

ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIAS EN CUENCAS NO AFORADAS

Marcelo Uriburu Quirno

Consultor Independiente, República Argentina.
E-mail: marcelo_uriburu@yahoo.com

Introducción

Como parte del estudio de los Aprovechamientos Múltiples Cuenca Alta Río Bermejo, se realizó un análisis estadístico de extremos por regionalización, con el objeto de determinar la crecida de diseño del Río Burrumayo (Provincia de Jujuy, Argentina) en tres secciones de cierre no aforadas (denominadas IA, IB, IIA), secciones evaluadas como alternativas para el sitio de implantación de la presa de embalse proyectada.

Para ello se utilizaron los registros de caudales medios diarios máximos anuales de la Base de Datos Hidrológica Integrada de la ex Subsecretaría de Recursos Hídricos (Argentina), para veintiocho estaciones candidatas a constituir la región, seleccionadas a priori por criterios de vecindad geográfica y similitud de características de cuenca.

A continuación, se presenta una breve descripción de la cuenca del Río Burrumayo, la metodología empleada para estimar cuantiles de caudal mediante regionalización, los resultados obtenidos, y las conclusiones extraídas.

Descripción de la cuenca del Río Burrumayo

La cuenca del Río Burrumayo forma parte de la cuenca del Río San Francisco, que es uno de los principales tributarios del río Bermejo en la República Argentina. El Burrumayo tiene sus nacientes en la Quebrada de Humahuaca, al sur de Tilcara. Las áreas de cuenca en los cierres IA, IB, IIA, Arrayanal y Confluencia con el Río Candelaria son respectivamente 241, 194, 258, 338,351 km².

Las isoyetas anuales COREBE (2013) presentan un fuerte gradiente, con precipitaciones anuales crecientes de NO a SE, entre unos 300mm y 1300mm. En las cuencas de los cierres analizados, la precipitación anual crece de 760mm a 950mm, hacia agua abajo

El caudal módulo en la estación Arrayanal es de 8.42m³/s. El año hidrológico se extiende de septiembre a agosto, con los caudales medios mensuales máximos en enero, febrero, y marzo, meses en los que el caudal medio mensual alcanza más del doble del valor módulo. La temperatura media anual ronda los 13.6°C, con mínimos en invierno que en las nacientes llegan a -15°C y máximos en verano superiores a 30°C. La evapotranspiración potencial anual es de unos 1100mm.

Metodología y resultados

El método de regionalización aplicado es el conocido como de la crecida índice (Hosking y Wallis, 1997). El mismo propone la adimensionalización de los caudales máximos anuales de cada estación mediante la división de cada valor por el promedio local de los máximos anuales. Se asume que la variable aleatoria transformada en adimensional tiene la misma distribución de probabilidades poblacional en todos los sitios de una región particular. De todas las etapas involucradas en el análisis regional de frecuencia, la más difícil es la de identificación de la región homogénea. El objetivo es formar grupos de sitios que satisfagan la condición de homogeneidad, es decir, la condición de que la distribución poblacional de probabilidades de todos los sitios es la misma, salvo por un factor de escala específico de cada sitio.

Unos cinco de los 28 sitios evaluados fueron descartados por ser groseramente discordantes del conjunto. Para los 23 restantes (que incluyen Arrayanal, en el mismo Burrumayo), la medida de discordancia resultó inferior a 3.00, y la medida de heterogeneidad H no resultó lo suficientemente grande como para considerar heterogénea la región tomada. En efecto, en diez simulaciones de 500 repeticiones cada una, se verificó que $0.96 < H < 1.05$. En Tabla 1 se presentan, para los sitios seleccionados, el caudal promedio de los máximos anuales, su coeficiente de variación, la longitud de registro y la medida de discordancia obtenida para ese conjunto. En Figura 1 (abajo) se observa el límite de cuenca y las estaciones de la región, sobre un modelo digital de elevación.

Tabla 1.- Parámetros GEV y Bondad de Ajuste.

