

ANALISIS DE AUTOCORRELACIONES EN SERIES
HIDROLOGICAS ANDINAS

Martha C. Carletto, Juan L. Minetti, María I. Menegazzo de García, Patricia M. Barbieri.

Centro de Investigaciones Regionales de San Juan (CIRSAJ)
Universidad Nacional de San Juan

San Juan, República Argentina

RESUMEN

Se ha realizado una evaluación de los procesos temporales contenidos en series hidrológicas de ríos andinos. Analizando los correlogramas de las series en estudio, se han encontrado en ellos dependencias importantes entre los escurrimientos de un ciclo hidrológico y su consecutivo, y otras de rezagos 7 y 11-12 años, particularmente los ríos Jáchal, San Juan, Mendoza y Tunuyán.

El 33,4 % de las series muestran un comportamiento definidamente aleatorio, y ninguna de ellas parece responder a un proceso autorregresivo de tipo Markov.

Las series de precipitación regional en Chile, entre latitudes de 32,5° y 35,5° S, muestran correlogramas semejantes a los de los ríos del Norte de la zona de Cuyo en los rezagos de 11-12 años.

ABSTRACT

An evaluation of the hydrological processes involved in the time series of the andean rivers runoff is done.

Series correlograms are analysed; important dependences between one hydrological annual cycle runoff with its consecutive one are found. Other significant autocorrelation at lag 7 and 11-12 years, in particular for the Jáchal, San Juan, Mendoza and Tunuyán rivers, are also found.

It has been observed that 33,4 % of series are random and all of them do not behave as Autorregressive Processes like Markov processes.

Regional rainfall series between 32,5° and 35,5° S in Chile and the North Cuyan runoff series are compared showing similar correlograms at lags 11 - 12 years.

INTRODUCCION

Es ampliamente conocida la dependencia de la economía regional cuyana con el régimen de los escurrimientos superficiales de los ríos (Consejo Federal de Inversiones, CEPAL, 1969), en una zona de clima árido (Burgos y Vidal, 1951).

El régimen de variabilidad periódica y aperiódica ha sido estudiado por Menegazzo de García y otros (Parte I y II, 1983a, 1983b), sin tener en cuenta la estructura temporal de la variabilidad en el caso aperiódico. Esta última característica de variación que va desde las fluctuaciones rápidas, alta frecuencia (Minetti y otros, 1982) y las fluctuaciones lentas, baja frecuencia (Carmona y otros, información no publicada, 1962) incluyendo en estas últimas a la tendencia (Anales Hidrológicos de Agua y Energía de la Nación, 1980) ha mostrado su efecto adverso en la economía cuyana para el período 1967 - 1972 (Jornadas del Agua y del futuro regional de Mendoza, 1977; Primera Jornada de Nivoglaciología 1969), donde fueron tratados aspectos de las áreas de Hidrología, Climatología, Nivoglaciología, Geología, Geomorfología de Cuencas.

En la mayor parte de los análisis realizados hasta el momento, se ha puesto especial énfasis en la tendencia decreciente de los ríos del norte de Cuyo y hasta la fecha no existe un trabajo integral que analice todas las componentes de la variabilidad de las series hidrológicas en la región, como un proceso temporal, tratando de hacer inferencias de tipo físico-causal.

MATERIALES y METODOS

Se ha trabajado con las series hidrológicas editadas por Agua y Energía (1981). Simultáneamente se analizaron las series de precipitaciones regionales de la República de Chile discriminadas por bandas de latitud (Minetti, 1984) y obtenidas por CORFOP (1981). Se han obtenido tendencias por mínimos cuadrados, autocovarianzas, autocorrelaciones y límites de confianza para estas últimas según Yevjevich (1972), Kendall (1976), Larraín Bascuñán (1981), Climate Change (1979), Kendall y Stuart (1976), Del Pino (1983).

