

Hidrología en cuencas pequeñas con información escasa

El tema se refiere básicamente a la recolección y procesamiento de información cartográfica e hidrometeorológica en los proyectos que se realizan en cuencas pequeñas con información escasa.

Los métodos que se analizan en este trabajo permiten estimar valores para el diseño de obras de almacenamiento y distribución de agua, protección de estructuras hidráulicas y control de sedimentos.

Se hizo énfasis en el manejo de la información escasa porque, cuando se realizan estudios hidrológicos en cuencas pequeñas, los registros cartográficos e hidrometeorológicos son deficientes en muchos casos. Las deficiencias son más evidentes en cuencas alejadas de los ríos principales o de los centros poblados.

GUSTAVO SILVA MEDINA
Ingeniero Civil, U. Nacional
Recursos Hidráulicos, U.N.S.W. Sydney

INTRODUCCION

Los objetivos que debe cumplir un estudio hidrológico en cualquier proyecto de aprovechamiento de los recursos hidráulicos de una cuenca son los mismos en un desarrollo pequeño que en uno grande. En ambos casos el ingeniero deberá utilizar al máximo la información disponible y aplicar las técnicas más apropiadas para obtener los mejores resultados posibles.

Lo anterior indica que no puede hablarse de una hidrología diferente, exclusiva de los pequeños proyectos de desarrollo regional o local; sin embargo, por regla general, esos proyectos pequeños están localizados en zonas donde el cubrimiento de la red hidrometeorológica es deficiente, o donde la cartografía no existe a la escala adecuada. Por esta razón, los proyectos que se desarrollan en cuencas pequeñas están casi siempre asociados con el problema de la información escasa.

Dentro de este panorama, se tratará a continuación sobre la recolección y manejo de la información hidrológica en cuencas menores de 100 km², las cuales constituyen un alto porcentaje entre las que son utilizadas en proyectos de suministro de agua para riego, acueductos y alcantarillados, generación hidroeléctrica o navegación, o en sistemas de control de inundaciones.

Objetivos del estudio hidrológico

Los principales objetivos de un estudio hidrológico son los siguientes:

- Determinación del régimen climatológico en el área objeto del proyecto. Clasificación en zonas según la variación espacial de la pluviosidad y la temperatura.
- Análisis de los caudales medios del río en el sitio de captación y determinación de la curva de duración de caudales diarios. Este análisis permite definir cuál es la capacidad del río, como fuente para suministrar la demanda, con o sin almacenamiento.

— Cálculo de los caudales de creciente, para diseño de obras de desviación, vertederos de excesos, drenaje y protección contra las inundaciones.

— Determinación del comportamiento de los sedimentos que transporta el río y cálculo de la magnitud del transporte, para el diseño de las obras adicionales que garanticen el correcto funcionamiento de la captación y de los sistemas de conducción y distribución, durante su vida útil.

Recolección de información

La búsqueda de la información básica que se requiere para iniciar el estudio hidrológico comprende una investigación exhaustiva en las entidades oficiales y particulares que tengan relación con la región particular donde está localizada el área del proyecto. Mediante esta investigación se podrá hacer un inventario que incluirá los siguientes aspectos:

— Cartografía:

Mapas con curvas de nivel, a escalas que estén preferiblemente entre 1:10.000 y 1:50.000. En Colombia, en la actualidad, el cubrimiento del país en mapas a estas escalas es muy parcial; ni siquiera hay cubrimiento total a la escala 1:100.000. En algunas zonas del país, por ejemplo Putumayo, los mejores mapas que se consiguen están a escala 1:400.000.

— Fotografías aéreas.

Vuelos de diferentes épocas. Se deberán seleccionar los vuelos que permitan, en caso de tener una cartografía deficiente, hacer restituciones en los sitios específicos que el proyecto requiera.

— Estudios anteriores sobre desarrollos de ingeniería en la región. Deben incluirse monografías sobre la zona y las publicaciones especializadas del Instituto Geográfico. Además, deben hacerse consultas en las Empresas Públicas Municipales, Corporaciones de desarrollo regional e instituciones nacionales de los sectores eléctrico, agropecuario y de salud pública.

— Climatología.

