

# CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL RÍO GRANDE

Patricia Infante <sup>(1)</sup>, Mario Salomón <sup>(2)</sup>, Luis Guisasola <sup>(1)</sup>, Sara Rodríguez <sup>(3)</sup>, Jennifer Delgado <sup>(4)</sup>

(1) Facultad de Ingeniería-UNCUYO, Mendoza, Argentina, patricia.infante@ingenieria.uncuyo.edu.ar

(2) Facultad de Ingeniería-UNCUYO, Mendoza, Argentina, salomonmario@yahoo.com.ar

(3) Facultad de Ingeniería-UNCUYO, Mendoza, Argentina, srodriguez@fing.uncu.edu.ar

(4) Facultad de Ingeniería-UNCUYO, Mendoza, Argentina, delgadojenniferlara@gmail.com

## Resumen

Los aprovechamientos hidráulicos, que incluyen la construcción y operación de presas de embalse y centrales hidroeléctricas, regulan el régimen natural del río, modificando la dinámica natural del mismo, y generando ciertas afectaciones hacia aguas abajo. Para la mitigación de dicho efecto se diseña una medida de gestión ambiental llamada “Caudal Ecológico”.

En el presente estudio se consideran diferentes metodologías para el cálculo de los caudales ecológicos aplicados a los registros de caudales del Río Grande en la Estación de Aforo La Gotera, ubicada aguas abajo del Proyecto del Aprovechamiento Multipropósito Portezuelo del Viento.

**Palabras-clave:** Recursos hídricos. Caudales ecológicos. Río Grande.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los aprovechamientos hidráulicos que incluyen la construcción y operación de presas de embalse y centrales hidroeléctricas se produce un efecto regulador de los caudales del río en el cual se instalan; generando una modificación del régimen natural de los mismos. Se modifican a través del tiempo los volúmenes que ingresan y egresan del cuerpo de agua que se forma aguas arriba de la presa. El manejo temporal implica almacenamiento y descarga de agua a través de la central hidroeléctrica, o a través del descargador de fondo o del aliviadero, según un plan de erogaciones que debe respetar las necesidades de caudal hacia aguas abajo, esas necesidades pueden tener diferentes características en cuanto a magnitud, variación temporal y espacial, y es lo que en la bibliografía se ha denominado “caudal de reserva ecológico” o “caudal mínimo medioambiental”, o simplemente “caudal ecológico” (Infante, et al; 2011).

El concepto de “caudal ecológico” implica determinar las necesidades hídricas para la conservación de la ecología fluvial, y se lo define como el caudal que debe ser reservado para mantenerla en condiciones admisibles, aguas abajo de las obras o aprovechamientos que alteren los regímenes originales o naturales de flujo de una corriente (García Rodríguez, et al, 2006). Se entiende, entonces, que el caudal de ecológico es el mínimo necesario para mantener los valores ecológicos del río, asegurando la permanencia de un volumen de agua dentro del cauce.

En el presente estudio se calculan los caudales ecológicos necesarios para evitar alteraciones ambientales relevantes en el cauce del Río Grande y del Río Colorado, asociados al Proyecto del Aprovechamiento Multipropósito Portezuelo del Viento.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplican métodos hidrológicos para el cálculo de los caudales necesarios para satisfacer las necesidades ambientales del curso de agua.

### 2.1. Materiales

La información hidrológica analizada corresponde a los datos que se encuentran disponibles en la Red Hidrometeorológica Nacional del Sistema Nacional de Información Hídrica de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, correspondiente a la estación de aforo denominada LA GOTERA, ubicada sobre el río Grande, latitud de 35° 52' 19,90" y longitud de 69° 53' 27,40".

Con la información de base disponible para caracterizar el régimen hidrológico del río Grande, series de caudales medios diarios 1974-2012, QMD, se han calculado los caudales medios mensuales, QMM, graficados en barras de color azul en la Fig. 1, gráfico que muestra una clara respuesta termonival de su régimen, con una sola crecida en verano, dependiendo de las temperaturas en las nieves altas, precipitadas en la temporada invernal anterior.

