

Inundaciones por flujo de detritos y mitigación de riesgos en Venezuela

Por José L. LÓPEZ*

Introducción

Este artículo contiene un breve estudio de los desastres relacionados con los flujos de detritos en Venezuela y las medidas de mitigación que se están planificando después de la catástrofe de diciembre de 1999. A este respecto, se hacen también algunos comentarios sobre los pasos dados por las autoridades gubernamentales y las instituciones académicas para reducir el riesgo de inundaciones por flujo

44

de detritos. La cordillera costera septentrional de Venezuela corre adyacente al Mar del Caribe, alcanzado elevaciones de hasta 2 800 m sobre el nivel del mar en el Monte Ávila (Figura 1). La ladera norte de esta montaña desciende al nivel del mar y la ladera sur desciende a un valle a 1 000 m sobre el nivel del mar, donde está situada la capital de Caracas. En los abanicos costeros se han desarrollado urbanizaciones turísticas y urbanas en el estado de Vargas, una estrecha franja de tierra que se extiende unos 50 km y cuya anchura varía entre 200 y 2 000 m (Figura 2). Las principales zonas pobladas están en llanuras aluviales, cañones y también en las escarpadas laderas de la cadena montañosa.

Flujo de detritos en la cadena costera septentrional de Venezuela

Los flujos de detritos son ríos de rocas, tierra y otros materiales empapados de agua. Se producen cuando el agua se acumula rápidamente en la tierra, como durante una precipitación fuerte o una fusión rápida de la nieve, convirtiendo la tierra en un río fluyente de barro o "lodo líquido". El lodo líquido puede fluir rápidamente pendiente abajo o a través de canales, y puede alcanzar velocidades de avalancha sin avisar. El lodo líquido puede viajar varios kilómetros, creciendo en tamaño a medida que recoge árboles, coches y otros objetos a lo largo de su camino.

Durante los 200 últimos años se ha informado en esta región de muchos corrimientos de tierra, crecidas

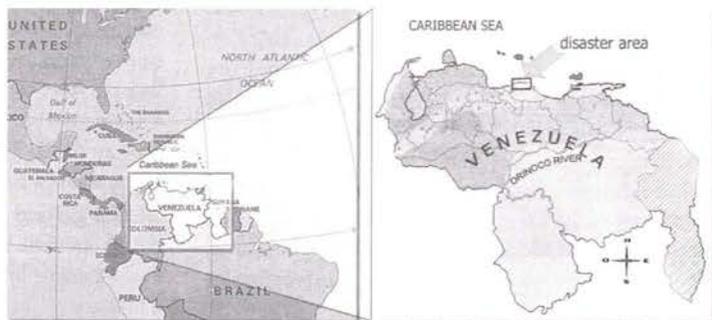


Figura 1 — Situación de la zona de desastre en la cadena costera septentrional de Venezuela

e inundaciones, por ejemplo en 1798, 1938, 1948 y 1951. Sin embargo, sólo algunos de estos episodios han sido lo suficientemente grandes como para haber generado flujos de detritos. El testimonio escrito más antiguo se refiere a la tormenta de febrero de 1798 en la ciudad de La Guaira, del que informó Alexander Von Humboldt (1985), quien describió la precipitación de 70 horas de duración que produjo una gran crecida en el río Osorio, arrastrando troncos de árboles y cantos rodados de importante tamaño.

El Monte Ávila es parte del Parque Nacional de Ávila. La mayor parte de las cuencas están bien protegidas por la vegetación y las laderas tienen bosques tropicales a elevaciones de casi 3 000 m, incluyendo árboles de más de 30 m de altura. La zona costera cercana al nivel del mar es árida, con escasa vegetación (arbustos). La montaña está dividida por numerosas fallas y grietas. Se han producido grandes terremotos, el último en 1967 (6,4 en la escala Richter) y las rocas se han roto en muchos trozos. La descomposición de las rocas también se ha visto inducida por la acción química, ya que el agua se infiltra a través de las juntas y fracturas, introduciendo minerales y ácidos orgánicos.

Descripción del episodio de 1999

En diciembre de 1999, 14 días de lluvia continua saturaron el suelo y prepararon las condiciones para la aparición de corrimientos de tierra masivos, causados por la intensa precipitación que tuvo lugar del 14 al 16 de diciembre. Los 900 mm de precipitación registrados

* Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. Correo electrónico: jlopez@imf.ing.ucv.ve



Figura 2 — Vista aérea del Monte Ávila y de la cadena costera septentrional de Venezuela

durante estos tres días (la precipitación media anual está en unos 500 mm) con la ayuda de las escarpadas laderas de la montaña, generaron flujos de detritos en 24 corrientes del estado de Vargas. Los flujos, descendiendo por el valle, recogieron y transportaron grandes cantidades de sedimentos, madera y rocas rotas, causando la destrucción masiva de las zonas urbanas que se habían desarrollado en los conos aluviales.

