

Detección de tendencias y saltos abruptos en variables hidrológicas de cuencas de la región de Cuyo.

Carolina Lauro¹, Alberto Vich^{1,2}, Stella Maris Moreiras¹

¹Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (CCT-Mendoza). Av. Adrián Ruiz Leal s/n Parque General San Martín. Mendoza. Argentina.

²Instituto de Estudios del Ambiente y los Recursos Naturales (IDEARN), Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

E-mail: clauro@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: La variación del clima actual influye generando cambios en el régimen de escurrimiento y por lo tanto en la disponibilidad del recurso hídrico superficial. En la región de Cuyo la cordillera de los Andes es el principal regulador de los recursos hídricos. Se tomaron 23 sitios de aforo entre los 31° y 35° LS con el objetivo de detectar cambios en el régimen de caudal. Se realizó un análisis exploratorio de datos y luego se aplicaron test estadísticos paramétricos y no paramétricos para la detección de tendencias y saltos abruptos en 19 variables hidrológicas: caudal anual, máximo, mínimo, mensual y estacional, con un nivel de significancia del 95%. Del análisis exploratorio de datos se encontró que únicamente el 16% de las variables analizadas cumple con los supuestos de normalidad, independencia y aleatoriedad. Mientras que el 84% restante no cumple con ninguno o alguno de los tres supuestos. Los valores fuera de rango encontrados son coincidentes con años de ocurrencia de eventos ENSO. El 76% de las variables analizadas no presentó tendencias significativas. El 20,8% presentó tendencias positivas y el 3,2% negativas. Las tendencias positivas están principalmente relacionadas con las variables vinculadas a los períodos de estiaje o caudales mínimos. Mientras que las tendencias negativas encontradas se vinculan con los períodos de aguas máximas. El 48,7% de los saltos detectados resultaron ser positivos mientras que el 11,7% saltos negativos. Los saltos detectados fueron en su mayoría durante la década del 70 y resultaron ser positivos. En la década del 50 los saltos detectados fueron negativos. Se encontraron saltos positivos y negativos en la década del 80 y 90. Mientras que en la última década analizada los saltos fueron positivos.

INTRODUCCIÓN

La cordillera de los Andes es el principal regulador de los recursos hídricos de las zonas del oeste de la República Argentina. Allí el agua se almacena en forma de nieve y hielo durante la estación fría y proveen agua a las tierras más bajas durante la estación cálida. Este sistema se ve alterado con los actuales cambios en las condiciones climáticas en la región, alterando el régimen de escurrimiento en la cuenca.

Estos cambios en el régimen hidrológico pueden ser visualizados como cambios graduales o abruptos. Los cambios abruptos se deben a cambios repentinos en la cuenca como puede ser la construcción de un dique, modificaciones en la estación de aforos entre otros, mientras que los cambios graduales se deben a cambios progresivos en la cuenca, como ser urbanización, cambios en el uso del suelo, variabilidad y cambios

climáticos entre otros. El cambio climático también es posible que se manifieste como cambio de abrupto debido a dependencias complejas en procesos dinámicos no lineales que presentan efectos acumulativos y umbrales (Kundzewicz y Robson, 2000).

Los cambios mencionados anteriormente pueden ser detectados en las series temporales de variables hidrológicas por medio del análisis de valores medios, varianzas, valores extremos, en la estacionalidad o régimen fluvial. Sin embargo cuando se interpretan los resultados se debe tener en cuenta la diferencia entre la variabilidad del clima y el cambio climático, ya que el primero hace referencia a la variación natural de un período a otro y el segundo hace referencia a cambios en el largo plazo del clima. La variabilidad del clima puede causar una tendencia aparente de los datos cuando las series analizadas son cortas. Para encontrar signos de cambio climático se sugiere analizar series de 50 años o más (Kundzewicz y Robson, 2000).

Los ríos cuyanos, entre los 30° y 40° S, se caracterizan por la gran variabilidad interanual debido a su fuerte dependencia de las fluctuaciones a escala global, que se correlacionan significativamente con ENOS (El Niño Oscilación del Sur) (Compagnucci y Vargas, 1998; Compagnucci *et al.*, 2000; Compagnucci y Araneo, 2007). Se han llevado adelante estudios sobre cambios en el escurrimiento andino, Lascano y Villalba (2005) encontraron tendencias positivas en la contribución mensual de los derrames para los meses de invierno y primavera. Mientras que para los meses de verano presentaron tendencias negativas. Vich *et al.* (2007) analizaron 210 series temporales de los andes centrales y detectaron cambios en 40 de ellas, siendo en su mayor parte cambios correspondientes a periodos de aguas bajas. Además se detectó un punto de quiebre en la década del 70 (Vich *et al.*, 2010). Boninsegna y Villalba (2006 a,b) aseguran que para los ríos San Juan, Los patos y Atuel los caudales anuales muestran una tendencia negativa desde inicios del siglo XX y que se acentúa desde la década del 80. A partir de esta década los ríos Mendoza y Tunuyán muestran la misma tendencia. Aseguran que entre 1980 y 2000 la disminución de los caudales ha sido entre un 50 y un 60%. Encuentran que la tendencia de aumento de la temperatura altera el escurrimiento provocando la fusión temprana de la nieve y por lo tanto adelantando el período de caudales máximos. En la localidad de punta de Vacas los mismos autores han encontrado un aumento de la temperatura de verano y de invierno siendo esta última de hasta 1°C. Masiokas *et al.* (2010) encontraron que para algunos ríos cuyanos (San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado), el caudal anual no presenta cambios graduales significativos en las series históricas, excepto en el río Diamante.

En el presente estudio se pretende detectar cambios en el régimen de caudal de los ríos de la región de Cuyo. Para ello se utilizaron series de caudales diarios de 23 estaciones de aforo. Se analizó la normalidad, independencia y aleatoriedad de 19 variables hidrológicas: caudales anuales, máximos, mínimos, mensuales y estacionales. Luego se aplicaron test paramétricos y no paramétricos para la detección de cambios abruptos y tendencias con un nivel de significancia del 95%.

El estudio de los cambios graduales y abruptos nos permite tener una herramienta más para la planificación del recurso hídrico para poder realizar un uso sustentable del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos utilizados

Se utilizaron los caudales medios diarios de 23 sitios de aforo en las provincias de San Juan y Mendoza entre los 31° y 35° LS. Los datos de caudales se extrajeron de la base de datos de la subsecretaría de recursos hídricos de la nación. En la tabla 1 se presenta la ubicación, altura, superficie, longitud de las series y datos faltantes de los sitios de aforo.

Tabla 1.- Características de los sitios de aforo.

Sistema	Cuenca	Rio	Sitio de Aforo	Sigla	Lat. S	Long. O	Altura (msnm)	Area (Km2)	Comienzo-fin serie	Long. Serie	% Datos faltantes
Río Colorado	Río San Juan	De los Patos	Alvarez Condarco	LPAC	31 55 13	69 42 13	1950	3710	1951-2011	60	3,59
			La Plateada	LPLP	31 51 19	69 39 38	1900	8500	1951-2011	60	9,77
		San Juan	Km101	SJK1	31 15 09	69 10 38	1310	18348	1971-2011	40	22,26
			Km47.3	SJK4	31 30 59	68 56 24	945	25670	1951-2011	60	0,26
	Río Mendoza	Cuevas	Punta de Vacas	CPV	32 51 55	69 46 05	2430	680	1949-2011	61	6,58
		Mendoza	Guido	MEG	32 54 55	69 14 16	1550	8180	1956-2011	55	0
		Tupungato	Punta de Vacas	TPV	32 52 51	69 46 06	2450	1800	1949-2011	62	5,34
		Vacas	Punta de Vacas	VPV	32 50 49	69 45 45	2450	570	1949-2011	62	5,36
	Río Tunuyán	Tunuyan	Valle de Uco	TVU	33 46 35	69 16 21	1200	2380	1944-2011	67	0,7
	Río Diamante	Diamante	La Jaula	DLJ	34 40 06	69 18 58	1500	2753	1971-2011	41	1,26
	Río Atuel	Atuel	El Sosneado	APS	35 05 02	69 36 11	1580	2385	1972-2011	39	2,18
			La Angostura	ALA	35 05 56	68 52 25	1200	3800	1931-2011	80	0,2
			Loma Negra	ALN	35 15 52	69 14 55	1340	3860	1982-2011	30	0
		Salado	Cañada Ancha	SCA	35 11 52	69 46 58	1700	810	1939-2011	72	4,31
	Río Grande	Tordillo	Valle Hermoso	TVH	35 11 00	70 14 00	2200	190	1950-1975	25	40,37
		Cobre	Valle Hermoso	CVH	35 09 00	70 15 00	2150	189	1950-1978	28	32,67
		Grande	La Estrechura	GLE	35 19 18	70 17 15	1690	1070	1977-2011	34	15,99
		Valenzuela	Valle Noble	VVN	35 19 27	70 18 40	1680	243	1977-2011	34	25,34
		Chico	Las Loicas	CLL	35 47 34	70 08 28	1500	220	1991-2011	20	4,16
		Poti Malal	Puesto Gendarmeria	POG	35 52 17	69 56 56	1485	840	1971-2011	40	3,54
		Grande	La Gotera	GLG	35 52 19	69 53 27	1400	6180	1971-2011	40	4,68
	Río Barrancas	Barrancas	Barrancas	BAR	36 48 26	69 53 36	950	2900	1960-2011	51	13,82
	Río Colorado	Colorado	Buta Ranquil	CBR	37 04 34	69 44 48	850	15300	1939-2011	72	41,27

