

AA
3145

2

IAHR

AMH

XVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
OAXACA, MÉXICO, OCTUBRE, 1998

REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS EN UNA REGIÓN DE
COLOMBIA

María V. Vélez O. Ricardo A. Smith Q. Edna M. Rodríguez G. y Jorge A. Bedoya M.

Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia

Apartado aéreo 1027, Medellín, Colombia

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se desean diseñar obras civiles como acueductos, distritos de riego o se desea hacer un estudio de demanda de agua, es indispensable el conocimiento de caudales mínimos asociados a varios períodos de retorno.

En el departamento de Risaralda, una de las regiones cafeteras más importantes de Colombia, existen zonas donde no hay información de caudales o ésta es muy deficiente, con lo cual se dificulta la estimación de caudales mínimos. En este caso es necesario emplear métodos de regionalización, que permiten hacer estos estimados con una buena confiabilidad.

Se presentan en este trabajo algunos métodos de regionalización de caudales, que permiten estimar caudales mínimos en zonas sin información o con escasez de esta.

Los métodos de regionalización estudiados fueron:

- Regionalización de parámetros estadísticos media y desviación estándar
- Regionalización de las curvas de recesión
- Curvas de duración regionales

Se presentan los caudales mínimos obtenidos con estas metodologías, y se analizan y comparan los diferentes resultados.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA E INFORMACIÓN UTILIZADA

El departamento de Risaralda se encuentra localizado en la parte centro-occidental del territorio colombiano (ver figura 1). El departamento se extiende entre las llamadas cordillera occidental y cordillera central, pertenecientes a la gran cordillera de Los Andes. Entre las dos vertientes existe una amplia zona central de relieve plano, ondulado o no muy quebrado. En su hidrografía se destacan los ríos Cauca, Risaralda, Barbas, Campoalegre, Otún, San Francisco y Consota.

3136

En la zona central predomina el clima cálido suave o templado húmedo, con temperaturas que oscilan entre los 24 y los 30 °C, en tanto que en zonas más elevadas se suceden las temperaturas frías y gélidas. En su parte más alta se encuentra el parque natural de los nevados con alturas que alcanzan los 5150 m.s.n.m. Existen allí varios picos, el más importante de los cuales es el Nevado del Ruiz.



Figura 1. Localización de la zona estudiada

La precipitación promedio multiannual varía entre 1600 y 6400 mm/año como se muestra en el mapa de isoyetas de la región (figura 3).

La región tradicionalmente agropecuaria es una de las principales productoras de café del país. Existen también cultivos de caña de azúcar, plátano, maíz, yuca, papa, así como ganadería vacuna y porcina. Su problemática ambiental está asociada al desarrollo urbano e industrial así como a la concentración y crecimiento poblacional.

En la zona y regiones vecinas se tenían disponibles registros de caudales de 47 estaciones, cuya longitud de registros oscilaba entre 7 y 36 años, y 65 estaciones pluviométricas con longitudes de registro entre 10 y 55 años. (ver figura 2).

Para cada una de las cuencas definidas por cada estación de caudales, se hallaron los parámetros morfométricos a partir de planos topográficos en escalas 1:25000, 1:100000 y 1:200000.

3. METODOLOGÍA

3.1. REGIONALIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MEDIAS

A los registros de caudal de cada estación utilizada, se ajustaron las distribuciones Log-Normal de dos parámetros y Gumbel. La estimación de los parámetros fue hecha por los métodos de momentos de ordenados y máxima verosimilitud. Para verificar la bondad de los ajustes se hicieron las pruebas de Smirnov-Kolmogorov, Cramer-Von Mises y la prueba de ajuste gráfica, lo que permitió seleccionar la mejor distribución de probabilidades entre las dos antes mencionadas. En la región analizada la mayoría de las series de caudales se ajustaron a una distribución Log-Normal de dos parámetros. Sin embargo las diferencias con la distribución Gumbel no fueron grandes.

Para relacionar la media y la desviación típica de los caudales mínimos medios diarios con parámetros morfométricos, se usaron procedimientos de escogencia de modelos de regresión tipo Step-Wise y procedimientos de regresión lineal múltiple para estimar los parámetros de los modelos seleccionados.

