



UNIVERSIDAD EAFIT

Abierta a la investigación

Acreditada Institucionalmente por el Ministerio de Educación Nacional

ISSN 1692-0694

**ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE
LA AVENIDA TORRENCIAL DEL
31 DE ENERO DE 1994 EN
LA CUENCA DEL RÍO FRAILE Y
SUS FENÓMENOS ASOCIADOS**

JUAN LUIS GONZÁLEZ

MICHEL HERMELIN

Grupo de Geología Ambiental e Ingeniería Sísmica
Universidad EAFIT

OMAR ALBERTO CHÁVES

Corporación Regional del Valle del Cauca CVC

Comentarios: Favor dirigirlos a **hermelin@eafit.edu.co**

Está autorizada la reproducción total o parcial de este material siempre y cuando se cite la fuente.



TABLA DE CONTENIDO

Resumen	1
Abstract	1
Introducción	3
Área de Estudio	3
Características del Evento	6
Inundaciones Históricas y del Cuaternario Tardío	13
Causas de la Avenida Torrencial sobre el Río Fraile	13
Intervalo de recurrencia del Evento de 1994	16
Conclusiones	17
Bibliografía	17

RESUMEN

La avenida torrencial y los movimientos en masa relacionados que ocurrieron el 31 de enero de 1994 en la cuenca del río Fraile (Departamento del Valle), tuvieron severas consecuencias para los habitantes del poblado de Florida: 19 personas muertas, 40 desaparecidos, 86 heridos y 428 familias damnificadas, fueron algunos de los efectos mas importantes de este evento, además de la destrucción de un puente sobre una importante vía de comunicación terrestre. Se obstruyó la bocatoma y parte de la conducción inicial del acueducto, que provee de agua al poblado. Como en el caso de eventos anteriores, se realizaron muchos esfuerzos institucionales para ayudarle a la gente afectada a ubicar sus viviendas en áreas no expuestas, pero se prestó poca atención al análisis de las causas, magnitudes y frecuencias del evento mismo.

Este trabajo describe el evento del 31 de enero de 1994; además se evalúan los aspectos intrínsecos que favorecieron la ocurrencia del fenómeno; se dan argumentos para fortalecer el uso de la paleohidrología en depósitos torrenciales antiguos, los cuales abundan en la cuenca, con el fin de calcular la magnitud y la frecuencia de eventos de esta naturaleza.

PALABRAS CLAVE

Avenidas torrenciales, flujos de tierra, depósitos de flujo de escombros, lluvia torrencial, Río Fraile, Colombia.

ABSTRACT

Flash flood and related mass wasting events that occurred on January 31, 1994 on the Rio Fraile in Central Western Colombia had severe consequences for the town of Florida and its inhabitants. Twenty eight people died, 40 were reported lost, 180 were injured and 70 families lost their homes. Additional damage included destruction of a bridge on an important highway, wreckage of the power supply system and the obstruction of the aqueduct that provides water to the town. As for similar events in the past, once the flood occurred most institutional efforts went into helping people to relocate their homes in safer areas, but little attention was paid to the understanding of the causes, magnitude and recurrence interval of the event. This paper describes the event and also evaluates the intrinsic aspects that favor the occurrence of the phenomena on this basin; we give arguments to suggest the use paleo-hydrology data obtained from on older torrential deposits, which are abundant in the basin as the best alternative to calculate the magnitude and frequency of events of this nature.

KEY WORDS

Flash floods, earthflows, debris flow deposits, torrential rain, Río Fraile, Colombia.



AUTORES

JUAN LUIS GONZÁLEZ

BSc, Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT.

Investigador, Proyecto Delta del Atrato, U. EAFIT. INGEOMINAS.

Ph.D Candidate Universidad de Illinois, Chicago.

Dirección electrónica: jgonza30@uic.edu

OMAR ALBERTO CHÁVEZ

Ingeniero Civil, Universidad del Cauca.

Profesional Especializado de la Corporación Regional del Valle del Cauca CVC.

Dirección electrónica: chavezmo@CVC.gov.co

MICHEL HERMELIN

Ingeniero de Geología y Petróleos, Facultad de Minas, Universidad de Medellín.

MSc, Colorado State University; MA, PhD Candidate Princeton University.

Coordinador Grupo de Geología Ambiental, Universidad EAFIT; Programa de Maestría en Ciencias de la Tierra.

Dirección electrónica: hermelin@eafit.edu.co

INTRODUCCIÓN

Las avenidas torrenciales son una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia; sin embargo causan grandes pérdidas en vidas humanas e infraestructura. Solamente entre 1985 y 1995, mas de 40 avenidas torrenciales altamente destructivas ocurrieron en el país, con mas de 200 pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños a viviendas, sistemas de generación de energía, carreteras y tierras cultivables (INGEOMINAS, 1996). Entre las razones que existen para que este tipo de evento sea tan dañino están su naturaleza casi impredecible, la rapidez a cual ocurre, su corta duración y su largo período de retorno así como su distribución poco uniforme en el espacio y el tiempo.

Colombia cuenta con una reducida capacidad para el estudio de inundaciones y con una escasa instrumentación para determinar (descarga y precipitación) en cuencas. Una excepción de esto es quizás el evento de San Carlos en Septiembre 21 de 1990, cuyas causas y efectos fueron estudiados con algún detalle por los grandes daños que causó en una planta hidroeléctrica (estimados en 6 millones de dólares) y por la pérdida de capacidad de un embalse localizado aguas abajo (Hermelin et al., 1992).

Más de 40 avenidas torrenciales ocurrieron en el país en las últimas dos décadas y generaron grandes depósitos de flujos de escombros; en casi todos los casos fueron originadas por fenómenos hidrometeorológicos.