Análisis exploratorio de datos

Las series de caudales medios diarios presentan vacíos de información, por lo que las mismas fueron rellenadas con diferentes métodos considerando la cantidad de datos faltantes (Gyau-Boakye, 1993). Para menos de tres datos faltantes se empleó un polinomio interpolador de tercer grado. Entre 4 y 20 datos faltantes se utilizó un modelo autoregresivo de primer orden con corrección, para más de 20 datos faltantes se utilizó el método MOVE (Hirsch, 1982, cit Salas, 1992).

Se definieron 19 variables de trabajo: caudal medio anual (Q_a), caudal medio máximo anual (Q_{max}), caudal medio mínimo anual (Q_{min}), caudales mensuales ($Q_{ene, feb, mar, abr, may, jun, jul, ago, set, oct, nov, dic}$) y caudales estacionales ($Q_{v, o, p, i}$). Para cada variable se calculó la media, valor máximo, mínimo, desvío estándar y coeficiente de variación. Además se evaluaron los supuestos de normalidad, independencia y aleatoriedad y la presencia de valores fuera de rango.

En general, los distintos test a emplear, particularmente los test paramétricos están ligados a la distribución normal de la población; por ello, resulta importante verificar esta hipótesis, ya que si la misma es rechazada los test pierden robustez. Para evaluar la normalidad de las series se aplicaron los test de asimetría y curtosis (Figueras y Gargallo, 2003). Para la aleatoriedad los test de Rachas y Kendall y para la independencia los test de Bartlett y Von Neumann (Kundzewicz y Robson, 2000). Los valores fuera de rango se emplearon el Test de Grubbs y el desarrollado por la Interagency Advisory Committee on Water Data (1982) (antiguamente WCR).

Se consideró para cada supuesto que si al menos uno de los test rechaza la hipótesis nula, se concluye que hay evidencia suficiente para aceptar la hipótesis alternativa.

Detección de tendencias

Se entiende como tendencia al cambio gradual a largo plazo en la media de una variable. La presencia de tendencia equivale a decir que la serie es no estacionaria. Se aplicaron test paramétricos y no paramétricos, teniendo en cuenta las condiciones de las series y los supuestos subyacentes de los test. Los test aplicados fueron: t student (Remington y Schork, 1974), Spearman Rank Order Correlation (Kundzewicz y Robson, 2000), Mann y Kendall (Hirsch et al, 1982; Westmacott y Burn, 1997) y sus correcciones por pre-blanqueo (Yue et al, 2002) y por varianza (Hamed y Rao, 1998). En todos los test se trabajó con $\alpha=0,05$.

Test t de Student. Es un test paramétrico, cuya hipótesis nula es que la pendiente de la recta de regresión lineal entre los valores de la variable y los años hidrológicos es nula. Requiere que las observaciones sean independientes con distribución normal. El estimador es:

$$T = \frac{b}{S_b} \sqrt{n-1} \tag{1}$$

Donde: b pendiente de la recta de regresión, Sx desvío estándar de la variable independiente; n número de datos; Sx.y error típico; N número de observaciones.

Test Spearman Rank Order Correlation (SROC). Test no paramétrico. Se basa en la asignación de un valor R a cada observación, igual a 1 para la mayor observación y N para la menor. Posteriormente se calcula la diferencia entre el valor asignado Ri y la posición relativa de la observación i. Se calcula el coeficiente de tendencias rs y el estadístico T como:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (R_i - i)^2}{N(N^2 - 1)} \tag{2}$$

$$T = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \tag{3}$$

El estadístico T posee distribución t de Student con N-2 grados de libertad.

Test Mann-Kendall. Test no paramétrico. La hipótesis nula establece que los datos son variables aleatorias, independientes e idénticamente distribuidas. El estadístico S:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{signo}(x_j - x_i) \quad (4)$$

La función signo toma valores 1, 0 y -1, si su argumento es mayor, igual o menor que cero, respectivamente.

Se demuestra (Hirsch et al, 1982) que bajo la condición de hipótesis nula la distribución de S es asintóticamente normal con media cero y varianza igual a:

$$VAR(S) = \frac{n(n-1)(2n-1) - \sum_{g=1}^q t_g(t_g-1)(2t_g+1)}{18} \quad (5)$$

Donde: q es el número de grupos de datos repetidos; t_g representa el número de repeticiones en un grupo. El signo del estadístico S indica la dirección de la tendencia, positivo si es creciente y negativo si es decreciente.

Series con falta de independencia:

Test Mann y Kendall corrección de la varianza:

$$VAR(S)^* = VAR(S) * \frac{N}{N^2} \quad (6)$$

$$\frac{N}{N^2} = 1 + \frac{2}{N(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^{N-1} (N-i)(N-i-1)(N-i-2) \rho_2(i) \quad (7)$$

Test Mann y Kendall corrección por pre-blanqueo: se basa en determinar una nueva serie de datos donde cada valor, es dividido por el promedio; luego, la tendencia y autocorrelación de primer orden es removida. Se recarga la tendencia y se aplica el test de Mann y Kendall original, donde se determina si la tendencia no paramétrica es estadísticamente distinta de cero.

La estimación de la magnitud de la tendencia se realiza mediante estimador no paramétrico, robusto e insesgado, propuesto por Hirsch et al (1982) que se define como:

$$B = \text{mediana} \left\{ \frac{x_j - x_k}{j - k} \right\} \quad \forall k > 1 \quad (8)$$

B es el valor estimado de la pendiente de la tendencia y x_k es la k-ésima observación. Valores positivos de B representan tendencias positivas y valores negativos tendencias negativas.

Si al menos uno de los test aplicados rechaza la hipótesis nula, se concluye que hay suficiente evidencia para un nivel de significancia del 95% que la serie analizada presenta tendencia. Los títulos secundarios.

Detección de cambios abruptos

Para detectar la presencia de cambios abruptos en las series de caudales se aplicaron diversos test paramétricos: t de Student y no paramétricos: Pettitt (Pettitt, 1979), Buishand (Buishand, 1982), y Worsley

(1979). Estos test detectan un solo punto de cambio y en algunos casos debe eliminarse previamente la tendencia y las series deben tener distribución normal. Nuevamente se trabajó con un $\alpha=0,05$.

Test t Student. Se basan en la verificación de la igualdad estadística de dos medias muestrales, lo que significa que ambas muestras pertenecen a la misma población y, por lo tanto, no ha habido cambios abruptos en el régimen hidrológico. Al ser aplicado secuencialmente, el punto de ruptura o cambio, corresponde al mayor valor del estadístico T que exceda el valor crítico.

$$T = \frac{(\text{media A} - \text{media B})}{\sqrt{\frac{(N-1)\text{var A} + (M-1)\text{var B}}{N+M-2}}} \sqrt{\frac{N+M}{NM}} \quad (9)$$

La serie A: x_1, x_2, \dots, x_N , la serie B: $x_{N+1}, x_{N+2}, \dots, x_{N+M}$. Si $|t| > t_{\alpha/2, (N+M-2)}$ se rechaza la hipótesis de igualdad de medias y es probable que se esté frente a un cambio abrupto en la serie. Se trata de un test robusto, si se pueden asumir condiciones de normalidad e igualdad de varianzas.

