

REDUCCIÓN DE LA AMENAZA POR ALUDES TORRENCIALES MEDIANTE OBRAS DE CONTROL DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA CAMURÍ GRANDE, ESTADO VARGAS, VENEZUELA.

Karol Sánchez y Francois Courtel

Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
E-mail: Sanchezkaroll@gmail.com, fcourtel7@gmail.com

Introducción

La cuenca Camurí Grande es una cuenca de 42,6 km² ubicada en el estado Vargas, Venezuela, y conformada por los ríos Camurí y Migueleno, que confluyen poco antes de su desembocadura en el Mar Caribe (Ver Figura 1). Su parte alta es una zona montañosa de fuertes pendientes que pertenecen al Parque Nacional El Ávila y su parte baja está ocupada desde los años 60 por viviendas, instituciones educativas y desarrollos recreacionales. Ha sido afectada, así como el resto de la región norte-costera de Venezuela, por el evento extraordinario de aludes torrenciales de 1999, y de nuevo en menor medida en 2005. Como parte de las medidas de prevención implementadas en el estado Vargas, presentadas en el XXIV congreso (López y Courtel, 2010), se construyeron entre los años 2006 y 2008 varias obras de control de sedimentos. El mapa de amenaza elaborado anteriormente en la zona no había tomado en cuenta estas obras. El estudio presentado se propone evaluar su influencia sobre la amenaza en la zona baja.



Figura 1.- Cuenca Camurí Grande.

Obras de control existentes

Las obras existentes son adaptaciones de proyectos anteriores, diseñados en principio para gastos líquidos de 100 años de periodo de retorno, sin estimaciones de gastos totales ni de volúmenes de sedimentos por retener. Aguas arriba del abanico aluvial se construyeron en cada uno de los ríos Migueleno y Camurí dos presas cerradas y una presa abierta con ventanas de 1 m. x 1 m., es decir 6 presas en total, todas de gaviones con alturas de 4 y 5 m. y ancho de 42 a 97 m. Se construyeron también canalizaciones de sección trapezoidal con fondo móvil y traviesas, que se inician aguas abajo de las presas. El último tramo, después del puente de la Avenida Principal de Camurí, es de sección trapezoidal de enchachado hormigonado y termina con dos espigones en la línea de costa.

En la actualidad la canalización presenta algunas fallas estructurales. Las presas cerradas se encuentran sedimentadas en mayor parte, a consecuencia de eventos menores que no ponían realmente en peligro el área urbana. La presa de ventana existente en el río Camurí presenta una falla en su estribo derecho.

Metodología del estudio

La metodología consistió básicamente en la simulación matemática de varios escenarios de eventos de aludes torrenciales de distintas frecuencias, con distintas configuraciones de las obras de control, y la comparación de los mapas de amenaza correspondientes.

El modelo matemático utilizado fue el modelo RiverFlow2DPlus, un modelo hidrodinámico bidimensional de volumen finito, con malla triangular flexible (Hydronia, 2015). Se usó la plataforma libre QGIS como interfaz gráfica. RiverFlow2DPlus incluye un módulo para simular transporte convencional de sedimentos (Sediment Transport- ST) y otro para simular flujos hiperconcentrados no-newtonianos (Mud and Debris Flows - MD). El módulo ST permite simular la deposición de sedimentos y la erosión del fondo, pero requiere una capacidad computacional mucho mayor que el módulo MD. Por su parte el módulo MD, que considera la mezcla agua-sedimentos como monofásica, puede tomar en cuenta sus características reológicas, mas no reproduce las variaciones del fondo. Debido al rango de concentraciones volumétricas de los flujos a tomar en cuenta (10 a 30%), es decir un rango intermedio entre flujos convencionales y aludes torrenciales plenamente desarrollados, se optó por un uso combinado de los módulos ST y MD a fin de evitar las limitaciones señaladas. Se aplicó el módulo ST para evaluar la deposición en las obras de retención, con simplificaciones en el rango de fracciones de sedimentos, lo que permitió estimar la reducción de la concentración volumétrica del flujo pasante. Luego, en el área urbana se aplicó el modulo MD, haciendo uso de la formulación reológica cuadrática, con una modificación del fondo del canal basada en una simulación previa con el módulo ST. La calibración se efectuó con el evento de 2005, un evento de 4 días de duración, para el cual se disponía de registros pluviométricos continuos, además de datos de campo, incluyendo una encuesta a testigos del evento realizada en el marco del estudio.