Puesto	Promedio [m ³ /s]	CV	N reg.	Di
1	109.3	0.711	24	0.224
2	227.9	0.520	35	0.528
3	94.9	0.651	22	0.032
4	2512.1	0.573	16	0.984
5	39.7	0.705	12	0.984
6	98	0.642	8	2.006
7	132.5	0.703	15	0.627
8	120.8	0.919	19	2.252
9	52.7	0.615	18	1.082
10	292.3	0.672	53	0.408
11	354.7	0.619	43	0.213
12	197.1	0.593	35	0.154
13	63.2	0.584	13	2.156
14	72.3	0.655	44	0.179
15	20.1	0.416	20	2.510
16	33.3	0.812	11	2.405
17	98.6	0.646	19	0.185
18	1171.5	0.598	59	0.939
19	56.3	0.968	35	2.023
20	101.3	0.586	30	0.135
21	19.3	0.491	12	2.040
22	20.5	0.520	13	0.786
23	114.3	0.644	36	0.150

Una vez aceptada la homogeneidad de la región, restaba hacer el ajuste de la distribución elegida, la Generalizada de Valores Extremos (GEV). La expresión del cuantil GEV (x_T) es:

$$x_T = u + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(-\ln(F) \right)^k \right] = u + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^k \right] \quad [1]$$

donde los tres parámetros (u, α , k) de la distribución regional se obtuvieron en función de los cocientes L regionales (Cunnane, 1989). El ajuste aprobó la prueba de bondad de ajuste realizada, mediante la medida Z DIST (Hosking y Wallis, 1997) que evalúa si el cociente L de curtosis regional es aceptablemente similar o significativamente distinto de aquel de la distribución ajustada. El test se aprueba si Z DIST en valor absoluto es menor que 1.64. Su cálculo involucra un proceso de simulación Monte Carlo de generación de muestras de una distribución Kappa de 4 parámetros. Los resultados se observan en Tabla 2.

Tabla 2.- Parámetros GEV y Bondad de Ajuste.

Distribución GEV			
Parámetros Regionales			Bondad de ajuste
u	α	k	ZDist
0.684	0.412	-0.163	-0.019 (Aprobado)

Posteriormente, se evaluaron los cuantiles de la variable adimensional para distintos períodos de retorno de interés, entre $T = 2$ y 10000 años (Tabla 3). La suma de las longitudes de registro de los 23 puestos de la región es de 592 años. Eso significa que los valores calculados para períodos de retorno superiores a unos 1200 años deben tomarse con cautela dado que implican extrapolaciones de demasiado largo alcance (usualmente se considera admisible evaluar un período de retorno de hasta el doble que la longitud de registro).

Tabla 3.- Cuantiles GEV adimensionales.

T	x_T GEV	T	x_T GEV
2	0.986	100	3.508
5	1.442	200	4.147
10	1.835	500	5.110
20	2.274	1000	5.940
50	2.937	10000	9.477

Para retornar al dominio de caudales, se afectaron los cuantiles por un factor de escala, que es el promedio de los caudales máximos anuales (crecida anual media). Dado que en las secciones de cierre no se cuenta con registros, se estimó la crecida anual media mediante un escalamiento de la obtenida en la estación de aforos Arrayanal, ubicada aguas abajo. Para ello, se tomó la proporción entre el valor observado en Arrayanal y el obtenido con la regresión de esta variable contra características de cuenca (área y precipitación anual promedio, Cunnane (1989)). Este factor se aplicó a los valores de regresión en las secciones de cierre bajo estudio (Tabla 4).