A los efectos de comparar resultados de análisis de series hidrológicas con procesos conocidos, se han obtenido autocorrelaciones y autocovarianzas de series aleatorias, Chatfield (1980), Kendall (1976), y aleatorias con tendencia equivalente a la que posee el río San Juan con variabilidad total, semejante a éste. La figura 1 indica la región en estudio. Se ha calculado la significación

de la tendencia por la prueba de rangos Mann-Kendall según World Meteorological Organization (W.M.O.,1966) y Kendall (1948).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las figuras 2a, 2b y 2c muestran los correlogramas de ríos andinos estimados según Yevjevich (1972). Las particularidades que se destacan comparando éstos con correlogramas de procesos aleatorios son las siguientes:

- Una buena parte de los ríos andinos (55,5%) presentan autocorrelaciones de rezago 1 (lag 1), significativas estadísticamente. La alta variabilidad interanual, con mayor sesgo en las distribuciones de frecuencias para las series de la región norte de Cuyo en una transecta norte-sur, minimiza a estos procesos de dependencia inercial entre el evento que ocurre en el año t con $t+1$. Para atenuar este efecto perturbador, se han calculado las autocorrelaciones empleando una transformada como el logaritmo natural de la variable, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1. Allí puede verse que mejora notablemente este proceso de dependencia (66,6% de los casos) el cual puede ser descrito posteriormente como un proceso autorregresivo de primer orden (Yevjevich, 1972).
Con el objeto de efectuar comparaciones se presenta la Tabla 2 con las autocorrelaciones de rezago 1 para la serie aleatoria simulada con la misma variabilidad del río San Juan, donde se ve que la transformada con logaritmo natural de la variable caudal minimiza la primera autocorrelación, situación que no ocurre con la serie real según puede observarse en la Tabla 1.
- Debido a que los ríos del norte de Cuyo presentan tendencias decrecientes significativas estadísticamente, (Tabla 3), esto es, las series no son estacionarias, es que las autocorrelaciones están ponderadas por encima de los valores correspondientes sin tendencia (Figura 3).
En la Tabla 1 puede verse que la autocorrelación de rezago 1 de la serie con tendencia filtrada, es mucho menor que aquella sin filtrar cuando no se utiliza el logaritmo natural de la variable.
El uso del logaritmo de la variable como transformada genera una autocorrelación de rezago 1 semejante a la de la serie filtrada por tendencia con logaritmo de la variable.
- La dependencia de rezago 1 entre el ciclo hidrológico de un año con su

consecutivo estaría mostrando la capacidad reguladora del sistema clima-cuenca a través de la criósfera y agua subterránea.

- La Tabla 4 muestra las autocorrelaciones de rezago 1 con su cuadrado y cubo respectivos comparados con las autocorrelaciones de rezago 2 y 3, donde se observa que en ningún caso se cumple que $r_1^2 = r_2$ y $r_1^3 = r_3$ como para ajustar estos procesos a una dependencia markoviana (W.M.O., 1966).
- En líneas generales la mayor parte de las autocorrelaciones han sido estimadas hasta el rezago 25, y debería esperarse que 1.25 casos caigan fuera de los límites de confianza del 95 %, para que la serie sea aleatoria. En el 66,6% de los casos ésto no ocurre presentando picos de autocorrelaciones significativas. Las situaciones extremas se presentan en el río San Juan con cinco casos y los ríos Colorado, Neuquén y Limay en cuyas series no se observan autocorrelaciones significativas, si se considera la variable sin la transformación logarítmica. Usando esta última los únicos casos que presentan en su correlograma todos los puntos dentro de la banda de confianza son los ríos Tunuyán, Colorado y Limay.
- En los casos particulares de los ríos Jáchal, San Juan y Mendoza presentan autocorrelaciones significativas con rezago 12 que, en el caso del San Juan se manifiesta también en el 11, y tienen su respectiva duplicación en los rezagos 22-24, infiriéndose que éstos poseen un cau sí periodo importante en los rezagos 11-12.
- Los ríos San Juan, Mendoza y Tunuyán también observan autocorrelaciones significativas para rezagos de 7 años.
- Las figuras 4a y 4b muestran los correlogramas de las precipitaciones regionales por bandas de latitud en la República de Chile, ya que algunas de ellas están correlacionadas con los escurrimientos de los ríos andinos, en el sector argentino (Minetti y otros, 1983; Minetti, 1984 y Menegazzo de García y otros, 1983). En ellas se observan que las autocorrelaciones de rezago 1, no son significativas en todos los casos de climas áridos y de transición, y sí es importante en la banda 6 entre 40° y 42°4. de latitud sur, en un clima definitivamente per húmedo. Estas bajas autocorrelaciones de rezago 1 en la precipitación estarían confirmando que las autocorrelaciones significativas del mis mo desfase en los escurrimientos superficiales de los ríos andinos, serían un producto del funcionamiento específico de las cuencas.
- Las autocorrelaciones de la banda 3 de precipitación regional en Chile

