

EMPLEO DE RELACIONES HIDRÁULICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE REGIONES HOMOGÉNEAS

Graciela Viviana Zucarelli, Eduardo Blas Ceirano y Marta del Carmen Paris

Departamento Hidrología, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

Ciudad Universitaria, Paraje El Pozo. (3000) Santa Fe, Argentina

TE: 0054-342-4575244 (interno 167) FAX: 0054-342-4575224

e-mail: zuca@fich1.unl.edu.ar / eceirano@evarsa.com.ar / mparis@fich1.unl.edu.ar

RESUMEN

La variabilidad espacial de las condiciones del escurrimiento comúnmente encontrada en las cuencas hidrográficas, requiere una complementación de las metodologías de estimación de información a partir de los datos puntualmente registrados que permita considerar el alcance de su representatividad. Esto lleva a definir zonas en donde se mantenga cierta constancia de las características hidrológicas, es decir, la delimitación o identificación de regiones hidrológicamente homogéneas. No obstante, en muchas ocasiones no es trivial determinar un criterio (o criterios) para establecer dichas regiones.

En este trabajo se presentan, primeramente, los resultados de aplicar metodologías para la determinación del caudal máximo instantáneo como así también un resumen de las relaciones hidráulicas encontradas para cauces del área de estudio. Posteriormente, se muestran los resultados alcanzados por la aplicación de métodos estadístico-matemáticos multivariados (análisis de agrupamiento, componentes principales y gráfica de Andrews) en la identificación de las regiones homogéneas. El área de aplicación abarca 11 cuencas del noroeste de Argentina que cuentan con registros históricos de 605 crecidas. Sin embargo, en esta zona del país, de marcada aridez, en donde se torna indispensable realizar un manejo eficiente de los recursos hídricos, sólo 3 de estas cuencas continúan siendo aforadas en la actualidad.

ABSTRACT

The spatial variability of the flow conditions often presents in the watershed needs a complementation of the methodologies to estimate the information obtained from punctual data. It is fundamental to taking into account its representatively and led to define zones where certain constancy of the hydrological characteristics are maintained. Nevertheless, in many cases it is not trivial to determine a criterion (or criteria) to establish these regions.

This paper presents the results of the methodology for instantaneous runoff determination and the hydraulics ratios for the streams. The obtained results by application of multivariate statistical-mathematical methods (cluster and principal components analysis and Andrews' Plots) to identify homogeneous regions are presented here. This approach is an alternative that considers both the multidimensional data analysis and their integrated evaluation with the system conceptual characterization.

The application area comprises 11 basins in the northwest of Argentina, which have historical records of 605 events of flow. However, in this country zone, with an extreme drought, where it is very important to do an efficient water resources management, only 3 of these basin are nowadays gauging.

INTRODUCCIÓN

En función de la escasa información disponible, de la interrupción o discontinuidad en las mediciones y de la necesidad de optimizar mediciones futuras, la evaluación de las posibles

similitudes con vistas a la definición de regiones hidrológicamente homogéneas colabora con la definición estratégica de aquellos puestos de aforo que permitan obtener estimaciones representativas del caudal medio a fin de cuantificar la disponibilidad en los cursos superficiales o caracterizar crecidas de proyecto.

Así, a pesar de que los caudales máximos instantáneos cuentan con gran importancia en términos de aplicaciones prácticas y constituyen uno de los parámetros fundamentales en los proyectos de obras hidráulicas, la mayoría de los cursos de agua no poseen la suficiente información como para realizar este análisis. Sin embargo, estos valores pueden inferirse a través de funciones empíricas, dado que la forma y el tamaño de las secciones transversales de los canales aluviales se relacionan con los valores de caudales, sin la consideración de que otros factores, como el tamaño y la cantidad de sedimento y el tipo de vegetación de las planicies, pueden hacer variar la relación planteada.

En este trabajo se presentan, primeramente, los resultados de aplicar metodologías para la determinación del caudal máximo instantáneo como así también un resumen de las relaciones hidráulicas encontradas para cauces del área de estudio. Posteriormente, se muestran los resultados alcanzados por la aplicación del método del análisis de agrupamiento y la curva de Andrews en la determinación de las regiones homogéneas, considerando que la regionalización de cuencas hidrográficas es una técnica que se utiliza para transferir información, buscando explorar al máximo los datos existentes en una determinada región geográfica. La aplicación se realiza en 11 cuencas del noroeste de la República Argentina.

METODOLOGÍA

Para la determinación de relaciones hidráulicas

Sangal, según cita Silva y Tucci (1997), presentó un método para estimar los caudales máximos de crecidas en función de los caudales medios diarios. Se emplean los caudales correspondientes a tres días, siendo Q_2 el caudal máximo medio diario, Q_1 y Q_3 los caudales medios diarios que preceden y suceden a Q_2 . En el caso más simple, Sangal considera un hidrograma triangular con un intervalo de tiempo de 1 día, obteniéndose una ecuación básica que puede ser empleada para hallar el caudal máximo instantáneo:

$$Q_{ic} = \frac{(4Q_2 - Q_1 - Q_3)}{2} \quad (1)$$

donde Q_{ic} es el caudal máximo instantáneo calculado, Q_2 es el caudal máximo medio diario correspondiente al día de ocurrencia de la crecida; Q_1 y Q_3 son el caudal medio diario que antecede y precede a Q_2 .