## 2.2. Métodos Aplicados

El marco conceptual de los métodos hidrológicos se basa en la consideración de que los organismos de las comunidades ribereñas están adaptados a las variaciones estacionales propias de un régimen hídrico; y además estas variaciones naturales afectan el comportamiento, ciclo biológico y producción de las poblaciones (Infante, 2011).

Se aplican los métodos siguientes: Método de la Curva de Permanencia; Método del Caudal Mínimo de siete días con período de ocurrencia de 10 años; Método de Tennant, Método de la legislación del Código de Aguas de Chile, en estos cuatro se obtiene un hidrograma ecológico; Método Matemático Suizo y el Método de la legislación del Principado de Asturias, en éstos dos últimos se obtiene un único valor de caudal a aplicar en todos los meses del año.

En primer lugar, se aplica el Método de Curva de Permanencia (Silveira y Silveira, 2001), a partir de los QMM correspondientes a la serie 1974-2012. Se identifica el mínimo QMM, el que resulta de  $29\text{m}^3/\text{s}$ , valor que se presenta en el mes de julio de 1989. Se fija este caudal como el “caudal ecológico” correspondiente al mes de julio. Para calcular el caudal ecológico del resto de los meses, se afecta a los QMM por un coeficiente  $\alpha$  que se obtiene del cociente entre el caudal mínimo de la serie y el promedio de los QMM de la serie correspondiente al mes en el que se produce el mínimo. Con lo cual el cálculo del coeficiente  $\alpha$  se realiza con la ecuación (1):

$$\alpha = \frac{Q_{\min \text{ serie}}}{Q_{\text{prom}}} = \frac{29,00\text{m}^3/\text{s}}{Q_{\text{prom. julio}}} = \frac{29,00\text{m}^3/\text{s}}{55,58\text{m}^3/\text{s}} = 0,52 \cdot \quad (1)$$

Los caudales ecológicos calculados con los QMM, indicados como QEMM, se resumen en la Tabla 1 y se grafican en la Fig.1, el derrame correspondiente asciende a  $1816\text{hm}^3/\text{año}$ , lo que representa el 52% del derrame medio anual, Tabla 2.

El segundo método aplicado es el del Caudal Mínimo de siete días consecutivos (Silveira y Silveira, 2003). Este método entrega el valor de un caudal mínimo estadístico que corresponde al valor que, en media, será igual o menor que el caudal medio en cualquier evento de siete días de sequía consecutivos. Para el cálculo se identificaron los siete días consecutivos más secos de la serie histórica de QMD entre los años hidrológicos 1997-2012. La suma de los siete QMD consecutivos que arrojó el menor valor fue de  $175,96\text{m}^3/\text{s}$ , lo cual da un medio diario de  $25,14\text{m}^3/\text{s}$ , este valor es el que se toma como “módulo ecológico”.

De los datos de la serie hidrológica se evaluó el derrame promedio anual, los derrames promedios mensuales y las relaciones entre ellos para cada mes. A partir del “módulo ecológico” calculado anteriormente, se determinó un derrame anual mínimo. Luego se evaluaron los caudales ecológicos para cada mes, conservando la misma relación entre derrames mensuales y anuales que se obtuvieron de la serie dato, los resultados, indicados como 7Q10, se resumen en la Tabla 1 y se grafican en la Fig.1. El derrame correspondiente a los caudales ecológicos 7Q10 asciende a  $792,72\text{hm}^3/\text{año}$ , lo que representa el 22,8% del derrame medio anual, Tabla 2.