tienen picos de significación en los rezagos 12 y 22 años, que corroborarían los resultados observados en los correlogramas de los ríos Jáchal, San Juan y Mendoza para los rezagos 11-12 años y 22 - 24 años respectivamente, indicando una probable cuasi periodicidad en el primer período.

El presente estudio constituye un paso previo en el análisis general de las componentes de variabilidad.

CONCLUSIONES

En este análisis parcial se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Se ha encontrado que la mayor parte de los ríos andinos tienen su proceso de dependencia temporal de rezago 1, que no presenta la variable fundamental del ciclo hidrológico, la precipitación. De ello se infiere que este proceso se debería a las características del funcionamiento de cada cuenca.
2. Se ha visto la conveniencia para el cálculo de autocorrelación, de utilizar una transformada de la variable como el logaritmo, a los efectos de poner de manifiesto la autocorrelación de rezago 1.
3. En el caso de las series de precipitación regional en la República de Chile se ve que, para la región árida de norte, centro y de transición húmeda, no presentan autocorrelaciones significativas en el rezago 1 y sí en la banda 6 para la región perhúmeda.
4. Se ha visto que, en el 66.6% de las series los correlogramas presentan mayor cantidad de autocorrelaciones significativamente diferentes a las de un proceso aleatorio. Las situaciones extremas están representadas por las del río San Juan con menor aleatoriedad y ríos Neuquén, Colorado y Limay más aleatorias.
5. Las pruebas efectuadas con el cuadrado y cubo de la autocorrelación con rezago 1 comparando con las autocorrelaciones de rezagos 2 y 3, comprueban que no se cumplen las condiciones de una dependencia markoviana, o de un proceso autocorregresivo de tipo Markov.
6. Se han encontrado en los ríos Jáchal, San Juan y Mendoza, autocorrelaciones importantes de rezagos 11-12 años y en el caso de los ríos San Juan, Mendoza y Tunuyán, otra no tan importante de 7 años.

BIBLIOGRAFIA

- Agua y Energía Eléctrica S.E. 1981. Estadísticas Hidrológicas hasta 1980. Tomo I: Fluviometría, Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Buenos Aires, Argentina, 1981.
- Benitez, A.; King, H., 1969: Tendencia Negativa: El ecosistema chileno: comportamiento del ciclo hidrológico en el Centro de Chile; presentado en las Primeras Jornadas de Nivoglacialogía, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNC, Mendoza, Argentina (inédito).
- Burgos, J.J.; Vidal, A.L. 1951: Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thomthwhite. Meteoros, Año 1, Número 1, Buenos Aires Argentina.
- Consejo Federal de Inversiones, Cepal, 1969. Los recursos hidráulicos en Argentina, 1º y 2º Partes. Buenos Aires, Argentina.
- Corporación de fomento de la producción (CORFOP) 1969. Departamento de Recursos Hidráulicos, Chile.
- Chatfield, C., 1980. The analysis of time series: An introduction, Chapman and Hall, London, New York.
- Del Pino, G. 1983. Métodos de predicción en series hidrológicas. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Kendall, M.G., 1948. Rank correlations methods. Hafner, New York, USA.
- Kendall, M.G., 1976. Time Series. Charles Griffin and Company Ltd. London and High Wycombe.
- Kendall, M.; Stuart, A., 1976. The advanced theory of statistics. Volume 3. Charles Griffin and Company Ltd. London and High Wycombe.
- Larraín Bascuñan, F., 1981. El uso de series de tiempo con fines predictivos. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Menegazzo de García, M.I.; Minetti, J.L.; Carletto, M.C.; Barbieri, P., 1983 a. Régimen de variabilidad del escurrimiento superficial de ríos andinos. Parte I: Variación estacional. Centro de Investigaciones Regionales San Juan, presentado en II Reunión Periglacial Argentina, San Juan, Argentina, Instituto de Nivología y Glaciología, Mendoza, Argentina (a publicar en revista Geofísica de España, Madrid).
- Menegazzo de García, M.I.; Minetti, J.L.; Carletto, M.C.; Barbieri, P. 1983 b. Régimen de variabilidad del escurrimiento superficial de ríos andinos Parte II: Variación interanual (a publicar en revista Geofísica de España,