Cuando se utilizaron todas las estaciones disponibles se obtuvo un modelo que relacionó la media y la desviación estándar con el área de la cuenca y la precipitación promedio multianual con un coeficiente de correlación de 0.97 Así:

$$\text{Media } Q_{\min} = 3.67 \times 10^{-5} A^{0.826} p^{1.165}$$

$$\text{Correlación} = 0.972$$

$$\text{Desv. } Q_{\min} = 7.40 \times 10^{-7} A^{0.910} p^{1.225}$$

$$\text{Correlación} = 0.970$$

Cuando se seleccionaron las 10 estaciones más cercanas a la zona de estudio se obtuvieron relaciones entre la media y la desviación estándar con el área de la cuenca y la pendiente del canal principal con coeficientes de correlación de 0.97 y 0.84 respectivamente.

$$\text{Media } Q_{\min} = -0.354 + 0.013 A + 0.08 S$$

$$\text{Correlación} = 0.974$$

$$\text{Desv. } Q_{\min} = 0.669 + 0.005 A + 0.116 S$$

$$\text{Correlación} = 0.844$$

Donde:

Media Q_{min} : media de los caudales mínimos en m^3/s

Desv. Q_{min} : desviación estándar de los caudales mínimos en m^3/s

A: área de la cuenca en km^2

S: pendiente promedio del cauce principal en porcentaje

P: precipitación promedio total multianual sobre la cuenca en $mm/año$

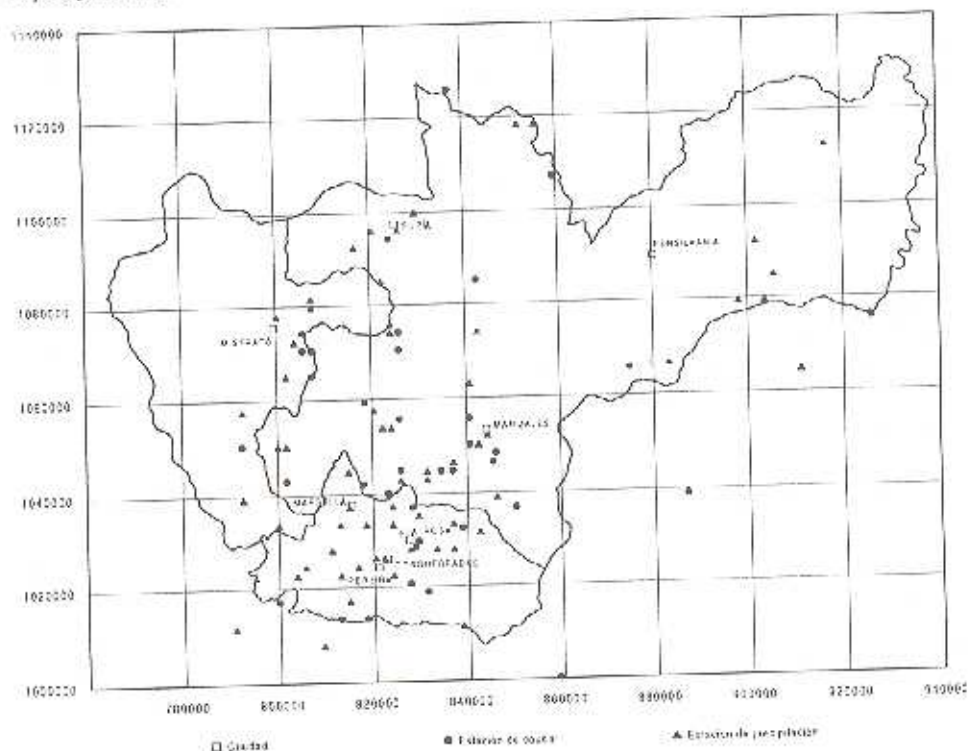


Figura 2. Ubicación de las estaciones de caudal y de precipitación.

Con la media y la desviación típica conocidas se pueden estimar los caudales mínimos para cualquier período de retorno mediante la ecuación de Ven Te Chow,

$$Q_{Tr} = \mu + k \sigma$$

Donde:

Q_{Tr} : Caudal mínimo para un período de retorno T_r

μ : Media estimada de los caudales mínimos

σ : Desviación estándar estimada de los caudales mínimos

k : Factor de frecuencia que depende de la distribución y del período de retorno

3.2. CURVAS DE RECESIÓN

Cuando en una cuenca empieza el período seco, el caudal en el río es mantenido por el flujo de aguas subterráneas vecinas al cauce. Los caudales del río en la estación seca o períodos sin lluvia pueden representarse por la llamada curva de recesión, cuya ecuación es:

$$Q_t = Q_0 e^{-kt}$$

Donde:

Q_t : caudal en un tiempo t

Q_0 : caudal en el tiempo $t = 0$

k : constante de recesión

t : tiempo en días sin lluvia

Si se conoce el coeficiente de la curva de recesión de una corriente y el tiempo sin lluvias, asociado a un período de retorno, podría entonces conocerse el caudal mínimo asociado a ese período de retorno. Lo que se pretende con esta metodología es encontrar una relación del coeficiente de recesión con parámetros morfométricos de las cuencas.