El tercer método hidrológico aplicado corresponde al Método de Tennant (Tennant, 1976), en el que se fijan los caudales ecológicos como un porcentaje del caudal medio anual, QMA. Dichos porcentajes son variables de acuerdo a un criterio cualitativo, para este caso se adopta un criterio aceptable para la reserva ecológica, al que le corresponde el 10% del caudal medio anual para los meses de estiaje y el 30% para los meses más abundantes. La aplicación de este criterio, a la serie de datos de QMM para el período 1974-2012 resulta en los valores indicados como QET en la Tabla 1 y Fig.1. El derrame correspondiente a los caudales ecológicos QET asciende a  $751,72\text{hm}^3/\text{año}$ , lo que representa el 21,6% del derrame medio anual, Tabla 2.

En el método de la legislación del Código de Aguas de Chile (DGA de Chile, 2008) se consideran tres caudales de referencia:

- ✓ El caudal asociado al 50% del caudal con probabilidad de excedencia del 95%, Q95%PE, para cada mes.
- ✓ El caudal correspondiente al 10% del caudal medio anual, 10% QMA.
- ✓ El caudal correspondiente al 20% del caudal medio anual, 20% QMA.

Las consideraciones para la adopción del caudal ecológico mensual son las siguientes. Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del Q95%PE es menor al caudal determinado para el 10% QMA, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 10% QMA. Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del Q95%PE es mayor al caudal determinado para el 10% QMA y menor que el caudal determinado para el 20% QMA, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 50% del Q95%PE. Y, por último, para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del Q95%PE es mayor al caudal determinado para el 20% QMA, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 20% QMA.

Para la aplicación de estas consideraciones a la serie de QMD para el período 1974-2012 en la estación de La Gotera, ha sido necesario construir una curva de caudales clasificados para cada mes y obtener de cada una de ellas el valor correspondiente al Q95%PE, el que resultó mayor en todos los casos al 20% QMA, por lo que se adopta este último como único caudal ecológico, Tabla 1 y Fig.1. El derrame correspondiente a los caudales ecológicos indicados como QELC asciende a 696,13hm<sup>3</sup>/año, lo que, por supuesto, representa el 20% del derrame medio anual, Tabla 2.

El quinto método hidrológico aplicado es el Matemático Suizo (Benetti, 2003) cuya expresión matemática para el cálculo del caudal ecológico QEMS es la ecuación (2).

$$Q_{EMS} = \frac{15 \times Q_{347}}{[\ln Q_{347}]^2} \quad (2)$$

En la ecuación (2) el caudal Q347 se calcula a partir de 10 años de caudales medios diarios, y representa el caudal que es igualado o excedido 347 días por año, expresado en l/s.

Con los datos de la serie de QMD entre los años hidrológicos 1974-2012, y desechando las series anuales incompletas, en la estación de aforo La Gotera, se calculó la curva de caudales clasificados de la cual el Q347 resulta de 53,09m<sup>3</sup>/s, y el caudal ecológico, indicado como QEMS en la Tabla 1 y Fig.1, resulta en un único valor de 6,73m<sup>3</sup>/s, lo que implica un derrame ecológico de 212,17hm<sup>3</sup>/año, lo que representa el 6,10% del derrame medio anual, Tabla 2.

El sexto método hidrológico aplicado es el correspondiente a la Legislación Asturiana (Silveira y Silveira, 2001), cuyo criterio es adoptar el mayor de los caudales obtenidos aplicando las ecuaciones (3), (4) y (5), en las que el Q347 tiene el mismo concepto ya mencionado. El resultado obtenido es un único valor de caudal ecológico, QELA, para todo el año.

