

# FACTORES REGIONALES PARA OBTENER GASTOS MEDIOS MÁXIMOS PARA DISTINTAS DURACIONES

Maritza Liliana Arganis Juárez, Ramón Domínguez Mora, Eliseo Carrizosa Elizondo y Óscar A. Fuentes Mariles

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

E-mail: rdm@pumas.iingen.unam.mx; MArganisJ@iingen.unam.mx; ecae@pumas.iingen.unam.mx; ofm@pumas.iingen.unam.mx

## Introducción

El análisis de escurrimientos para estimar las avenidas de diseño de obras hidráulicas cobra auge a medida que se tiene una red de medición hidrométrica amplia.

En México, desafortunadamente, se cuentan con pocas estaciones hidrométricas en comparación con la información climatólogica. Por lo anterior es importante contar con alternativas para estimar caudales máximos para distintas duraciones que se utilizan para dar forma a las avenidas de diseño.

En este estudio se presenta un procedimiento para determinar factores medios adimensionales que relacionan los caudales máximos anuales instantáneos, con los gastos medios máximos obtenidos para distintas duraciones, en cuencas aforadas pertenecientes a dos regiones hidrológicas. Posteriormente se obtienen ecuaciones regionales para estimar, con ayuda de características fisiográficas, los parámetros de modelos logarítmicos que asocian a los factores promedio con la duración. Para aplicar el procedimiento propuesto se seleccionaron 6 estaciones hidrométricas de las regiones hidrológicas 36 y 37 (Figura 1).

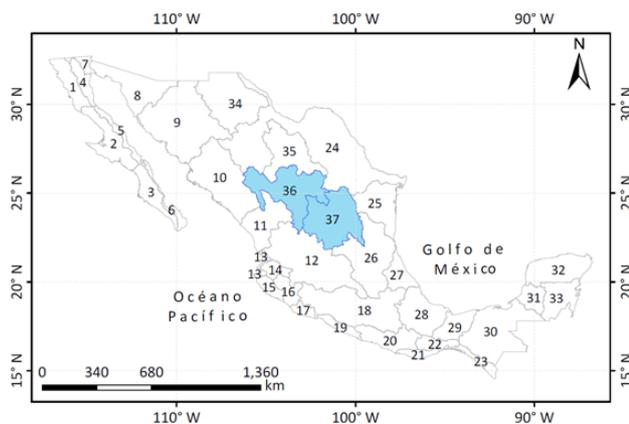


Figura 1.- Regiones hidrológicas 36 y 37 de México Fuente: Domínguez et al, 2017.

## Metodología

### Factores promedio $\bar{f}$

Para obtener factores ( $f$ ) que asocian al gasto medio máximo anual para la duración  $n$  ( $\bar{Q}^n$ ) con el gasto máximo instantáneo anual ( $Q_{mi}$ ) se obtiene el registro de gastos máximos instantáneos anuales y el registro de gastos medios diarios, de la base de datos Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS) manejado por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) (Conagua, 2018). Con el registro de gastos medios diarios se calculan los gastos medios máximos para duraciones de 1 a  $n$  días (ecuación 1)

$$\bar{Q}^n = \text{Máx} \frac{\sum_k^{(k+n-1)} Q_k^1}{n} \quad [1]$$

Donde  $n$  es la duración en días.

$k$  contador que indica el día en que inicia el lapso de duración  $n$ ,  $\bar{Q}^n$  gasto medio máximo asociado a la duración  $n$ ,  $Q_k^1$  gasto medio diario en el día  $k$ , es el dato del registro.

Para todos los años ( $j$ ) se calcula el cociente del gasto máximo anual entre el gasto medio máximo para las distintas duraciones.

$$f_j^n = \frac{\bar{Q}^n}{Q_{mi}} \quad [2]$$

Los factores promedio  $\bar{f}(n)$ , para cada duración, se obtienen promediando los factores obtenidos en todos los años de registro.

