

# ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE RELACIONADA A LA EXTRAPOLACIÓN DE CURVAS ALTURA-CAUDAL (H-Q)

Magdalena Baraquet<sup>1,2</sup>, Germán Liendo<sup>1</sup>, Nicolás Guillén<sup>1,2</sup>, Javier Alvarez<sup>1,2</sup>  
y Carlos M. García<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfyn), Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfyn, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.  
E-mail: magdalena\_baraquet@hotmail.com

## Introducción

Las curvas que relacionan altura-caudal (H-Q) en secciones de cauces fluviales se obtienen como producto de una serie de aforos. Las curvas exigen, para una adecuada definición, una serie de mediciones de caudal que abarquen distintos niveles alcanzados por el agua en una sección y que los mismos estén bien distribuidos entre los períodos de estiaje y también capten las crecidas. Cuanto mayor sea el número de aforos, mejores serán los resultados que puede a futuro estimar la curva. La importancia de contar con la curva H-Q es que, una vez construida, con el dato de altura se obtiene el caudal en forma directa.

La sección de aforo donde se realiza una curva H-Q debe cumplir ciertos requerimientos: debe ser constante, no tener erosiones o sedimentaciones, no estar afectada por remanso y presentar un régimen del río establecido.

En nuestro país, a pesar de algunos esfuerzos realizados, son escasos los monitoreos para lograr una correcta cuantificación del recurso hídrico y lo que se busca en este trabajo es analizar la importancia de una adecuada estimación de las relaciones H-Q.

## Objetivos

En este trabajo, a partir de series históricas de aforos, caudales y alturas de algunos cursos fluviales de la Argentina realizadas por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación se busca analizar la incertidumbre relacionada a la extrapolación de curvas altura-caudal (H-Q).

## Materiales y métodos

Se utilizaron para este trabajo series históricas de aforos, niveles, caudales máximos instantáneos y caudales medios diarios de la **Base de Datos Hidrológica Integrada (BDHI)** de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Las estaciones seleccionadas para el análisis fueron las siguientes:

- **Pueblo Andino – Río Carcarañá**, Provincia de Santa Fe.
- **El Soberbio – Río Uruguay**, Provincia de Misiones.
- **Corrientes – Río Paraná**, Provincia de Corrientes.
- **Potrero del Clavillo – Río Las Cañas**, Prov. de Tucumán.

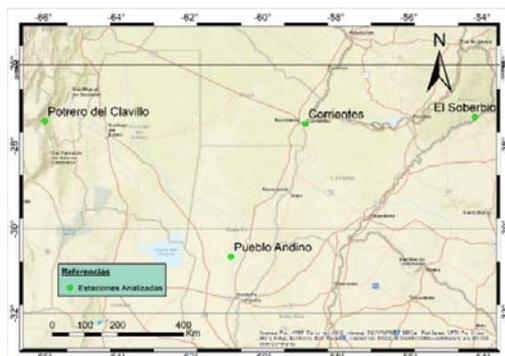


Figura 1.- Localización de las secciones de aforo analizadas.

De estas 4 estaciones, las primeras 3 pertenecen a cuencas de llanura, mientras que la última se encuentra dentro de una cuenca de montaña.

Estas estaciones fueron seleccionadas por poseer una adecuada base de datos de aforos de caudales, y además cuenta con datos históricos de Altura (H), Caudal Medio Diario (QMD) y Caudal Máximo Instantáneo (QMI).

La metodología de trabajo utilizada se resume de la siguiente manera:

1. *Ajuste de relaciones H-Q*: a partir de los aforos se estimaron curvas altura-caudal. La ecuación adoptada es del siguiente tipo:

$$Q = C(H - H_0)^{5/3} \quad [1]$$

Donde C y  $H_0$  son parámetros de ajuste; y H es nivel informado durante el aforo (en m) y Q es el caudal aforado (en  $m^3/s$ ).

Para la misma serie de aforos se realizaron más de un ajuste para poder analizar la incertidumbre relacionada a la extrapolación de las curvas H-Q: además del ajuste de la serie completa de aforos, también se ajustaron curvas a partir de series trunca para diferentes umbrales de nivel predefinidos.