Sangal aplicó este método al río Ontario, en Canadá, empleando los datos de 387 estaciones con áreas de drenaje variables entre 1 km² a 100 000 km², utilizando los datos de 3 946 valores máximos de crecidas (Kaviski, 1993). La base del hidrograma triangular K fue estimado con la siguiente expresión:

$$K = \frac{(4Q_2 - 2Q_1 - 2Q_3)}{(2Q_i - Q_1 - Q_3)} \quad (2)$$

donde Q_i es el caudal máximo instantáneo observado.

Por otra parte, el autor definió a R como la relación entre el caudal máximo instantáneo observado y el calculado:

$$R = \frac{Q_i}{Q_{ic}} \quad (3)$$

Dado que $Q_i > Q_2$, $K \leq 2$ en la ecuación (2). Además, el valor mínimo del numerador es 0, puesto que Q_2 no es menor que Q_1 o Q_3 . En conclusión, $0 \leq K \leq 2$. Además, si se realiza el producto KR se obtiene la siguiente expresión:

$$KR = \frac{(4Q_2 - 2Q_1 - 2Q_3)}{(4Q_2 - Q_1 - Q_3 - \frac{Q_1 + Q_3}{R})} \quad (4)$$

Graficando KR y K , es posible observar que todos los puntos caen en dos triángulos, donde la línea $KR=K$ es la de la estimación exacta. En el triángulo inferior, los valores se subestiman y en el triángulo superior se sobreestiman.

Por su parte, Correia, según cita Kaviski (1993), estimó una relación entre el caudal máximo instantáneo y el caudal medio diario máximo anual para cuencas de Portugal de entre 4 y 3 500 km², cuya expresión es la siguiente:

$$Q_i = k \cdot Q_2 \quad (5)$$

donde el parámetro k se obtiene por el método de mínimos cuadrados. Los valores de dicho parámetro obtenidos por Correia, son los siguientes: $k=2.1$ para cualquier región de Portugal; $k=1.8$ para la región norte de Tejo y $k=2.3$ para la región sur de Tejo, con coeficientes de determinación de 0.67, 0.76 y 0.67 respectivamente.

Las primeras referencias a la geometría hidráulica provienen de Leopold y Maddock y datan del año 1953 (Buhman et al., 2002). Ellos demostraron que la relación del caudal con el ancho, la profundidad y la velocidad de una sección transversal del río puede ser descrita por expresiones de tipo potencial, Lee (1977):

$$w = aQ^b \quad (6)$$

$$h = cQ^f \quad (7)$$

$$v = kQ^m \quad (8)$$

donde Q es el caudal (m³/s), w es el ancho de la sección transversal (m), h representa la profundidad (m) y v es la velocidad media (m/s). Por su parte, b , f y m son exponentes y a , c y k son los coeficientes de ajuste. Para mantener la continuidad, la suma de los exponentes ($b+f+m$) y el producto de las constantes ($a.c.k$) debe ser igual a la unidad (Park, 1977).

Por su parte, la estimación del ancho estable de un cauce aluvial constituye un aspecto importante para aplicar en el diseño de canales de tierra, protección de márgenes, vías de

navegación, etc., para la cual la fórmula de Glushkov es una ecuación morfológica que establece una relación entre el ancho w y la profundidad h en un cauce estable (Farias, 2000).

$$K_{go} = \frac{w^{1/2}}{h} \quad (9)$$

donde el coeficiente K_{go} cubre un rango de valores de 1 a 18 (w y h en m) y posee un valor promedio de 2.75, con valores típicos de 1.4 para lechos rocosos y 6.5 para cauces arenosos altamente erosionables.

Para la determinación de regiones homogéneas

Los métodos estadísticos adquieren gran importancia en el manejo de datos hidrológicos. Ello se debe fundamentalmente a su capacidad de optimización y síntesis en la generación de información. Particularmente, el análisis de agrupamiento, análisis cluster o simplemente cluster (Brown, 1998) en modo Q, es una técnica destinada a estudiar las posibles similitudes entre unidades observacionales o puestos de medida. En cambio, su alternativa de aplicación en modo R, indaga sobre las vinculaciones entre las variables consideradas. Por otra parte, el análisis factorial por componentes principales o análisis de componentes principales (Jöreskog et al., 1976), en modo R y modo Q, permite la reducción del número n original de variables o unidades observacionales mediante la definición de nuevas entidades p que resultan de una combinación lineal de las variables u observaciones originales, tal que $p < n$ y que estas p nuevas entidades reflejen el comportamiento de los fenómenos o procesos en evaluación.