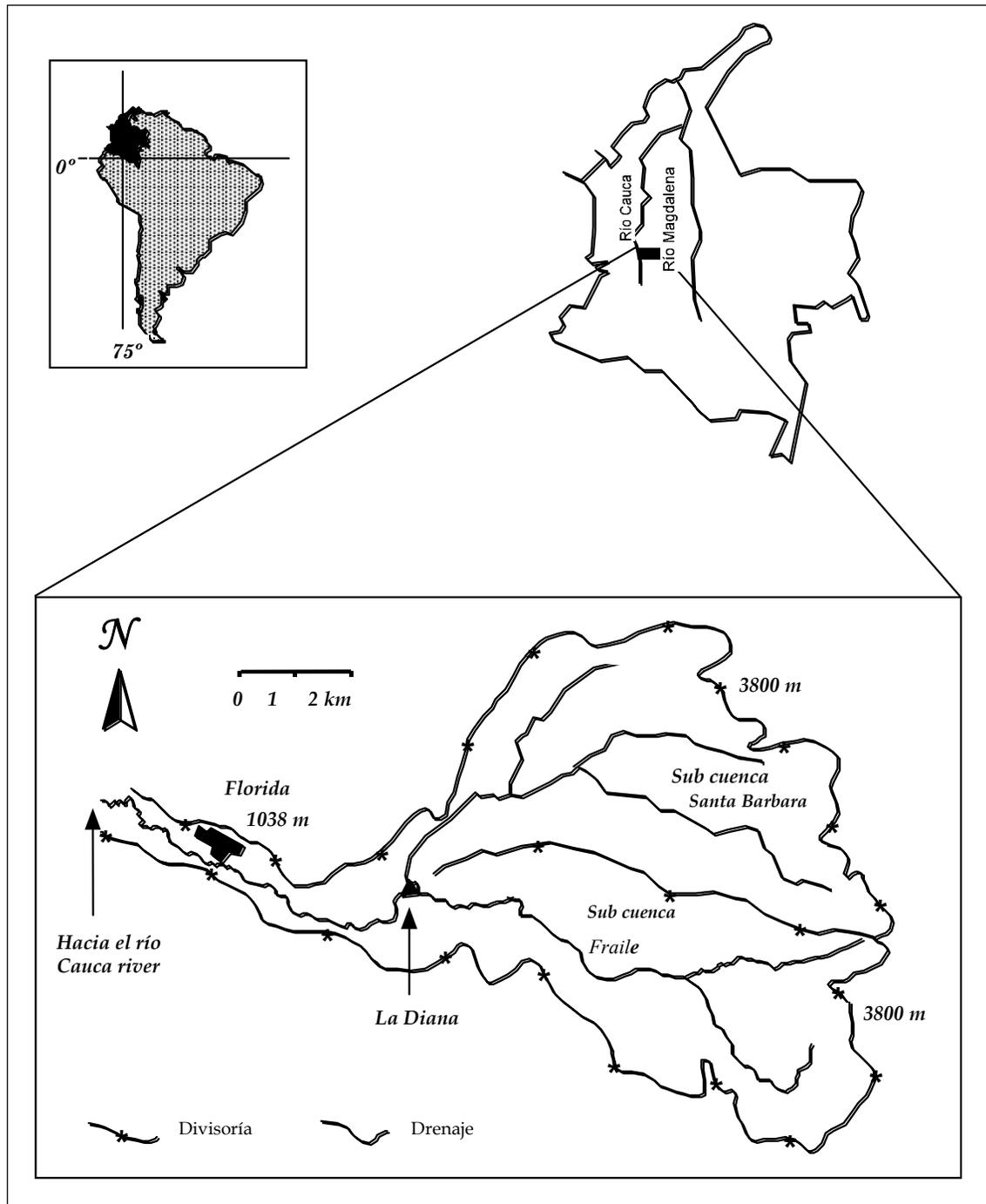
Este trabajo describe la avenida torrencial y los eventos de remoción en masa ocurridos el 31 de enero de 1994 en el Río Fraile, (Cordillera Central, Valle) así como los depósitos resultantes. También se evalúan diferentes aspectos geomorfológicos involucrados en la generación de avenidas torrenciales en la cuenca de este río y se dan algunas recomendaciones para la estimación del período de retorno de eventos de dicha naturaleza en esta cuenca. Este trabajo está basado principalmente en la información de varios estudios, algunos previamente publicados: González (1994), CVC (1994), CVC-INGEOMINAS (1998), OSSO (1994).

ÁREA DE ESTUDIO

Cuenca de drenaje

El río Fraile drena un área de 286 km², localizada sobre el flanco occidental de la cordillera Central de Colombia. De esta área, 186 km² están localizados en zona montañosa y 100 km² hacen parte de la planicie del río Cauca, que se extiende entre las cordilleras Central y Occidental. El río Fraile nace en una serie de lagos de origen glaciar localizados a una altura de 3.800 m.s.n.m y su desembocadura en el río Cauca está a una altura de 975 m.s.n.m (Figura 1).

FIGURA 1
Localización de la cuenca del Río Fraile y mapa de la cuenca.
Se muestran las dos subcuencas, Fraile y Santa Bárbara



La cuenca de drenaje del Río Fraile está compuesta por dos subcuencas: las quebradas Santa Bárbara (88.1 km²) y El Fraile (97.9 km²); ambas suministran en proporciones semejantes agua y sedimentos. La red de drenaje incluye 169 tributarios caracterizados por ser estrechos, presentar valles en "V" y tener un alto gradiente longitudinal. Cuando el río Fraile deja las montañas y entra al valle del río Cauca, a unos 1.038 m.s.n.m, cambia abruptamente su perfil longitudinal (Figuras 1 y 2). En este punto sus depósitos se dispersan ampliamente formando un abanico aluvial donde se encuentra situado la cabecera municipal de Florida.