El Test de Pettitt. Se encuentra definido como:

$$K_T = \max \left| \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N \text{signo}(x_i - x_j) \right| \quad t = 1, \dots, N \quad (10)$$

La ausencia de cambios abruptos o hipótesis nula, es rechazada si el nivel de significancia es:

$$\alpha > \exp\left(\frac{-6K_T^2}{(N^2 + N^2)}\right) \quad (11)$$

El tiempo t del punto de cambio puede ser estimado como el tiempo cuando K_T ocurre.

Test de Buishand se aplica a series de sumas parciales acumuladas de desviaciones de la media. Es un test simple, de fácil aplicación que requiere que los datos se encuentren normalizados. El estadístico Q se define como:

$$CS_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \text{media})}{\sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \text{media})^2}} \quad \forall i = 1, \dots, k \quad (12)$$

$$Q = \max |CS_k^2| \quad k = 1, \dots, K \quad (13)$$

Se rechaza la hipótesis, si Q es mayor que el valor crítico dado por Buishand (1982).

Test Worsley. Asume que la serie se encuentra normalmente distribuida y el punto de quiebre desconocido.

$$W = \frac{W(N-1)}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (14)$$

$$F = \max |S_k^2| \quad k = 1, \dots, k \quad (15)$$

$$S_k^2 = \frac{[\sqrt{k(N-1-k)}]^{-1/2} CS_k^2}{\text{desvio}} \quad (16)$$

Si al menos uno de los test rechaza la hipótesis nula, se considera que existe evidencia suficiente de que la serie presenta un salto para el nivel de significancia de 95%.

RESULTADOS

Análisis exploratorio de datos

En la tabla 2 se presenta los resultados de la estadística descriptiva para cada cuenca.

Cuenca del río San Juan: Se ubica en el centro-sur-occidental de la provincia de San Juan y noroeste de la provincia de Mendoza. El río San Juan nace a partir de la confluencia del río Castaño por el norte y el río de Los Patos por el Sur en Las Juntas al norte de la localidad de Calingasta. El río Los Patos aforado en Alvarez Condarco (Qa 20,04 m³/s) y La Plateada (Qa 45,02 m³/s). Estos tributarios tienen sus cabeceras en las altas cumbres de la cordillera de Los Andes. La cuenca se cierra en el sitio Km 47,3 tiene un modulo anual de 64,28 m³/s. Su régimen es nival puro con mayores caudales en primavera.

Cuenca del río Mendoza: se encuentra en el extremo noroeste de la provincia de Mendoza y ocupa una pequeña porción del suroeste de la provincia de San Juan. Toda la cuenca tiene una superficie aproximada de 20000 km² (Atlas, 2010). Hacia el oeste limita con la República de Chile, hacia el norte con la cuenca del río Los Patos Sud, y por el sur el límite llega hasta el Cordón del Plata. El río Mendoza se origina a partir de la confluencia del río Las Cuevas (Qa 6,80 m³/s) que llega por el oeste y el río Tupungato (Qa 23,53 m³/s) por el sur, tiene como primer afluente el río Las Vacas (4,42 m³/s). El río Las Cuevas nace en las cabeceras de la quebrada Benjamín Matienzo por aporte nivo-glaciár, sus principales afluentes provienen de la quebrada de Horcones y Santa María. El río Tupungato nace de la confluencia del río del Plomo y Santa Clara, el primero se origina por deshielos provenientes de los cerros Tupungato (6635 m), nevado del Plomo (6071 m) y Juncal (4621 m) entre otros, y el río Santa Clara por deshielos del cerro homónimo (5460 m). El río Las Vacas nace al sur de la ladera oriental del Co. Aconcagua (6962 m), sus afluentes provienen de la quebrada de los relinchos y Fiera. Aguas abajo el ya conformado río Mendoza recibe por la margen derecha las aguas de los ríos Colorado, Blanco y Casa de Piedra. Por margen izquierda recibe a los ríos Tambillos, Cortaderas, Picheuta, Ranchitos. A partir de este punto, el río Mendoza forma un amplio codo y se dirige hacia el sudoeste donde recibe aportes del río Uspallata, es aforado en Guido con un módulo anual de 45,89 m³/s, de régimen glaciár mitigado con caudales máximos en enero, diciembre y febrero.

Cuenca del río Tunuyán: se encuentra en el centro norte de la provincia de Mendoza tiene una superficie de 13500 km². El río Tunuyán se nutre de las aguas provenientes del faldeo oriental de la cordillera Principal, entre ellos del volcán Tupungato. Los afluentes más importantes son el A° Negro y los ríos Palomares, Salinillas y Colorado; también recibe el aporte de otros cauces menores que nacen en la ladera occidental del Cordón del Portillo, perteneciente al sistema montañoso de la Cordillera Frontal. Es alimentado por la ablación de los glaciares presentes en la cuenca y por fusión nival. Al igual que el Mendoza posee un régimen glaciár mitigado. En su cabecera los ríos Santa Clara y de la Yesera confluyen en el río las Tunas.

Éste se une con el río Alto Tunuyán dando origen al río Tunuyán, cuyo módulo anual es de 28,72 m³/s con máximos y mínimo de 54,24 y 15,49 m³/s respectivamente.

Cuenca del río Diamante: se encuentra en el centro de la provincia de Mendoza, drena una superficie de 8637 km², al norte limita con la cuenca del río Tunuyán y al sur con la cuenca del río Atuel, al este con la del Desaguadero y al oeste con la cordillera de Los Andes. El río Diamante nace sur de la laguna homónima que es alimentada por los cursos que bajan del Co. Gorro Frigio (4884 m), el Pilar (4624 m) y el volcán Maipo (5323 m). En su recorrido recibe aportes glaciarios de la cordillera Principal y Frontal además recibe algunos aportes pluviales. En la unión con el río Borbollón cambia de dirección sur a sureste. En esta dirección recibe aportes desde la margen derecha del río Negro y el río Blanco, por la margen izquierda recibe aportes del Arroyo Morro. Aproximadamente 40 km aguas abajo se encuentra la estación de aforo La Jaula donde se registra un módulo anual de 34,22 m³/s, su régimen según la clasificación de Pardé (1955, cit. Bruniard, 1992) es glaciario clásico.

Cuenca del río Atuel: se localiza en el sur de la provincia de Mendoza tiene aproximadamente 39404 km² (Atlas, 2010). El río Atuel nace en la laguna homónima de origen glaciario, su red de drenaje se extiende desde el Paso de Las Leñas al norte, hasta el portezuelo de Las Lágrimas al sur. Antes de la estación de aforo El Sosneado (Qa 40,48 m³/s) recibe aporte de los arroyos Malo, Blanco, Felipe y Paraguay (Atlas 500k, 2011). El río Salado con nacientes en el Co. Las Leñas (4351 m) y aforado en Cañada Ancha (Qa 10,57 m³/s), se une por el sur al río Atuel en el paraje La Junta. El río continúa hacia el este por la depresión de Los Huarpes donde es aforado en Loma Negra (Qa 36,17 m³/s), allí constituye un serie de bañados y esteros. Desde el paraje el Nihuil, corta a Sierra Pintada y forma el Cañón del Atuel, que al ingreso del cañón es aforado en el sitio La Angostura (34,66 m³/s). Su régimen es nival con aportes pluviales, tiene una longitud aproximada de 600 km.

Cuenca del río Grande: se encuentra al sur oeste de la provincia de Mendoza. El río Grande se origina por la unión de los ríos Tordillos y Cobre. En Valle Hermoso, el río Tordillo (11,3 m³/s) recibe al río Cobre (8,39 m³/s), que drena las aguas que provienen de los glaciares de la Cordillera Principal que posee un frente andino de aproximadamente 20 km. Luego, penetra en un estrecho cañón, denominado Quebrada de la Estrechura, en cuyo trayecto, solo recibe pequeñas afluencias de margen izquierda. A la salida de la quebrada recibe los aportes del río Valenzuela (Qa 10,56 m³/s), que constituye el origen del río Grande aforado en La Estrechura (Qa 36,27 m³/s). El Grande recibe el aporte por margen derecha de importantes cauces que bajan directamente de la Cordillera Principal. El río Chico (Qa 12,82 m³/s), posee una importante cuenca y drena las aguas provenientes del cerro Campanario y la zona de paso El Pehuenche. En el tramo comprendido por la desembocadura del Chico y Bardas Blancas, el Grande recibe afluentes importantes como el río Poti-Malal (Qa 7,95 m³/s). Por margen izquierda, los más importantes son el arroyo Piedra Hernández y Chacay-co. El Poti-Malal, que recibe los aportes provenientes de las sierras de Mary, que constituye el divorcio de las aguas con la cuenca del río Barrancas. Nival puro

Cuenca del río Colorado: el río Colorado se origina de la confluencia del río Grande con el río Barrancas. El río Barrancas se origina en la laguna Negra en la falda de la cordillera del límite, recibe de ésta los aportes de los arroyos Matancilla, Montón y Puente de Tierra arriba del cual se halla la Laguna Fea. Después de recibir numerosos arroyos ingresa en la laguna Carrilauquen que vierte al río Colorado. El río Barrancas (Qa 37,44 m³/s) es aforado aguas debajo de la laguna. Luego de la confluencias con el río Grande el río Colorado es aforado en Buta Ranquil (Qa 150,3 m³/s). Es un río de régimen nival puro mitigado.