Estas técnicas ofrecen diferentes alternativas para la representación de los resultados obtenidos (dendrogramas, diagramas de cargas, distribución espacial de las marcas, etc.) que facilitan la interpretación de los mismos. Pero, teniendo en cuenta además, que los datos n -dimensionales pueden ser representados como un punto en un espacio n -dimensional (y así con todas las m observaciones n -dimensionales), Andrews (1972) propuso un método simple y útil para representar gráficamente datos multidimensionales en sólo dos dimensiones. De acuerdo a ello, en cada sitio de registro o punto de observación, es posible definir una función armónica en donde los coeficientes que afectan a las funciones *seno* y *coseno* y el término constante son definidos por los valores cuantificados para las n variables. Esto deriva en una expresión como la siguiente:

$$f_x(t) = \frac{X_1}{\sqrt{2}} + X_2 \text{sen}(t) + X_3 \cos(t) + X_4 \text{sen}(2t) + X_5 \cos(2t) + \dots \quad (10)$$

donde X_1, X_2, \dots, X_n , son las variables cuantificadas en cada sitio, t varía en el intervalo $-\pi$ y π .

A partir de una evaluación integrada de los resultados aportados por estas técnicas y la caracterización conceptual previa del sistema, se pretende definir zonas de comportamiento hidrológico homogéneo e identificar aquellas variables de mayor significación en dicha expresión funcional.

APLICACIÓN

Fueron analizados un total de 605 eventos correspondientes a 11 cuencas de la República Argentina (Figura 1), de las cuales ocho pertenecen a la cuenca del río Salí-Dulce, una a la cuenca del río Pasaje o Salado, una a la Alta Cuenca del Juramento y la restante a la cuenca el Salar de Pipanaco (EVARSA, 1997). Los datos fueron proporcionados por la Ex Agua y Energía Eléctrica en planillas originales, por lo que fue necesaria su sistematización en soporte digital. La Figura 2 presenta en forma sintética los órdenes de magnitud de los caudales aforados en estas cuencas.

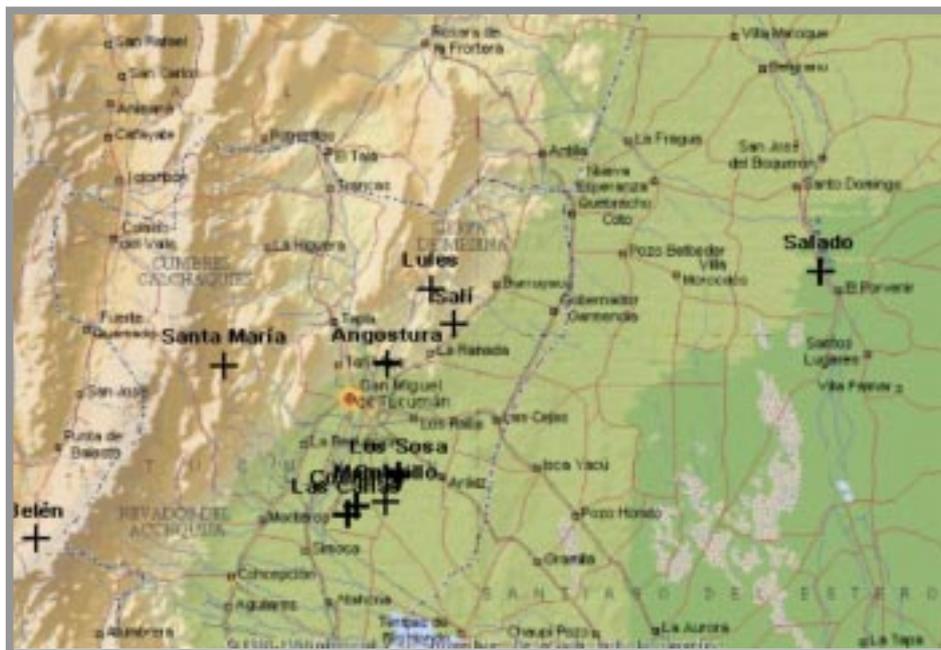


Figura 1. Ubicación de las cuencas.

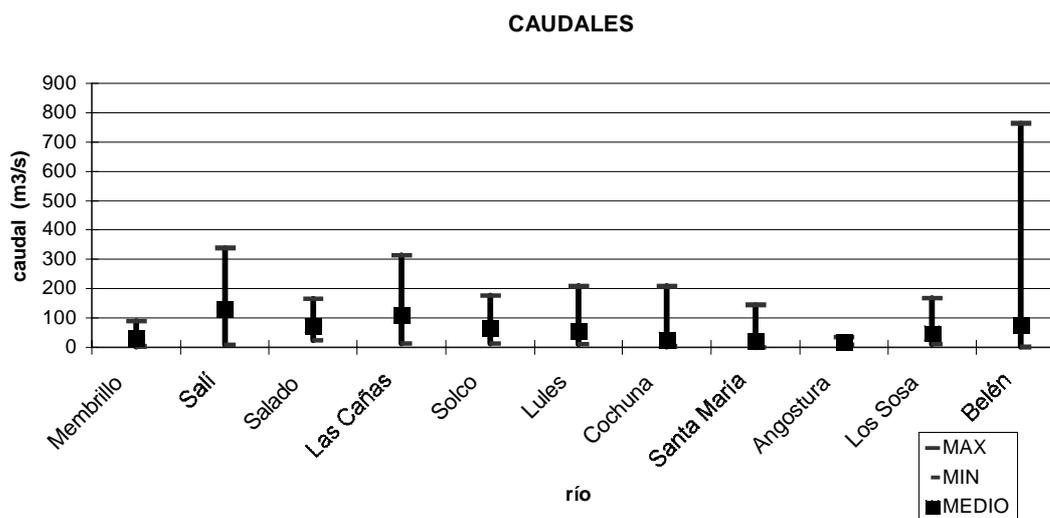


Figura 2. Caudales medios (mínimos, máximos y promedio).