Con base en su elevación, su relieve y su promedio de precipitación, la cuenca puede ser dividida en 3 áreas (Figura 2):

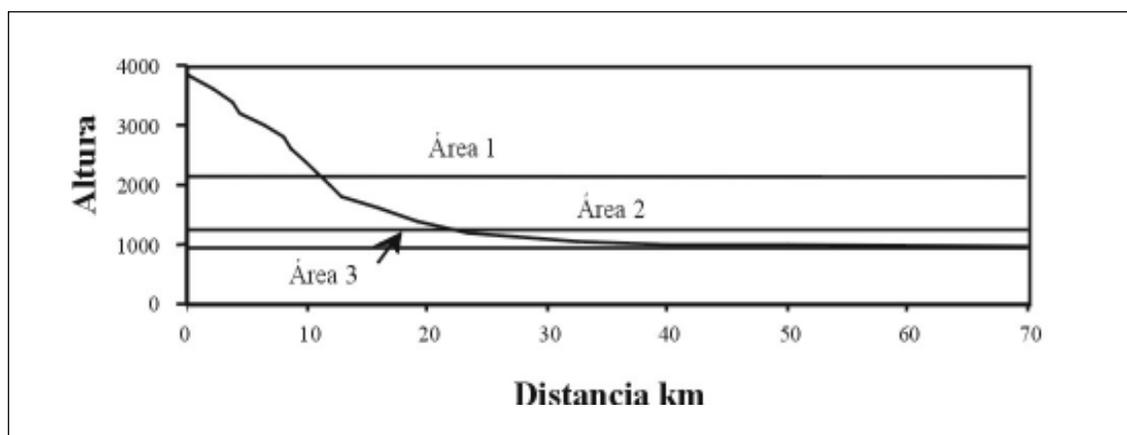
- **Área 1**, caracterizada por un alto relieve, elevaciones entre 3.800 y 2.100 m.s.n.m, altas pendientes (80% en promedio) y precipitación del orden de 1.500 mm/año.
- **Área 2**, con relieve intermedio, elevaciones entre 2.100 y 1.200 m.s.n.m, pendientes alrededor de 50% y una precipitación de 1.800 mm/año.
- **Área 3**, con bajo relieve, elevaciones entre 1.200 y 975 m.s.n.m, pendientes suaves, (menos del 15%) y una precipitación de 1.500 mm/año.

FIGURA 2

Perfil longitudinal del cauce principal del Río Fraile.

Las líneas horizontales muestran las tres áreas en las cuales se divide la cuenca en función de su elevación, relieve y precipitación promedio.

Nótese el gradiente escarpado en el área 1



Descarga del río

La descarga del río fue obtenida a partir de 25 años de registros continuos (1970 a 1994), en una estación de medición localizada a una elevación de 981 m.s.n.m, a una corta distancia del sitio de confluencia con el río Cauca (CVC-INGEOMINAS (1998)).

Q promedio (m ³ /seg)	Q máx (m ³ /seg)	Q min (m ³ /seg)
5.6	54	0.2

Hay que aclarar que la estación, por encontrarse en una llanura de inundación del mismo río, registra los caudales deformados de las crecientes ya que aguas arriba el río se ha desbordado. De ahí que estos caudales no reflejan las verdaderas dimensiones de las crecientes que se presentan desde la zona de montaña y hasta el sitio del ápice del depósito aluvial donde el cauce no tiene la posibilidad de desbordarse.

Precipitación

Con base en los promedios anuales para el período 1969-1996, la precipitación promedia anual es de 1.650 mm/año, con variaciones que van desde un máximo de 2.000 mm/año en elevaciones medias hasta un mínimo de 1.400 mm/año para elevaciones bajas y para la parte mas alta de la cuenca (Figura 3).

La precipitación es bimodal, con dos períodos lluviosos en Marzo-Abril y en Octubre-Noviembre; el período de menor precipitación va de Junio a Agosto. Históricamente los meses más lluviosos y más secos son Noviembre y Julio respectivamente (CVC-INGEOMINAS, 1998) (Figura 4).

Geología y uso del suelo

La geología de la parte alta de la cuenca está dominada por el Batolito de Santa Bárbara, cuerpo intrusivo de composición cuarzo-diorítica del Mesozoico temprano, con un área de 125 km². Estas rocas están altamente meteorizadas, con un espesor promedio de 10 m de saprolito.

El uso de la tierra por encima de los 2.900 m.s.n.m está restringido a vegetación de tipo páramo, lo cual representa el 19% del área total de la cuenca. Por debajo de los 2.900 m.s.n.m, los bosques naturales predominan y cubren el 69% del área. Los cultivos son principalmente café, cítricos y banano, y existe algo de ganadería dispersa; representan el 12% del área restante (CVC-INGEOMINAS, 1998).

CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

El 31 de Enero de 1994, una tormenta ocurrió en la parte alta del Río Fraile, cerca de su nacimiento. Originó una gran escorrentía y numerosos flujos de tierra que se generaron en pendientes abruptas. El gran caudal de aguas y sedimentos causó grandes daños a la población de Florida y dejó un gran depósito a la entrada del cañón.

FIGURA 3
Mapa general de la red de drenaje del Río Fraile. El área con saprolito desarrollado sobre cuarzodiorita está indicada en gris. Las isoyetas fueron definidas desde 6 estaciones de medición localizadas en la cuenca y en cuencas vecinas.
Mapa modificado de CVC-INGEOMINAS, (1998)