Los sitios que presentan mayor porcentaje de datos faltantes son CBR y TVH con 41,27 y 40,37% respectivamente. En CBR los datos se ausentan de manera continua de 1960 a 1990, fue rellenada con el método MOVE utilizando la estación La Angostura, sobre el río Atuel como estación de referencia, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,78 y SCE 851179,81. Para las demás estaciones también se utilizó el método MOVE y se obtuvieron coeficientes de correlación que van desde los 0,76 a 0,97.

Se analizaron un total de 19 variables para cada uno de los sitios. Únicamente el 16% de las variables analizadas cumple con los supuestos de normalidad, Independencia y aleatoriedad. Mientras que el 84% restante no cumple con ninguno o alguno de los tres supuestos. MEG presenta 13 variables que no cumplen con ninguno de los tres supuestos. La estación CLL en 13 variables cumple con los tres supuestos. CBR en 9 variables rechaza los 3 supuestos y únicamente en primavera se aceptan los 3 supuestos.

Se identifican outliers en distintas variables, los años que se detectaron como tales son 1951, 1952,1953, 1954, 1959, 1960, 1968, 1970, 1971, 1972, 1977, 1979, 1982, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1990, 1992, 1995, 1996, 1997, 1998,1999, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010. En su gran mayoría, los caudales atípicos detectados, responden a fenómenos globales de características excepcionales y difícilmente se puedan deber a errores en las mediciones, dado que la gran mayoría de las variables hidrológicas empleadas provienen de promedios de un conjunto de observaciones más o menos importantes. Por tal razón, en este análisis no se los excluirá.

Tabla 2.- Estadística descriptiva de cada cuenca.

		Annual	Max	Min	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	V	O	I	P
LPAC	media	20,04	73,60	4,74	42,30	26,70	17,61	12,22	9,86	8,19	7,40	8,10	10,13	17,13	32,78	48,09	28,94	10,08	8,52	32,67
	max	49,64	264,77	10,32	127,82	82,23	42,70	26,59	20,17	15,15	11,74	15,67	19,15	36,70	95,94	134,13	83,85	20,63	15,48	86,88
	min	5,41	11,04	1,70	7,01	6,87	6,12	5,44	4,89	3,72	3,18	4,04	4,71	5,16	5,19	5,35	6,66	4,69	4,59	5,29
	desv	9,93	53,34	1,82	30,48	15,81	8,28	4,69	3,34	2,53	2,23	2,20	2,73	6,93	18,49	34,08	18,02	3,44	2,12	18,39
	cv	49,55	72,48	38,31	72,04	59,22	47,03	38,39	33,88	30,95	30,09	27,15	26,93	40,46	56,42	70,86	62,28	34,10	24,84	56,30
AED	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	AAA	ARA	RRR	RAA	AAR	RAA	RAA	RAA	RAA	ARR	RAA
LPLP	media	45,02	166,58	12,57	85,61	54,00	37,17	27,07	22,78	20,31	18,76	19,59	23,76	41,29	78,98	110,79	59,07	23,38	20,67	77,00
	max	136,47	739,82	25,98	351,86	170,14	101,12	72,27	42,95	35,33	37,29	36,11	38,56	86,33	276,80	451,08	205,34	48,22	37,31	264,28
	min	11,64	25,58	3,00	14,34	15,78	14,76	9,77	9,51	8,13	7,68	8,74	10,42	10,80	12,14	11,33	15,82	9,14	9,83	11,41
	desv	26,56	155,25	4,71	73,96	36,40	19,30	12,66	8,53	7,00	6,28	5,57	6,47	16,87	54,77	101,22	43,00	9,12	5,58	54,69
	cv	59,00	93,20	37,49	86,40	67,41	51,91	46,78	37,45	34,48	33,50	28,43	27,22	40,85	69,35	91,36	72,79	39,00	27,01	71,03
AED	RAA	RAA	ARR	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	ARR	RRR	RRR	ARR	AAR	AAR	RAA	RAA	RAA	RRA	ARR	RAA
Km 101	media	64,28	194,57	27,79	111,63	78,88	55,42	43,80	41,52	41,44	38,80	38,05	39,57	55,57	97,13	129,77	82,08	42,24	38,80	94,13
	max	151,72	795,00	43,70	330,93	222,90	131,64	95,42	75,13	77,41	69,59	64,59	58,74	115,30	329,09	368,07	211,42	82,45	63,62	258,14
	min	19,98	30,11	7,25	20,10	21,30	16,75	16,78	17,07	21,88	18,71	18,68	20,60	20,79	16,55	15,75	20,93	18,56	19,31	17,71
	desv	31,98	170,30	7,88	84,85	49,92	27,75	18,98	14,88	13,09	11,37	10,64	10,22	20,18	63,62	102,73	53,37	15,38	10,35	59,18
	cv	49,74	87,53	28,36	76,01	63,29	50,07	43,33	35,84	31,59	29,30	27,97	25,83	36,31	65,50	79,16	65,02	36,40	26,67	62,87
AED	RAA	RAA	ARR	RAA	RAA	RAA	RRA	AAA	AAA	AAR	ARR	ARR	AAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RRA	ARR	RAA
Km 473	media	59,01	169,65	28,05	100,19	70,06	51,40	41,69	40,07	39,39	37,70	36,74	38,27	51,12	85,05	116,41	74,00	40,38	37,56	84,19
	max	149,92	663,14	45,00	364,68	200,92	133,54	90,59	77,62	70,18	64,22	59,93	57,76	115,04	273,08	411,14	211,02	79,44	58,88	253,33
	min	19,83	32,15	10,00	17,28	19,81	18,89	17,24	18,33	19,08	18,68	18,66	18,98	17,06	17,37	16,34	19,99	18,42	19,27	16,92
	desv	29,56	141,27	7,62	80,46	42,94	24,95	17,36	13,87	11,54	10,05	9,70	9,71	18,97	54,98	96,06	48,88	14,06	9,52	53,91
	cv	50,10	83,27	27,16	80,30	61,29	48,55	41,64	34,62	29,30	26,65	26,40	25,37	37,12	64,64	82,52	66,06	34,82	25,34	64,03
AED	RAA	RAA	ARR	RAA	RAA	RAA	RRA	RRA	ARR	ARR	ARR	ARR	RAR	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	ARR	RAA
CPV	media	6,80	21,02	2,23	13,47	10,17	7,26	4,95	4,00	3,45	3,20	3,21	3,56	5,25	9,41	13,83	10,30	4,13	3,32	9,50
	max	17,58	70,00	3,70	50,04	34,84	19,77	10,88	7,20	5,60	5,16	4,70	5,31	10,55	27,47	49,55	34,89	7,86	4,92	24,23
	min	2,73	5,24	0,10	3,84	3,63	2,92	2,13	1,85	1,61	1,77	1,73	2,11	2,14	2,75	2,83	3,55	1,86	1,93	2,57
	desv	2,83	12,60	0,75	8,43	5,60	3,52	1,77	1,23	0,94	0,73	0,70	0,69	1,82	4,89	8,67	5,75	1,28	0,65	4,60
	cv	41,54	59,94	33,70	62,55	55,02	48,45	35,69	30,77	27,30	22,89	21,97	19,37	34,66	51,94	62,70	55,81	31,02	19,50	48,48
AED	RRA	RAA	ARR	RAA	RAA	RRA	RAA	ARR	AAR	ARA	AAA	AAR	RRR	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	AAR	RAA