$$Q_{ELA} = \frac{15 \times Q_{347}}{[\ln Q_{347}]^2} \quad (3)$$

$$Q_{ELA} = 0,35 \times Q_{347} \quad (4)$$

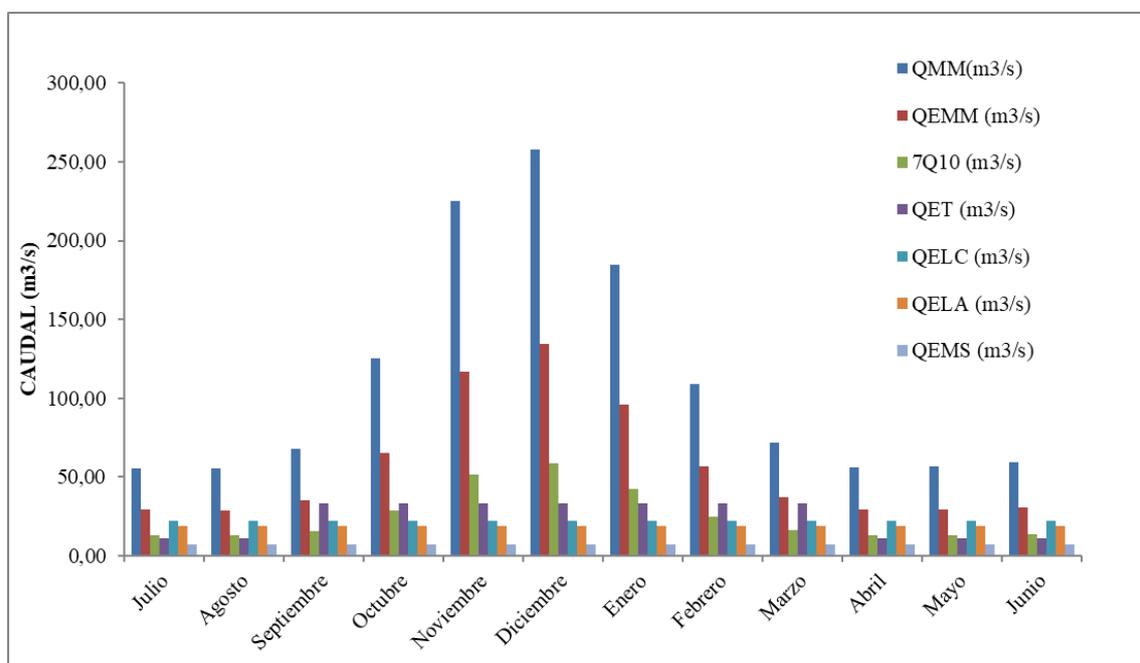
$$Q_{ELA} = 0,25 \times Q_{347} + 75 \quad (5)$$

Con los datos de la serie de QMD entre los años hidrológicos 1974-2012 en la estación de aforo La Gotera, y la curva de caudales clasificados de la cual el Q347 resulta de 53,09m<sup>3</sup>/s, el caudal ecológico, indicado como QELA en la Tabla 1 y Fig. 1, resulta en un único valor de 18,58m<sup>3</sup>/s, lo que implica un derrame ecológico de 586hm<sup>3</sup>/año, lo que representa el 16,84% del derrame medio anual, Tabla 2.

En la Tabla 2 se resumen los resultados correspondientes a los derrames ecológicos anuales y a los porcentajes de los mismos respecto del derrame anual del río Grande, éste último calculado en base a la serie de datos hidrológicos adoptada en los cálculos realizados. Las demandas ecológicas se han expresado en derrame anual, y no como caudales mensuales, ya que dicho valor es uno de los términos que se incluyen en el balance hídrico de la cuenca.

**Tabla 1. Hidrogramas de caudal medio mensual y caudales ecológicos calculados**

Mes	QMM	QEMM	7Q10	QET	QELC	QEMS	QELA
	(m <sup>3</sup> /s)						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Enero	184,80	96,10	42,09	33,08	22,07	6,73	18,58
Febrero	109,07	56,72	24,84	33,08	22,07	6,73	18,58
Marzo	71,40	37,13	16,26	33,08	22,07	6,73	18,58
Abril	55,67	28,95	12,68	11,03	22,07	6,73	18,58
Mayo	56,66	29,46	12,90	11,03	22,07	6,73	18,58
Junio	58,98	30,67	13,43	11,03	22,07	6,73	18,58
Julio	55,58	28,90	12,66	11,03	22,07	6,73	18,58
Agosto	55,17	28,69	12,57	11,03	22,07	6,73	18,58
Septiembre	67,75	35,23	15,43	33,08	22,07	6,73	18,58
Octubre	125,29	65,15	28,53	33,08	22,07	6,73	18,58
Noviembre	224,95	116,98	51,23	33,08	22,07	6,73	18,58
Diciembre	257,95	134,13	58,75	33,08	22,07	6,73	18,58