Ecuaciones de  $\bar{f}(n)$  en función de la duración y relación con características fisiográficas

Para cada estación ( $i$ ) analizada se obtiene la línea de tendencia del factor promedio  $\bar{f}(n)$  en función de la duración ( $n$ ) que en el caso de las regiones analizadas tienen la forma logarítmica:

$$\bar{f}(n) = a_{1i} \ln(n) + a_{2i} \quad [3]$$

Se obtiene la correlación entre los parámetros  $a_1$  y  $a_2$  de todos los modelos logarítmico, determinando su curva de ajuste; posteriormente se selecciona uno de ellos para asociarlo con las características fisiográficas de todas las estaciones de la región analizada.

Por otro lado a cada estación de la región analizada se les calcula sus características fisiográficas: Área de la cuenca  $A_c$ , en  $\text{km}^2$ , pendiente media de la cuenca  $S_{mc}$ , en grados, Longitud del cauce principal  $L_{cp}$ , en  $\text{km}$ , tiempo de concentración  $t_c$ , en horas, número de curva  $N_c$  (adimensional), espesor del suelo  $S$ , en  $\text{cm}$ .

Se obtiene la ecuación regional de ajuste de los parámetros  $a_{1i}$  o  $a_{2i}$  en función del área de la cuenca o de otras características fisiográficas que den altas correlaciones.

### Cálculo de gastos medios máximos para distintas duraciones en una cuenca no aforada o con escasa información

Para una cuenca no aforada o con pocos años de registro, la obtención de los gastos medios máximos para distintas duraciones se realiza con ayuda de las características fisiográficas. Las características fisiográficas (por ejemplo el área de la cuenca) se sustituye en la ecuación regional de los parámetros de los modelos ( $a_1$  y  $a_2$ ) y conocida la duración  $n$  con la ecuación 3 se calcula el factor promedio  $\bar{f}(n)$ ; si la estación cuenta con un valor promedio del gasto máximo instantáneo dicho valor se multiplica por el factor promedio  $\bar{f}(n)$  obteniéndose con ello el gasto medio máximo para la duración  $n$ .

Cuando la cuenca no está aforada se pueden usar ecuaciones

regionales para estimar la media del gasto máximo instantáneo (Domínguez et al., 2017) y este valor se multiplica por el factor promedio para estimar el gasto medio máximo para cada duración.

Si lo que se va a obtener es una avenida de diseño se realiza el análisis de los gastos medios máximos previamente calculados, considerando las duraciones de uno a  $n$  días, donde  $n$  corresponderá al tiempo base de la avenida de diseño. Posteriormente se pueden calcular los gastos individuales y usar el método de bloques alternos u otro procedimiento para dar forma a la avenida de diseño.

## Aplicación y resultados

Factores promedio  $f$  en función de la duración

Los factores promedio  $f$  obtenidos para las 6 estaciones y duraciones de 1 a 10 días aparecen en la Tabla 1.

**Tabla 1.-** Factores promedio  $f$ . Regiones hidrológicas 36 y 37 en México.

Duración [días]	Estación					
	36071	36074	37005	37006	37008	37012
1	0.739	0.717	0.273	0.123	0.189	0.400
2	0.631	0.637	0.206	0.076	0.114	0.326
3	0.565	0.574	0.183	0.058	0.088	0.284
4	0.511	0.522	0.158	0.047	0.075	0.256
5	0.470	0.483	0.141	0.041	0.064	0.242
6	0.442	0.452	0.128	0.036	0.054	0.232
7	0.417	0.428	0.117	0.032	0.048	0.224
8	0.397	0.407	0.108	0.029	0.042	0.215
9	0.378	0.390	0.100	0.026	0.039	0.206
10	0.363	0.374	0.093	0.024	0.036	0.197

Algunas características fisiográficas de las estaciones analizadas se encuentran en la Tabla 2.

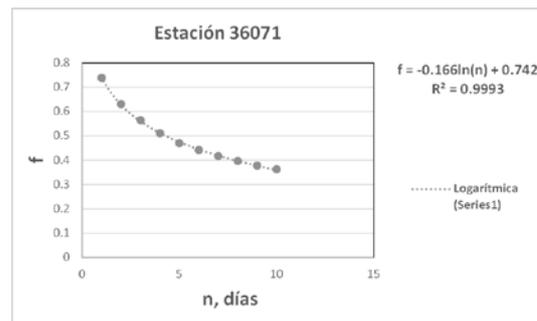
**Tabla 2.-** Características fisiográficas de estaciones hidrométricas. Regiones hidrológicas 36 y 37 en México.