CLL	media	12,817	56,504	4,546	17,365	8,7584	6,3235	5,9982	6,8616	6,7436	6,8582	7,1479	8,7734	16,369	31,687	30,622	10,881	6,5381	7,5803	26,166
	max	22,474	128,44	6,06	52,141	21,742	9,8297	9,7083	15,549	10,071	12,211	11,883	17,223	24,082	52,136	61,131	28,035	9,9578	11,771	43,739
	min	4,5013	8,81	2,98	3,8706	3,5374	3,53	3,833	3,8384	3,6519	3,9677	4,1984	4,906	6,7658	5,3243	4,2987	3,7367	3,8142	4,4591	5,4645
	desv	4,5793	25,555	0,8073	12,317	4,5744	1,9171	1,3807	2,5934	1,7839	1,7045	2,1598	2,7295	4,1656	12,974	16,69	6,2474	1,4455	1,9156	10,609
	cv	35,728	45,226	17,759	70,93	52,229	30,317	23,018	37,796	26,454	24,854	30,216	31,111	25,449	40,945	54,503	57,415	22,108	25,271	40,543
AED	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA
POG	media	7,9528	31,232	2,2183	8,7937	5,1243	3,8081	3,4643	3,9415	4,682	5,0188	6,2008	8,2344	14,234	18,215	13,556	5,9333	4,0283	6,4656	15,304
	max	18,38	79,97	4,24	44,699	13,393	7,5419	7,9067	9,5065	10,833	16,538	14,894	16,876	28,697	53,217	49,339	21,677	8,9154	13,514	41,879
	min	2,0556	3,55	0,42	1,7184	1,4514	1,3729	1,448	1,5687	1,6819	1,9055	2,3409	2,6577	2,4635	2,1327	2,111	1,5754	1,6514	2,376	2,2368
	desv	3,7391	17,817	0,8551	7,5216	2,8695	1,7306	1,3593	1,6392	2,0777	2,7181	3,4105	4,1911	7,2126	11,141	8,9907	3,9091	1,4121	3,0082	8,5198
	cv	47,016	57,049	38,547	85,534	55,997	45,445	39,237	41,587	44,375	54,158	55	50,897	50,673	61,163	66,321	65,883	35,054	46,525	55,671
AED	AAA	RAA	AAR	RAA	RAA	AAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	AAA	AAA	RAA	RAA	RAA	RRR	AAA	AAA
GLG	media	112,51	391,5	37,74	190,26	112,66	73,294	56,104	57,631	59,617	55,732	56,542	68,257	125,69	225,81	260,63	125,8	57,782	60,089	203,81
	max	202,47	840	62	546,25	356,38	179,32	118	121,84	155,12	117,73	102,99	115,8	183,97	376,39	584,87	360,79	114,53	96,487	346,8
	min	41,579	70,51	12,42	50,648	43,701	34,693	28,502	26,971	27,19	27,438	30,632	36,586	53,964	58,54	56,945	43,64	27,548	34,196	56,508
	desv	38,456	155,54	9,234	114,53	64,411	30,066	18,458	20,01	24,329	17,289	18,623	20,246	33,576	71,764	123,17	69,305	17,164	16,599	71,015
	cv	34,181	39,729	24,467	60,197	57,173	41,022	32,9	34,721	40,808	31,021	32,937	29,662	26,713	31,78	47,261	55,093	29,704	27,623	34,844
AED	AAA	AAA	ARA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	RAA	AAA	AAA	AAA	AAA	RAA	RAA	AAA	AAA
BAR	media	37,436	116,95	17,107	54,064	36,796	27,992	23,49	25,141	27,179	25,343	25,389	27,326	40,946	65,631	69,689	39,704	25,269	26,005	58,681
	max	66,875	344,43	24,69	134,1	95,385	69,715	48,2	55,059	56,056	51,887	52,749	46,383	69,313	123,59	134,34	97,692	52,863	45,78	105,71
	min	14,699	23,28	6,99	15,885	13,888	12,928	12,068	14,031	14,042	12,653	12,261	12,442	14,687	18,259	15,674	14,245	14,108	12,452	16,184
	desv	11,45	55,741	3,8349	28,721	17,68	11,915	7,516	8,1242	9,1813	8,4689	8,727	7,3176	12,642	24,124	30,268	19,179	7,4171	7,3536	20,177
	cv	30,585	47,662	22,417	53,124	48,048	42,565	31,996	32,315	33,781	33,417	34,374	26,779	30,874	36,757	43,433	48,304	29,353	28,278	34,385
AED	AAA	RAA	ARR	RAA	RAA	RAA	RAA	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	ARR	ARA	AAA	RAA	RRR	RRR	AAA	
CBR	media	150,28	486,65	57,285	269,55	179,03	118,64	88,228	87,815	87,457	83,005	82,339	93,708	147,79	254,55	311,41	187,79	87,833	86,271	237,73
	max	368,48	1404,1	112	986,53	694,89	340,87	199,48	178,68	187,63	193,01	181,23	238,33	281,35	502,66	783,72	666	159,97	166,9	477,99
	min	63,345	96,11	15,36	67,593	58,128	51,652	39,367	36,682	32,682	44,645	43,548	40,49	35,946	69,901	76,72	58,899	40,768	45,359	62,04
	desv	56,259	231,5	18,569	165,82	104,65	55,373	31,046	30,529	29,018	29,929	28,496	34,501	56,142	104,59	151,71	105,8	26,973	28,722	94,627
	cv	37,435	47,569	32,415	61,518	58,452	46,673	35,188	34,765	33,179	36,057	34,608	36,818	37,988	41,087	48,717	56,34	30,709	33,293	39,804
AED	RAR	RAA	ARR	RAR	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	RAR	ARR	AAR	RAA	RAR	RRR	RRR	AAA

Detección de tendencias

En los sitios del río San Juan las variables Q_{\min} , $Q_{\text{jun,jul,ago,set,oct}}$ y Q_{inv} presenten tendencias significativas positivas. A excepción del sitio Km 101 que presenta tendencias negativas en las variables Q_{max} , $Q_{\text{ene,feb,abr}}$, Q_{may} , Q_{dic} y Q_v pero las mismas no son significativas.

En la cuenca del río Mendoza en Guido todas las variables tienen tendencias significativas positivas. Mientras que en la estación del río Las Vacas solo Q_{nov} presenta tendencia significativa positiva. El río Tupungato presenta tendencias significativas positivas en Q_a , Q_{\min} , $Q_{\text{ene,feb,mar,abr}^*}$, Q_v , Q_p , el asterisco denota incertidumbre ya que no se cumple con el supuesto de normalidad. El río Las Cuevas presenta tendencia significativa positiva en el Q_{\min} , $Q_{\text{jun,jul}}$, Q_i^* .

En el río Tunuyán se observan tendencias significativas positivas en el Q_{\min} , $Q_{\text{jun,jul}}$ y Q_i . El río Diamante tiene tendencias significativas positivas en los caudales de Q_{jul} y Q_{set} . Se registran tendencias no significativas negativas en Q_{max} , $Q_{\text{ene,feb}}$ y Q_v .

La cuenca del río Atuel presenta diferencias en las tendencias entre los distintos sitios. En el sitio el Sosneado tiene tendencias significativas negativas en $Q_{\text{feb,mar}}$, $Q_{v,p}$. Además presenta tendencias no significativas negativas en el resto de las variables a excepción de Q_{\min} , $Q_{\text{jul,set}}$, Q_i que tiene tendencias no significativas positivas. El sitio Loma Negra tiene tendencia significativa negativa en Q_{max^*} , mientras que en

las demás variables la tendencia también es negativa pero no significativa. En la Angostura todas las variables muestran tendencias positivas siendo significativas en el caso de Q_a , Q_{min} , $Q_{abr,may,jun,jul,ago,set,oct}$, $Q_{o,i,p}$. En Cañada Ancha Q_{min} tiene tendencia significativa positiva.

En la cuenca del río Grande los sitios Cobre, Chico, Potimalal y la Gotera no presentan tendencias significativas. En Tordillo se observan tendencias significativas negativas en las variables $Q_{ago,set,oct,inv}$. En el sitio La estrechura tendencias significativas detectadas son negativas en $Q_{max,feb,dic}$. En Valenzuela también son negativas en $Q_{ene,feb,ver}$.

En el río Barrancas se encontraron tendencias significativas positivas en $Q_{min,may,jun,jul,ago,oto,inv}$. En Buta Ranquil, se detectaron tendencias significativas positivas en $Q_{min,jun,jul,ago,oto,inv}$.