Incluye registros sobre temperaturas, humedad atmosférica, evaporación, vientos y pluviometría, dentro de la cuenca objeto del estudio y en cuencas vecinas de la misma región. La información mínima que se debe tomar de los registros es la siguiente:

- Temperatura Medias mensuales.
- Humedad atmosférica Medias mensuales.
- Evaporación Totales mensuales.
- Vientos Máximos, en magnitud y dirección.

- Lluvias Totales mensuales.
Máximas en 24 horas.
Máximas horarias.

— Caudales.

Los registros de caudales en el río objeto del estudio y en sus afluentes constituyen la información más valiosa con que se puede contar en un estudio hidrológico; desafortunadamente, es la más escasa. Cuando existen los registros, la información mínima que se debe recolectar es la siguiente:

- Caudales medios diarios.
- Caudales máximos instantáneos.
- Caudales mínimos diarios.
- Registros de aforos y de toma de sedimentos.
- Uso de la tierra.

Debe hacerse un análisis del uso actual y de las proyecciones de desarrollo futuro. Dentro de este aspecto se incluyen las clasificaciones de los suelos y la determinación de áreas potencialmente erosionables.

La información recolectada se analiza luego, con procedimientos que dependen de la calidad de los datos obtenidos. Con base en el análisis se programan las labores de campo que sirven para complementar la información inicial.

A la vez que se desarrollan las labores de campo se debe continuar con la toma sistemática de datos en las estaciones existentes en la cuenca del proyecto y en las cuencas vecinas. Si es necesario, se instalarán estaciones adicionales, provisionales o permanentes, según los requerimientos del estudio.

ANALISIS DE LA INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA

Como se dijo anteriormente, los métodos de análisis que deben aplicarse en cada caso particular dependen de la calidad de la información disponible. Esta calidad puede clasificarse de la siguiente manera:

— Buena información.

Cuando existen registros suficientemente confiables en las áreas climatológica, pluviométrica e hidrométrica, con los cuales es posible conformar series históricas que cumplan con todos los requisitos que exige el análisis estadístico de frecuencias. En este caso, los estadísticos obtenidos representan una buena base para la aplicación de modelos matemáticos complejos.

— Regular información.

Se presenta cuando algunas de las series históricas presentan deficiencias, ya sea en longitud o en fallas en la toma de datos, o en falta de consistencia. En este caso, hay necesidad de reconstruir las series deficientes, utilizando información de estaciones vecinas o relaciones entre variables, por ejemplo ecuaciones de regresión.

Las series reconstruidas ya no son tan buenas como las series históricas registradas, y comienzan a presentarse dudas, tanto en los estadísticos de los análisis de frecuencias, como en la aplicación de modelos matemáticos complejos.

— Información escasa.

La información es escasa cuando el cubrimiento de las redes pluviométrica, climatológica e hidrométrica es deficiente, ya sea porque la serie existente sólo comprende lluvias y algunos caudales, o únicamente lluvias o cuando los registros son muy cortos e incompletos. Este es el caso más corriente que el ingeniero encuentra en Colombia. En realidad, a excepción de muy pocas cuencas que están bien instrumentadas por Empresas Públicas o Corporaciones Regionales, el país está comprendido dentro de las zonas de información escasa e información inexistente. Se suma a esta falla, que el cubrimiento cartográfico a escalas 1:25.000 hasta 1:100.000 es muy reducido.

— Información nula.

Todavía existen zonas del país donde la información hidrometeorológica mínima, por ejemplo lluvias mensuales, no se registra, o donde la información cartográfica se reduce a mapas a escala 1:750.000. En este caso se considera que la información es nula para efecto de la realización de estudios hidrológicos.

Luego de clasificar la información se procede a conformar las series históricas, según las necesidades del estudio, las cuales constituyen la base del pronóstico del comportamiento futuro de los regímenes pluviométrico, climatológico y fluvial de la cuenca y el río correspondientes.

Los métodos de análisis de proyección al futuro pueden estar basados en la generación estocástica de series de lluvias o de caudales y en la aplicación de modelos de simulación. Estos métodos se recomiendan solamente cuando los análisis de frecuencias de las series históricas presentan un grado de confiabilidad aceptable, o sea, cuando la información existente está clasificada como buena. Algunas veces la información regular puede procesarse de forma que sea posible reconstruir la serie histórica, cuando las fallas en la información no son excesivas; en esos casos, pueden utilizarse para generar series estocásticas. Sin embargo, debe considerarse que la información regular representa un estado de transición entre la información buena y la información escasa.