Para evaluar la amenaza se siguieron los criterios en uso en Venezuela, aplicados entre otros, en la elaboración de los mapas de amenaza en el valle de Caracas, reseñada en el XXII Congreso (Courtel et al, 2006), con una ligera modificación a fin de tomar en cuenta el rango intermedio de los flujos. Se analizaron los impactos de eventos de 10, 100 y 500 años de periodo de retorno con 24 horas de duración, para los cuales las simulaciones con el modelo RiverFlow2DPlus permitieron estimar las profundidades y velocidades máximas del flujo, luego a partir de ellas la intensidad de cada evento, y finalmente la amenaza, como combinación ponderada de las intensidades de los tres eventos.

Resultados de los escenarios

Se simularon los siguientes escenarios: estado original sin obras (Escenario 1), con obras de conducción (Escenario 2), con obras de conducción + presas vacías (Escenario 3), con obras de conducción + presas sedimentadas (Escenario 4). (Ver Tabla 1).

Tabla 1.- Áreas bajo amenaza en cada uno de los escenarios.

Escenario	Amenaza alta [ha]	Amenaza media [ha]	Amenaza baja [ha]	Amenaza total [ha]
Escenario 1	44,2	7,1	20,1	71,4
Escenario 2	23,2	4,6	27,8	55,6
Escenario 3	15,2	5,8	32,4	53,4
Escenario 4	15,3	6,7	31,7	53,7

La influencia de las obras se midió en cada uno de los escenarios por la disminución del área amenazada en los distintos niveles, con respecto a la situación sin obras reflejada en el Escenario 1. (Ver Figura 2 y Tabla 2).

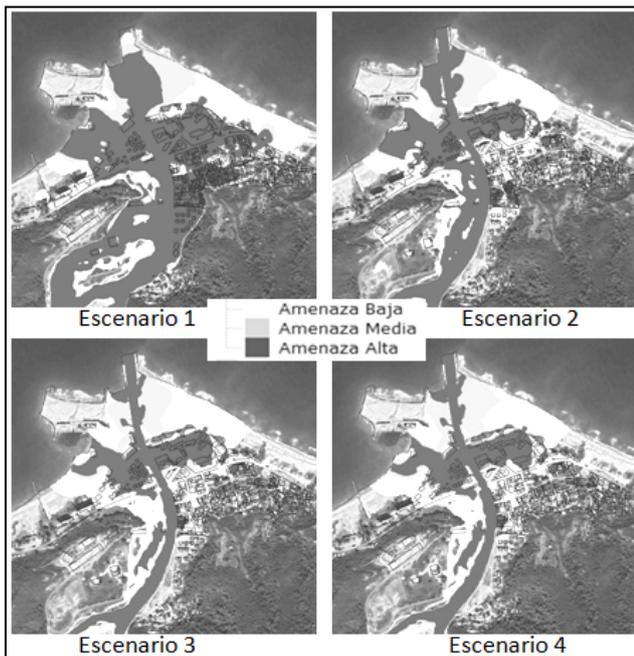


Figura 2.- Comparación de mapas de amenaza.

Tabla 2.- Variación del área bajo amenaza respecto al Escenario 1.