Madrid).

Menegazzo de García, M.I.; Minetti, J.L.; Carletto, M.C.; Barbieri, P.M., 1983c. Estadísticos de escurrimientos superficiales de ríos andinos. Anexo del Trabajo bajo Régimen de variabilidad de los escurrimientos superficiales de ríos andinos, Parte I y II. Informe Técnico N° 4 del Centro de Investigaciones Regionales de San Juan (CIRSAJ), San Juan, Argentina.

Minetti, J.L., 1984. Precipitación y escurrimientos superficiales de ríos andinos. CIRSAJ; presentado en la 13° Reunión Científica Argentina de Geofísica y Geodesia, Bariloche, Argentina (a publicar en Geoacta).

Minetti, J.L.; Radicella, S.M.; Menegazzo de García, M.I.; Sal Paz, J.C. 1983. La actividad anticiclónica y las precipitaciones en Chile en la zona cordillerana central. Revista Geofísica, IPGH (OEA), México.

World Meteorological Organization (W.M.O.) 1966. Climate Change. Nota Técnica N° 79. Ginebra. Suiza.

Yevjevich, V. 1972. Stochastic Processes in Hidrology. Water Resources Publications. Fort Collins, Colorado. USA.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

Figura 1: Situación Geográfica de la Región en Estudio.

Figuras 2a, 2b y 2c: Correlogramas de escurrimientos superficiales de ríos andinos.

Figura 3: Correlogramas escurrimientos superficiales del río San Juan.

Figura 4a y 4b: Correlogramas de las precipitaciones regionales en Chile.

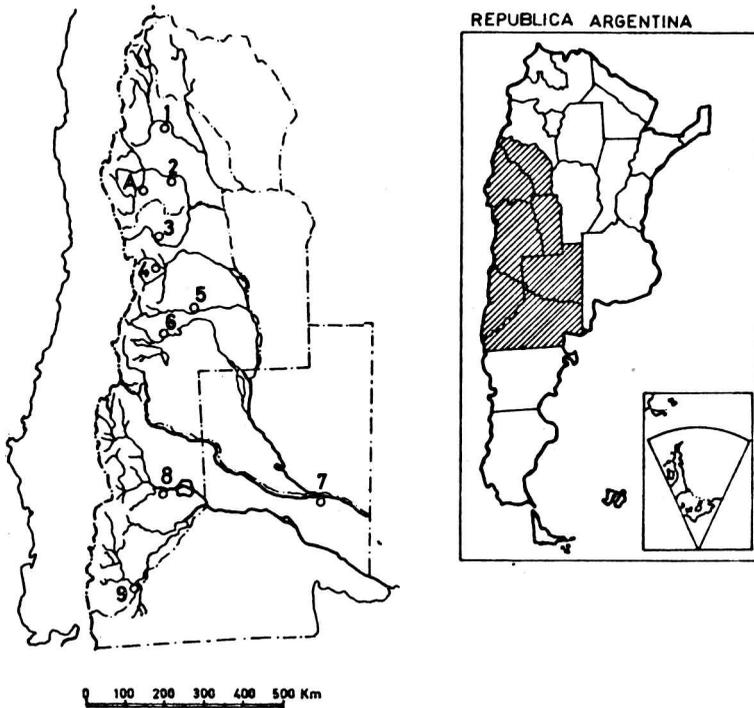
Tabla 1: Autocorrelaciones lag 1 de ríos andinos.