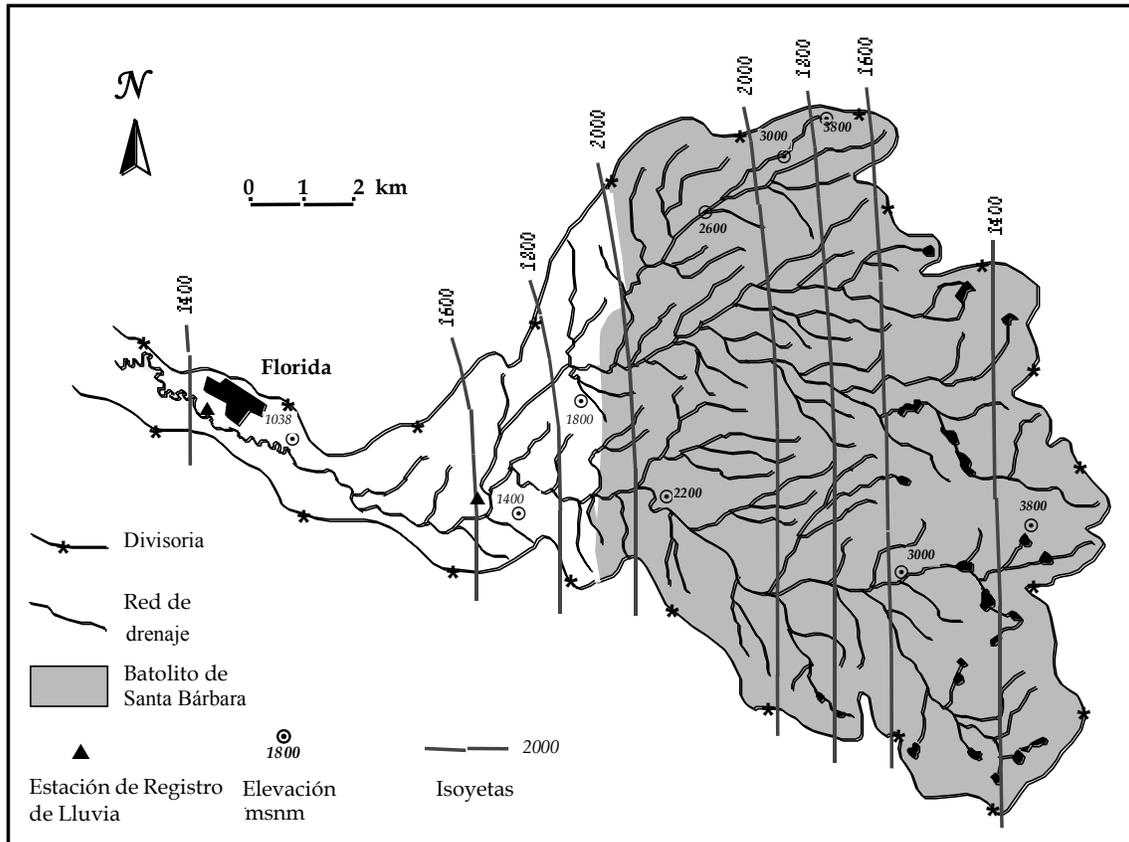
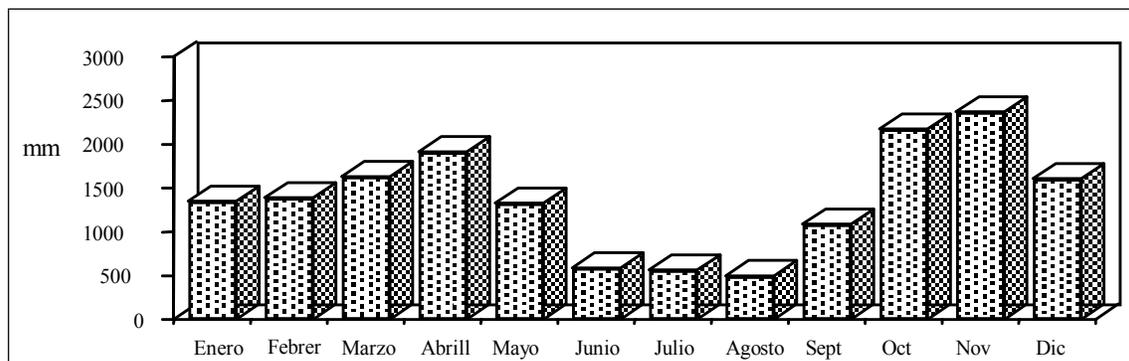


Figura 4
Precipitación promedio mensual sobre la cuenca, basada en 25 años de registros (1971-1995).(CVC-INGEOMINAS, 1998)



El aguacero del 31 de enero de 1994

Por la poca densidad de la red de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca, no existe un registro preciso de la duración e intensidad de la precipitación que generó el evento. Las seis estaciones de medición están repartidas entre esta cuenca y cuencas vecinas, a elevaciones que van desde los 1.038 y 2.410 m.s.n.m. No hay registro de lluvias para alturas superiores. Reportes de lluvias totales diarias de Enero 29 al 31 se muestran en la tabla 1. Estas cantidades de lluvia no son suficientes para causar un desprendimiento de masa. La información de lo acontecido a alturas superiores a los 2.800 m.s.n.m, proviene de campesinos que habitan allí. Señalaron que una fuerte lluvia acompañada de granizo cayó entre las 12 de la noche y las 3 pm del día siguiente; poco tiempo después se escuchó un intenso rugido que provenía del río (CVC, 1994). CVC-INGEOMINAS (1998) definen para la zona un umbral de 72 mm de precipitación acumulables en dos días para la iniciación de movimientos de masa. Para ese evento la cantidad de lluvia caída a alturas superiores a 2800 m durante los tres días probablemente excedió esa cantidad.

TABLA 1
Lluvias diarias caídas en milímetros, medias en las 6 estaciones ubicadas
en la cuenca del Río Fraile y sus cuencas vecinas

ESTACIÓN	DICIEMBRE 29	DICIEMBRE 30	ENERO 31
Bolo Blanco	5	55	62
La Soledad	2	80	39
Cajones	2	37	35
Los Alpes	45	48	91
La Diana	4	26	1
Florida	12	20	3

Flujos de tierra

Las lluvias torrenciales dispararon un número estimado de 100 a 125 flujos de tierra sobre las pendientes montañosas (Figura 5). En promedio los escarpes presentaron longitudes entre 10 y 30 metros, de 5 a 15 metros de ancho, de 0.5 a 3.0 metros de profundidad y de 100 a 300 metros cuadrados de área. Los flujos de tierra se localizaron en pendientes de 60% a 90 % sobre el Batolito de Santa Barbara, donde el saprolito presenta un espesor promedio de 10 metros (CVC-INGEOMINAS, 1998); su ocurrencia no parece haber tenido relación con el uso del suelo.

