recta de mínimos cuadrados. También se consideraron los caudales medios anuales y se evaluó la existencia de tendencia por el mismo método. Los resultados se muestran en la Tabla 4 y Tabla 5. La tabla 4 muestra las cuencas, la estación representativa de precipitación, período, pendiente y coeficiente de correlación de la regresión lineal utilizada para ajustar la tendencia de la precipitación acumulada en el año hidrológico. La tabla 5 detalla el coeficiente de correlación de la regresión lineal utilizada para ajustar la tendencia del caudal medio en el año hidrológico en cada cuenca. Ningún coeficiente de correlación resultó significativo con el 95% de confianza.

**Tabla 4. Pendiente de las rectas que ajustan la precipitación anual en cada cuenca.**

Río	Estación	Período	Pendiente	r
LIMAY	Angostura	1976-2012	-5,6	-0,16
	Rahue	1976-2012	-2,92	-0,15
NEUQUEN	Los Carrizos	1981-2012	3,27	0,09
NEGRO	Neuquén	1951-2012	-0,04	-0,009
COLORADO	Buta Ranquil	1970-2012	-2,56	-0,37

**Tabla 5. Pendiente de las rectas que ajustan el caudal medio anual en cada cuenca.**

Río	Período	Pendiente	r
LIMAY	1976-2012	-3,94	-0,23
NEUQUEN	1981-2012	-2,05	-0,18
NEGRO	1951-2012	-2,47	-0,17
COLORADO	1970-2012	-0,82	-0,21

Se observó que, con excepción de Los Carrizos, las pendientes de la precipitación acumulada en el año hidrológico fueron negativas, aunque no significativas al 95%. Sin embargo, al analizar el caudal medio en el año hidrológico todos los caudales presentaron pendientes negativas, aunque no significativas.

### 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 m<sup>3</sup>/s, desfasado un mes de la precipitación máxima registrada en Angostura (282 mm en junio) y en Rahue (178 mm en

junio) (Figura 2a). Otro máximo relativo se observa en octubre, generado por el aporte conjunto de la precipitación 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 m<sup>3</sup>/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 mm, el caudal máximo medio está desfasado 1 mes (julio) con respecto al máximo medio de precipitación. El máximo caudal observado en noviembre es la suma de los aportes de precipitación y deshielo en la primavera.

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 m<sup>3</sup>/s y otro en octubre de 1375 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 m<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 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 3.1 y 3.3 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 6 muestra los valores medios de caudal y el valor medio de precipitación acumulada durante el año hidrológico para el período completo en cada cuenca, sus desvíos estándar y su variabilidad relativa. La precipitación es máxima en la cuenca del Limay (1639 mm en Angostura y 778 mm en Rahue), disminuye en la cuenca del Neuquén (898 mm en Los Carrizos) y es mínima en las cuencas del río Negro (194 mm en Neuquén) y Colorado (191 mm en Buta Ranquil) mientras que las variabilidades relativas son máximas en las cuencas del Colorado (45%) y del Negro (42%) disminuyendo hacia el Neuquén (35%) y el Limay (23 y 26%). El máximo caudal se registra en el río Negro (967,9 m<sup>3</sup>/s); siguiendo el río Limay con 664 m<sup>3</sup>/s y finalmente el río Neuquén (298 m<sup>3</sup>/s) y el Colorado (155 m<sup>3</sup>/s). Las variabilidades relativas de los caudales son del mismo orden variando entre 27% en el río Limay y el 35% en el río Neuquén.

La Tabla 7 muestra la variabilidad interanual de los máximos de precipitación y del caudal. El mayor máximo medio de precipitación se registra en la estación Angostura de la cuenca del Limay (378 mm) siguiendo los Carrizos del río Neuquén (290 mm) y con valores más bajos la estación Neuquén del río Negro (63 mm) y la estación Buta Ranquil del río Colorado con 65 mm. No obstante, estos dos últimos ríos registran las máximas variabilidades de precipitación, 50 y 57% respectivamente mientras que la variabilidad relativa en el río Neuquén es del 38% en el Limay del 28%, el desvío y la variabilidad relativa de los picos máximos observados tanto de precipitación como de caudal. El valor de caudal máximo medio mayor se registra en río Negro (1916 m<sup>3</sup>/s), luego en el río Limay (1351 m<sup>3</sup>/s) y con menores valores el río Neuquén (653 m<sup>3</sup>/s) y el Colorado (390 m<sup>3</sup>/s).

**Tabla 6. Valores medios, desvío estándar y variabilidad relativa para la precipitación (mm) y para el caudal (m<sup>3</sup>/s) para las cuencas estudiadas.**

Cuenca	pp/caudal	Estación	Valor medio (mm)	Desvío estándar (mm)	Variabilidad relativa
LIMAY	pp	Angostura	1639	375	0,23
		Rahue	778	205	0,26
	Caudal		644	149	0,27
NEUQUEN	pp	Los Carrizos	898	317	0,35
	Caudal		298	103	0,35
NEGRO	pp	Neuquén	194	81	0,42
	Caudal		967	262	0,27
COLORADO	pp	Buta Ranquil	191	86	0,45
	Caudal		155	49	0,32

**Tabla 7. Valores medios, desvío estándar y variabilidad relativa para los máximos medios de precipitación (mm) y de caudal (m<sup>3</sup>/s) para las cuencas estudiadas.**

Cuenca	pp/caudal	Valor medio (mm)	Desvío estándar (mm)	Variabilidad relativa
LIMAY	Angostura	378	107	0,28
	Rahue	237	83	0,35
	caudal	1351	432	0,32
NEUQUEN	Los Carrizos	290	112	0,38
	caudal	653	236	0,36
NEGRO	Neuquén	63	31	0,50
	caudal	1916	573	0,29
COLORADO	Buta Ranquil	65	37	0,57
	caudal	390	142	0,36

