

EVALUACIÓN DE PROCESOS DE EROSIÓN/SEDIMENTACIÓN EN EL SISTEMA HIDROLÓGICO DEL A° LUDUEÑA

Pedro A. Basile^{(1),(3)}, Gerardo A. Riccardi^{(2),(3)}, Hernán Stenta^{(1),(3)} y Marina García^{(1),(3)}

⁽¹⁾CONICET, ⁽²⁾CIUNR, ⁽³⁾CURIHAM-FCEIA-UNR
 Riobamba 245 bis, (2000) Rosario, Argentina
 Telefax: 0341 4808541. E-mail: pbasile@fceia.unr.edu.ar

Introducción

Los procesos de erosión debido al flujo hídrico se pueden dividir en procesos de erosión superficial (o erosión en láminas) y en procesos de erosión lineal (o erosión canalizada). Tal distinción se relaciona con la conocida división que se hace en Hidrología entre el flujo superficial mantiforme sobre el terreno y el flujo encauzado. Mientras el flujo mantiforme es responsable de la erosión superficial, extendida sobre toda la superficie de la cuenca; el flujo encauzado es responsable de la erosión lineal del lecho y de las márgenes a lo largo de los cursos de agua (Basile, 2004a). La erosión superficial se produce por el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo (no adecuadamente protegido por vegetación) que origina el desmenuzamiento o disgregación de las partículas, las cuales son posteriormente transportadas por el flujo mantiforme hasta que se depositan en alguna depresión del terreno o alcanzan la red hidrográfica. La erosión lineal se vincula con la tensión de corte sobre el fondo que ejerce el flujo hídrico encauzado y con las características sedimentológicas del cauce. Además, la erosión del fondo y del pie de margen (entre otros factores) pueden dar lugar a procesos de colapsos masivos debido a inestabilidad geotécnica de las márgenes (Basile, 2005).

Consecuentemente, la erosión hídrica superficial, además de inducir una disminución de productividad de los suelos cultivables, produce un aumento de sedimentos en suspensión en los cursos de agua. Por otro lado, parte de los sedimentos producidos por erosión superficial y lineal están destinados a depositarse en embalses, cauces, planicies de inundación, etc.. Asimismo, los sedimentos finos erosionados y transportados pueden adsorber sustancias contaminantes (metales pesados, pesticidas, etc.) convirtiendo las vías de drenaje y las zonas de deposición en reservorios de sedimentos contaminados (Basile et al., 2005).

La cuenca del A° Ludueña se ubica en el sur de la provincia de Santa Fe (Argentina), comprende parte de la ciudad de Rosario y un grupo de 8 poblaciones, abarcando una superficie de 700 km². Los sedimentos erosionados contribuyen con los procesos de sedimentación que se verifican en distintas zonas de la cuenca, como por ejemplo, en la zona de la presa de retención de crecidas y en la zona de los entubamientos del A° Ludueña en la ciudad de Rosario. En efecto, parte de los sedimentos generados en la cuenca del A° Ludueña propiamente dicho son retenidos por la presa y contribuyen con el proceso de sedimentación a largo plazo del vaso de la misma. Hasta el presente no se han realizado evaluaciones del aporte sólido, ni relevamientos de cantidad y calidad de los sedimentos retenidos en la presa. Por otra parte, los sedimentos que logran pasar a través de las estructuras de descarga de la presa se suman a los sedimentos producidos por la cuenca del canal Ibarlucea (afluente del A° Ludueña sobre margen izquierda). Dicha carga sólida ingresa a la zona de los entubamientos del arroyo en la ciudad de Rosario, localizados aproximadamente 2 km aguas arriba de la desembocadura en el río Paraná. Esta última zona funciona como un embalse, regulado por las fluctuaciones

de niveles del río Paraná, lo cual induce la deposición de una parte de los sedimentos que ingresan, mientras que, la parte restante se descarga en el río Paraná.

Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es realizar el balance de sedimentos medio anual en el Sistema Hidrológico del A° Ludueña, a los efectos de establecer el orden de magnitud de los procesos de erosión superficial a nivel de cuenca, redepositación interna, erosión de lecho, erosión de márgenes, sedimentación a largo plazo en la presa de retención de crecidas, sedimentación en la zona del entubamiento e ingreso de sedimentos al río Paraná.

Materiales y Métodos

A los efectos de evaluar la erosión superficial se utilizó el modelo EROSUP-U (Basile, 2004b) basado en la ecuación universal de pérdida de suelos (EUPS), la cual resulta apropiada para estimar la erosión superficial media anual a largo plazo. Para implementar el modelo se utilizó información pluviográfica y pluviométrica, datos sobre topografía, características texturales de los suelos de la cuenca, cobertura vegetal y uso del suelo. La cuenca fue dividida en 28 subcuencas. La mayoría de las subcuencas se dividieron a su vez en sub-subcuencas materializando unidades homogéneas desde el punto de vista geomorfológico e hidrológico. Cabe señalar que la EUPS es una ecuación empírica, que estima exclusivamente la producción de sedimentos por erosión superficial, es decir, no contempla los procesos de erosión del flujo encauzado (erosión de lecho y márgenes) ni obviamente procesos de remoción en masa (deslizamientos, flujos de detritos, etc.). Estos últimos están obviamente descartados en el A° Ludueña, mientras que, el eventual aporte correspondiente a los procesos de erosión debido al flujo encauzado fue evaluado utilizando información topobatómica, hidrológica y de características sedimentológicas del cauce en diferentes secciones transversales del arroyo.

Se estudió principalmente la evolución temporal del cauce en un tramo del arroyo. El material constitutivo del cauce (lecho y márgenes) es una asociación de limos y arcillas (>95%). En su gran mayoría se trata de suelos tipificados como ML y CL, con baja plasticidad (IP=8-10%), con concentración de calcáreos y consistencia firme. El ángulo de fricción interna varía entre 15° y 30°. La cohesión varía entre 39 kPa y 88 kPa.

Considerando las características fuertemente cohesivas del material y dado que del análisis de la información topobatómica no surgieron evidencias de procesos erosivos apreciables, se utilizó la información hidrológica para deducir indirectamente los parámetros de algunos predictores de erosión en suelos cohesivos. Conocidos los caudales máximos que transitaban por el tramo y conocida la erosión a partir de los relevamientos de la sección transversal antes y después del tránsito de caudales fue posible deducir los parámetros de las formulaciones de

predicción de erosión del lecho. El período de tiempo considerado fue desde 1986 a 1995. La serie de caudales fue reconstruida mediante transformación lluvia-caudal, contando con la serie completa de lluvias y series parciales de alturas y caudales. Debido al desborde que se produce para los caudales máximos la reconstrucción de los perfiles de flujo se realizó utilizando un modelo cuasi-bidimensional (Riccardi, 2000). La estabilidad de las márgenes se analizó utilizando el modelo derivado por Basile (2005) a partir de la modificación del modelo de Osman et al. (1988).

Evaluación de Resultados

El ajuste de los predictores de erosión se planificó de modo tal que la sucesión de caudales máximos estimados ocasionaran sucesivas erosiones hasta alcanzar la erosión final observada. Al constatarse que no hubo un proceso de erosión generalizado se procedió a ajustar los predictores de modo tal que al paso de la mayor de las crecidas registradas se produjera la erosión observada (nula en todas las secciones). En el caso de fuerza tractiva la tensión admisible máxima fue de $35,9 \text{ N/m}^2$. La aplicación del predictor de erosiones de Rossinsky determinó un valor de la velocidad máxima sin erosión para un tirante de 1 m de $1,54 \text{ m/s}$. En el caso de la formulación de Lischtvan-Lebediev el coeficiente C_{II} máximo es 0,91. Cabe destacar que el valor máximo no significa necesariamente que si se superan las velocidades deducidas a partir de estos parámetros se produzca erosión. Las márgenes muestran valores del coeficiente de seguridad mucho mayores que 1 (estables) debido sustancialmente a los valores extremadamente elevados de la cohesión del material que constituye todo el cauce. Un comportamiento similar se observa en otras secciones del arroyo. Por lo tanto, el aporte correspondiente a la erosión del flujo encauzado puede considerarse despreciable en comparación con el aporte debido a la erosión superficial.

Los valores de producción bruta y producción neta de sedimentos, debido a la erosión superficial para cada subcuenca, fueron estimados considerando la erosión actual y el riesgo de erosión potencial ($C=1$ y $P=1$). De acuerdo a la clasificación de Wischmeier et al. (1978) los valores estimados de erosión actual para cada subcuenca son bajos: menores que $448 \text{ (T/km}^2\text{/año)}$. Por otra parte, utilizando la misma clasificación, los valores estimados considerando el riesgo de erosión potencial resultan altos: mayores que $1121 \text{ (T/km}^2\text{/año)}$.

