

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA DE CRECIDAS DE DISTINTAS RECURRENCIAS EN EL RÍO PARANÁ

Graciela Viviana Zucarelli; Eduardo Blas Ceirano y Carlos Antonio Ercole
Departamento Hidrología, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Ciudad Universitaria, Paraje El Pozo. (3000) Santa Fe, Argentina
TE: 0054-342-4575244 (interno 167) FAX: 0054-342-4575224
e-mail: zuca@fich1.unl.edu.ar / eceirano@evarsa.com.ar

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de los cambios geomorfológicos que ocasionan, se pueden establecer tres categorías de crecidas: (a) crecidas de *larga duración*, de gran energía acumulada, pero bajo valor de energía de cauce por unidad de área. Estas crecidas no son efectivas para causar cambios en la geomorfología; (b) crecidas de *media a larga duración*, con media a gran energía total acumulada y gran pico de energía del cauce por unidad de área. Se cree que estas crecidas son las más activas para modificar los cauces y las planicies de inundación, debido a la combinación de máxima energía por unidad de área de cauce, duración de la crecida y energía total; (c) crecidas de muy *corta duración*, baja energía total acumulada pero gran pico de energía por unidad de área de cauce. Estas últimas si bien por sus efectos pueden ser muy importantes, son agentes poco efectivos a la hora de producir modificaciones en la morfología del sistema.

Costa y O'Connor (1995) investigaron dos roturas de presas en Washington y Oregon y llegaron a la conclusión de que un factor importante para producir cambios geomorfológicos es la *duración de la crecida*. En su trabajo los autores quisieron documentar el papel que juega la duración de la crecida como un factor crítico obvio pero a menudo ignorado. La duración de una crecida puede afectar la respuesta geomorfológica de distintas formas. La duración de la crecida, junto con la magnitud del pico, la energía del curso y la resistencia de la superficie determinan si una crecida es o no geomorfológicamente efectiva. La duración de una crecida puede ser una clave para entender porque un evento con bajo valor de caudal puede tener gran impacto en algunos cauces aluviales comparado con crecidas que poseen grandes valores instantáneos. Las modificaciones más notables que se producen son las erosiones, tanto laterales como de profundización generalizada.

En el caso particular del Río Paraná, se han producido en los últimos años, varias crecidas importantes que han provocado distintos efectos, diferenciándose no sólo entre sí, sino también con consecuencias bien distintas, según la sección del río que se analice.

Se presenta en este trabajo un análisis de la energía de dos crecidas ocurridas en el Río Paraná y de 6 crecidas de diferentes recurrencias ($T_r = 2, 5, 10, 25, 50$ y 100 años). Las crecidas observadas corresponden al período 1982-83 y al año 1992. La primera presentó un valor máximo de caudal cercano a los $60.000 \text{ m}^3/\text{s}$ y una extraordinaria duración y puede ser de las consideradas en el grupo (b). La segunda, con un caudal máximo del mismo orden de magnitud ($52.000 \text{ m}^3/\text{s}$) pero mucho más abrupta y de duración significativamente menor. Como consecuencia de la primera de las crecidas se produjeron erosiones de gran magnitud, causando daños importantes en la infraestructura, sobre todo en aquellas secciones donde la existencia de caminos, terraplenes, puentes, etc., se concentró el escurrimiento.

METODOLOGÍA

La energía del río por unidad de área, expresada en Watts/m² [W/m²] está dada por la siguiente expresión:

$$\omega = \frac{\gamma QS}{w} \quad (1)$$

donde γ es el peso específico del fluido (9800 N/m³ para agua clara), Q es el caudal [m³/s], S es la pendiente de energía [], w es el ancho superficial [m].

Este valor es instantáneo y se puede calcular en cada momento de la crecida en que se dispone información. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la duración de las crecidas está íntimamente relacionada con los cambios que esta produce, por lo tanto es importante conocer la distribución temporal y espacial de la energía.