Tabla 2: Serie Aleatoria Simulada Río San Juan.

Tabla 3: Ríos andinos con tendencia significativa.

Tabla 4: Cuadrado y cubo autocorrelaciones lag 1 comparadas con lag 2 y 3.

Figura 1



0 100 200 300 400 500 Km

ESTACIONES DE AFORO

- 1 _ PACHIMOCB (Rio Jachal)
- 2 _ LA PUNILLA (Rio San Juan)
- 3 _ USINA CACHEUTA (Rio Mendoza)
- 4 _ VALLE DE UCO (Rio Tunuyan)
- 5 _ LOS REYUNGS (Rio Diamante)
- 6 _ LA ANGOSTURA (Rio Atuel)
- 7 _ PACHI MAHIDA (Rio Colorado)
- 8 _ PASO DE LOS INDIOS (Rio Neuquen)
- 9 _ PASO LIMAY (Rio Limay)
- A _ LA PLATEADA (Rio de los Patos)

T a b l a 1

R I O	Con Tendencia		Sin Tendencia	
	sin logaritmo	con logaritmo	sin logaritmo	con logaritmo
Jáchal	0.432 **	0.530 **	-----	-----
San Juan(km 47)	0.253 *	0.347 **	0.168	0.350 **
Mendoza	0.206	0.289 **	-----	-----
Tunuyán	0.059	0.148	-----	-----
Diamante	0.289 *	0.325 *	-----	-----
Atuel	0.338 **	0.337 **	-----	-----
Colorado	0.152	0.194	-----	-----
Neuquén	0.169	0.282	-----	-----
Limay	0.191	0.180	-----	-----

*significativo al 5 % ** significativo al 1 %

Tabla 2

Datos		Autocorrelaciones Lag 1	
Media	Desviación Estándar	s/Log.	c/Log.
63.9	40.84	0.090	0.012

Tabla 3

RIOS	RANK(Mann Kendall)	T (95%)
Jáchal (Pachimoco)	- 0.24646 +	0.20238
San Juan (Km 47.3)	- 0.17746 +	0.1589
Mendoza (U. Cacheuta)	- 0.27646 +	0.1589

Tabla 4

RIOS	lag 1 r_1	r_1^2	lag 2 r_2	r_1^3	lag 3 r_3
Jáchal	0.530	0.281	0.200	0.149	0.005
San Juan	0.347	0.120	0.017	0.042	-0.053
Mendoza	0.289	0.083	0.050	0.024	-0.024
Tunuyán	0.148	0.022	-0.084	0.003	-0.072
Diamante	0.325	0.106	0.060	0.034	-0.185
Atuel	0.337	0.114	-0.077	0.038	-0.022
Colorado	0.194	0.037	-0.007	0.007	-0.018
Neuquén	0.282	0.079	0.031	0.022	-0.027
Limay	0.180	0.032	-0.049	0.006	-0.180