Las tendencias positivas están principalmente relacionadas con las variables vinculadas a los períodos de estiaje o caudales mínimos. Las mismas se concentran al norte de los 34° LS (DLJ) y también presentan tendencias positivas en $Q_{min,jun,jul,set,o,i}$, en los sitios BAR y CBR. Mientras que las tendencias negativas encontradas se vinculan con los períodos de aguas máximas. Las mismas se encuentran al sur del paralelo 34° en la cuenca del río Atuel a excepción del sitio La Angostura que presenta tendencias positivas en la mayoría de las variables. En la tabla 3 se presentan las tendencias para cada variable y sitio.

Detección de cambios abruptos

En los sitios LPAC, LPLP y Km 473 del río San Juan se detectaron saltos significativos positivos en la década del 70 en varias variables. En km 101 se detectaron saltos positivos en 1981 en las variables de caudales mensuales setiembre octubre e invierno y en el mismo año la variable caudal máximo presenta un salto significativo negativo.

Para las variables del río Las Cuevas, Vacas, Tupungato y Mendoza se detectaron principalmente saltos significativos positivos durante la década del 70. En la cuenca del río Tunuyán los saltos significativos positivos detectados también son en la década del 70 y además en el Q_{min} en 1981 y en 1999 en Q_{oct} . En el río Diamante a finales de la década del 70 se detectaron saltos positivos.

En la cuenca del río Atuel el sitio Puente Sosneado en el Q_{max} se detectó un salto positivo en 1999 y en 1984 en abril, además se detectaron saltos negativos durante la década del 80. La serie Loma Negra de 30 años de longitud muestra saltos significativos positivos en 2000. La angostura saltos positivos en la década del 70. Y en la estación cañada ancha donde la serie consta de 72 años de longitud se detectaron saltos significativos negativos en la década del 50 en $Q_{min,may,jun,jul,set}$ y saltos positivos en la década del 70.

En la cuenca del río Grande a excepción del sitio Cobre que no presenta saltos significativos, el resto presenta principalmente saltos significativos negativos, en la década del 80, 90. En Tordillo en Q_{set} y Q_{oct} el salto negativo es en 1959. En La Estrechura los saltos negativos detectados son en 1986 en $Q_{a,ene,mar,dic,v}$, en 1987 en el $Q_{max,p}$. Mientras que en 1990 se registran saltos positivos en $Q_{ago,set,i}$. En Valenzuela, el $Q_{a,feb}$

presentan un salto significativo negativo en 1987. Mientras que el $Q_{ene,mar,dic}$ en 1986. En el río Chico se encontró un salto significativo positivo en Q_{oct} en el año 2000. En Potimalal se encontró un salto negativo en Q_{min} en 1999 y positivo en Q_{jul} , los caudales de los meses de febrero a mayo y verano presentaron un salto negativo en 1984. En Q_{oto} se encontró un salto negativo en 1985. En la Gotera en el año 1999 hay un salto positivo en Q_{min} , mientras que en $Q_{feb,mar}$ el salto es negativo para el año 1984.

La serie del sitio Barrancas, fue rellenada desde el 71 al 75, se encontraron saltos positivos en 1971 en $Q_{a,max,mar,abr}$. En el Q_{min} en 1972, En $Q_{jul,set,oct,nov}$ en 1976 y en el 2000 en Q_{ago} . En el río Colorado en Butarqui la serie fue rellenada desde 1960 a 1989. Se encontraron saltos positivos en 1971 para las variables $Q_{a,max,ene,mar,abr,dic,v}$. En 1979 en el $Q_{min,set,inv}$. En 1960 en Q_{feb} . En 1977 en $Q_{may,oto}$. En $Q_{jun,ago}$ en 1978. En 1999 Q_{oct} . En 1991 Q_{nov} . En 1981 en Q_p . En la tabla 3 se presentan los saltos detectados.

Principalmente los saltos detectados pertenecen a la década del 70 y resultaron ser positivos. Los saltos detectados en la década del 50 son negativos. Se encontraron saltos positivos y negativos en la década del 80 y 90. Mientras que en la última década fueron positivos. En la década del 80 los saltos negativos pertenecen a los años entre 1984 y 1987, mientras que para el año 1981 y 89 resultan positivos. En la década del 90 los saltos negativos fueron en 1992 y los positivos en 1999.

En relación a la detección de cambios abruptos en las series históricas, el test t de Student Secuencial señala puntos de quiebre estadísticamente significativos de manera más frecuente que los otros test. Muchas veces se presentan saltos múltiples, que ningún test de los empleados los identifica. Debe recordarse que los test empleados requieren la condición de normalidad en la distribución.

Tabla 3.- Tendencias y saltos para las distintas variables.