**Figura N° 1. Hidrogramas de caudal medio mensual y caudales ecológicos calculados**

**Tabla 2. Comparación de resultados de derrames anuales ecológicos del río Grande**

Método	Derrame Ecológico Anual (hm <sup>3</sup> /año)	Porcentaje del Derrame Anual
Método de la Curva de Permanencia	1816,00	52,17%
Método del Caudal Mínimo de siete días con período de ocurrencia de 10 años	792,72	22,77%
Método de Tennant	751,72	21,60%
Método de la legislación del Código de Aguas de Chile	696,13	20,00%
Método de la legislación del Principado de Asturias	585,99	16,84%
Método Matemático Suizo	212,17	6,10%

#### 4. CONSIDERACIONES FINALES

Del análisis de los valores obtenidos se puede concluir lo siguiente.

- ✓ Los resultados obtenidos con los Métodos de la Curva de Permanencia, columna 2 de la Tabla 1, y del Caudal Mínimo de siete días consecutivos, columna 3 de la Tabla 1, se ajustan bien la variabilidad natural del río Grande.
- ✓ Para el caso de los métodos de Tennant, columna 4, de la legislación del Código de Aguas de Chile, columna 5, Matemático Suizo, columna 6, y Legislación Asturiana, columna 7, de la Tabla 1, se concluye que en general brindan caudales ecológicos adecuados durante los meses de estiaje, pero se evidencia poca adaptabilidad para los meses de mayores caudales y, por lo tanto, de mayores demandas hídricas del ecosistema.
- ✓ Considerando los derrames ecológicos anuales, Tabla 2, los resultados de cuatro métodos resultan aproximados entre sí (22,77%, 21,60%, 20,00% y 16,84%), lo que justifica la adopción de alguno de ellos para el cálculo del caudal ecológico, principalmente respaldado por la aproximación de resultados obtenidos de la aplicación a las condiciones del río Grande.
- ✓ Si, además de considerar los derrames ecológicos, también se considera la variabilidad de los caudales, el método que resulta más adaptado al régimen del río Grande es el Método del Caudal Mínimo de siete días consecutivos.
- ✓ La adopción del Hidrograma Ecológico para la gestión del llenado y operación de presas de embalse debe ir acompañada de monitoreos de la fauna íctica a lo largo del cauce del río, principalmente aguas arriba y aguas abajo de la presa y en sitios de especial interés para el ciclo de vida del ecosistema. Los parámetros que deben incluirse en el monitoreo son: ictiopatologías según análisis macroscópico interno y externo, zooplancton y fitoplancton. La frecuencia del monitoreo debe ser por lo menos estacional, o sea por lo menos una vez por estación del año.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

García Rodríguez, E. y Paz Soldán Córdova, G., (2006). *Estimación de las necesidades hídricas para la conservación de la ecología fluvial de los ríos regulados*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

Infante, P. S.; Magistocchi, L. M.; et al (2011). *Caudales de reserva ecológicos: aplicación de métodos de cálculo en el río Grande*. XXIII Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2011, pp 320-332. Resistencia, Chaco. ISSN N° 1853-7685.

Silveira, LA y Silveira, LG., (2001). *Vazões mínimas*. En: Paiva, JBD. y Paiva, EMCD: *Hidrología Aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas*, Ed. Associação Brasileira de recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil.

Benetti, A; Lanna, E; Cobalchini, M., (2003). *Metodologías para determinação de vazões ecológicas em rios*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8, 149 a 160.

Tennant, D. L., (1976). *Régimen de caudales ecológicos para peces*. Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources, Montana, USA.

Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile, (2008). *Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos*. Informe Técnico, S.I.T N° 156. Santiago de Chile.