Cuando la información es escasa los métodos estadísticos de confiabilidad no son aplicables; por tanto, en una primera aproximación debe presumirse que la información recolectada es aceptable. Después, a medida que se vayan procesando los datos correspondientes a los trabajos de campo, que necesariamente deberán

ejecutarse, se irán ajustando los resultados preliminares y se podrá comprobar la bondad de la información utilizada. De todas maneras, los estudios hidrológicos con información escasa no deben aplicar métodos de generación estocástica ni modelos matemáticos demasiado elaborados.

TRABAJOS DE CAMPO PARA COMPLEMENTAR LA INFORMACION

Como norma general, aún dentro de las etapas más avanzadas de un proyecto, no se cuenta con el tiempo suficiente para desarrollar un programa de trabajos de campo que proporcione toda la información que se requiere para complementar los registros históricos preliminares.

Además del factor tiempo se cuenta también con limitaciones de presupuesto. Por estas razones, el programa de campo debe elaborarse cuidadosamente y su desarrollo debe estar perfectamente coordinado con las labores de procesamiento en la oficina.

En el aspecto hidrológico, además de las visitas de reconocimiento general de la cuenca y de los sitios de interés del esquema propuesto, las labores complementarias incluyen la instalación, operación y procesamiento de datos de estaciones pluviométricas y fluviométricas, realización de aforos líquidos y sólidos, instalación de estaciones climatológicas sencillas, y lectura y procesamiento de registros de estaciones existentes.

Debe tenerse presente que, si el tiempo asignado al programa de campo es corto, la información obtenida resulta puntual y debe utilizarse con ese criterio. Así, por ejemplo, si se toman caudales medios diarios durante dos meses, esos valores no pueden utilizarse como medida del caudal medio anual.

La información que se toma en periodos cortos es útil porque permite calibrar algunas de las fórmulas que se emplean en el estudio o porque sirve para comprobar en las etapas avanzadas del proyecto las suposiciones iniciales que resultan de la escasez de la información básica preliminar.

En cuanto a la cartografía, si no existen mapas a las escalas adecuadas para la determinación de los índices morfométricos de la cuenca, es recomendable la ejecución de los trabajos aerofotogramétricos que sean necesarios para obtener restitutiones a escalas que deben definirse según el presupuesto disponible y con la precisión del estudio. Cuando no es posible obtener las restitutiones, lo único que se puede hacer es trabajar con escalas muy pequeñas, por ejemplo con mapas departamentales o Atlas, con la consiguiente pérdida de precisión, especialmente en los cálculos de longitudes y pendientes.

Las labores de campo incluyen, además, los levantamientos topográficos y batimétricos de

tramos escogidos del río, y de los sitios donde se van a proyectar las obras de captación, almacenamiento y conducción.

APLICACION DE TECNICAS HIDROLOGICAS EN PROYECTOS QUE SE DESARROLLAN EN CUENCAS PEQUEÑAS CON INFORMACION ESCASA

En el cumplimiento de los objetivos que tienen los estudios hidrológicos se consideran los siguientes aspectos:

- Climatología.
- Capacidad de la fuente para suministrar la demanda.
- Magnitud y frecuencia de las crecientes.
- Transporte de sedimentos.

A continuación se analizan brevemente estos aspectos y se recomiendan los métodos que pueden aplicarse según la calidad de la información disponible.

Climatología

El estudio hidrológico debe hacer una descripción del régimen climatológico del área del proyecto. Aun cuando las variables que definen el clima son la presión atmosférica, la humedad, la temperatura y los vientos, en los casos de información escasa es suficiente considerar la temperatura y el régimen de lluvias como las variables más importantes.

Por lo general siempre es posible determinar la variación media de temperatura en función de la altura, ya sea utilizando monografías de la región, boletines del HIMAT o testimonios de los habitantes, cuando no se cuenta con estaciones climatológicas en la cuenca.

En cuanto al régimen pluviométrico, los estudios regionales o las clasificaciones de climas según la localización geográfica y la altura media de la cuenca, o los mapas generales de isoyetas del país, permiten estimar, así sea en forma aproximada, la lluvia media anual y las tendencias mensuales, como meses más lluviosos o más secos. Estos estimativos se complementan con los registros de estaciones pluviométricas, aun cuando estos registros sean deficientes.

Capacidad de la fuente para suministrar la demanda

La capacidad del río en el sitio escogido para captación se analiza por medio de la curva de duración de caudales diarios (Figura 1).

La curva de duración resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios. Se estima que, si la serie histórica es suficientemente buena, la curva de duración es representativa del régimen de caudales medios del río y, por tanto, puede utilizarse para represen-

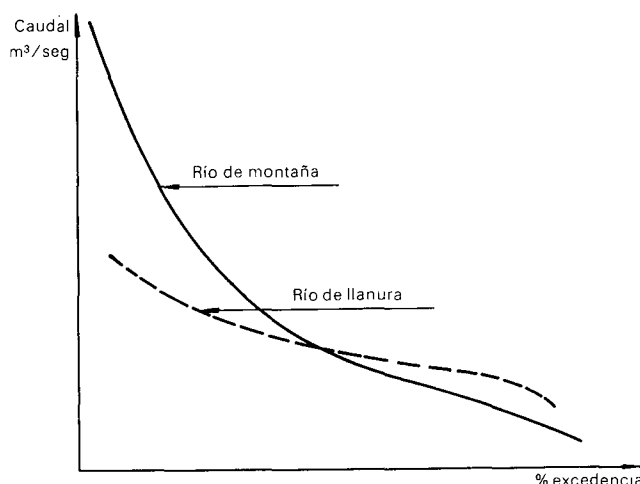


FIGURA 1. Curvas típicas de duración.

tar el régimen futuro, o sea, el régimen de caudales diarios del río durante la vida útil de la captación. Este concepto es válido solamente en caso de que no se presenten en el futuro eventos naturales o artificiales que hagan cambiar bruscamente el régimen del río, por ejemplo: catástrofes, construcción de obras civiles o cambios en el uso de la tierra, etc.

Cuando la información es escasa la serie histórica de los caudales medios diarios no existe, o si existe no es suficientemente confiable. En tal caso no puede determinarse la curva de duración de caudales diarios, pero pueden hacerse estimativos según los procedimientos que se indican a continuación. Estos estimativos, en general, producen sobrediseño de las obras.

—Las curvas de duración tienen formas típicas que dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejemplo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante tiempos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva, como se aprecia en la Figura 1. Este hecho es útil para ajustar la forma de la curva de duración, según las características de la cuenca, cuando la serie de caudales medios diarios es deficiente, o para trasponer una curva de duración de otra cuenca de la misma región a la cuenca que tiene información escasa.

— Cuando existen registros de caudales en otras acciones del mismo río es posible utilizar técnicas de tránsito de caudales para llevar la serie hasta el sitio de captación. Dentro de este procedimiento se requiere hacer estimativos del tiempo de viaje por el río y de los caudales que se generan en la subcuenca que está limitada por las secciones consideradas, o sea, la captación y la sección con registros.

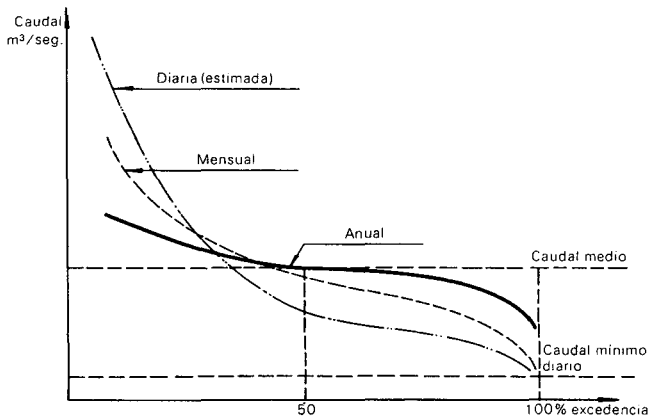


FIGURA 2. Curvas de duración.

— Si existen buenos registros de lluvia pero pocos de caudal en la captación o en otra sección del río, el método de tránsito se complementa con estudios de regresión lluvia-caudal. La experiencia ha demostrado que las regresiones lluvia-caudal son aceptables para valores anuales, pero resultan deficientes cuando se utilizan con valores mensuales o diarios. Por esta razón, lo recomendable es generar una serie de caudales medios anuales a partir de las lluvias anuales y luego, a partir de los caudales anuales estimar la serie de caudales medios mensuales. En este caso no se pueden estimar los caudales diarios; sin embargo, se dibujan las curvas de duración correspondientes a los caudales medios anuales y a los medios mensuales y con base en ellas se deduce aproximadamente la de los caudales medios diarios, como se explica en la Figura 2.