	Q MED	Q MAX	Q MIN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	VER	OTO
Los Patos Alvarez Condarco																	
BETA:	0,063	0,146	0,028	0,124	0,071	0,046	0,030	0,023	0,012	0,024	0,021	-0,001	0,094	0,160	0,148	0,085	0,023
Pend parametrica	0,073	0,260	0,029	0,172	0,072	0,046	0,031	0,021	0,015	0,026	0,023	0,005	0,094	0,139	0,234	0,097	0,022
Tendencia	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	1977 +	1971	ns	1976	1976 +	1976 +	1977 +	1977 +	1977 +	ns	1976 +	ns	ns	1971 +	1976 +
Los Patos - La Plateada																	
BETA:	0,085	-0,083	0,108	0,002	-0,004	0,070	0,073	0,103	0,135	0,137	0,144	0,114	0,184	0,073	0,042	0,027	0,105
Pend parametrica	0,113	0,030	0,105	0,177	0,073	0,099	0,054	0,106	0,123	0,144	0,141	0,106	0,184	0,094	0,048	0,118	0,094
Tendencia	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	+	+	+	+	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	1977 +	ns	ns	1971 +	1976	1976+	1977 +	1977 +	1977 +	1976 +	1976 +	ns	ns	ns	1976 +
San Juan - Km 101																	
BETA:	-0,115	-0,314	0,028	-0,430	-0,497	0,011	-0,059	-0,055	0,192	0,185	0,188	0,250	0,450	0,123	-0,083	-0,323	0,012
Pend parametrica	-0,164	-2,339	-0,008	-1,017	-0,750	-0,192	-0,074	-0,053	0,139	0,182	0,158	0,214	0,361	-0,049	-0,911	-0,650	0,003
Tendencia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	1987 -	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1981 +	1981 +	ns	ns	ns	ns
San Juan - Km 473																	
BETA:	0,212	0,570	0,140	0,326	0,168	0,150	0,140	0,133	0,193	0,182	0,186	0,221	0,321	0,388	0,283	0,239	0,153
Pend parametrica	0,250	0,489	0,126	0,450	0,223	0,177	0,156	0,140	0,176	0,188	0,197	0,197	0,352	0,374	0,362	0,285	0,157
Tendencia	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	+	+	+	+	ns	ns	ns	ns
Salto	1976 +	ns	1977 +	1971	1971 +	1976 +	1976 +	1979 +	1976 +	1977 +	1977 +	1976 +	1976 +	1976 +	ns	1971 +	1976 +
Las Vacas - Punta de Vacas																	
BETA:	0,021	0,066	0,005	0,053	0,035	0,019	0,009	0,006	0,005	0,004	0,004	0,005	0,019	0,046	0,020	0,036	0,006
Pend parametrica	0,023	0,139	0,005	0,055	0,034	0,016	0,009	0,006	0,005	0,006	0,006	0,008	0,023	0,063	0,050	0,035	0,007
Tendencia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	+	ns	+	ns
Salto	1971 +	1976 +	1965 +	1971 +	1971 +	1971 +	1971 +	1971 +	1971	1971	1972 +	1972 +	1976 +	1976 +	ns	1971 +	1971 +
Las Cuevas - Punta de Vacas																	
BETA:	0,033	0,123	0,010	0,069	0,055	0,030	0,022	0,018	0,013	0,010	0,011	0,008	0,023	0,056	0,065	0,049	0,019
Pend parametrica	0,038	0,116	0,011	0,082	0,060	0,040	0,024	0,018	0,012	0,010	0,010	0,009	0,027	0,084	0,081	0,060	0,018
Tendencia	ns	ns	+	ns	ns	ns	+	+	+	+	+	ns	+	+	ns	ns	+
Salto	1971 +	1976 +	1973 +	1971 +	1971 +	1971 +	1971 +	1971 +	1971 +	1972 +	1972 +	1972	1976 +	1999 +	1976 +	1971 +	1971 +
Tupungato - Punta de Vacas																	
BETA:	0,110	0,358	0,036	0,352	0,233	0,151	0,056	0,020	0,024	0,026	0,019	0,013	0,045	0,091	0,261	0,247	0,032
Pend parametrica	0,105	0,290	0,038	0,336	0,236	0,151	0,052	0,024	0,020	0,016	0,010	0,018	0,050	0,098	0,249	0,241	0,032
Tendencia	+	ns	+	+	+	+	+	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	+	ns
Salto	1976 +	1977 +	1978 +	1971 +	1977 +	1977 +	1977 +	1977 +	1977 +	1978+	1977 +	1976 +	1976 +	1976 +	1976 +	1977 +	1977 +
Mendoza - Guido																	
BETA:	0,347	0,833	0,143	0,804	0,479	0,301	0,236	0,178	0,171	0,159	0,151	0,158	0,223	0,451	0,746	0,548	0,193
Pend parametrica	0,344	0,887	0,134	0,829	0,536	0,334	0,226	0,168	0,159	0,160	0,151	0,153	0,210	0,466	0,740	0,568	0,184
Tendencia	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Salto	1976 +	1976 +	1978 +	1971 +	1977 +	1977 +	1977 +	1977 +	1977 +	1977 +	1977 +	1976 +	1976 +	1976 +	1976 +	1977 +	1977 +
Tunuyán - Valle de Uco																	
BETA:	0,067	0,115	0,049	0,164	0,105	0,056	0,030	0,031	0,030	0,039	0,029	0,033	0,047	0,095	0,062	0,107	0,031
Pend parametrica	0,067	0,121	0,053	0,159	0,109	0,056	0,032	0,028	0,028	0,039	0,040	0,027	0,050	0,111	0,077	0,108	0,029
Tendencia	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	+	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	1971 +	ns	1981 +	1971 +	ns	ns	ns	1970 +	1978 +	1979 +	1979 +	1970 +	1999 +	ns	ns	ns	1970 +
Diamante - La Jaula																	
BETA:	0,061	-0,349	0,081	-0,146	-0,027	0,045	0,091	0,100	0,094	0,148	0,090	0,122	0,129	0,109	0,010	-0,023	0,083
Pend parametrica	0,022	-0,342	0,066	-0,116	-0,120	-0,063	0,030	0,058	0,066	0,102	0,078	0,099	0,110	0,069	-0,059	-0,099	0,051
Tendencia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	+	ns	+	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	1979 +	ns	ns	ns	ns	1979 +	1979 +	1979 +	1979 +	1979 +	1979 +	1979 +	ns	ns	1979 +
Atuel - Puente Sosneado																	
BETA:	-0,234	-0,950	0,053	-0,523	-0,616	-0,271	-0,150	-0,058	-0,011	0,015	-0,017	0,005	-0,021	-0,064	-0,619	-0,504	-0,072
Pend parametrica	-0,209	-0,830	0,069	-0,538	-0,662	-0,398	-0,151	-0,083	-0,032	0,006	0,009	0,025	-0,035	-0,012	-0,661	-0,528	-0,088
Tendencia	ns	ns	ns	ns	-	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns
Salto	1987 -	ns	1999 +	1987 -	1987 -	1987 -	1984 +	1992 -	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1987 -	1987 -	1992 -
Atuel - Loma Negra																	
BETA:	-0,199	-1,410	-0,022	-0,555	-0,567	-0,338	-0,033	-0,103	-0,087	-0,081	-0,039	-0,064	-0,144	-0,295	-0,496	-0,412	-0,096
Pend parametrica	-0,268	-1,401	-0,020	-0,726	-0,577	-0,377	-0,090	-0,087	-0,092	-0,065	0,012	-0,071	-0,174	-0,260	-0,726	-0,559	-0,090
Tendencia	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	ns	ns	ns	1987	ns	ns	ns	1987	2000 +	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Atuel - La Angostura																	
BETA:	0,114	0,241	0,112	0,097	0,060	0,101	0,127	0,114	0,106	0,101	0,101	0,122	0,104	0,141	0,133	0,088	0,118
Pend parametrica	0,119	0,259	0,116	0,135	0,075	0,116	0,127	0,111	0,110	0,096	0,108	0,120	0,105	0,149	0,167	0,110	0,116
Tendencia	+	ns	+	ns	ns	+	+	+	+	ns	+	+	+	+	ns	ns	+
Salto	1971 +	1971 +	1978 +	1971 +	1977 +	1977 +	1977 +	ns	ns	1977 +	1977 +	1971 +	1976 +	1970 +	1971 +	1971 +	1977 +
Salado - Cañada Ancha																	
BETA:	0,015	0,229	0,001	0,029	-0,001	-0,009	-0,005	0,006	-0,004	0,002	0,014	0,005	0,014	0,069	0,076	0,009	0,001
Pend parametrica	0,026	0,252	-0,002	0,068	0,007	-0,010	-0,007	0,002	-0,003	0,005	0,015	0,011	0,014	0,086	0,120	0,022	-0,003
Tendencia	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	1971 +	1976 +	1953 -	1976 +	ns	ns	1953 +	1951 -	1953 -	1952 -	2000 +	1954 -	1976 +	1970 +	1971 +	1971 +	1953 -
Cobre-Valle hermoso																	
BETA:	0,0251	-0,4375	-0,0022	0,0433	0,0719	0,0396	0,0394	-0,0195	-0,0092	-0,0007	-0,0057	-0,0073	-0,0105	0,0198	-0,0614	0,0563	0,0037
Pend parametrica	-0,02	-0,732	-0,004	-0,035	0,083	0,013	0,017	-0,031	-0,02	-0,004	-0,01	-0,001	0,013	-0,016	-0,236	0,018	-0,012
Tendencia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	ns	ns	1976 +	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tordillo-Valle Hermoso																	
BETA:	-0,0417	-0,3125	0,0184	0,1068	0,2226	-0,0059	-0,0458	-0,0246	0,005	-0,072	-0,0953	-0,0814	-0,2697	-0,1309	-0,0758	0,0911	-0,0284
Pend parametrica	-0,051	-0,307	-0,037	0,077	0,315	0,058	-0,054	-0,015	-0,037	-0,082	-0,109	-0,174	-0,28	-0,194	-0,09	0,145	-0,035
Tendencia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1954 -	1954 -	1954 -	1955 -	ns	ns	ns	ns
Grande-La Estrechura																	
BETA:	-0,3658	-1,7034	0,02	-0,96	-0,5471	-0,2457	-0,0878	-0,0325	-0,0108	-0,0191	0	0,0485	-0,1636	-0,7635	-1,1962	-0,6617	-0,0686
Pend parametrica	-0,367	-2,179	0,011	-0,963	-0,522	-0,321	-0,119	-0,066	-0,02	-0,008	0,069	0,053	-0,166	-0,699	-1,627	-0,605	-0,069
Tendencia	ns	-	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns
Salto	1986 -	1987 -	ns	1986 -	1987 -	1986 -	ns	ns	ns	ns	1990 +	1990 +	ns	ns	1986 -	1986 -	ns
Grande-La gotera																	
BETA:	-0,1885	-0,7862	0,1798	-1,3564	-0,7772	-0,2494	-0,0061	-0,0757	0,072	0,0898	0,1446	0,3298	0,6391	0,0096	-0,9068	-0,6828	-0,0339
Pend parametrica	-0,299	-2,117	0,15	-1,808	-1,285	-0,476	-0,185	-0,232	-0,003	0,165	0,181	0,348	0,51	-0,149	-1,264	-1,185	-0,141
Tendencia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	1999 +	ns	1984 -	1984 -	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Valenzuela-Valle Noble																	
BETA:	-0,0857	-0,0886	-0,0146	-0,215	-0,1541	-0,0743	-0,0575	-0,0175	-0,0325	0,0076	0,0174	0,0325	-0,0325	-0,0884	-0,2916	-0,1427	-0,0229
Pend parametrica	-0,093	-0,277	-0,023	-0,211	-0,141	-0,088	-0,045	0,028	-0,045	0,014	0,018	0,027	-0,044	-0,125	-0,285	-0,147	-0,02
Tendencia	ns	ns	ns	-	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	1987 -	ns	ns	1986 -	1987 -	1986 -	1987 -	ns	ns	ns	ns	1989 +	ns	ns	1986 -	1986 -	ns
Chico-Las Loicas																	
BETA:	0,005	0,6922	-0,0028	-0,2117	-0,0653	0,0045	-0,008	0,0381	-0,0082	0,0346	0,0807	0,0385	0,2838	-0,4997	-0,1137	-0,1028	0,0496
Pend parametrica	0,02	0,874	-0,009	0,155	0,015	0,015	0,023	0,12	-0,005	0,067	0,092	0,003	0,265	-0,363	-0,159	0,064	0,047
Tendencia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2000 +	ns	ns	ns	ns
Potimal-Gendarmería																	
BETA:	-0,0432	-0,1984	-0,0014	-0,066	-0,0339	-0,0132	-0,0112	-0,0264	-0,0222	0,0246	0,0131	-0,0137	-0,0326	-0,1193	-0,1361	-0,0415	-0,02
Pend parametrica	-0,038	-0,088	0,008	-0,161	-0,043	-0,02	-0,016	-0,027	-0,022	0,039	0,028	0,006	-0,037	-0,088	-0,12	-0,076	-0,022
Tendencia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salto	ns	ns	1999 +	1982 -	1984 -	1984 -	1984 -	1984 -	ns	1999 +	ns	ns	ns	ns	1984 -	1984 -	1985 -
Barrancas-Barrancas																	
BETA:	0,1962	0,7664	0,1097	-0,0674	-0,0224	0,0676	0,125	0,1587	0,2034	0,1864	0,1886	0,199	0,3262	0,4504	0,27	-0,0135	0,1584
Pend parametrica	0,186	0,893	0,112	-0,056	-0,034	0,042	0,098	0,154	0,205	0,242	0,298	0,225	0,382	0,43	0,236	-0,015	0,152
Tendencia	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	+	+	+	+	+	+	ns	ns	ns	+
Salto	1971 +	1971 +	1972 +	ns	1970 +	1971 +	1971 +	1978 +	1978 +	1976 +	1978 +	1976 +	1976 +	1976 +	ns	1970 +	1978 +
Colorado-Valle Hermoso																	
BETA:	0,3269	1,59	0,2398	0,4615	0,2463	0,1839	0,1343	0,2973	0,3886	0,4111	0,3755	0,4569	0,4829	0,0888	0,6936	0,3289	0,2922
Pend parametrica	0,365	1,727	0,187	0,388	0,332	0,234	0,134	0,238	0,244	0,369	0,365	0,514	0,414	0,393	0,751	0,314	0,206
Tendencia	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	+	+	+	+	ns	ns	ns	ns	+
Salto	1971 +	1971 +	1979 +	1971 +	1960 +	1971 +	1971 +	1977 +	1978 +	1979 +	1978 +	1979 +	1981 +	1981 +	1971 +	1971 +	1977 +