2. *Análisis de frecuencia*: se relacionaron las siguientes series con el período de retorno:
  - a) Caudales máximos instantáneos (QMI).
  - b) Caudales medios diarios (QMD).
  - c) QMD calculados a partir de las H-Q predefinidas.
  - d) Niveles (H).
3. *Análisis de los resultados obtenidos*: se analizó la variación de los caudales de diseño asociados a diferentes recurrencias estimados a partir, no solo de diferentes variables (QMI, QMD, H), sino también a partir de diferentes relaciones H-Q.

## Resultados

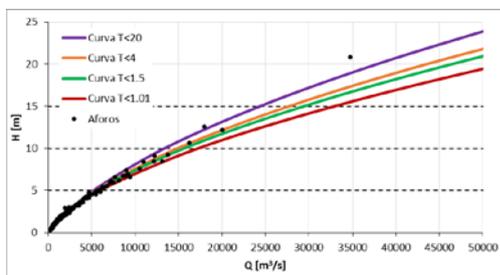
A continuación, se presentan los principales resultados alcanzados en la estación limnométrica “El Soberbio”.

En dicha localización se contaba con 218 aforos realizados entre 1983 y 2016. Se ajustaron relaciones H-Q utilizando por un lado la serie completa de aforos; y, además, se realizó la misma tarea para aforos realizados con alturas umbrales menores a 15, 10 y 5 m. Al realizar el análisis de frecuencia sobre la serie de niveles completa (H) se determinó que en el caso de la serie completa el aforo máximo posee una recurrencia de 20 años; análogamente, los niveles umbrales de 15, 10 y 5 m. poseen recurrencias asociadas de 4, 1.5, 1.01 años.

A continuación, se presentan los valores de los parámetros de las curvas H-Q ajustados en los 4 casos y en la figura 2 se grafican las curvas superpuestas con todos los aforos con que contaba la base de datos.

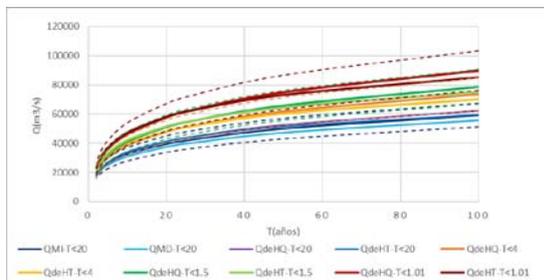
**Tabla 1.-** Valores de los parámetros de las curvas H-Q ajustados en cada caso – El Soberbio.

Parámetros	Todos los aforos	Aforos con H<15 m	Aforos con H<10 m	Aforos con H<5 m
	T<20 años	T<4 años	T<1.5 años	T<1.01 años
C	225.8	270.4	292.8	338.6
H <sub>0</sub>	-1.6	-1.1	-0.9	-0.6

**Figura 2.-** Aforos y curvas H-Q ajustadas para cada caso – El Soberbio.

De la última figura, se observa claramente que a medida que se van restringiendo los aforos usados en los diferentes ajustes, las diferencias entre los caudales estimados para las mayores aturas respecto a los aforados se incrementan notablemente.

Luego del cálculo de las H-Q se procedió a realizar análisis de frecuencia sobre las series de QMI y QMD. Además, también se realizó este procedimiento sobre las series de caudales obtenidas aplicando los 4 ajustes H-Q realizados sobre la serie de niveles completa. También se calcularon los caudales asociados a diferentes recurrencias aplicando cada uno de los ajustes sobre los niveles de diseño obtenidos del análisis de frecuencia de dicha variable previamente. A continuación, se presentan dichos resultados:

**Figura 3.-** Caudales de diseño asociados a diferentes períodos de retorno obtenidos de los diferentes análisis de frecuencia – El Soberbio.

De esta última imagen se observa en primer lugar que se alcanzan caudales de diseño del mismo orden de magnitud si se los obtienen del análisis de frecuencia de caudales (obtenidos luego de aplicar las H-Q sobre las series de H) o bien del análisis de frecuencia de niveles y después se estiman dichos caudales aplicando el ajuste H-Q.