FIGURA 5
Vista de una vertiente de la parte superior de la cuenca del Río Fraile;
nótese la ocurrencia de flujos de tierra



Avenida torrencial y depósito de flujos de escombros

Gran parte del material producido por los flujos de tierra alcanzó los lechos de los ríos Fraile y Santa Bárbara y fue arrastrado por el caudal, el cual progresivamente fue ganando volumen y velocidad. La onda del flujo viajó a una velocidad estimada de 8-10 m/s (CVC-INGEOMINAS, 1998). El caudal se bifurcó aguas abajo de la entrada del cañón a unos 200 metros de la población de Florida; el mayor volumen siguió el curso principal del río y solamente una porción fluyó fuera de las orillas. Sobre la margen izquierda y derecha del río el flujo torrencial afectó a Florida. Varias calles fueron cubiertas por depósitos con espesores de 0.5 a 2 metros, compuestos de una mezcla heterogénea de sedimentos de varios tamaños (1mm a > 1m), con gran cantidad de vegetación y de material fino (< 1mm) saturado de agua (Figura 6).

Afortunadamente en la entrada del cañón hay un marcado cambio de pendiente y los bloques fueron depositados alrededor del sitio de la bifurcación. (Figura 7).

El principal cambio producido en los canales de los tributarios y en el curso del canal principal fue la remoción de grandes cantidades de sedimento grueso previamente acumuladas como barras y depósitos torrenciales. Esto dio como resultado la exposición en las orillas de grandes extensiones de roca (Figura 8). También se pudo observar ensanchamiento y profundización de cauces.

FIGURA 6

Depósito compuesto por una mezcla bloques, suelo y vegetación, acumulados cerca de una vivienda. La foto fue tomada 4 días después del evento, cuando el depósito ya había perdido su humedad y había reducido su elevación en un metro



FIGURA 7

Bloques de cuarzo-diorita de 1-2 metros de diámetro depositados en zonas cultivadas cerca del poblado. En este sitio el depósito tuvo más de 2 metros, de espesor.

Foto tomada hacia el Este, hacia la cumbre del abanico

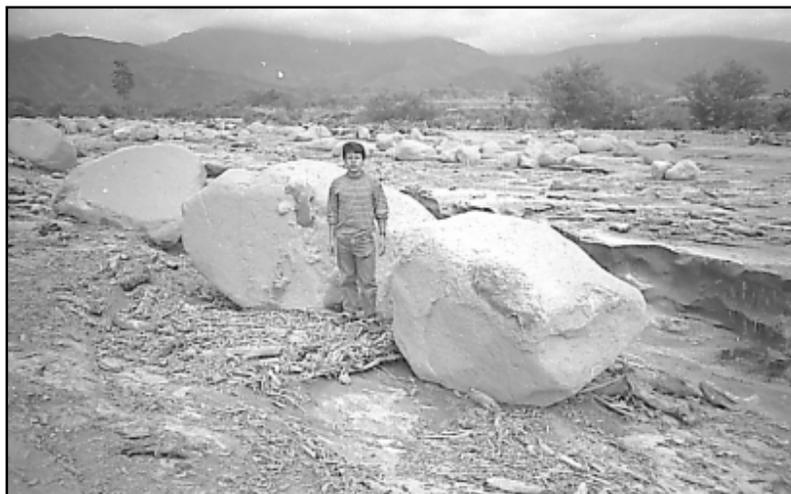


FIGURA 8

Vista del cauce del río en La Diana, donde el perímetro inundado fue medido. La vegetación y el suelo fueron completamente removidos de las paredes del cañón hasta una altura de 8 metros, dando como resultado la exposición de roca fresca



Víctimas y daños

Como resultado del evento, perecieron 19 personas, 22 fueron reportadas como desaparecidas; hubo 86 heridos y 68 viviendas destruidas y 428 afectadas, varias de las cuales fueron totalmente destruidas (según comunicación de la policía de Florida y del hospital municipal). Además, destruyó un puente sobre el río (Figura 9), obstruyó el acueducto y causó daños en la planta eléctrica. La duración de los caudales máximos sólo fue de 20 minutos.

No ocurrió actividad sísmica en el área para el día y hora del evento (OSSO, 1994); sin embargo los sismógrafos del OSSO registraron las vibraciones producidas por el choque entre los bloques transportados; el origen de la inundación fue la lluvia torrencial prolongada, después de tres días de lluvias de intensidad baja pero persistente.

La lluvia intensa se concentró principalmente en la parte superior de la cuenca, a partir de alturas de 2.800 m.s.n.m y produjo deslizamientos de suelos saturados. La posibilidad de que el evento haya sido originado por el rompimiento de una presa formada por troncos y rocas sobre el cauce del río fue descartada gracias a reconocimientos aéreos realizados poco tiempo después del evento (González, 1994).

Figura 9
Puente destruido sobre el Río Fraile, al sur de Florida, hacia el poblado de Miranda.
Troncos y bloques se acumularon debajo del puente y provocaron su destrucción



Cálculo de la descarga de sedimentos y agua

Una estación hidrometeorológica ubicada aguas arriba de la entrada del cañón fue destruida por la inundación y solamente una estimación aproximada de la descarga pico fue obtenida por la CVC (1994). Se calculó un caudal de 415 m³/s usando la ecuación de Manning:

$$Q = AR^{2/3} S_f^{1/2} / n$$

Los siguientes valores fueron usados:

$$\begin{array}{ll} A = 125\text{m}^2 & S_f = 0.0371 \\ R = 3.887 & n = 0.141 \end{array}$$

Donde A se refiere a la sección transversal, R es el radio hidráulico, S_f es la pendiente y n es el coeficiente de rugosidad supuesto. Estos valores fueron obtenidos a partir de la estación La Diana (Figura 8). Este punto fue seleccionado, ya que allí no se produjo desbordamiento y se tuvo la posibilidad de medir el perímetro de la sección transversal.

Según la CVC (1994), este cálculo de descarga es sólo una aproximación del volumen por unidad de tiempo del flujo compuesto por agua y sedimentos y restos de vegetación, ya que la ecuación de Manning fue diseñada para calcular descargas del agua y no de escombros viscosos y densos. Para compensar en parte esta diferencia, un alto coeficiente "n" fue usado en el cálculo.

Por otra parte la CVC (1994) calculó que para el río Fraile la descarga para un evento con un período de retorno de 100 años es de 563 m³/seg; este valor debe ser entendido como la descarga hidrológica de una gran inundación. El evento de Enero de 1994 tuvo características diferentes, y difícilmente puede ser comparado con esta cifra. Sólo puede decirse que el caudal de agua de este evento muestra un período de retorno de menos de 100 años.

INUNDACIONES HISTÓRICAS Y DEL CUATERNARIO TARDÍO

La historia de las avenidas torrenciales en el Río Fraile está bien documentada. Relatos de los pobladores más antiguos de Florida permitieron identificar 10 eventos: 1938, 1963, 1971, 1975, 1976, 1982, 1988, 1990, 1994 y 1997 (González, 1994 y CVC-INGEOMINAS, 1998). Los eventos de 1963, 1994 y 1997 emplazaron depósitos de flujo de escombros, pero solamente el de 1994 es considerado excepcional, teniendo en cuenta el tamaño del depósito y los daños que causó.

Restos de 11 y posiblemente de 12 depósitos torrenciales del Cuaternario tardío fueron identificados a lo largo de los ríos Fraile y Santa Bárbara (CVC-INGEOMINAS, 1998). Según este informe, tres de estos eventos depositacionales fueron al menos de 3 a 4 veces más grandes que el evento de 1994. Esta conclusión se basa en los espesores de cada depósito, comparado con el espesor del depósito emplazado por el evento de 1994. Es de anotar que este estudio solamente evaluó las relaciones estratigráficas de los depósitos, pero no se ha datado ninguno; las edades relativas fueron asignadas con base en posiciones estratigráficas y hasta cierto punto por el desarrollo de meteorización esferoidal en bloques enterrados.

CAUSAS DE LA AVENIDA TORRENCIAL SOBRE LA CUENCA DEL RÍO FRAILE

Una combinación de muchos aspectos geomorfológicos de la cuenca favorece la generación de avenidas torrenciales. Todos ellos están interrelacionados y sólo se enuncian en forma separada para facilitar su explicación.

Cuenca pequeña

Cuencas con áreas inferiores a 300 km² son consideradas pequeñas. Para ellas existe una alta probabilidad de que un simple evento meteorológico produzca lluvia simultáneamente sobre todos los sectores y genere escorrentía directa en los tributarios de diferentes órdenes. La cuenca del Río Fraile, con 186 km² de área, es considerada pequeña.

En cuencas grandes, es muy improbable que se recojan lluvias simultáneamente en todos los sectores, lo que retrasa la escorrentía en el tiempo y genera hidrógrafas separadas.

Tiempo de concentración reducido

Ésto es también una consecuencia del área de captación y de su pendiente. En cuencas pequeñas, el intervalo entre precipitación y descarga pico es corto. Hidrógrafas y gráficas de precipitación son sincrónicas. En estas cuencas aún llueve cuando ocurre la descarga pico, situación que fue reportada en la cuenca del Río Fraile durante el evento de 1994.

Forma de la cuenca

Cuencas con formas circulares presentan mayores posibilidades de generar avenidas torrenciales que cuencas alargadas. La causa es que las líneas de flujo de escorrentía siguen una trayectoria corta y son más sincrónicas en cuencas con forma circular. La relación de circularidad es un indicador morfométrico de cuencas con perímetros aproximadamente circulares. Está definida como la relación entre el perímetro del drenaje con el perímetro de un círculo con área igual a: $Rc = P / (2\sqrt{\pi A})$ (Chorley et al., 1984). Valores entre 1.0 y 1.25 son comunes en cuencas con formas circulares y son estas cuencas las que tienen más altas probabilidades de desarrollar avenidas torrenciales. El índice para esta cuenca es 1.14, usando 55 km para P y 186 km² para A.

Cuencas localizadas en altas montañas, con relieve abrupto

Los gradientes fuertes son comunes en cuencas montañosas, tanto en perfiles longitudinales de ríos como en pendientes del terreno. El alto gradiente tiene dos efectos, reduce el tiempo de concentración del agua de escorrentía e incrementa la velocidad de escorrentía. El perfil longitudinal del Río Fraile es muy abrupto (Figura 2) y sus pendientes altas son del orden de 60% a 90%.

Desarrollo geomorfológico incipiente

Está caracterizado por valles en "V", colinas abruptas, segmentos rectos del curso del río y por un predominio de la erosión sobre la sedimentación (González, 1982 en Vásquez, 1994). Todas estas condiciones están presentes en las partes altas de la cuenca del río Fraile.

Alta variabilidad en la descarga

Cuencas en las cuales:

1. $Q_{\max} > 100 Q_{\text{promedio}}$,
2. $Q_{\min} / Q_{\max} > 1:5.000$.

Son propensas a generar avenidas torrenciales (Posada, 1992 en Vásquez, 1994). Estas relaciones sólo son aproximadas para el río Fraile, pero las proporciones son sin embargo altas, para 1. 415 m³/s es aproximadamente 100(5.6 m³/s), y para 2). 0.2/415 = 0.0048 (1:5.000 = 0.0002).