— Cuando sólo existen registros de lluvia, lo único que puede hacerse es estimar una serie de caudales medios anuales mediante la aplicación de balances hidrológicos. Como en cuencas pequeñas, por norma general, los meses lluviosos coinciden con los meses de caudales altos, y los meses secos con períodos de estiaje, la observación de los registros pluviométricos permite repartir los caudales anuales en registros mensuales, con lo cual se obtiene la serie de caudales medios mensuales, y luego se procede como se indica en el numeral anterior.

Crecientes

Como la falta de información adecuada es la norma general en este tipo de estudios, los métodos convencionales de análisis de crecientes no son aplicables en la mayor parte de los estudios hidrológicos que se realizan en el país. Estos métodos convencionales son básicamente dos:

— Estudios de frecuencia y duración de series de caudales máximos instantáneos.

— Análisis de hidrogramas registrados y de los aguaceros que los produjeron.

Lo recomendable es, entonces, utilizar métodos sencillos, que se adapten a la calidad de la información disponible, entre los cuales se considerarán los siguientes:

a) Uso de fórmulas empíricas, que están en función de algunas de las características físicas de la cuenca. Entre estas vale la pena mencionar las de Creager, Fuller, Myers. Solamente pueden utilizarse para estimar órdenes de magnitud, cuando no haya mejores opciones.

b) Aplicación de fórmulas hidráulicas de flujo en canales. Las fórmulas, deducidas para flujo uniforme, se basan en la ecuación de Chezy:

$$Q = AC(RS_f)^{1/2}$$

donde Q es el caudal, A el área de flujo, R el radio hidráulico de la sección de flujo, C el coeficiente de Chezy que incluye la rugosidad del lecho y las irregularidades del río, y S_f la pendiente hidráulica que es aproximadamente igual a la pendiente de la superficie del agua. Con la aplicación de las fórmulas hidráulicas es posible estimar las magnitudes de crecientes históricas a partir de los rastros dejados por ellas; también se pueden calcular capacidad del cauce y sitios de desbordamiento. La aplicación de este procedimiento es preferible al del numeral anterior.

c) Aplicación de la fórmula racional. Esta fórmula se identifica con la ecuación:

$$Q = CiA$$

donde Q es el caudal pico producido por un aguacero de intensidad i , uniformemente distribuido sobre el área de la cuenca, A . El término C se denomina "coeficiente de escorrentía" y su valor numérico, que está definido entre 0 y 1, depende de las características fisiográficas de la cuenca y la cobertura del suelo.

No se recomienda la aplicación de la fórmula racional en cuencas mayores de 1 km².

Las principales dificultades que se encuentran para el uso correcto de la fórmula son dos: la asignación de valores al coeficiente de escorrentía y la determinación de la intensidad del aguacero. La primera dificultad se obvia fácilmente cuando la cuenca en estudio tiene una de las dos condiciones extremas, o completamente impermeable como un patio cementado, o totalmente permeable, como un suelo suelto de gran capacidad de infiltración. En los demás casos, la escogencia del coeficiente de escorrentía es subjetiva porque, aun cuando existen tablas y recomendaciones generales, el criterio del ingeniero es definitivo.

La segunda dificultad, la determinación de la intensidad del aguacero, es común a todos los métodos que deducen crecientes a partir de lluvias, entre los cuales se cuentan el del hidrograma unitario y el de los modelos matemáticos de escorrentía. Aún cuando la información sea escasa, es necesario contar por lo menos con un análisis de frecuencias de lluvias máximas diarias; este análisis puede hacerse a nivel regional, o mediante técnicas de transposición de aguaceros desde cuencas hidrometeorológicamente similares. Mediante el análisis de frecuencias se obtienen lluvias máximas diarias con frecuencias hasta de 1000 años. Con esta base se procede luego a determinar las curvas de intensidad-duración-frecuencia, utilizando ecuaciones de la forma:

$$i = C/(t + b)^n$$

donde **C**, **b** y **n** son parámetros deducidos de estudios regionales que se realizan con los datos de pluviógrafo de las estaciones que tienen suficiente información; **i** es la intensidad del aguacero; **t** es la duración del mismo. Por ejemplo, se pide calcular la intensidad del aguacero de 15 minutos y frecuencia de 100 años en una cuenca que está localizada en una región donde se han calculado los siguientes valores a partir de un análisis de registros pluviográficos:

