

REDEFINICIÓN DE UN MODELO AGREGADO DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS. APLICACIÓN A CUENCAS EN EL NOA.

Luis Alejandro Olmos, María Teresita Pilan, Marcelo Miranda, Carolina Acosta

Instituto de Recursos Hídricos, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
E-mail: lolmos@unse.edu.ar, tpilan@unse.edu.ar, marcelomiranda88@gmail.com, caroacosta@live.com.ar

Introducción

Cuando se va a abordar un proyecto hidráulico que involucre la toma de decisiones en la planificación del aprovechamiento, gestión y control de los recursos hídricos de una región, en algunos casos se requiere de la estimación de la producción global de sedimentos en una cuenca. A partir de la aparición de los sistemas de información geográfica y de las herramientas de análisis espacial, se han propuesto en los últimos años modelos más o menos complejos a escala distribuida, pero su aplicación práctica no resulta sencilla, ya que se requiere de un elevado número de parámetros que en la mayor parte de los casos no se dispone y por otro lado plantear la distribución espacial del fenómeno no siempre es factible. En la etapa de anteproyecto de obras de aprovechamiento hídrico, como ser presas de embalses o de derivación, es necesaria una estimación expeditiva de la producción de sedimentos o el aporte global potencial de sólidos en el punto de cierre y no de una modelación detallada de los procesos de erosión, transporte y deposición en la cuenca.

Dentro de este contexto, con este trabajo se pretende formular un criterio general para estimar la producción global de sedimentos en cuencas en formato agregado para la región NOA de la República Argentina. Para ello se procede a una validación y ajuste de los parámetros de un modelo agregado con datos batimétricos de una serie de embalses de la región de estudio. En particular se selecciona un modelo empírico con ecuaciones sencillas y requerimiento de pocos parámetros y de disponibilidad factible. Figura 1.



Figura 1.- Ubic. geográfica de la zona de estudio

Producción de Sedimentos en Cuencas

A la fecha se han desarrollado diferentes metodologías para abordar procesos de erosión superficial, que afectan a las cuencas a nivel mundial, los que pueden ser clasificados en dos grandes grupos: cualitativos o cuantitativos. De hecho, la valoración cuantitativa es más difícil que la cualitativa, puesto que implica un intento por calcular las magnitudes y volúmenes de interés que son escasamente medidos en la práctica. En este sentido se han desarrollado varios métodos para la valoración cuantitativa de la erosión hídrica y su consecuente producción de sedimentos, entre los que se pueden citar: USLE, MUSLE, RUSLE, WEPP, AGNPS, CREAMS, ANSWERS, GAVRILOVIC, MIRAKI. La mayoría de ellos se han generado y usado principalmente en Estados Unidos, a excepción de los dos últimos que han sido desarrollados en Europa y la India respectivamente, y aplicados en la República Argentina. (Olmos & Jegat, 2001).

Mediante un estudio comparativo de las fórmulas, que considera su fundamento físico y el resultado de las predicciones comparadas con datos de campo y la aplicación de las mismas, se encontró que las relaciones basadas en los criterios de USLE, Gavrilovic, y Miraki tienen un formato sencillo donde sus formulaciones son sencillas en función de cantidades fácilmente disponibles para llevar estudios a escala regional, pero en virtud de los resultados obtenidos oportunamente (Olmos et al 2010), se decide profundizar el análisis sobre el último de ellos.