Escenario	Amenaza alta [%]	Amenaza media [%]	Amenaza baja [%]	Amenaza total [%]
Escenario 1	100	100	100	100
Escenario 2	-48%	-36%	38%	-22%
Escenario 3	-66%	-18%	61%	-25%
Escenario 4	-66%	-6%	58%	-25%

En el Escenario 2 (canal solo) la amenaza total disminuye en 22% y la amenaza alta en 48%. Se evidencia la insuficiente capacidad del tramo final del canal antes de su desembocadura en el mar. En el Escenario 3 (presas vacías) las presas retienen 40%, 23% y 18% de los sedimentos para periodos de 10, 100 y 500 años, respectivamente y la amenaza alta disminuye en 66%. En el Escenario 4 (presas sedimentadas antes del evento) las presas retienen un volumen cercano al 50% del volumen retenido en el Escenario 3, o sea que a pesar de estar llenas al comienzo del evento y estar aproximadamente en sus condiciones de equilibrio, llegan a retener temporalmente un volumen adicional. Las amenazas totales y altas son similares a las del Escenario 3. El mapa de amenaza del Escenario 4 puede considerarse como mapa de amenaza actualizado, que sustituye el mapa existente hasta la fecha.

Evaluación de la eficiencia de las obras de control

Los resultados de las simulaciones muestran una disminución importante de la amenaza gracias a las obras de control, en especial de la amenaza alta (reducida en 66%), la cual se refiere a la posibilidad de destrucción total de edificaciones, y de peligro mayor para la vida de las personas. El rol del canal es preponderante en esta reducción, pero se ve limitado en las condiciones actuales por la baja capacidad de su tramo final, su mal estado (fallas estructurales y crecimiento de vegetación) y la existencia de un puente susceptible de obstruirse en caso de arrastre de material flotante de gran tamaño (troncos y restos vegetales).

Por su parte las presas en su estado actual contribuyen también a la reducción de la amenaza. La retención de sedimentos que efectúan, aunque sea parcial, además de bajar la intensidad del flujo en la planicie de inundación, permite evitar o reducir la sedimentación del canal, y por ende el desbordamiento. Esta función se podría mejorar aún con la construcción de presas abiertas que retengan los sedimentos de mayor tamaño, que pueden obstruir el puente y causar daños por impacto en el área urbana. Se considera entonces necesaria la construcción de presas abiertas de tipo rastrillo agua arriba de las existentes, en conformidad con el esquema de presas en serie abiertas y cerradas implementado en otras cuencas del estado Vargas. Las simulaciones comprueban por otra parte que las presas llenas tienen todavía una capacidad de retención adicional de sedimentos. Sin embargo las consideraciones anteriores llevan a proponer de todas maneras la extracción periódica del material acumulado en ellas.

Un aspecto final por tomar en cuenta es que la estimación de la amenaza incluye un evento con periodo de retorno (500 años) mayor que el periodo de diseño de las obras (100 años). Si se considera solamente el evento de 100 años de periodo de retorno, se aprecia mejor el efecto de las obras, con una reducción de la intensidad alta de 84%. Con el objetivo de bajar más aún el nivel de amenaza, se recomienda continuar con un estudio que incluya una estimación más precisa de los sedimentos disponibles en la cuenca (lechos de los ríos y laderas), examine la conveniencia de un aumento de la capacidad de retención las presas o de la construcción de presas nuevas, y busque las condiciones para mejorar la capacidad del tramo final del canal. Adicionalmente la amenaza residual debido a eventos con periodos de retorno mayores de 100 años deberá enfrentarse por medios no estructurales, tales como restricciones en el uso del suelo, sistemas de alerta temprana, planes de emergencia y preparación de la población. (López y Courtel, 2010).

Referencias

- Courtel F., López J.L., Noya M., Bello M.E., y Paredes G. (2006), "Mapas de amenaza por inundaciones y aludes torrenciales en el valle de Caracas", presentado en el XXII Congreso Latinoamericano de Ingeniería Hidráulica, Puerto Ordaz, Venezuela.
- Hydronia (2015), "Two-Dimensional Finite-Volume River Dynamics Model."
- López J.L. y Courtel F. (2010), "Medidas y acciones para un sistema integral de control de inundaciones y aludes torrenciales y su aplicación en Vargas, Venezuela", presentado en el XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay.