

¿LA CURVA DE GASTO DE SEDIMENTOS ES REALMENTE CURVA?

VÍCTOR M. PONCE

Universidad Estatal de San Diego, California, EE.UU.
vponce@sdsu.edu, poncevm@gmail.com

Introducción

La curva de gasto de sedimentos es la relación entre la descarga de agua Q en las abscisas y la descarga de sedimentos Q_s en las ordenadas. En la práctica, la curva se entiende fácilmente por lo que logra; sin embargo, la comprensión de su verdadera naturaleza a menudo puede pasar desapercibida. En este artículo explicamos cómo la Naturaleza ha condicionado los ríos y arroyos aluviales para crear un entorno donde los peces y otras especies continúen prosperando a pesar de que el clima local no pareciera cooperar. En este proceso, se unen los campos de climatología, geología, geomorfología, hidrología y ecología en un tejido sin costura, en el cual el propósito principal es la preservación de la biota acuática (Kennedy, 1983). Aquí detallamos la relación entre este efecto y la curva de gastos de sedimentos.

Tres verdades fundamentales del transporte de sedimentos

Verdad No. 1. La relación entre la descarga de sedimentos Q_s y la descarga de agua Q se conoce como concentración de sedimentos C_s (Ec. 1). En condiciones de equilibrio, la concentración de sedimentos es la carga de sedimentos más alta que la corriente es capaz de transportar bajo el flujo predominante. Un valor más bajo de C_s conduciría a la degradación del lecho; por el contrario, un valor más alto conduciría a la agradación; ambas situaciones desafiarían el equilibrio. En una corriente aluvial, el flujo permanente siempre acarrea la carga máxima de sedimentos que le es posible transportar.

$$c_s = \frac{Q_s}{Q} \quad [1]$$

Verdad No. 2. Una corriente aluvial transporta sedimentos que se originan en el lecho, es decir, la carga de material del lecho, de dos maneras: (1) rodando y deslizándose a lo largo del lecho, es decir, la *carga del lecho*, y (2) en suspensión a lo largo de la profundidad, por acción de la turbulencia del flujo sobre las partículas de sedimento que están siendo arrastradas, es decir, la *carga de material del lecho en suspensión*. Además, una corriente aluvial transporta un tercer tipo de carga, (3) la *carga de lavado*, consistente en sedimentos de menor tamaño, los cuales no se han originado en el lecho de la corriente, sino en las tierras altas de la cuenca (ASCE, 1975). La colección de estos

tres tipos de carga constituye la carga total de sedimentos.

Verdad No. 3. El flujo en un canal aluvial puede estar en cualquiera de dos regímenes: (1) inferior, o (2) superior. Bajo el régimen inferior, el cual tiene lugar para números de Froude bajos ($\sim F < 0,5$), la carga del lecho genera formas de rugosidad del lecho, tales como dunas y ondulaciones superpuestas. Estas formas de lecho actúan para aumentar la fricción total, la cual entonces consiste de fricción de grano y fricción de forma. Por el contrario, bajo el régimen superior, que tiene lugar para números de Froude más altos ($\sim F \geq 0,5$), la rapidez del flujo actúa para obliterar las ondulaciones y las dunas, disminuyendo la fricción total a sólo la fricción de grano, lo que lleva a una configuración de lecho plano.

El cambio de alta fricción para flujos bajos a baja fricción para flujos altos tiene el efecto neto de reducir la fluctuación de la superficie del agua para un cambio determinado de caudal. Por lo tanto, el nivel es más alto de lo normal para flujos bajos y más bajo para flujos altos. Esto redundaría en una clara ventaja para la supervivencia de la biota (Kennedy, 1983).

Última concentración de sedimentos

En la ingeniería práctica se utiliza la siguiente función exponencial para proporcionar un ajuste entre datos medidos de descarga de agua y sedimentos:

$$Q_s = cQ^m \quad [2]$$

en la cual c y m son coeficiente y exponente de la curva de gasto de sedimentos, respectivamente.

En la Ecuación 2, para el caso especial de $m = 1$, la concentración de sedimentos (Ec. 1) es independiente de Q e igual a c . Esta concentración de sedimentos se denomina la *última concentración de sedimentos* (Ponce, 1988). El valor $m = 1$ es el mínimo el cual logran alcanzar corrientes típicas bajo flujos suficientemente altos (ASCE, 1975: p. 476).