Red de drenaje altamente desarrollada

Una red densa de drenaje contribuye significativamente a la reducción en el tiempo de concentración. La red de drenaje para el Río Fraile incluye 169 tributarios importantes. Numéricamente puede ser expresada como la densidad de drenaje.

$$D = Lc/A$$

donde Lc es la longitud total del sistema de canal dentro de una cuenca y A es el área total de la cuenca (Chorley et al., 1984). Estos autores puntualizan que los valores de D varían ampliamente en función de la geología y de la precipitación. El valor de D para el río Fraile es bajo, 1.6km/km², usando 300 km como valor de Lc, y 186 km² como A. Este valor es solamente una aproximación, tomando Lc de un mapa general de escala 1:100.000, donde solamente los tributarios más largos pueden visualizarse. Pero aún si el valor de Lc fuera el doble, D sería bajo, sólo de 3.2 km²; sin embargo, una mirada al mapa de la cuenca y a las fotografías aéreas muestran una red de drenajes densa (Figura 3).

Competencia para transportar sedimentos gruesos

Es consecuencia de la fuerza hidráulica, de la cual depende el gradiente de la corriente de agua. El depósito dejado por el flujo de escombros del evento de 1994 en el Río Fraile, en el cual bloques de cuarzo-diorita de 2 metros de diámetro fueron transportados (Figura 7), evidencia la competencia de este río bajo condiciones anormales de descarga.

Cantidad de lluvia

Cuencas localizadas en climas húmedos a muy húmedos, donde los aguaceros son frecuentes y presentan alta intensidad y duración, son propensas a la generación de avenidas torrenciales. Como se describió anteriormente, el promedio anual de lluvias sobre la cuenca es del orden de 1.365 mm/año; sin embargo, lluvias torrenciales y prolongadas no son inusuales y son una consecuencia del efecto de pantalla producido por la topografía, que conlleva la formación de lluvias localizadas y concentradas.

Suelos saturados

El desarrollo de un evento anormal requiere, además de los factores mencionados anteriormente, que el suelo esté saturado, una situación que comúnmente ocurre rápidamente después del inicio de una temporada invernal en la que la capacidad de infiltración del suelo es excedida. Esto desempeña una doble función en la generación de avenidas torrenciales y flujo de escombros:

1. Una vez que el suelo está saturado, toda la precipitación se va por escorrentía.
2. Los suelos saturados tienen alta presión de poros y están sobrecargados; por consiguiente, la pendiente pierde su estabilidad y falla una vez que el umbral de precipitación es alcanzado.

En la cuenca del Río Fraile ésta fue la situación que disparó los flujos de tierra (originados a partir de los saprolitos de cuarzodiorita del batolito de Santa Bárbara) el 31 de Enero de 1994. La cantidad exacta de precipitación requerida para producir la desestabilización de la pendiente es desconocida, pero se sugiere un umbral inferido de 72 mm de precipitación acumulada en dos días.

INTERVALO DE RECURRENCIA DEL EVENTO DE 1994

La avenida torrencial y los flujos de escombros asociados al evento del 31 de enero de 1994 en el Río Fraile fue inusual para los estándares históricos; eventos con esa magnitud no se habían registrado en el área. Su largo período de retorno es sugerido por el hecho de que el poblado de Florida ha estado situado a la entrada del cañón del Río Fraile desde su fundación en 1825, y no había sido afectado anteriormente por un evento como el descrito aquí.

Estimar el período de retorno para este evento es difícil si se considera la carencia de información confiable en precipitación, descarga y volumen de saprolito removido por flujos de tierra. El registro paleohidrológico ofrece una buena alternativa para calcular la magnitud y frecuencia de paleo-inundaciones. Costa (1978) y Gutiérrez et al. (1998) puntualizaron que para Colorado (USA) y para los Pirineos, los registros de descargas y precipitación disponibles para cuencas pequeñas no permiten una evaluación precisa de la relación entre frecuencia e intensidad de la lluvia y el período de retorno de inundaciones extremas. Las mismas consideraciones pueden ser aplicadas para la cuenca del Río Fraile.

Los métodos hidrológicos tradicionales aplicados para análisis de frecuencia de inundaciones deben ser completados con estudios paleo-hidrológicos, basados en técnicas geomorfológicas, cronoestratigráficas y sedimentológicas. Baker (1989) sugiere que la construcción de un catálogo completo de paleo-descargas en cualquier cuenca se puede lograr por medio de:

1. Delineamiento lateral de depósitos de inundación (espesor y localización).
2. Correlación entre sitios múltiples.
3. Evidencia de niveles máximos de agua.
4. Relaciones estratigráficas predeterminadas.

Lo anterior debe tener en cuenta que no todos los eventos dejan un depósito y que no todos los depósitos de inundación son preservados.

Estos estudios pueden proveer información objetiva acerca de la cronología y de las magnitudes de grandes inundaciones anteriores no registradas; además son esenciales para la adecuada zonificación de la amenaza y para la planeación del uso del territorio de las cuencas montañosas.

Las terrazas del Río Fraile tienen un registro estratigráfico en el que 11 o 12 eventos del Cuaternario tardío fueron identificados (CVC-INGEOMINAS, 1998): tienen por lo tanto el potencial para estimar el intervalo de recurrencia para eventos con una magnitud comparable al de enero de 1994; sin embargo este procedimiento requiere una cartografía cuidadosa y dataciones absolutas.

CONCLUSIONES

La presente descripción, muestra que la avenida torrencial en el Río Fraile en 1994 fue un evento de gran magnitud con un período de retorno posible medido en cientos de años. Algunas características geomorfológicas intrínsecas hacen de esta cuenca un área propensa a la generación de avenidas torrenciales; sin embargo la ocurrencia de una inundación de grandes proporciones, que deje grandes depósitos torrenciales, requiere una combinación particular de precipitación y de saprolito removido. Una lluvia de alta intensidad y corta duración removería sedimentos acumulados sobre el canal del río, pero este fenómeno en sí no sería capaz de generar grandes depósitos de flujo de escombros. 10 avenidas torrenciales están registradas en la historia reciente, pero ninguna de ellas dejó depósitos importantes. Un gran volumen de saprolito removido es necesario para producir y depositar sedimentos que permitan inferir la ocurrencia de un evento excepcional.

BIBLIOGRAFÍA

- Baker, V.R., 1989. Magnitude and Frequency of Paleofloods, in: The Hydrology, Sedimentology and Geomorphological Implications of Floods. K.J. Beven and P. Carling, (Eds.), London: J. Wiley.
- Costa, J. E., 1978. Colorado Big Thompson flood: geologic evidence of rare hydrologic events. *Geology* v 6, p. 617 -620.
- Chorley, R.J., Schumm, S.A. & Sugden, D.E., 1984. *Geomorphology*. London: Methuen, 605 p.
- CVC, 1994. Informe sobre las crecientes de los ríos Fraile y Bolo en enero 31 de 1994. Informe. 12 p.
- CVC-INGEOMINAS, 1998. Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile - Valle del Cauca. Informe. 284 p.
- González, A. E., 1982. La geología y su relación con los suelos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Palmira. 479 p.
- González, J.L. 1994. Informe sobre la creciente del Río Fraile, Enero 31 de 1994, municipio de Florida - Valle del Cauca. Informe INGEOMINAS. 14 p.

Gutiérrez, F. Gutiérrez, M. & Sancho, C. 1998. Geomorphological and sedimentological analysis of a catastrophic flash flood in the Arás drainage basin (Central Pyrenees, Spain). *Geomorphology*, v 22. p. 265-283.

Hermelin, M., Mejía, O., & Velásquez, E. 1992. Erosional and depositional features produced by a convulsive event, San Carlos, Colombia, September 21, 1990. *Bull. Int. Ass. Of Engineering Geology*, v 45. p. 89-97.

INGEOMINAS, 1985. Plancha 300 - Cali. Mapa geológico a escala 1:100.000.

INGEOMINAS, 1996. Inventario Nacional de Desastres Naturales. INGEOMINAS, Medellín, Informe Interno 1920 - 1996.

Vásquez, G., 1994. Reconsideración de la efectividad de la vegetación boscosa para el control de eventos hidrológicos torrenciales. in *Memorias del Seminario Nacional de Políticas, Silvicultura y Protección Forestal*. 12 p.

OSSO, 1994. Anotaciones sobre la creciente del Río Fraile del 31 de Enero de 1994. Informe para CVC. 3p.



TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

Cuaderno 1 - Marzo 2002

Sector bancario y coyuntura económica el caso colombiano 1990 - 2000

Alberto Jaramillo, Adriana Ángel Jiménez, Andrea Restrepo Ramírez, Ana Serrano Domínguez y Juan Sebastián Maya Arango.

Cuaderno 2 - Julio 2002

Cuerpos y controles, formas de regulación civil. Discursos y prácticas en Medellín 1948 - 1952

Cruz Elena Espinal Pérez.

Cuaderno 3 - Agosto 2002

Una introducción al uso de LAPACK

Carlos E. Mejía, Tomás Restrepo y Christian Trefftz

Cuaderno 4 - Septiembre 2002

Las marcas propias desde la perspectiva del fabricante

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 5 - Septiembre 2002

Inferencia visual para los sistemas deductivos LBPco, LBPc y LBPO

Manuel Sierra Aristizábal

Cuaderno 6 - Noviembre 2002

Lo colectivo en la constitución de 1991

Ana Victoria Vásquez Cárdenas, Mario Alberto Montoya Brand.

Cuaderno 7 - Febrero 2003

Análisis de varianza de los beneficios de las empresas manufactureras en Colombia, 1995 - 2000

Alberto Jaramillo (Coordinador), Juan Sebastián Maya Arango, Hermilson Velásquez Ceballos, Javier Santiago Ortiz, Lina Marcela Cardona Sosa.

Cuaderno 8 - Marzo 2003

Los dilemas del Rector: El caso de la Universidad EAFIT

Álvaro Pineda Botero

Cuaderno 9 - Abril 2003

Informe de Coyuntura: Abril de 2003

Grupo de Análisis de Coyuntura Económica

Cuaderno 10 - Mayo 2003

Grupos de Investigación Escuela de Administración

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 11 - Junio 2003

Grupos de Investigación Escuela de Ciencias y Humanidades, Escuela de Derecho, Centro de Idiomas y Departamento de Desarrollo Estudiantil

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 12 - Junio 2003

Grupos de Investigación Escuela de Ingeniería

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 13 - Julio 2003

Programa Jóvenes Investigadores – Colciencias: El Área de Libre Comercio de las Américas y las Negociaciones de Servicios
Grupo de Estudios en Economía y Empresa

Cuaderno 14 - Noviembre 2003

Bibliografía de la Novela Colombiana

Álvaro Pineda Botero, Sandra Isabel Pérez, María del Carmen Rosero y María Graciela Calle

Cuaderno 15 - Febrero 2004

Publicaciones y Ponencia 2003

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 16 - Marzo 2004

La Aplicación del Derecho en los Sistemas Jurídicos Constitucionalizados

Gloria Patricia Lopera Mesa

Cuaderno 17 - Mayo 2004

Productos y Servicios Financieros a gran Escala para la Microempresa: Hacia un Modelo Viable

Nicolás Ossa Betancur

Cuaderno 18 - Mayo 2004

Artículos resultado de los Proyectos de Grado realizados por los Estudiantes de Ingeniería de Producción que se graduaron en el 2003

Departamento de Ingeniería de Producción

Cuaderno 19 - Junio 2004

Artículos de los Proyectos de Grado realizados por los Estudiantes de Ingeniería Mecánica que se graduaron en el año 2003

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 20 - Junio 2004

Artículos resultado de los Proyectos de Grado realizados por los Estudiantes de Ingeniería de Procesos que se graduaron en el 2003

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 21 - Agosto 2004

Aspectos Geomorfológicos de la Avenida Torrencial del 31 de enero de 1994 en la Cuenca del Río Fraile y sus fenómenos asociados

Juan Luis González, Omar Alberto Cháves, Michel Hermelin

Copia disponible en: www.eafit.edu.co/investigacion/cuadernosdeinv.htm