CONCLUSIONES

El análisis exploratorio de datos nos permite detectar errores, valores atípicos, verificación de supuestos básicos en las series. En el presente estudio el 84% de las series de variables analizadas no cumple con uno o dos de los supuestos básicos. El 16% cumple con los tres supuestos. La falta de normalidad, independencia y aleatoriedad en las series genera cierta incertidumbre para el análisis de los resultados.

El 20,8% de las variables presentan para un nivel de significancia de 0,05 tendencias positivas, de las cuales pertenecen en su mayoría a las variables caudal mínimo, junio, julio, agosto, e invierno. El 3,2% presenta tendencias negativas, las mismas se registran en APS, ALN, TVH, GLE, VVN. En general se observan cambios graduales de crecientes en las variables vinculadas con el período frío, mientras que para las variables vinculadas al período caliente tienden a disminuir, sin embargo no existen evidencias significativas de esta última apreciación. El análisis de las tendencias de caudal anual representa el comportamiento

hidrológico promedio, mientras que las variables de caudal estacional, máximo, y mínimo nos podrían estar indicando una fluctuación del régimen hidrológico.

Los test aplicados para la detección de cambios abruptos en las series de caudales consisten en la detección de un solo punto de cambio, sin embargo no significa que no existan otros puntos de quiebre. Los saltos detectados fueron positivos durante la década del 70 en la mayoría de los casos. En la estación Puente Sosneado y Cañada Ancha los saltos son negativos en la década del 80 y 50 respectivamente. También se registraron saltos negativos en los sitios TVH, GLE, VVN y POG.

Como se mencionara anteriormente la presencia de no homogeneidad en las series de caudales pueden ser debidos a múltiples factores, sean estos de origen natural o antrópicos. En el caso de las cuencas estudiadas las mismas poseen una baja intervención humana, por lo que es más probable que los cambios detectados provengan de cambios en el clima. Además de que estos resultados coinciden en general con estudios realizados anteriormente utilizando bases de datos de menor cantidad de años.

REFERENCIAS

- Atlas, 2010, Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina. *Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación*.
- Atlas 500k, 2011, Atlas Argentina 500K. Cartografía topográfica y de imagen escala 1:500000. *IGN-CONAE*. ISBN: 978-987-25448-6-7.
- Boninsegna, J. y R. Villalba (2006a) Los condicionantes geográficos y climáticos. Documento marco sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan. *Primer informe a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*. 19pp.
- Boninsegna, J. y R. Villalba (2006b). Los Escenarios de Cambio Climático y el impacto en los Caudales. Documento marco sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan. *Segundo informe a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*. 19pp.
- Buishand, 1982, Some methods for testing the homogeneity of rainfall records, *Journal of Hydrology* 58:11-17.
- Bruniard, 1992, Hidrografía. Procesos y tipos de escurrimiento superficial. Editorial CEYNE.
- Compagnucci, R. y Vargas W., 1998. Inter-annual variability of the Cuyo river' streamflow in the Argentinean Andean mountains and ENSO events. *International Journal of Climatology* 18: 1593–1609.
- Compagnucci, R., Blanco S. A., Figliola M. A. y Jacovkis P. M., 2000. Inter-annual variability of the Cuyo rivers' stream flow in the Argentinean Andean mountains and ENSO events. *Environmetrics* 11: 251-269.
- Compagnucci, R. y Araneo D., 2007. Alcances de El Niño como predictor del caudal de los ríos andinos argentinos. *Ingeniería Hidráulica en México*. XXII (3): 23-35.
- Figueras y Gargallo, 2003, Análisis Exploratorio de Datos. (en línea) <http://www.5campus.com/leccion/aed>
- Gyau-Boakye, 1993, Filling gaps in hydrological runoff data. Series in West África.
- Hamed, Rao, 1998, A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data, *Journal of Hydrology*, 204:182-196.
- Hirsch, Snack y Smith, 1982, Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality data, *Water Resources Research*, Vol. 18, No 1, pp. 107-121.
- Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982, Guidelines for Determining Flood Flow Frequency, Bulletin 17 B. U.S. Department of Interior, Geological Survey. Office of Water Data Coordination.

- Kundzewicz, Robson, 2000, Detecting trend and other changes in hydrological data, *WCDMP-45. WMO/TD* No 1013. Geneva.
- Lascano, Villalba, 2005, Impacto del calentamiento regional sobre el régimen de los ríos de alimentación nival en la Argentina. *XXXII Congreso Nacional del Agua*. Mendoza.
- Masiokas, M., Iba R., Luckman B. y Mauget, S. 2010. Intra- to Multidecadal Variations of Snowpack and Stream flow Records in the Andes of Chile and Argentina between 30° and 37°S. *Journal of Hydrometeorology* 11: 822-831.
- Pettitt, 1979, A nonparametric approach to the change-point problem, *Applied statistics*, 28:126-135.
- Remington, Schork, 1974, Estadística Biométrica y Sanitaria, *Prentice Hall International*.
- Salas, 1992, Analysis and modelling of hydrologic time series. En. Maidment, David (ed) *Handbook of Hydrology*. MacGraw-Hill.
- Vich, Bizzotto, Vaccarino, Correas, Manduca, 2010. Tendencias y cambios abruptos en el escurrimiento de algunos ríos con nacientes en la cordillera y serranías del oeste argentino. En: Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climáticos cambiantes. Carlos Ubaldo Paoli et.al -1a ed.- Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, 2010. 172 p.; 29x21 cm. ISBN 978-987-657-371-9. P.149-166.
- Vich, López, Schumacher, 2007, Trend detection in the water regime of the main rivers of the province of Mendoza, Argentina. *Geojournal* 70:233-243. DOI: 10.1007/s10708-0089136-x.
- Westmacott, Burn, 1997. Climate Change Effects on the Hydrologic Regime within the Curchill Nelson River Basin. *Journal of Hydrology* 202:263-279.
- Worsley, 1979, On the likelihood ratio test for a shift in location of normal populations, *Journal of American Statistic Associations*, 74:365-367.
- Yue, Pilon, Cavadias, 2002, Power de Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology* 259:254-271.