

ESTIMACIÓN DEL APORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA “EL TULE”, MÉXICO, MEDIANTE EL USO DE DIFERENTES MÉTODOS EMPÍRICOS

M.I. Miguel Ángel Bribiesca Rodríguez, M.I. Sinuhé Alejandro Sánchez Martínez y
Dr. Fernando J. González Villarreal

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Escolar S/N, Edificio 5
Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, México D.F., México. C.P. 04510
E-mail: mbribiescar@iingen.unam.mx, ssanchezm@iingen.unam.mx, fgonzalezv@iingen.unam.mx

Introducción

En el proceso de sedimentación son especialmente importantes los embalses de las presas y lagos, por ser los sitios de depósito más comunes y donde el problema se acentúa por sus implicaciones técnicas (pérdida de capacidad, alteración de la calidad del agua, etc.).

Los primeros estudios realizados para cuantificar la pérdida de suelo fueron realizados en parcelas pequeñas. Sólo recientemente se ha empezado a abordar el aporte de sedimentos de una cuenca (Gracia, 1997).

El proceso de sedimentación ocurre principalmente por acarreo y transporte de las partículas mediante el flujo de agua, es decir que está estrechamente ligada al proceso de erosión hídrica de suelos, que incluye el desprendimiento de partículas y su subsecuente transporte y depósito a lo largo de laderas.

Los principales factores que influyen en la pérdida de suelo son la hidrología y topografía de sitio, la erosionabilidad del suelo, cobertura vegetal y prácticas de cultivos y de conservación.

Antecedentes

Se tiene planeada la proyección de una presa de gravedad, en la cuenca “El Tule”, la cual, hasta el sitio de la presa está localizada en la parte alta del río Cutzamala y tiene un área de 548.86 km², lo que representa el 2.5% de la superficie del Estado de México, México. Asimismo, se ubica en la región hidrológica 18 “Río Balsas”, y pertenece a la cuenca del río Cutzamala (Figura 1).



Figura 1.- Localización de la cuenca “El Tule”.

Desarrollo

La problemática principal con la que se cuenta es que no se tiene información basta disponible, es por esto que se ocuparon diversos métodos empíricos para el aporte de sedimento en la cuenca.

En la literatura sobre el tema se puede encontrar que existe una diferencia entre el cálculo de la erosión de suelos y el aporte de sedimentos. De igual forma, existen gran cantidad de criterios empíricos para calcular el aporte de sedimento, a continuación se enlistan los métodos empleados para la estimación del aporte de sedimento de la cuenca en estudio:

a) Método de Gottschalk

La tabla 1 muestra valores promedio del aporte de sedimento para cuencas de diferentes tamaños, obtenidos de mediciones en los EE. UU (Gottschalk, 1964).

Tabla 1. Aporte de sedimento por tamaño de cuenca.

Tamaños de cuenca [km ²]	Aporte de sedimento [m ³ /km ² -año]
< 25.9	1810
25.9 a 259.0	762
259.0 a 2590.0	481
> 2590.0	238

b) Método del USBR

El USBR (United States Bureau of Reclamation) propone un criterio para evaluar el aporte de sedimentos (AS), que se basa en mediciones realizadas en varias cuencas del suroeste de los EE. UU. La ecuación propuesta es la siguiente.

$$AS = 1421.8 \cdot (A_c)^{-0.229} \quad [1]$$

Donde AS es el aporte de sedimento en (m³/km² año) y Ac es el área de la cuenca en km²

c) Método de Namba

Para el aporte de sedimento “AS” en m³/km²-año, Namba propone la siguiente ecuación.

$$AS = 0.292 \cdot P + 0.474 \cdot H - 0.118 \cdot F + 2.452 \quad [2]$$

Donde P es la precipitación media anual en (mm), H es el desnivel máximo de cotas en la cuenca, en (m) y F es la relación entre áreas de suelo desnudo y las cubiertas con vegetación, en %

d) Método de Owen y Branson

Para cuencas en el oeste del estado de Colorado en los EE. UU, Owen y Branson proponen la siguiente ecuación.

$$AS = 19465 \cdot \left(\frac{H}{L}\right) + 14.29 \cdot P_s - 604.8 \quad [3]$$

Donde H/L es el cociente entre desnivel máximo en la cuenca y la longitud del cauce y Ps es el porcentaje de suelo desnudo en la cuenca.

e) Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS)

La Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS) es también un método empírico, y, por la generalidad de su concepción, es el mejor enfoque disponible para la cuantificación de la pérdida de suelo en las parcelas. Dicho criterio ha sido modificado para calcular también la pérdida de suelo en cuencas de la siguiente forma.

$$E = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot 100 \quad [3]$$

Donde E es la pérdida anual de suelo en toneladas, R es un factor de erosividad en la cuenca que toma en cuenta el potencial erosivo de la lluvia en (Mj-mm/ha-h), K es el porcentaje de suelo desnudo en la cuenca en (kg-h/Nm²), LS es un factor de longitud y pendiente del terreno, adimensional. C es el porcentaje de suelo desnudo de la cuenca y P es un factor de prácticas mecánicas, adimensional.

f) Método de Gracia (IINGEN, UNAM)

Este criterio está basado en mediciones reales en embalses de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La manera de emplear este criterio es la siguiente: conocida el área de la cuenca se determina con la figura 2 el volumen de sedimento que entra en un año al embalse. Nótese que el procedimiento no ofrece información sobre el tipo de sedimento almacenado (grueso o fino) ni de su ubicación en el embalse. En cambio, tiene la gran ventaja de acercarse a la realidad de los embalses mexicanos.