Veinticuatro corrientes generaron de forma simultánea crecidas repentinas en la mañana del 16 de diciembre de 1999 y ocasionaron miles de corrimientos de tierra que dieron lugar a flujos de detritos, una mezcla de rocas, barro y agua que se desarrolla en zonas montañosas ocasionando destrucciones graves y muertes a lo largo de los 50 km de la cadena costera septentrional. La inundación y la destrucción que tuvo lugar fue la peor en la historia de los desastres naturales de Venezuela. Los flujos de detritos arrasaron muchas ciudades establecidas en los conos aluviales de la zona costera y mataron a un número estimado de

15 000 personas. Las pérdidas económicas se calcularon en casi 2 000 millones de \$ EE.UU. No fue un desastre natural sino un desastre provocado por la interferencia del hombre con el hábitat natural de los ríos de montaña. Incluso aunque dichos episodios habían ocurrido en el pasado, no se había tomado ninguna medida de mitigación. Otra tormenta catastrófica se había producido en la misma región (costa central septentrional) en febrero de 1951, con una extensión geográfica similar a la de la tormenta de 1999, afectando también a la capital, Caracas (Sardi, 1959). Se informó de que la ciudad de La Guaira había sido enterrada por una capa de sedimentos de 4 m. Sin embargo, las pérdidas fueron de una escala mucho menor.

La Figura 3 muestra dos fotos aéreas de las ciudades de Caraballeda y Los Corales, tomadas antes y después del desastre. Se puede observar que los flujos de detritos destruyeron totalmente manzanas o secciones completas de la ciudad (véase la zona delimitada por un círculo en las figuras). El daño principal fue debido a inundaciones, deposición de sedimentos y destrucción por cantos rodados. Algunos de los edificios se hundieron bajo el efecto directo de los flujos de detritos como los que se muestran en la Figura 4. Las casas de una y dos plantas situadas cerca de estos edificios fueron arrastradas por las corrientes de lodo. Obsérvese la gran cantidad de cantos rodados depositados en lo que eran las calles y las zonas residenciales de Los Corales. Un primer plano de uno de los edificios muestra grandes cantos rodados depositados en el tercer piso, a unos 7 m sobre el nivel del suelo.

La cantidad de sedimentos depositados en el cono aluvial del río San Julián fue la mayor de todos los conos aluviales afectados en el desastre de Vargas, estimada en 2,6 millones de m³. Según Wiczorek *et al.* (2002), este volumen de sedimentos se encuentra entre



Figura 3 — Fotografías aéreas del cono aluvial del río San Julián tomadas antes (izquierda) y unos pocos días después del desastre por flujo de detritos de diciembre de 1999 (derecha), que muestran las ciudades de Caraballeda y Los Corales

los más grandes registrados en el mundo por flujos de detritos provocados por precipitaciones. La cantidad total de sedimentos depositados para las 24 corrientes se ha estimado en el orden de los 20 millones de m³ de sedimentos (López *et al.*, 2003). La deposición de flujos de detritos creó una nueva línea de costa en el estado de Vargas, generando nuevas playas y zonas que podrían utilizarse para fines de recreo. La cantidad de tierra ganada al mar por el episodio de 1999 se ha estimado en aproximadamente 150 ha.

Hay que hacer una distinción entre las causas de los flujos de detritos y las causas del desastre resultante. Los flujos de detritos se deben a la aparición de precipitaciones de gran intensidad combinadas con la presencia de topografía abrupta, laderas escarpadas, en una montaña dividida y fracturada por fallas y grietas, con rocas rotas y abundante material de sedimentación. Tal vez no pueda hacerse mucho más por lo que respecta a estos elementos. Sin embargo, el desastre fue causado por la ocupación sin regulación del hombre y el desarrollo urbano de los conos aluviales, los cañones y las laderas, sin ningún trabajo de control aguas arriba para mitigar el flujo de detritos.

46

Medidas de mitigación en marcha

Las estrategias de mitigación contra los flujos de detritos en zonas urbanas requieren medidas tanto estructurales como no estructurales. Las medidas estructurales tienen que ver con la construcción de estructuras hidráulicas para controlar los flujos torrenciales. Las medidas no estructurales incluyen control de variables meteorológicas, hidrológicas, hidráulicas y de sedimentación en las cuencas, el desarrollo de una cartografía de riesgos y peligros, la puesta en marcha de sistemas de alerta y el diseño de planes de contingencia. Algunas de estas medidas están en marcha en la cadena costera septentrional de Venezuela, y se describen brevemente.

Cartografiado del riesgo

Los investigadores del Instituto de Mecánica de Fluidos están desarrollando mapas de riesgo. Estos mapas son, en esencia, mapas topográficos (digitales) que muestran el potencial de peligro para la población que vive en los conos aluviales. Se ha propuesto una metodología para trazar mapas de riesgos debidos a episodios de flujo de lodo y de detritos, basada en la aplicación de modelos matemáticos (FLO-2D), combinada con sistemas de información geográfica (SIG) (García *et al.*, 2003). La metodología incluye criterios para definir el riesgo potencial de inundaciones dependiendo de la frecuencia y de la intensidad del episodio. Varios programas de proceso completan el uso del modelo FLO-2D y automatizan el proceso de generación de los mapas de riesgo. La metodología se ha probado en 23 lugares de Caracas y la región del estado de Vargas.

Planificadores del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y de otras agencias están utilizando los mapas de riesgo de la región de Vargas para diseñar planes de emergencia y nuevas políticas de uso del suelo. La metodología también se está ampliando a otras regiones de Venezuela proclives a sufrir inundaciones.

Trabajos de control

Las autoridades gubernamentales han puesto en marcha un programa intensivo para canalizar los cursos



Figura 4 — Daños por flujo de detritos en dos edificios del cono aluvial del río San Julián (la foto de abajo es una vista más cercana del edificio del fondo de la figura de arriba).



de agua en los conos aluviales y para construir diques de control de sedimentos en los cañones de las corrientes afectadas por los flujos torrenciales de 1999. Los planes originales y los proyectos de diseño recomendaban estructuras hidráulicas de hormigón, pero el Gobierno decidió construirlas de gaviones (una malla rectangular de alambre de acero rellena de grava y adoquines). Hasta el momento, se han construido 18 diques en las corrientes que drenan el Monte Ávila en el Estado de Vargas.

Actividades de investigación

Se ha creado una cuenca experimental en el Monte Ávila para observación hídrica y de sedimentos. El Sistema de Observación de San José de Galipán consta de una red de pluviómetros distribuidos en la cuenca, una red de medidores del nivel del agua en las corrientes y el uso de diques de captación de sedimentos para vigilancia de sedimentos y muestreo del material del cauce. El objetivo general es recoger datos hídricos y de sedimentos para estudiar e investigar el mecanismo de la formación de flujos de detritos y de transporte de sedimentos en zonas de montaña. Los objetivos específicos son: obtener relaciones entre la precipitación y la producción de sedimentos; calibrar modelos matemáticos de flujo y de transporte de sedimentos; y mejorar el diseño de medidas de mitigación contra los flujos de sedimentos.

Conclusiones

El Gobierno ha dado pasos para poner en marcha estrategias para reducir los efectos perjudiciales de los episodios de flujos de detritos. Sin embargo, se necesi-

tan esfuerzos adicionales para crear regulaciones de uso del suelo y hacer cumplir la ley para evitar que se vuelvan a ocupar zonas sujetas a un alto grado de riesgo. Se debe prestar especial atención al desarrollo de una red de control de la precipitación, acoplada con un sistema de aviso temprano para el Monte Ávila. Tal vez no podamos evitar que vuelvan a producirse de nuevo corrimientos de tierra, crecidas repentinas y flujos de detritos en el estado de Vargas, pero podemos estar mucho mejor preparados para evitar que estos riesgos naturales se conviertan en desastres.

Referencias

- GARCÍA, R., J.L. LÓPEZ, M. NOYA, M.E. BELLO, M.T. BELLO, N. GONZÁLEZ, G. PAREDES, M.I. VIVAS y J.S. O'BRIEN, 2003: "Hazard mapping for debris flow events in the alluvial fans of northern Venezuela", Tercera Conferencia Internacional sobre Riesgos de Flujo de Detritos, Mitigación: Mecánica, Predicción y Evaluación, Davos, Suiza, 13-15 de septiembre de 2003.
- HUMBOLDT, Alejandro de, 1985: *Viaje a las Regiones Equinociales del Nuevo Continente en los años de 1799 a 1804* (edición de 1985), Caracas-Venezuela: Monte Ávila Editores.
- LÓPEZ, J.L., D. PÉREZ y R. GARCÍA, 2003: "Hydrologic and geomorphologic evaluation of the 1999 debris flow event in Venezuela", Tercera Conferencia Internacional sobre Riesgos de Flujo de Detritos, Mitigación: Mecánica, Predicción y Evaluación, Davos, Suiza, 13-15 de septiembre de 2003.
- SARDI, V., 1959: "Gastos máximos de los ríos y las quebradas del litoral central", Colegio de Ingenieros de Venezuela, Revista N.º 275, Febrero.
- WIECZOREK, G.F., M.C. LARSEN, L.S. EATON, B.A. MORGAN y J.L. BLAIR, 2002: "Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation", Open File Report 01-0144, USGS.

Examen de una red hidrológica nacional—el caso de Noruega

Por A. TOLLAN, S. HARSTEN, L.E. PETERSSON y L.A. ROALD*

Historia de la red

Los inicios

La evaluación de los recursos hídricos es fundamental para el desarrollo económico de cualquier país —y las redes hidrológicas son fundamentales para cualquier

evaluación de recursos hídricos—. La lógica de estas declaraciones debería haber garantizado que las redes nacionales de estaciones hidrológicas se hubieran considerado siempre prioritarias. Como sabemos bien, raramente es así.

En el caso noruego, la recogida de datos hídricos ha estado íntimamente asociada al desarrollo de la energía hidroeléctrica, pero las raíces son más profundas. Ya en 1813 se creó una Inspección Real de Canales

* Dirección Noruega de Energía y Recursos Hídricos, Oslo (<http://www.nve.no>). Correo electrónico del autor principal: tol@nve.no