De toda las estaciones de caudal analizadas se seleccionaron finalmente 16 para el estudio de las curvas de recesión, la información de registros de precipitación se obtuvo de 20 estaciones localizadas en la zona. Analizando los registros de caudal en las épocas donde no se presentaron lluvias, se determinaron los coeficientes de recesión para cada cuenca.

Con las estaciones pluviométricas de cada cuenca, se analizan los máximos períodos sin lluvia. A cada serie de longitud de períodos secos máximos se le ajustan distribuciones Log-Normal de dos parámetros y Gumbel, con los parámetros estimados por los métodos de momentos no sesgados y máxima verosimilitud, esto permite obtener períodos secos máximos asociados a diferentes períodos de retorno.

Como ya se conocen los parámetros de la curva de recesión y los períodos sin lluvia asociados a un período de retorno, pueden calcularse los caudales mínimos correspondientes mediante la ecuación de recesión.

Los parámetros de la curva de recesión Q_0 y k se relacionaron con parámetros morfométricos y se obtuvieron modelos que relacionaban Q_0 y k con el área y ancho de la cuenca y con la pendiente del cauce principal.

Si se utilizan las 16 estaciones disponibles los modelos son los siguientes:

$$Q_0 = 0.569 A^{0.654} W^{-0.140} S^{0.098}$$

Correlación = 0.974

$$k = 4.639 A^{-0.180} W^{-0.258} S^{0.076}$$

Correlación = 0.812

Si se utilizan las 10 estaciones más cercanas a la zona de estudio los modelos son los siguientes:

3.3. REGIONALIZACIÓN DE LAS CURVAS DE DURACIÓN DE LOS CAUDALES PROMEDIOS DIARIOS

Las curvas de duración son una herramienta utilizada tradicionalmente en hidrología para determinar el porcentaje de ocurrencia de los caudales durante períodos de un año.

En este trabajo se seleccionaron 22 estaciones de caudal a las cuales se les halló la curva de duración. Con el fin de comparar las diferentes curvas de duración, estas se adimensionalizaron utilizando el caudal promedio diario. Las curvas adimensionalizadas se presentan en la figura 4.

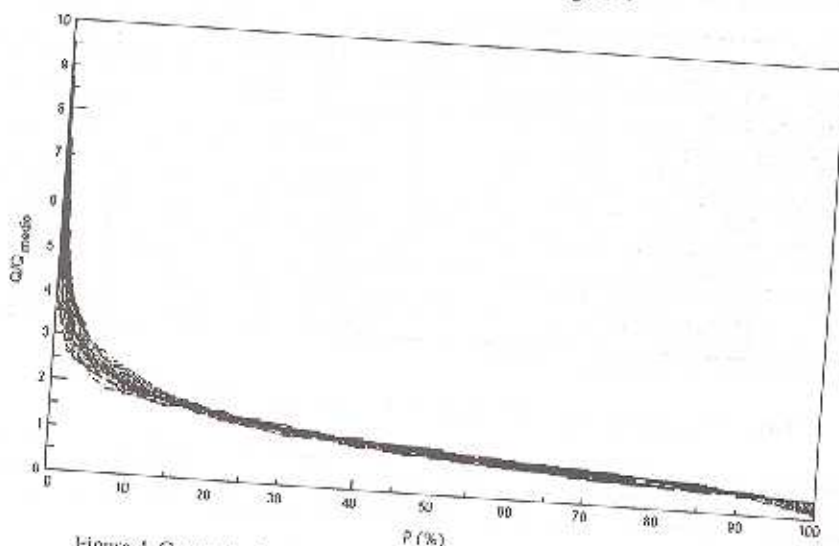


Figura 4. Curvas de duración adimensionalizadas de las 22 estaciones analizadas.

Se obtuvo luego una curva de duración regional así:

- Para caudales cuya probabilidad de excedencia es menor o igual a 15%, la ecuación es:

$$Q/Q_{medio} = 3.7692 P^{-0.2972}$$

- Para caudales cuya probabilidad de excedencia es mayor a 15%, la ecuación es:

$$Q/Q_{medio} = -0.6961 \ln(P) + 3.5715$$

Donde P es la probabilidad de excedencia en porcentaje.