RESULTADOS

A fin de analizar los valores de caudal máximo instantáneo calculado Q_{ic} obtenidos con la metodología propuesta por Sangal, se calcularon los parámetros K , R y KR y se realizó un gráfico KR versus K (Figura 3). La Tabla 1 presenta, para los 605 eventos analizados, el porcentaje de casos para los mismos rangos de R y K que los estimados por Sangal en sus investigaciones. De acuerdo a ello, el 55.9 % de los caudales son sobreestimados.

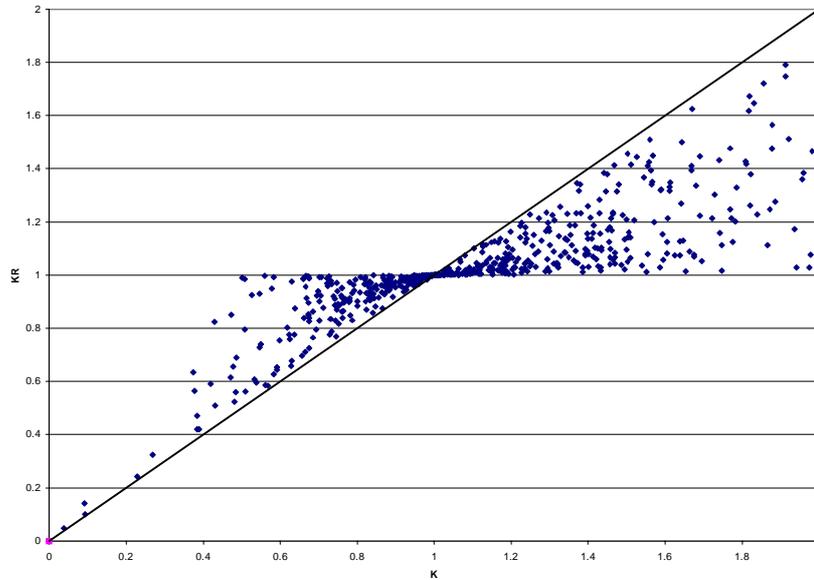


Figura 3. Relación K – KR.

Tabla 1. Valores de R y K para las cuencas analizadas.

<i>Rango de R</i>	<i>% de casos</i>	<i>Rango de K</i>	<i>% de casos</i>
$R \leq 1.00$	55.9	$K \leq 1.00$	44.3
$1.00 \leq R \leq 1.50$	41.9	$1.00 < K \leq 1.50$	41.7
$1.50 < R \leq 2.00$	2.20	$1.50 < K \leq 2.00$	14.0

Aplicando la relación propuesta por Correia, se obtuvo un valor de parámetro $k=1.67$ con un coeficiente de correlación de 0.83. La Figura 4 presenta el ajuste lineal obtenido para todas las cuencas, lo que posibilitó el trazado de una curva regional de tipo potencial entre Q_i y Q_2 con un coeficiente de determinación de 0.97 cuya expresión es la siguiente:

$$Q_i = 1.2459 \cdot Q_2^{1.0507} \quad (11)$$

La suposición que fundamenta a la curva regional es la de que las curvas de cada puesto de aforo presentan la misma tendencia.