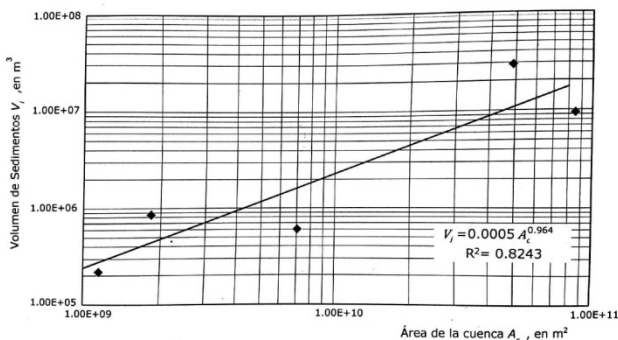


Figura 2.- Volúmenes de sedimentación asociados al área de la cuenca (Gracia 2015).

Los métodos enlistados sirven para la estimación del aporte de sedimento en m³/año, sin embargo, hay métodos como el de Gottschalk y el del USBR que fueron desarrollados con base en mediciones realizadas en varias cuencas del suroeste de los EE.UU, por lo que es muy probable que la realidad en dichas cuencas no se asemeje a la realidad en la cuenca “El Tule”.

Resultados

En la tabla 2 se presentan los resultados a modo de resumen, y en la figura 2 se aprecian los mismos, para la obtención del aporte representativo de sedimento en la cuenca, se hizo un promedio de las condiciones más desfavorables posibles, en este caso el método de Namba, el de Gracia y el de la FUPS.

Tabla 2. Aporte de sedimento por tamaño de cuenca.

Método	Aporte [m ³]
Gottschalk	264,001.66
USBR	184,061.68
Namba	817,292.52
Owen & Branson	194,177.12
FUPS	686,780.06
Gracia	1,329,875.45

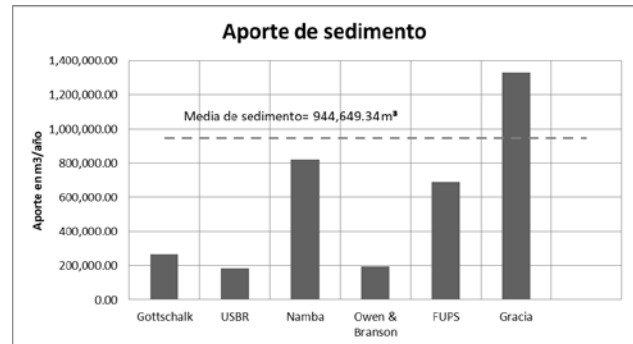


Figura 2.- Aporte de sedimento de la cuenca hasta el sitio de la presa.

De acuerdo con datos obtenidos con el criterio propuesto por Brune (Brune 1953), la eficiencia de atrape de la presa a construir ronda el 80%, es decir, que del aporte de sedimento de la cuenca obtenido, solamente el 80% se depositará en el embalse, por lo tanto, la media anual de sedimento ronda es del orden de 736,826 m³.

Conclusiones

El manejo de sedimentos resulta fundamental en la operación de una presa ya que, de acuerdo con el contexto nacional e internacional, las presas pierden capacidad a una velocidad significativa, y el desazolve de las mismas, en muchos casos, no es factible y la presa termina por azolverse en su totalidad hasta llegar a su inutilización.

Dada la poca o nula información con la que se cuenta, se concluye que los métodos que si toman en cuenta las características propias de la cuenca arrojan resultados de un orden aproximado entre ellos, asimismo, el método de Gracia arroja resultados con las condiciones más desfavorables, sin embargo, éstos resultados fueron tomados en cuenta para la obtención del promedio de volumen de sedimento por tratarse de un método desarrollado en embalses mexicanos.

Referencias

- Bribiesca, M. Á. (2017). *Análisis de la factibilidad del empleo del método de desazolve "flushing" en una presa mexicana con problemas de sedimentación en su embalse, mediante el uso de un modelo bidimensional*. Ciudad de México, México: Tesis de Maestría, UNAM FI.
- Brune, G. (1953). "Trap efficiency of reservoirs". *Transaction of the American Geophysical Union, Vol 34*. Washington DC.
- Cortés, H. (1991). *Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados* (Vol. Tesis de Maestría en Ciencias). México: Colegio de Postgraduados.
- Gottschalk, D. J. (1964). *Section 17, part 1: Reservoir sedimentation*. En V. T. Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*. New York, USA: McGraw Hill Co.
- Gracia, S. J. (1997). *Capítulo 17: Pérdida de suelo en cuencas*. En I. d. Ingeniería, *Manual de ingeniería de ríos*. México D.F: UNAM.