Modelo de Miraki

La metodología propuesta por Miraki (Garde & R. Raju, 1985; p. 263-264) se ha originado como una necesidad de estimar la producción de sedimentos en cuencas para evaluar la posible sedimentación en embalses. Las formulaciones han sido calibradas con datos observados en 32 embalses cuya colmatación progresiva fue monitoreada conjuntamente con las características físicas e hidrológicas de las cuencas que aportaban su escorrentía a los cuerpos de agua. La expresión funcional definida por Miraki fue:

$$V_{Sa} = f_{Vs} (A_c, P_a, V_Q, S_c, D_d, F_c) \tag{1}$$

que se puede expresar:

$$V_{Sa} = c_0 A_c^{c_1} P_a^{c_2} V_Q^{c_3} S_c^{c_4} D_d^{c_5} F_c^{c_6} \tag{2}$$

donde se pueden aplicar cuatro formulaciones alternativas, según la tabla:

Ecuación	c ₀	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆
1	1.182E-06	1.026	0.075	0.398	1.289	0.287	2.422
2	1.067E-06	1.232	0.129	0.397	1.384	0.000	2.510
3	2.410E-06	1.154	0.060	0.000	1.071	0.000	1.893
4	4.169E-05	0.841	0.000	0.000	0.139	0.312	0.000

De las cuatro expresiones propuestas por el autor en función de los resultados obtenidos en aplicaciones anteriores y de la cantidad de variables representativas que tienen el mayor sustento físico, se decide trabajar en base a las Ec. 1 y 2, en las que se aprecia F_c es el factor de erosión integrado de uso del suelo y cubierta vegetal, que es el que más influye sobre V_{ps}.

$$V_{Sa} = 1,182 \times 10^{-6} \cdot A_c^{1,026} \cdot P_a^{1,289} \cdot V_Q^{0,287} \cdot S_c^{0,075} \cdot D_d^{0,398} \cdot F_c^{2,422} \quad (3)$$

$$V_{Sa} = 1.067 \times 10^{-6} \cdot A_c^{1,292} \cdot P_a^{1,384} \cdot S_c^{0,129} \cdot D_d^{0,397} \cdot F_c^{2,510} \quad (4)$$

V_{Sa} : producción media de sedimentos anual (Hm³/año)
 A_c : área de la cuenca (Km²)
 P_a : precipitación media anual. (cm)
 V_Q : derrame medio anual. (Hm³)
 S_c : pendiente media de la cuenca. (adimensional)
 D_d : densidad de drenaje de la cuenca. (Km⁻¹)
 F_c : factor integrado de erosión de cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca, varía entre 0,2 y 1,0. (adimensional)

Aplicación a la Región de Estudio

A partir de los resultados obtenidos en un trabajo anterior, en el que se trabajo con información secundaria, se trató de mejorar la determinación de un parámetro que no tiene una variación temporal, salvo que haya alguna acción antrópica, como lo es la densidad de drenaje. En efecto en la mayoría de cuencas, en las zonas de montaña se encontró diferencias importantes entre las redes de drenaje en lo que hace a su definición y correspondiente longitud. Se hizo un avance parcial en el estudio de variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal, en base a la cual se procedió a definir un Fc promedio hasta el año de referencia de la batimetría que en la mayoría de los casos estaba entre los años 2000 y 2001.

En consecuencia, se lleva a cabo la aplicación de las expresiones de Miraki seleccionadas a una serie de cuencas del noroeste argentino que desembocan en los embalses respectivos y cuyos resultados se presentan en la Figura 2 y en la Tabla 1. En términos generales para los casos estudiados todas las metodologías han subestimados los valores medidos, lo que indicaría que debería analizarse la sensibilidad de aquellas variables que pueden presentar variaciones temporales y/o espaciales, como ser precipitación y factor de cobertura, ya que los datos disponibles fueron recopilados de fuentes secundarias.

Dicho análisis indico que de acuerdo la información actual analizada (imágenes satelitales y volumen de escorrentía), dichos cambios no eran sustanciales en el valor de la producción de sedimentos anual.