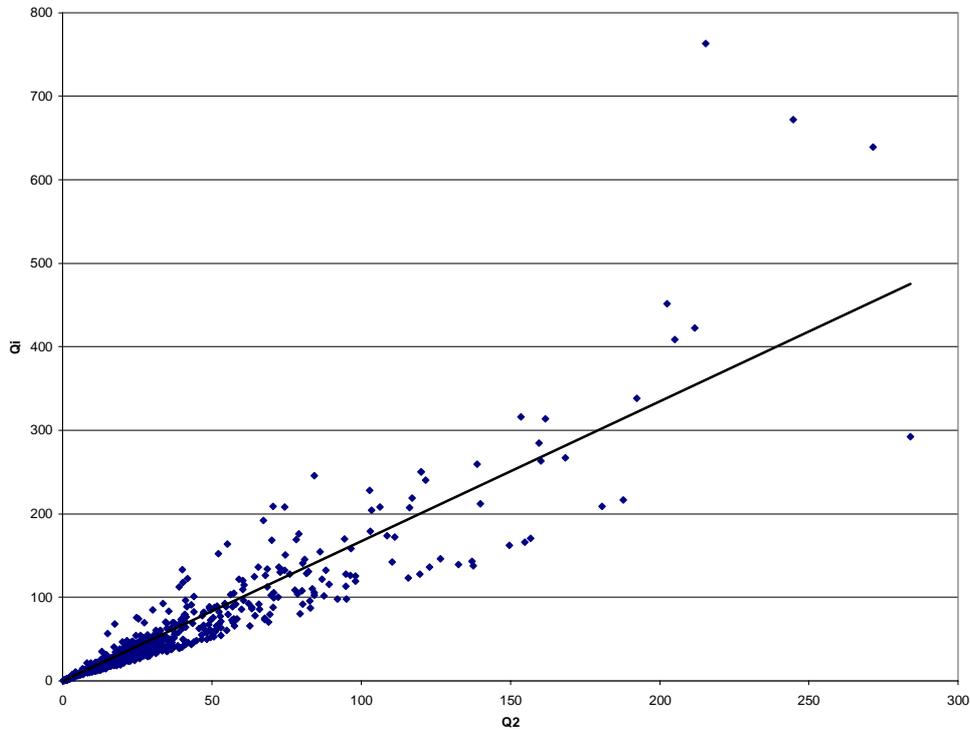


Figura 4. Relación $Q_1 - Q_2$.

Por su parte, se establecieron correlaciones entre Q_i y Q_2 para cada cuenca, cuyos coeficientes a y b se presentan en la Tabla 2, con el correspondiente R^2 .

Tabla 2. Coeficientes de la ecuación de regresión para cada cuenca.

<i>Cuenca</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2
<i>Belén</i>	1.2048	1.1123	0.9773
<i>Los Sosa</i>	1.6445	0.9740	0.9467
<i>Santa María</i>	1.1959	1.0546	0.9829
<i>Cochuna</i>	1.0671	1.0736	0.9183
<i>Lules</i>	0.9486	1.1011	0.9253
<i>Solco</i>	1.4497	1.0007	0.9059
<i>Las Cañas</i>	0.9742	1.1350	0.9323
<i>Salado</i>	0.9961	1.0121	0.9969
<i>Membrillo</i>	1.4366	1.0522	0.9537
<i>Salí</i>	1.9486	0.9190	0.9708
<i>Angostura</i>	0.6235	1.3826	0.8276

La Tabla 3 presenta los valores de los exponentes y las constantes de las ecuaciones determinadas para las relaciones ancho-caudal, profundidad-caudal y velocidad-caudal para los cauces analizados. Además se presenta el coeficiente de determinación (R^2) correspondiente a las ecuaciones de regresión.

Tabla 3. Relaciones ($w=a Q^b$) ($h=c Q^f$) ($v=k Q^m$) para los cauces analizados.

Río	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	<i>c</i>	<i>f</i>	<i>R</i> ²	<i>k</i>	<i>m</i>	<i>R</i> ²
Membrillo	3.20	0.37	0.739	0.36	0.30	0.388	0.96	0.33	0.446
Salí	12.63	0.22	0.592	0.17	0.41	0.952	0.49	0.35	0.798
Salado	11.16	0.34	0.541	0.13	0.56	0.842	0.66	0.09	0.342
Las Cañas	10.33	0.13	0.456	0.14	0.27	0.898	0.68	0.60	0.969
Solco	5.44	0.23	0.505	0.25	0.36	0.698	0.76	0.39	0.711
Lules	7.75	0.51	0.501	0.17	0.41	0.905	0.74	0.43	0.747
Cochuna	8.10	0.52	0.388	0.19	0.16	0.811	0.62	0.42	0.698
Santa María	8.50	0.52	0.692	0.13	0.31	0.641	0.91	0.21	0.727
Angostura	12.40	0.12	0.345	0.08	0.29	0.851	1.02	0.18	0.411
Los Sosa	8.60	0.28	0.348	0.30	0.28	0.674	0.39	0.45	0.647
Belén	4.77	0.48	0.829	0.17	0.26	0.741	1.43	0.26	0.874

La Tabla 4 presenta un resumen de los valores de los exponentes hallados por diversos investigadores.

Tabla 4. Resumen de exponentes *b, f, m* hallados por diversos investigadores.

	Ancho (<i>b</i>)	Profundidad (<i>f</i>)	Velocidad (<i>m</i>)
Park Chris C.	0.03 – 0.89	0.09 – 0.70	0.51 – 0.75
Leopold y Langbein	0.55	0.36	0.09
Smith	0.60	0.30	0.10
Este trabajo	0.12 – 0.52	0.16 – 0.56	0.09 – 0.60

Por su parte, Maidment (1992), presenta las relaciones entre velocidad, profundidad, ancho y pendiente con el caudal para seis ríos de Nueva Zelanda. Las relaciones encontradas son: $v=0.61 Q^{0.11}$; $h=0.21 Q^{0.43}$; $w=7.09 Q^{0.48}$ y $S=0.02Q^{-0.49}$, donde S es la pendiente. Estas relaciones son desarrolladas para sitios donde existen mediciones y no es posible su extrapolación a zonas no aforadas.

La Tabla 5 presenta la suma de los exponentes ($b+f+m$) y el producto de las constantes ($a.c.k$), de acuerdo a la verificación de continuidad de la metodología utilizada para encontrar estas relaciones funcionales.

Tabla 5. Relaciones $b + f + m$ $a.c.k$ para los cauces analizados.