	Estación					
	36071	36074	37005	37006	37008	37012
Ac [km <sup>2</sup> ]	4974.9	6743.9	1510.1	173.9	308.2	89.6
S <sub>mc</sub> [°]	14.3	14.0	4.9	8.4	5.2	13.2
L <sub>cp</sub> [km]	180.4	241.1	93.9	25.0	52.6	22.0
tc [h]	31.1	48.4	17.3	4.4	8.8	2.8
NC	74.6	76.5	71.8	74.2	67.2	72.1
S [cm]	8.7	7.8	10.0	8.8	12.4	9.8

Se obtuvieron modelos logarítmicos del tipo de la ecuación (3), en la Figura 2 se ejemplifica el caso de la estación 36071. El resumen de los parámetros de esos modelos aparece en la Tabla 3.

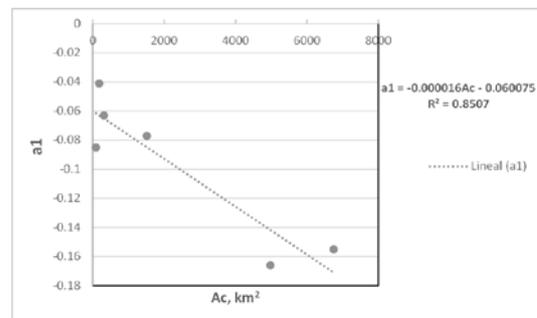
**Tabla 3.-** Parámetros de modelos  $\bar{f}(n)$ . Regiones hidrológicas 36 y 37 en México.

Parámetros	36071	36074	37005	37006	37008	37012
a1	-0.17	-0.16	-0.08	-0.04	-0.06	-0.09
a2	0.74	0.73	0.27	0.11	0.17	0.39



**Figura 2.-** Comportamiento del factor promedio  $\bar{f}$  con la duración. Regiones hidrológicas 37 y 36.

En la Figura 2 se observa un alto coeficiente de determinación ( $R^2=0.9993$ ). La correlación lineal entre los parámetros  $a_1$  y  $a_2$  de los modelos fue de 0.9818, la pendiente de la recta de ajuste entre ellos fue de -5.3812 y la ordenada al origen de -0.1252; por lo que sólo se obtuvo la ecuación de ajuste entre uno de estos parámetros y las características fisiográficas. En la Figura 3 se ilustra el caso de la línea de tendencia obtenida para los parámetros  $a_1$  y una característica fisiográfica (se ejemplifica el caso del área de la cuenca).



**Figura 3.-** Comportamiento del parámetro  $a_1$  con el área de la cuenca  $A_c$ . Regiones hidrológicas 37 y 36.

Con la ecuación de la Figura 3 y conocida el área de la cuenca de otro sitio de la región se calcula el parámetro  $a_1$  y  $a_2$  se estima con la recta que asocia a ambos. Estos valores se llevan a la ecuación (3) para obtener los factores promedio  $\bar{f}$  para distintas duraciones  $n$ .

## Conclusiones

El método para obtener factores promedio  $f$  en una región se caracteriza por su sencillez, pero de suma utilidad en estudios hidrológicos que emplean métodos regionales; sin embargo, se requiere de un análisis detallado de las características fisiográficas que tengan correlaciones altas con los parámetros de los modelos para estimar  $\bar{f}$  en función de la duración. También es importante el agrupamiento de estaciones hidrométricas homogéneas para la estimación de estos factores.

Este procedimiento ayuda a estimar gastos medios máximos para distintas duraciones en sitios con escasa o nula información.

## Referencias

Conagua (2018). Banco Nacional de datos de Aguas Superficiales. BANDAS disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>

Domínguez M.R., Arganis J. M.L., Carrizosa E. E., Hincapié L.C., et al. (2017) Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la república mexicana. Regionalización de gastos. CENAPRED, México.