— Lluvia máxima de 24 horas, con frecuencia de 100 años	120 mm
— Relación entre la lluvia de 1 hora y la de 24 horas	0.30
— b	5 minutos
— n	0.55

La solución se obtiene de la siguiente forma:

— Intensidad en 1 hora, con frecuencia de 100 años	36 mm
— $(60 + b)^n = 65^{0.55}$	9.93:
— C para frecuencia de 100 años 36×9.93 :	358
— Intensidad para 15 minutos y 100 años: $358/(20)^{0.55}$	69 mm/h

Esta forma de determinar las intensidades de aguaceros de corta duración a partir de aguaceros de 24 horas, está limitada a duraciones menores de 2 horas.

d) Aplicación de hidrogramas unitarios sintéticos, o sea, hidrogramas unitarios definidos según algunas características de la cuenca. Entre la larga lista de teorías e hidrogramas sintéticos que se han propuesto desde 1932 cuando K. L. Sherman publicó un artículo para la American Geophysical Union, titulado "The relation of hydrographs of runoff to size and character of drainage basins", se encuentran los propuestos por F.F. Snyder (1938), Taylor and Schwartz (1952), C.O. Clark (1945), J.E. Nash (1956) y el

Soil conservation service, SCS, de los Estados Unidos (1972) entre los más conocidos.

Tratándose de estudios hidrológicos en cuencas con información escasa no se justifica hacer deducciones demasiado complicadas en el cálculo de hidrogramas unitarios sintéticos para estimativos de crecientes. Por esta razón, se recomiendan los más sencillos, como son, los de Snyder, Taylor y el triangular del SCS. Los dos primeros, Snyder y Taylor, dan resultados aceptables cuando se utilizan con coeficientes apropiados, deducidos para la región donde se efectúa el estudio; en caso contrario, cuando no es posible deducir los coeficientes propios de la región, es mejor no utilizarlos. En la bibliografía, al final del trabajo, se presenta la referencia correspondiente a los hidrogramas unitarios mencionados.

El hidrograma unitario triangular del SCS es bastante bueno en cuencas pequeñas, menores de 100 km², y su aplicación es muy sencilla. El caudal pico de creciente resulta de la ecuación:

$$Q = PA/(5.4t_c)$$

donde, **Q** es el caudal pico en metros cúbicos por segundo, **P** el volumen de lluvia, en mm, **A** el área de la cuenca en km², y **t_c** el tiempo de concentración en horas. El área y el tiempo de concentración se deducen de las características de la cuenca; la determinación de la lluvia **P** se analiza a continuación.

Siguiendo el mismo procedimiento indicado en el numeral anterior para calcular la intensidad de la lluvia a partir del análisis de frecuencias de las lluvias máximas diarias, se determina la intensidad correspondiente a una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/hora. Sea **i** la intensidad, el volumen **P** resulta:

$$P = it_c C$$

donde, **i** es la intensidad calculada en mm/hora, **t_c** es el tiempo de concentración en horas y **C** es un coeficiente de reducción que depende de la magnitud de la cuenca y de la pendiente media de la ladera. En cuencas de pendiente muy fuerte, y de área menor de 25 km², el coeficiente **C** es próximo a 1; en cambio, en cuencas planas de gran área, es del orden de 0.15.

Como se observa en los análisis presentados, los cálculos de crecientes en cuencas con información escasa tienen una dosis alta de subjetividad, porque en cualquiera de los métodos que se escoja hay necesidad de asignar valores numéricos a los coeficientes, según el criterio de quien diseña.

Transporte de sedimentos

La determinación de la carga de sedimentos que puede llegar a la captación durante el tiempo de

CUADRO 1
Estimativos sobre carga de sedimentos en suspensión
en ríos colombianos.