Río	<i>b</i>	<i>f</i>	<i>m</i>	$b+f+m$	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>k</i>	$a.c.k$
Membrillo	0.37	0.30	0.33	0.99	3.20	0.36	0.96	1.10
Salí	0.22	0.41	0.35	0.98	12.63	0.17	0.49	1.05
Salado	0.34	0.56	0.09	0.99	11.16	0.13	0.66	0.95
Las Cañas	0.13	0.27	0.60	1.00	10.33	0.14	0.68	0.98
Solco	0.23	0.36	0.39	1.00	5.44	0.25	0.76	1.03
Lules	0.51	0.41	0.43	1.00	7.75	0.17	0.74	0.97
Cochuna	0.42	0.16	0.42	1.00	8.10	0.19	0.62	0.95
Santa María	0.52	0.31	0.21	1.04	8.50	0.13	0.91	1.00
Angostura	0.52	0.29	0.18	0.99	12.40	0.08	1.02	1.00
Los Sosa	0.28	0.28	0.45	1.00	8.60	0.30	0.39	1.00
Belén	0.48	0.26	0.26	1.00	4.77	0.17	1.43	1.15

De la observación de las Tablas se concluye que la suma de los exponentes ($b + f + m$) y el producto de las constantes ($a.c.k$) se acercan a la unidad en todos los casos presentados.

La Tabla 6 presenta la aplicación de la ecuación de Glushkov.

Tabla 6. Relación $w^{1/2}/h$ para los cauces analizados.

<i>Río</i>	<i>Relación $w^{1/2}/h$</i>
<i>Membrillo</i>	5.35
<i>Salí</i>	6.28
<i>Salado</i>	7.20
<i>Las Cañas</i>	1.25
<i>Solco</i>	4.59
<i>Lules</i>	1.12
<i>Cochuna</i>	1.17
<i>Santa María</i>	3.30
<i>Angostura</i>	2.20
<i>Los Sosa</i>	5.64
<i>Belén</i>	1.55

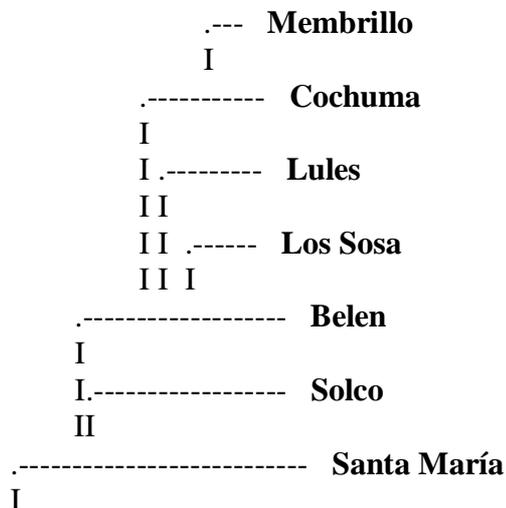
Conforme la clasificación realizada por Debolsky y Shishova (Farias, op. cit.), se pueden agrupar los ríos en lechos rocosos con Kgo cercano a 1.4 (Las Cañas, Lules, Cochuna, Belén) y otros como lechos arenosos altamente erosionables con valores de Kgo cercanos a 6.5, como es el caso de los ríos Membrillo, Salí, Salado, Los Sosa.

La identificación de regiones hidrológicamente homogéneas fue realizada sobre la base de los valores medios de las variables que caracterizan las secciones aforadas correspondientes a las cuencas de aporte superficial: área de drenaje A (km^2), caudal Q (m^3/s), velocidad v (m/s), profundidad h (m) y ancho de la sección transversal w (m). Los datos originales fueron transformados únicamente mediante una standarización. La Figura 5 presenta dendrograma obtenido para el agrupamiento de las cuencas, la Tabla 7 reúne los resultados del análisis de componentes principales Modo Q. En este caso la matriz de similitud fue cuantificada con el coeficiente *coseno de theta* ($\cos \theta$).

Coefficiente de distancia (d)

1.5104 1.2641 1.0178 .7715 .5252 .2789
 1.6335 1.3872 1.1409 .8946 .6483 .4020 .1557

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+



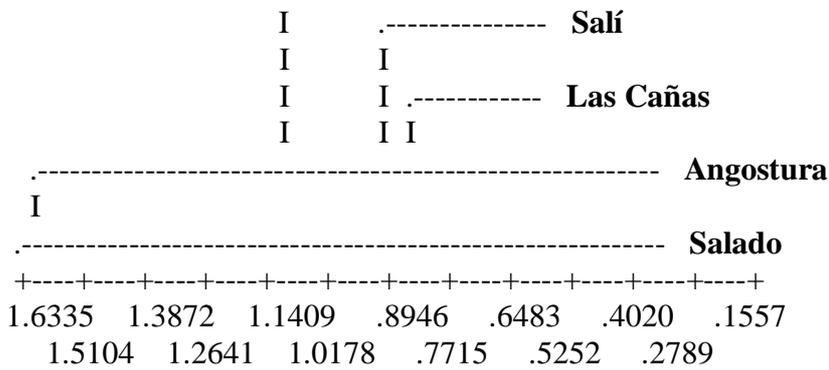


Figura 5. Análisis Cluster Modo Q.