El pico de energía es útil para evaluar la competencia de la crecida, pero no es el único factor para saber si la crecida es geomorfológicamente efectiva o no. La integral de la energía en el tiempo, calculada sobre el hidrograma y combinada con mediciones de resistencias tales como la tensión de corte o los anchos de canal y de la planicie de inundación pueden ser útiles para evaluar el potencial de efectividad de la crecida.

No existe un procedimiento ampliamente difundido para cuantificar las modificaciones que acompañan a una crecida dada. El cambio en la geomorfología del canal y la planicie de inundación se asigna con el valor cualitativo de *Pequeño* o *Extremo* (Costa y O'Connor, 1995). Cambios *Pequeños* representan sitios donde la planicie se inunda con poco o nada de erosión. En estos casos la deposición y erosión del canal es local, se restringe a áreas pequeñas y localizadas y el fondo del valle y del canal presentan cambios mínimos. Cambios *Extremos* ocurren en áreas donde la planicie de inundación y el cauce son sustancialmente afectados por la erosión y la deposición. Se pueden formar nuevos cauces o bien la planicie de inundación se erosiona totalmente. Se pueden presentar áreas extensas de deposición o erosionar nuevas áreas durante la recesión. Existe modificación del fondo del cauce y el patrón de cursos se redefine completamente. La deposición y sedimentación ocasionada por estas crecidas pueden alterar significativamente las formas geomorfológicas del cauce y de la planicie de inundación.

Por lo tanto, se propone utilizar como otra medida de la potencialidad de la crecida, la integral de energía del cauce por unidad de área. La energía media por unidad de área integrada por la duración de la crecida expresada en Joules está representada por:

$$\Omega = \int \frac{\gamma QS}{w} dt \quad (2)$$

A partir de datos de niveles, de la sección transversal del cauce y la planicie de inundación, el hidrograma y una relación altura-caudal es posible construir una curva de la distribución de la energía por unidad de área de la crecida.

APLICACIÓN Y RESULTADOS

Crecidas analizadas

Durante los años 1982 y 1983, se produjo en el Río Paraná una crecida extraordinaria que alcanzó valores extremos tanto en el caudal pico como en el volumen. El caudal máximo aforado en la estación Corrientes fue de aproximadamente 60.000 m³/s y el caudal medio del año hidrológico (Setiembre 1982 a Agosto 1983) fue de 37.000 m³/s, con un derrame anual de más de 1.100 Km³.

Durante esta crecida existían, sobre la Ruta Nacional N° 168 en el tramo comprendido entre la margen derecha de la Laguna Setúbal y el paraje denominado La Guardia, seis puentes Aliviadores, emplazados en las principales vías de escurrimiento del valle, el Viaducto Nicasio Oroño y paralelamente a éste, unos 100 m aguas arriba, el Puente Colgante construido a principios de siglo. Debido a la gran erosión se produjo el colapso de dos Aliviadores, se derrumbó el puente Colgante y se amplió la sección de paso bajo el Viaducto. La crecida del año 1992, con un caudal máximo del mismo orden de magnitud (52.000 m³/s) fue mucho más abrupta y de duración significativamente menor.

Por su parte, las crecidas sintéticas analizadas poseen caudales máximos que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de Q (m³/s) para diferentes periodos de recurrencia

Tr (años)	Qp (m ³ /s)
2	30600
5	38286
10	44101
25	46879
50	47457
100	62172

Determinación de los parámetros hidrológicos

En este trabajo se evaluó el potencial de las crecidas mencionadas sobre secciones transversales ubicadas en Cayastá (sobre el Río San Javier) y Brugo (sobre el cauce principal), donde el río corre prácticamente sin interferencias a efectos de mostrar resultados comparativos a los de la Tabla N° 1. Luego se hizo lo propio sobre secciones que resultaron críticas por los impactos recibidos durante dichas crecidas, tales como el Arroyo Leyes en Ruta Provincial N°1, la Laguna Setúbal sobre el Viaducto Nicasio Oroño y zonas cercanas al Túnel Subfluvial Hernandarias que une las ciudades de Santa Fe y Paraná. A efectos de obtener los parámetros hidrológicos necesarios para los cálculos en las secciones mencionadas, se utilizó un modelo hidrodinámico de múltiples cauces (Ceirano y otros, 1982). El mismo comprende el Río Paraná entre La Paz y Diamante abarcando la zona en estudio. Está compuesto por 34 ramas en la que se encuentran distribuidos 119 perfiles con 31 nodos de confluencia-efluencia, habiéndose logrado una calibración altamente satisfactoria del mismo (Ceirano y colaboradores, 1982, 1998).

Mediante la aplicación de la ecuación (2) se obtuvieron los resultados que se observan en la Figura 1.

CONCLUSIONES

Se ha evaluado en el Río Paraná la metodología propuesta por Costa y O'Connor (1995) para cuantificar la actividad geomorfológica de las crecidas. Los resultados obtenidos permiten una comprensión de algunos fenómenos ocurridos y si bien no se pretendió en este trabajo cuantificar directamente la magnitud de los efectos que ocasionaron las crecidas, se muestra que aquellas secciones del río que registraron erosiones o modificaciones coinciden con valores importantes de los índices analizados, así, las secciones de mayores problemas son la del Puente sobre el Arroyo Leyes y la del Viaducto Nicasio Oroño.

Se muestra también que los valores obtenidos en cuanto a máximos son similares a los del Río Mississippi pero que la energía total acumulada de la crecida de 82/83 fue de una gran magnitud, lo que acentúa la percepción de que la misma resultó de una actividad morfológica extrema, notándose variaciones tales como profundizaciones, depósitos sedimentarios importantes, modificación de la distribución de caudales entre las componentes del sistema que han permanecido en el tiempo, cambios en la vegetación de la planicie de inundación, etc. Todo esto indica que los índices analizados (energía máxima, media y acumulada) son buenos parámetros para analizar la actividad de las crecidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ceirano, E.; Gioria, R.; Ercole, C. (1982). "The "Parana Medio" Hydrodynamic Model and its calibration". Revista "Water International". Vol. 7, pp. 82.

Ceirano, E.; Zapata, C.; Macor, J. (1998). "Interferencias en el escurrimiento del Sistema Setúbal en las proximidades de la ciudad de Santa Fe". XVII Congreso Nacional del Agua – II Simposio de Recursos Hídricos del Conosur. pp. 105.

Costa, J. E.; O'Connor, J. E. (1995). "Geomorphically Effective Floods", American Geophysical Union, pp. 45-55.

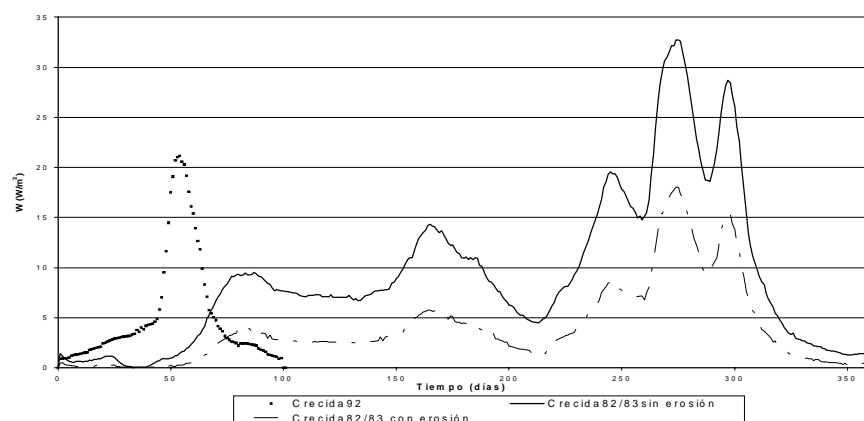


Figura 1. Gráfico de energía Secciones Laguna Setúbal y Puente Oroño.