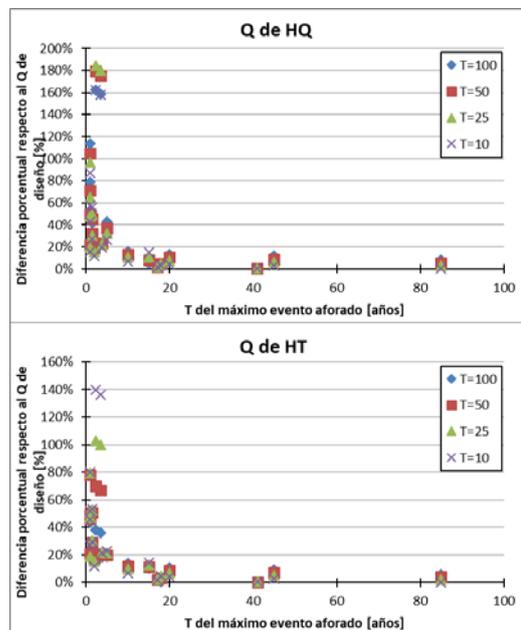
Del último análisis también resulta claro que al ir restringiendo las curvas H-Q estimadas debido a falta de aforos de crecidas se obtienen mayores diferencias entre los caudales de diseño. Si se comparan los caudales asociados a un período de retorno de 100 años obtenidos mediante la serie de QMI respecto a los estimados con los diferentes ajustes se obtienen diferencias del orden de 20, 30 y 50% para los niveles umbrales de 15, 10 y 5 m. respectivamente (cada uno con recurrencias asociadas de 4, 1.5, 1.01 años).

Análogamente a lo aquí desarrollado se trabajó para recurrencias de 10, 25 y 50 años con las cuatro series hidrológicas históricas.

En las demás cuencas analizadas se obtieron resultados

similares: cuando las recurrencias de los aforos máximos son inferiores, las diferencias entre las estimaciones de caudales de diseño crecen exponencialmente. En la

Figura 4 se grafica la diferencia porcentual entre los caudales respecto al valor estimado para el mismo tiempo de retorno a partir de la serie de QMI en relación con el tiempo de retorno del máximo evento aforado en la H-Q:

**Figura 4.-** Diferencia porcentual entre los caudales respecto al valor estimado para el mismo tiempo de retorno a partir de la serie de QMI en relación al tiempo de retorno del máximo evento aforado en la H-Q.

De esta última figura, se observa claramente que cuando se cuenta con aforos de caudales asociados a recurrencias de 10 años o mayores, la estimación de caudales a partir de datos de nivel resulta mucho más certera.

También se ha encontrado que la diferencia en la estimación de los caudales de diseño es independiente del tiempo de retorno.

## Conclusiones

En base a los resultados obtenidos es importante destacar que al si se obtienen caudales de diseño del análisis de frecuencia de caudales (obtenidos luego de aplicar las HQ sobre las series de H) o bien del análisis de frecuencia de niveles y después se estiman dichos caudales aplicando el ajuste H-Q, se obtienen resultados del mismo orden de magnitud.

Además, también resulta claro que al ir restringiendo las curvas H-Q estimadas debido a falta de aforos de crecidas se obtienen mayores diferencias entre los caudales de diseño. Si se afora un evento de recurrencia de por lo menos 10 años los caudales estimados resultan adecuados.

Se observó el mismo comportamiento en cuencas de montaña y llanura.

De ahora en adelante, luego de que fue demostrada la importancia de realizar aforos en periodos de crecida, es que se propone estimar caudales a partir de la aplicación de técnicas modernas de medición de bajo costo tales como LSPIV, en la cual partiendo de la estimación de la velocidad media superficial del flujo y mediante el procesamiento de un video digital, es posible el cálculo de caudal.

## Referencias

**Base de Datos Hidrológica Integrada – BDHL.** Subsecretaría de Recursos Hídricos. Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. <https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/rh-base.php>