Tabla 7. Análisis de componentes principales modo Q.

<i>Autovalor (orden)</i>	<i>Autovalor (valor)</i>	<i>Varianza</i>	<i>Varianza acumulada</i>
1	8.30	75.53	75.53
2	1.15	10.43	85.96
3	0.98	8.89	94.84
4	0.47	4.22	99.07
5	0.10	0.92	99.99
del 6 al 11	< 0.001	< 0.01	100.00

Cargas

<i>Río</i>	<i>Factor I</i>	<i>Factor II</i>	<i>Factor III</i>
<i>Membrillo</i>	0.72	-0.60	-0.31
<i>Salí</i>	0.29	-0.89	-0.29
<i>Salado</i>	0.13	-0.27	-0.87
<i>Las Cañas</i>	0.31	-0.79	-0.46
<i>Solco</i>	0.88	-0.29	0.04
<i>Lules</i>	0.78	-0.16	-0.55
<i>Cochuma</i>	0.72	-0.55	-0.39
<i>Santa María</i>	0.63	-0.73	0.18
<i>Angostura</i>	0.33	-0.88	-0.25
<i>Los Sosa</i>	0.83	-0.31	-0.41
<i>Belén</i>	0.88	-0.40	-0.18

Dado que, además las curvas de Andrews representan funciones armónicas cuyos coeficientes están definidos por los valores cuantificados para las n variables, el orden que toman las variables en la función tiene notable influencia en los resultados obtenidos (Embrecchts y Herzberg, 1991). En este caso, el análisis de componentes principales en Modo R permitió establecer el orden más adecuado de las variables (área, velocidad, caudal, ancho, profundidad) en función de los valores absolutos de las cargas de cada variable en dos componentes principales. Estas dos componentes representan el 87% de la varianza total del conjunto de datos y la mínima comunalidad resultante es de 80%.

Así, la Figura 6 presenta el agrupamiento de las cuencas obtenido de la aplicación de las técnicas mencionadas. De acuerdo con esta conformación de regiones homogéneas, las secciones de aforo correspondientes a los ríos Membrillo, Solco, Lules, Cochuna, Los Sosa y Belén, tienen un comportamiento hidrológico semejante, de modo que sería posible la transferencia de información entre las mismas. Igualmente ocurre con las estaciones de aforo de los ríos Salí, Las Cañas, Santa María y Angostura, quedando el río Salado como un tercer grupo.