El balance medio anual de sedimentos, considerando erosión actual, muestra que la cuenca del A° Ludueña propiamente dicho con cierre en la presa de retención de crecidas presenta una producción bruta de 81560 T/año , una deposición interna de 63640 T/año y un ingreso de sedimentos a la presa de 17920 T/año . La eficiencia de retención de sedimentos media a largo plazo de la presa es de 25%. Por lo tanto, en la presa se estima una sedimentación media anual a largo plazo de 4480 T/año . Realizando un pronóstico de sedimentación, considerando según Lane y Koelzer embalse normalmente vacío y sedimento en ingreso con una composición de 50% de arcilla, 47% de limo y 3% de arena fina, se estima una pérdida de volumen de $0,35 \text{ Hm}^3$ al cabo de 100 años. Por otra parte, el 75% del sedimento que pasa a través de la presa representa una erogación de 13340 T/año . La cuenca del canal Ibarlucea contribuye con una producción neta de 11760 T/año , mientras que, la generada en el sector comprendido entre la presa y la Av. Circunvalación es de

460 T/año . Por lo tanto, la cantidad de sedimentos que ingresa al sistema de conductos es de 25660 T/año . La eficiencia de retención de sedimentos en el sistema de conductos es 20%. Por lo tanto, se estima una sedimentación media anual a largo plazo de 5130 T/año . La sedimentación observada en un período de 8 años es de aproximadamente 30500 m^3 . Adoptando, según Lane y Koelzer, embalse con normalmente considerables descensos de nivel y composición de sedimento igual a la mencionada anteriormente, se obtiene una deposición media observada para el período de 4380 T/año , es decir, aproximadamente el 85% del valor estimado mediante el modelo. El ingreso de sedimentos al río Paraná es de 20530 T/año .

Considerando el riesgo de erosión potencial y asumiendo que la presa tiene la eficiencia de retención de sedimentos mencionada anteriormente, se estima una deposición de sedimentos media anual a largo plazo de 62780 T/año . Realizando un pronóstico de sedimentación, bajo las mismas hipótesis señaladas más arriba, se estima una pérdida de volumen de $4,9 \text{ Hm}^3$ en 100 años. El volumen del embalse correspondiente a la cota 30 m IGM es de $71,32 \text{ Hm}^3$. Se observa que, aún en este caso de aporte sólido extraordinario, la capacidad de almacenamiento no se vería disminuida ya que la pérdida de capacidad sería igual al 7% del volumen correspondiente a la cota 30 m IGM. En el sistema de conductos la situación es más crítica pues, si bien podría alcanzarse un cierto equilibrio, la sedimentación sería de todos modos excesiva. En este caso el ingreso de sedimentos a los entubamientos es de 403550 T/año . El ingreso de sedimentos al río Paraná es de 322840 T/año .

Conclusiones

Con respecto a los procesos de erosión debido al flujo encauzado las secciones analizadas no muestran procesos de erosión generalizada de lecho ni de márgenes, lo cual indica que los valores de tensión de corte y velocidades derivados no son umbrales máximos de resistencia, sino que existe la probabilidad de superarlos. En lo que respecta a los predictores de Fuerza Tractiva y Rossinsky, si bien los valores hallados se encuentran dentro de los rangos establecidos en la bibliografía, puede afirmarse que son superiores a los que se fijan para limos arcillosos de baja plasticidad.

La producción de sedimentos media anual en la cuenca del A° Ludueña, se relaciona sustancialmente con el proceso de erosión superficial. Se evaluó el proceso de erosión superficial actual como así también el riesgo de erosión superficial potencial. Se realizaron los balances de sedimentos para ambas situaciones. En los dos escenarios simulados (erosión actual y potencial) la capacidad de almacenamiento de la presa de retención de crecidas no se ve sustancialmente afectada por el proceso de sedimentación a largo plazo. Sin embargo, el sistema de conductos puede experimentar un severo proceso de sedimentación, razón por la cual deberían adoptarse medidas para el control de sedimentos en el área de estudio.

Referencias

Basile, P.A. (2005). *Modelación de la Erosión de Márgenes por Mecanismo de Colapso Masivo Asociado a Falla Plana*. XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza. Libro de resúmenes y CD-ROM. ISBN 987-22143-0-1.