Figura 2a

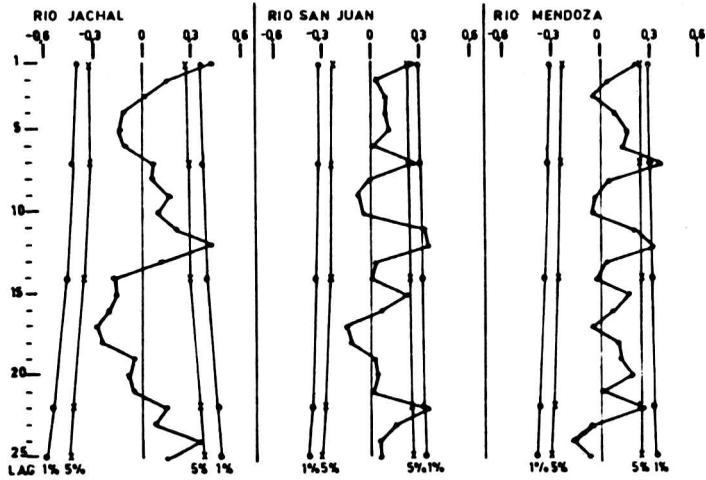


Figura 2 b

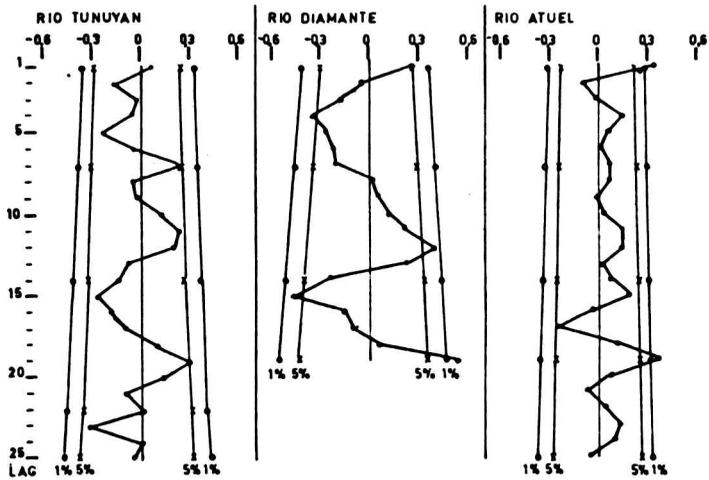


Figura 2c

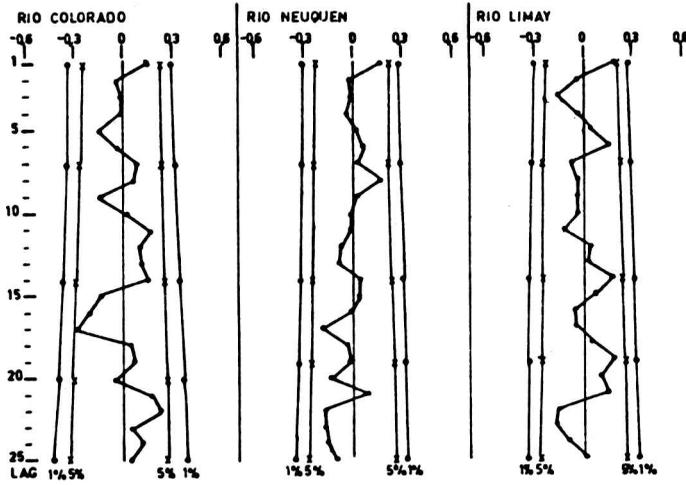


Figura 3

— Sin tendencia
 - - - Con tendencia

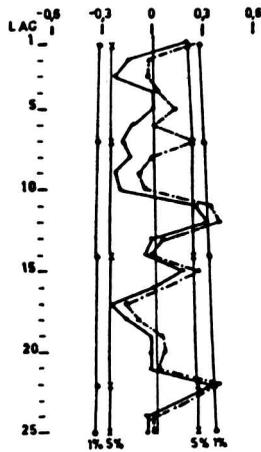


Figura 4a

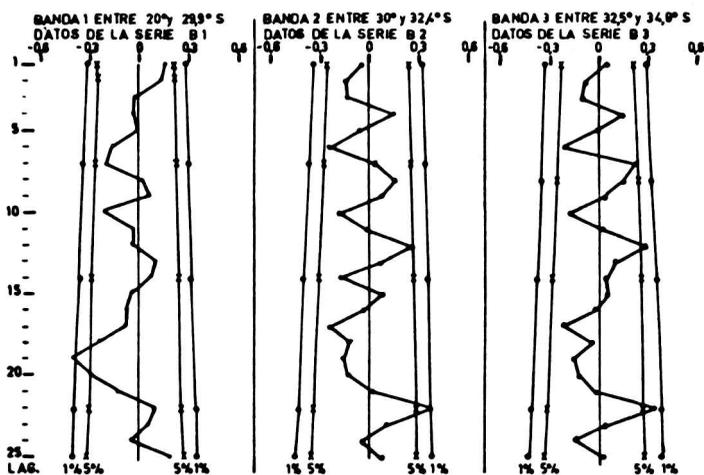


Figura 4 b