Con el fin de evaluar la relación entre la variabilidad interanual de la precipitación acumulada y el caudal medio en el año hidrológico se consideraron las correlaciones entre estas variables para todas las cuencas (Tabla 8). 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. 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 precipitación en las cuencas del Limay y del Neuquén siendo la precipitación en ellas más representativa de su caudal que la de la estación Neuquén. La estación Neuquén no es representativa del caudal en la cuenca del río Negro debido a que el régimen viene dado por las precipitaciones en la alta cuenca (área cordillerana) más el efecto atenuador y amortiguador de los embalses. La estación Neuquén corresponde a la de menor registro de precipitación y las precipitaciones aumentan tanto hacia la cordillera como hacia el este registrando alrededor de 200 mm anuales en Neuquén hasta 400mm o 500 mm anuales en Viedma (situada en la costa del Océano Atlántico). En verano el sector de valle medio e inferior pueden recibir precipitaciones intensas, pero que tampoco llegan a ser significativas para cambiar el régimen de escurrimiento. Por último, 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.

**Tabla 8. Correlaciones entre el caudal y estaciones de precipitación para el periodo de registro.**

		Precipitación				
		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
	Período	1976-2012	1976-2012	1981-2012	1951-2012	1970-2012

También es importante observar la relación existente entre la variabilidad interanual de los máximos de precipitación 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 precipitación 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 el río Colorado un desfase de 5,3 meses.

### 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 precipitación que depende de la cuenca. Las tendencias de precipitación y de caudal a largo plazo fueron todas negativas, aunque

no significativas con el 95% de confianza. 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 precipitación 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.

### AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Meteorológico Nacional por la provisión de datos de precipitación y a la Administración Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Negro, Neuquén y Limay (AIC), Recursos Hídricos de la Nación Argentina y al Comité Interjurisdiccional del Río Colorado por los datos de caudal y precipitación. También al proyecto UBACyT 2013-2016 20620120100003BA y UBACyT 2014-2017 20020130100133BA por la financiación.

### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ARAVENA, J.C Y LUCKMAN, B.H., 2008.  
Spatio-temporal patterns in Southern South America.  
*International Journal of Climatology*; DOI: 10.1002/joc.1761.
- BARROS V.R Y MATTIO H.F., 1978.  
Tendencias y fluctuaciones en las precipitaciones de la región patagónica.  
*Meteorológica*; VIII-IX 237-248.
- BARROS V.R Y RODRIGUEZSERO J.A., 1979.  
Estudio de las fluctuaciones y tendencias de la precipitación en el Chubut utilizando funciones ortogonales empíricas.  
*Geoacta*; 10 (1) 1979-204.
- CASTAÑEDA M. E Y GONZÁLEZ M.H., 2008.  
Some aspects related to precipitation variability in the Patagonia region in Southern South America.  
*Atmósfera*; 21(3) 303-317.
- GONZÁLEZ M. H Y VERA C. S., 2010.  
On the interannual winter rainfall variability in Southern Andes.  
*International Journal of Climatology*; 30 643-657.
- GONZÁLEZ M.H, SKANSI Y F.A LOSANO, 2010.  
Statistical study of seasonal winter rainfall prediction in the Comahue region (Argentina).  
*Atmósfera*; 23 (3) 277-294.
- GONZÁLEZ M.H Y CARIAGA M.L., 2011.  
Estimating winter and spring rainfall in the Comahue region (Argentina) using statistical techniques.  
*Advances in Environmental Research*; 11, 103-118.
- GONZÁLEZ, M.H Y N. HERRERA, 2014.  
Statistical prediction of Winter rainfall in Patagonia (Argentina), in Horizons in Earth Science Research. Volume 11, Editor: Benjamin Veress and Jozsi Szigethy, NOVA Publisher, NY, USA.
- GONZÁLEZ, M.H., 2013.  
Some indicators of interannual rainfall variability in Patagonia (Argentina), Chapter 6 en el libro *Climate Variability - Regional and Thematic Patterns*, Editor: Dr. Aondover Tarhule.
- RUSSIAN G Y E. AGOSTA, 2010.  
Variabilidad interanual e interdecádica de la precipitación en la Patagonia norte.  
*Geoacta*; 35 27-43.
- SCARPATI O.; E. KRUSE, M.H. GONZALEZ, A. ISMAEL; J. VICH; A. D. CAPRIOLO Y R.M. CAFFERA, 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.
- WILKS, D.S, 2010.  
Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.  
dt. Academic Press, 467p. London.



# ASAGAI

ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la "Tambería de Guandacol" (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios

*Martinez, Amancay - Sales, Daniel A.*

Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte

*Romero, Paula Elisa - González, Marcela Hebe*

Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires

*Lic. Schomwandt, David - Esp. Lic. Lucioni, Nora - Dra. Andrade, María Isabel*

Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos

*Galiano, Valdir Aparecido - Lorandi, Reinaldo - de Lollo, José Augusto*

Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)

*Pizzolon, Lino - Omad, Guillermo - Weidl, Mariana - Claverie, Horacio*

Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta

*Gonzalez, M. A. - Chayle, W.*

Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)

*Avila, Laura Sonia del C.*

Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón

*Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina*

Reseña de Libros. Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas

*Sarra Pistone, Raúl*

Portada: Playa del Camping Americano en Monte Hermoso. Provincia de Buenos Aires. *Fotografía Jorge Caló, Ricardo Caputo, Claudina Di Martino y Angel Marcos.*

**Revista de Geología  
Aplicada a la Ingeniería  
y al Ambiente**