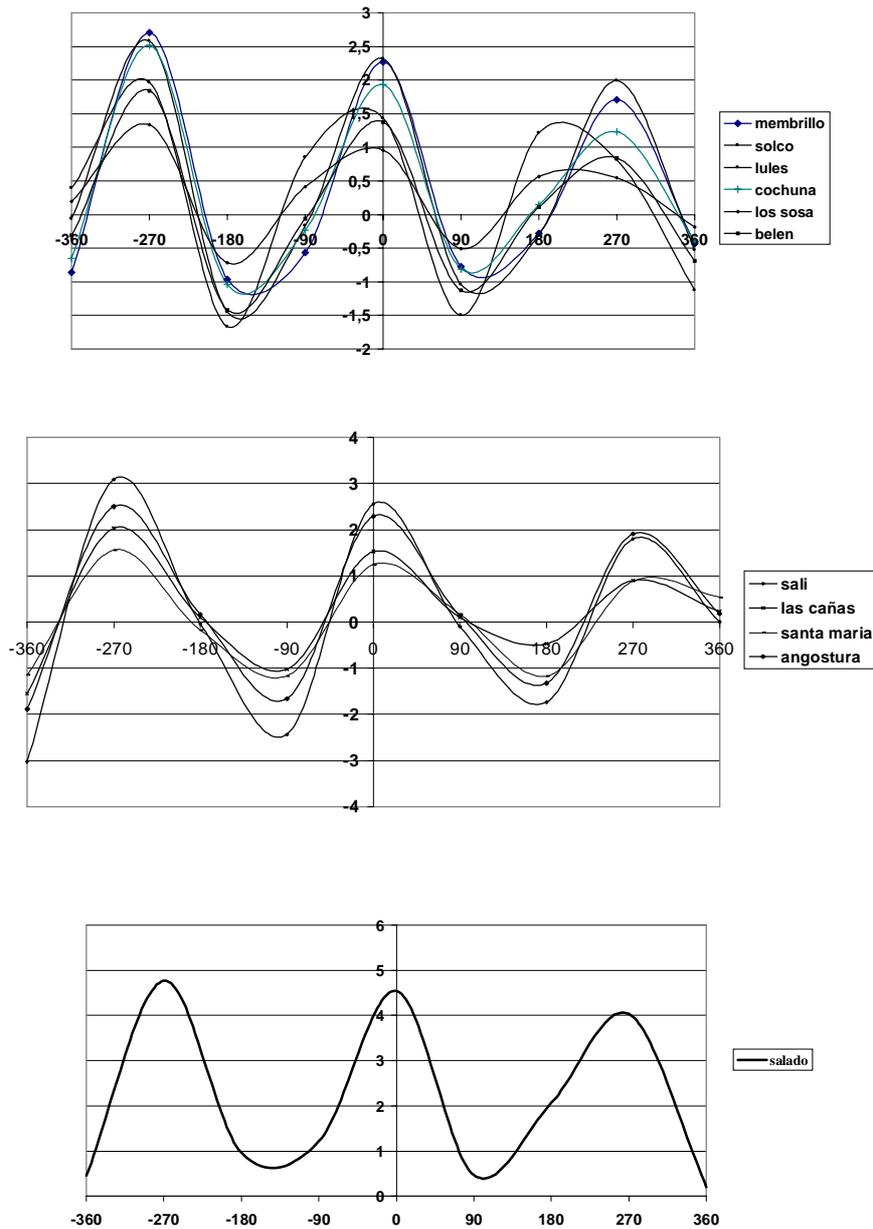


Figura 6. Regiones Hidrológicas de comportamiento Homogéneo.

CONCLUSIONES

La utilización conjunta de métodos estadísticos-matemáticos y su evaluación integrada con la caracterización conceptual previa del sistema ha permitido identificar regiones hidrológicas homogéneas sobre la base de los valores de área, velocidad, caudal, ancho y profundidad.

En relación con la constancia u homogeneidad de las características hidrológicas en las regiones y teniendo presente que, sólo 3 de las cuencas continúan siendo aforadas en la actualidad, se eleva una recomendación para que los organismos encargados de operar la red de mediciones hidrológicas, mantengan la continuidad de registro en al menos una estación por región hidrológica definida. Esto es de fundamental importancia ya que, no sólo permitirá contar con estimaciones regionalizadas de caudales en esta zona del país, en donde se torna indispensable realizar un manejo eficiente de los recursos hídricos, sino que a la vez suministrará datos básicos para la estimación y seguimiento de crecidas en las zonas de descarga de estos ríos, donde situaciones de inundaciones y anegamientos son frecuentes.

Los resultados obtenidos por la aplicación de metodologías para la estimación de caudales máximos y relaciones hidráulicas definidas en estos cursos de agua aportan cuantificaciones sustancialmente importantes en la caracterización de las crecidas de diseño. Estas nuevas variables estimadas sobre la base de la información disponible serán incorporadas en la identificación de regiones homogéneas realizadas en próximas etapas de estas investigaciones para lograr así una redefinición de las mismas con la consideración de eventos extremos y ciertas características morfológicas de las secciones aforadas de interés (parámetros de las relaciones hidráulicas y coeficiente de Glushkov) a los fines del pronóstico de la respuesta de las cuencas de aporte analizadas.

LISTA DE SÍMBOLOS

Q_{ic}	caudal máximo instantáneo (m^3/s)
Q_2	caudal máximo medio diario del día de ocurrencia de la crecida (m^3/s)
Q_1 Q_3	caudal medio diario que antecede y precede a Q_2 (m^3/s)
w	ancho de la sección transversal (m)
h	profundidad (m)
v	velocidad media (m/s)
b, f, m	exponentes
a, c, k	coeficientes de ajuste
Kgo	coeficiente de Glushkov
$X_1, X_2, \dots X_n$	variables de la curva de Andrews

REFERENCIAS

- ANDREWS D.F. (1972). "Plots of high-dimensional data". *Biometrics*, 28, Pp 125-136.
- BROWN, CHARLES (1998). "*Applied multivariate Statistic in Geohydrologic and Related Sciences*". Springer. 248 Pp.
- BUHMAN, D. L.; GATES, T. K.; WATSON, C. C. (2002). "Stochastic variability of fluvial hydraulic geometry: Mississippi and Red Rivers". *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol.128, N 4, Abril 2002. Pp. 426-437.
- EMBRECHTS P. y A. HERZBERG (1991). "Variations of Andrews' plots". *International Statistical Review*. 59, 2, Pp. 175-194.
- EVARSA (1997). "Estadística Hidrológica". Tomos I y II. Presidencia de la Nación. Secretaria de recursos naturales y desarrollo sustentable.
- FARIAS H. D. (2000). "Formulación racional de la relación ancho-profundidad para cauces aluviales estables". Congreso Nacional del Agua 2000, Santiago del Estero, Argentina.
- JÖRESKOG K., J. KLOVAN & R REYMENT (1976). *Geological Factor Analysis*. Elsevier

Scientific Publishing Company.

KAVISKI, E. (1983). "Uso de técnicas empíricas en regionalización hidrológica". X Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos – I Simposio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Gramado/RS, Brasil, Pp. 443-452.

LEE Larry J. (1977). "Missouri River Power Curve Regression Equations". Journal of Hydrology, 33. Pp. 123 – 132. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

MAIDMENT, David R. (1992). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, Inc.

PARK, Chris C. (1977). "World-wide variations in hydraulic geometry exponents of stream channels: an analysis and some observations". Journal of Hydrology, 33. Pp. 133-146. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

SILVA, E. A.; TUCCI, C. E. M (1997). "Estimativa da Vazao Máxima Instantânea con Base em

vazoes Máximas Diarias". XII Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitoria/ES, Brasil, Pp. 449-455.

Agradecimientos: Al personal de la región del NOA de la Empresa EVARSA por facilitar el material para la realización del presente trabajo.