Estación	Lluvia media mm/año	Caudal medio m ³ /seg	Area km ²	Carga específica ton/km ² /año
Man-Hda. Palmira	1.100	18	590	87
S. Jorge-M. Libano	1.600	171	4.463	780
Sinú-Angostura	3.000	302	4.930	680
Mayo-La Cañada	940	19	333	1.630
Lebrija-C. Madrid	2.200	35	1.284	2.840
Suárez-Remolino	2.040	263	9.312	530
Nare-Canteras	1.200	409	5.711	780
Fonce-San Gil	2.000	80	2.040	250
Saldaña-P. Larga	1.600	179	5.664	2.460
Páez-Paicol	1.800	225	4.078	740

Fuentes: HIMAT, otras.
 Nota: Los valores calculados no corresponden necesariamente a los mismos periodos.

operación del proyecto constituye otro de los problemas difíciles que se presentan en el estudio hidrológico porque la información sobre sedimentos es más deficiente que la de caudales líquidos.

La interrelación lluvia, cuenca, capacidad de transporte del río, es bastante compleja y particular en cada caso. Por esta razón, la cuantificación de la carga de transporte de sedimentos por medio de fórmulas analíticas solo puede hacerse, de manera aproximada en parcelas experimentales muy bien instrumentadas, y a nivel puntual, difícilmente extrapolable.

En el caso particular de las cuencas con información escasa, es necesario tener en cuenta que lo único que puede hacerse en el estudio del transporte de sedimentos es obtener un orden de magnitud de la carga total: de fondo y en suspensión combinadas.

Los métodos recomendables para lograr ese orden de magnitud se clasifican en dos:

a) Asignar una carga específica (toneladas por km² por año) de transporte de sedimentos hasta el sitio de captación de acuerdo con las característi-

cas de la lluvia (pluviosidad media anual) y de la cuenca (cobertura vegetal, existencia de zonas potencialmente erosionables, pendiente de la vertiente), y de la composición granulométrica del material del lecho del río. Mediante el análisis de estas características se puede clasificar la cuenca como alta o baja productora de sedimentos por erosión pluvial, y el río como de alta o baja capacidad de transporte. La asignación de la carga se hace luego de comparar las características de la cuenca con las de otras cuencas en donde se hayan efectuado mediciones directas de los sedimentos. en el Cuadro 1 se presentan, a manera de ejemplo, algunos valores típicos de sedimentos en suspensión medidos en algunos ríos colombianos.

b) Aplicar fórmulas como la "universal de pérdida de suelo" o las de "carga de sedimentos de fondo" propuestas por Wischmeier (1960), Einstein, Meyer-Peter, Colby, etc. Estas fórmulas tienen aplicaciones restringidas porque han sido deducidas en condiciones ideales que difieren mucho de las condiciones reales de los cauces naturales. Además, su aplicación requiere de información que, generalmente, no se tiene en las cuencas que son objeto del presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. COULTER, C. G.: Flood estimation for ungauged rural catchments. Water Research Laboratory, The University of New South Wales. N. S. W. Australia, 1961.
2. CLARK, C. O.: Storage and the Unit Hydrograph. Transactions American Society of Civil Engineers. 1945.
3. EINSTEIN, H. A.: The bed load function for sediment transportation in open channel flows. Soil conservation service. Tech. Bull. 1.026, 1950.
4. HENDERSON, F.: Open channel flow. Mc. Millan, 1966.
5. LINSLEY, R.: Water resource Engineering. Mc. Graw-Hill. 3rd. ed., 1979.
6. LINSLEY, R.: Hydrology for Engineers. Mc. Graw-Hill. 3rd. ed., 1980.
7. NASH, J. E.: Systematic determination of Unit Hydrograph parameters. Journal of Geophysical Research, 1959.
8. SHERMAN, T.: The relation of Hydrographs of runoff to size and character of drainage basins. Transactions American Geophysical Union, 1932.
9. SILVA, G.: Erosión pluvial y transporte de sedimentos en ríos. Tercer congreso colombiano de cuencas hidrográficas. Cali, 1985.
10. SILVA, G.: Hidrología básica. Conferencias. Universidad Nacional, 1984.
11. SNYDER, F. F.: Synthetic Unitgraphs. Transactions American Geophysical Union, 1938.
12. S.C.S.: Soil conservation service. National Engineering Handbook. Hydrology. U.S. Department of Agriculture, 1970.
13. TAYLOR, A. B.: Unit Hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics. Transactions American Geophysical Union, 1952.
14. U.S.B.R.: U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. Design of small dams.
15. VIESSMAN, W.: Introduction to Hydrology. Harper and Row Publishers. 2nd ed., 1977.
16. WISCHMEIER, W.: A Universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. 7th International congress of soil science. Wisconsin, 1960.