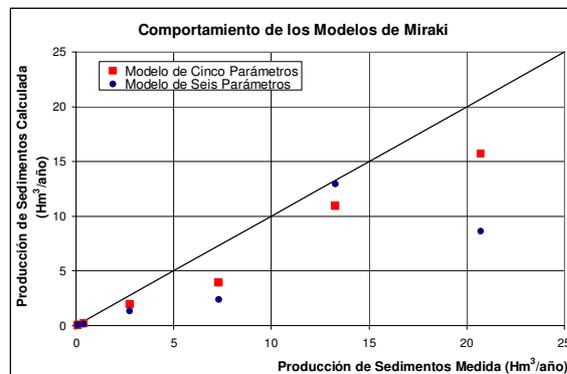


Fig. 2.- Validación de Ec. de Miraki en 6 cuencas del NOA.

En virtud de ello, se procede a un ajuste de los parámetros de las ecuaciones utilizadas para las cuencas estudiadas, lo cual produjo una muy buena correlación, tal cual se puede apreciar en la Figura 3 y los mismos se presentan en las ecuaciones adjuntas.

Tabla 1.-Prod. de Sedimentos Medido y Calculado (Hm³/año)

Embalse	Area (Km ²)	Medido	Miraki (6p)	Miraki (5p)
Los Sauces	1.118	0,113	0,034	0,086
De Escaba	785	0,388	0,104	0,159
El Cadillal	5.427	2,751	1,340	1,978
El Tunal	6.095	7,320	2,380	3,938
Río Hondo	13.157	13,286	12,920	10,898
Cabra Corral	32.614	20,741	8,618	15,701

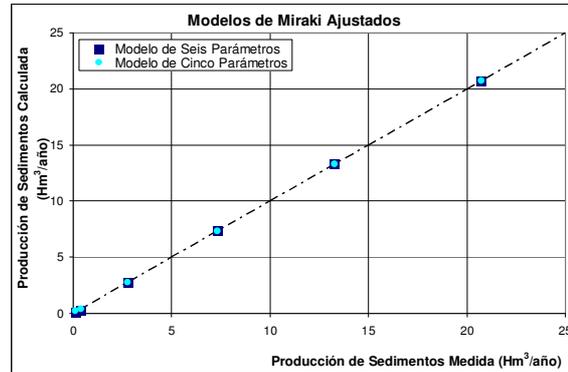


Fig. 3.- Ajuste de la Ec. de Miraki en 6 cuencas del NOA

$$V_{Sa} = 1,523 \times 10^{-5} \cdot A_c \cdot P_a^{1,624} \cdot V_Q^{0,177} \cdot S_c^{0,679} \cdot D_d^{0,540} \cdot F_c^{3,598} \quad (5)$$

$$V_{Sa} = 1,179 \times 10^{-4} \cdot A_c \cdot P_a^{1,705} \cdot S_c^{1,154} \cdot D_d^{0,294} \cdot F_c^{3,517} \quad (6)$$

Conclusiones

- Desde el punto de vista físico, conceptual y de implementación, el modelo agregado de Miraki, en sus dos variantes adoptadas constituyen una alternativa interesante a la hora de hacer estudio de estimación de la producción global de sedimentos en cuencas.
- El proceso de validación y ajuste permitió obtener unas expresiones con comportamiento semejante de acuerdo a lo presentado en la figura 3 y que las mismas estarían del lado de la seguridad si se tiene en cuenta la disminución de la capacidad de retención de los embalses cuando se colmatan.
- Se tendría que generar una mayor cantidad de datos a partir de información básica generada entre batimetrías para observar como se comporta las ecuaciones a medida que avanza el proceso de colmatación.
- Desde el punto de vista práctico sería conveniente analizar el reemplazo de la densidad de drenaje por otro factor físico semejante que sea menos tedioso de obtener en las zonas altas de montaña por la considerable cantidad de drenes.

Referencias Bibliográficas

Garde, R. J. & Ranga-Raju, K. (1985). “Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems”. Halsted Press, J. Wiley & Sons, NY, USA.
 Olmos, L.A., Pilán, M.T., Farias, H.D.; (2010) “Análisis de Modelos de Producción de Sedimentos en Cuencas”. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay, Noviembre 2010.