Una reconocida fórmula de transporte de sedimentos es la siguiente (Colby, 1964):

$$q_s = k\rho v^n \quad [3]$$

en la cual q_s = descarga de sedimentos por unidad de ancho; k = parámetro de transporte de material de lecho, el cual es función de las propiedades del sedimento, incluyendo diámetro y gravedad específica; ρ = densidad del agua; v = velocidad media; y n = exponente.

Colby (1964) ha demostrado que $n \approx 7$ es típico de flujos bajos, mientras que $n \approx 3$ es típico de flujos altos. De hecho, $n = 3$ es un valor asintótico característico, para el cual el parámetro k en la Ec. 4 redonda en adimensional:

$$q_s = k\rho v^3 \quad [4]$$

Debido a que $n = 3$ está típicamente asociado con descargas altas, la Ec. 4 puede ser usada para calcular la última concentración de sedimentos, como se detalla a continuación.

La descarga de agua, por unidad de ancho, es:

$$q = vd \quad [5]$$

en la cual d = profundidad de flujo.

La Ecuación 1 se expresa en términos de variables de ancho unitario como sigue:

$$C_s = \frac{q_s}{q} \quad [6]$$

La sustitución de las Ecs. 4 y 5 en la Ec. 6 lleva a la ecuación que expresa la última concentración de sedimentos C_s' :

$$C_s' = kF^2\gamma \quad [7]$$

en la cual F = número de Froude, definido como $F = v/(gd)^{1/2}$; g = aceleración gravitacional; y γ es el peso específico del agua ($\gamma = \rho/g$). Por ejemplo, dados $k = 0,1$, $F = 0,4$, y $\gamma = 1000 \text{ mg/L}$, la Ec. 7 lleva a lo siguiente: $C_s' = 0,1 \times 0,16 \times 1000 \text{ g/L} = 16 \text{ g/L} = 16 \text{ 000 ppm}$.

La Figura 1 muestra una curva de gasto de sedimentos medida durante la tormenta del 18 de febrero de 1961 (ASCE, 1975). En esta figura, las isolíneas de concentración de sedimentos se muestran como referencia. El gráfico muestra la aproximación asintótica de la curva de gasto de sedimentos a una línea de igual concentración (orientación de 45°). El gráfico muestra que existe un límite para la concentración de sedimentos en suspensión (12500 ppm) para descargas suficientemente altas, lo cual es probable que ocurra durante una inundación poco frecuente.

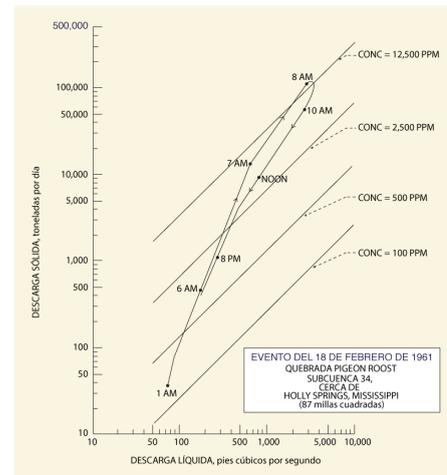


Figura 1.- Curva de gasto de sedimentos medida, Quebrada Pigeon Roost, cerca de Holly Springs, Mississippi

Conclusiones

La forma de la curva de gasto de sedimentos constituye efectivamente una curva en la cual la pendiente es alta para los caudales bajos, alrededor de $n = 7$, disminuyendo asintóticamente para los caudales altos hasta el valor característico de $n = 3$. Este comportamiento es una consecuencia directa del aumento de la fricción de fondo, el cual es atribuible a las formas de rugosidad del lecho en el régimen inferior, es decir, dunas y ondulaciones superpuestas. Estas últimas interfieren con el potencial del flujo para transportar la última concentración de sedimentos, reduciendo así la descarga de sedimentos. El análisis anterior aclara el motivo de la caída en el transporte de sedimentos para flujos bajos y, por lo tanto, explica la forma de una curva típica de gasto de sedimentos.

Referencias

- ASCE. (1975). Sedimentation Engineering. *Manuals and Reports on Engineering Practice, Manual 54*, Vito A. Vanoni, editor, Nueva York.
- Colby, B. R. (1964). Discharge of sands and mean velocity relations in sand-bed streams. *U.S. Geological Survey Professional Paper 462-A*, Washington, DC.
- Kennedy, J. F. (1983). Reflections on rivers, research, and Rouse. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 109(10), 1257-1260.
- Ponce, V. M. (1988). Ultimate sediment concentration. *Proceedings, National Conference on Hydraulic Engineering*, Colorado Springs, Colorado, Agosto 8-12, 311-315.