Para utilizar esta metodología es necesario conocer el caudal promedio diario, se halló para la zona una expresión que relaciona éste con el área de la cuenca así:

$$Q_{medio} = 0.0343 A + 0.5319$$

Donde:

Q_{med} : caudal promedio diario en m^3/s

A: área de la cuenca en km^2

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La tabla 1 muestra los caudales mínimos asociados a un período de retorno de 50 años calculados con las diferentes metodologías aquí expuestas.

Estación	Corriente	Caudal (m^3/s) Análisis de frecuencia	Caudal (m^3/s) Regionalización	Caudal (m^3/s) Curvas de recesión	Caudal (m^3/s) Curvas de duración
La Arboleda	Río Barbas	0.174	0.214	0.143	0.420
La Bananera	Río Otón	1.648	1.307	1.699	2.305
Buenos Aires	Río Risaralda	3.033	2.981	2.566	3.018
La Virgen	Río Risaralda	1.642	1.617	1.121	1.970
Chupaderos	Río Chinchiná	0.791	0.666	0.860	1.973
Montevideo	Río Chinchiná	2.781	2.689	3.089	4.225
Tarapacá	Río Campesalegre	1.971	0.846	1.755	1.665
La María	Río San Eugenio	0.755	0.511	0.424	0.925
-	Río Otón *	-	0.580	0.579	1.060
-	Río Campesalegre *	-	0.680	0.754	1.204
-	Río San Francisco *	-	0.186	0.203	0.487
-	Q. La Nona *	-	0.073	0.076	0.333

* En estos puntos no había estación de aforo

Tabla 1. Caudales mínimos calculados con las diferentes metodologías para un T_R de 50 años

Algunos de los problemas que se presentan en la estimación de caudales mediante métodos de regionalización utilizando parámetros morfométricos es el efecto de escala, lo cual hace que se produzcan resultados no confiables en cuencas con áreas muy diferentes a las utilizadas para hallar las ecuaciones de regionalización.

Un análisis de los resultados obtenidos permite sacar las siguientes conclusiones:

- Los caudales obtenidos por el método de la curva de duración se encuentran siempre por encima de los dados por el análisis de frecuencia, esto se debe a que esta metodología se basa en datos históricos y no hace extrapolaciones como las otras.
- De acuerdo con los resultados obtenidos y al análisis comparativo realizado se pueden hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones:
- El método recomendado para hallar caudales mínimos en la región es el de la Curva de Recesión, que involucra además de las características físicas de la cuenca, un análisis de frecuencia y registros de períodos secos en las estaciones de precipitación con lo cual quedan incluidas la mayoría de las variables que tienen influencia en el proceso.

- En la zona estudiada se encontró que las distribuciones de probabilidad ajustadas (Gumbel y Log-Normal de dos parámetros), presentan un comportamiento muy similar por lo que cualquiera de las dos podría ajustarse confiablemente a todas las series.
- Se encontró que las curvas de duración de las 22 estaciones seleccionadas presentaban un comportamiento muy similar y que se ajustaban a una curva de duración regional lo que indica una distribución probabilística idéntica para todas.
- Una ventaja de la metodología de las curvas de recesión sobre las otras, es que ésta tiene en cuenta períodos de tiempo consecutivos como días o semanas en los que se presentan caudales bajos o de sequía, que es lo que en realidad interesa.
- Los resultados obtenidos mediante la aplicación de las metodologías aquí expuestas deben usarse con cuidado, ya que no se tuvieron en cuenta los efectos producidos por los fenómenos de El Niño y La Niña, cuya influencia sobre la hidrología de la zona está claramente comprobada.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bedoya, J. A. y Rodríguez, E. M. Regionalización de caudales mínimos en la subregión oriental del Departamento de Risaralda. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1997
- Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Evaluación de oferta y demanda hídrica para la Subregión No. 1 del Departamento de Risaralda. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1997
- Vélez, M. V., Mesa, O., Smith, R. y Vélez, J. Hidrología para el diseño de obras civiles con énfasis en información escasa. Programa ICFES - BID. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1993
- Blandon, J. R. y Sakdarriga, D. P. Estudio de curvas de recesión de las hidrógrafas en algunas cuencas de Antioquia. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1997
- Bolaños, E. D. Regionalización de caudales mínimos en Antioquia. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1995
- López, G. Regionalización del comportamiento esperado de estructuras hidráulicas de derivación operadas a filo de agua. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1986
- Garcés, D. Herramienta de apoyo para la toma de decisiones sobre el uso del recurso agua. Tesis de magister, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1996