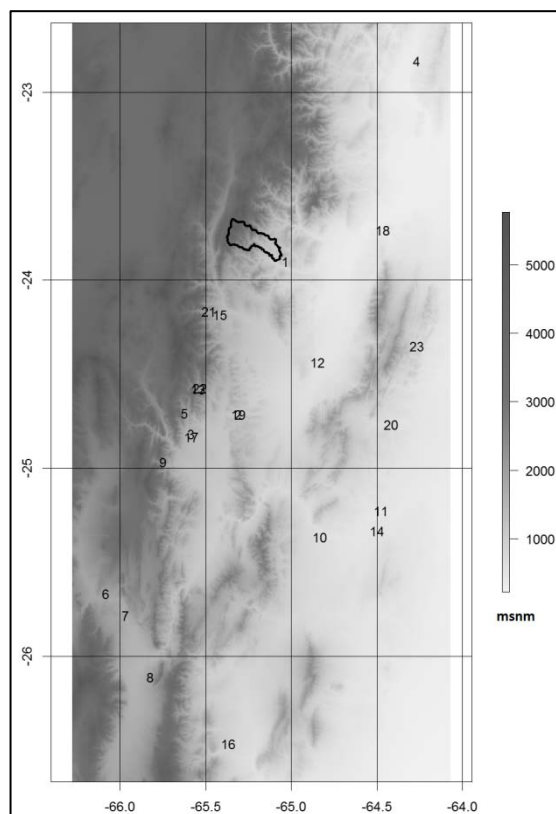
Tabla 4.- Crecida Anual Media (Q MAF) en Arrayanal y en los cierres.

Q MAF [m ³ /s]	Arrayanal	IA	IB	IIA
(a) Regresión	47.2	18.2	27.1	35.8
(b) Adoptado	109.2 (obs.)	42.0	62.7	82.9
Ratio (b) / (a)	2.31	2.31	2.31	2.31

Finalmente, dado que las series utilizadas son de caudal medio diario y que los caudales de diseño para estructuras hidráulicas deben ser representativos de valores pico instantáneos, se aplicó un factor de mayoración, en función del área de la cuenca, obtenido de un análisis de regresión (Tabla 5).

Tabla 5.- Cuantiles de caudal en Arrayanal y en los 3 cierres.

	QT-GEV [m ³ /s]			
	IA	IB	IIA	Arrayanal
factor	1.325	1.293	1.283	1.245
Q 2	54.9	79.9	104.9	134.1
Q 5	80.3	116.8	153.4	196.1
Q 10	102.2	148.7	195.2	249.5
Q 20	126.7	184.3	241.9	309.3
Q 50	163.6	238	312.4	399.4
Q 100	195.3	284.2	373.2	477
Q 200	230.9	336	441.1	563.9
Q 500	284.6	414	543.6	694.9
Q 1000	330.8	481.3	631.9	807.8
Q 10000	527.8	767.9	1008.1	1288.7

**Figura 1.-** Cuenca y estaciones de aforo de la región homogénea.

Conclusiones

Ante el requerimiento de estimar los caudales de diseño de la obra de alivio de una presa de embalse proyectada para el Río Burumayo, cuyo sitio de emplazamiento estaba aún por definirse entre tres secciones alternativas, y dado que en ninguna de estas secciones se cuenta con registros de caudal, se procedió a hacer un análisis regional de frecuencias de caudal, mediante el método de la crecida índice. Este método aprovecha la información registrada en otras estaciones, supliendo así el déficit temporal de información con la abundancia espacial, aumentando la longitud de los registros disponibles mediante la transferencia de información de las diferentes estaciones de la región.

Se determinó, entonces, un conjunto de 23 estaciones que constituyen la región homogénea, es decir, cuyos registros adimensionalizados provienen de una misma distribución poblacional. La suma de las longitudes de registro de los 23 sitios alcanza cerca de 600 años, lo que permite estimar caudales asociados a períodos de retorno de hasta unos 1200 años. En este trabajo se estimó también el caudal decamilenario.

La aplicación exitosa de esta herramienta estadística permitió resolver el desafío del diseño de obras hidráulicas de alto valor económico y cuya falla puede tener consecuencias catastróficas para la población agua abajo.

Referencias bibliográficas

- COREBE (2013)** "Plan de Aprovechamiento Múltiple de los Recursos Hídricos de la Alta Cuenca del Río Bermejo en la República Argentina", Proyecto PNUD ARG/12/006, Argentina
- Cunnane, C.** (1989). "Statistical distributions for flood frequency analysis". Operational Hydrology Report no. 33, WMO (series) no. 718, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland
- Hosking, J.R.M. y Wallis, J.R.** (1997). *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 224 p., ISBN 0-521-43045-3