

DESASTRES DE ORIGEN NATURAL EN COLOMBIA 1979-2004

Michel Hermelin – Editor



Grupo de Geología
Ambiental
e Ingeniería Sísmica
Medellín



Observatorio Sísmológico
del Suroccidente OSSO
Cali

DESASTRES DE ORIGEN NATURAL EN COLOMBIA 1979-2004

Primera edición: Julio 2005
© Michel Hermelin 2005
© Fondo Editorial Universidad EAFIT
Todos los derechos reservados
ISBN: 958-8173-89-2

Editor académico: Michel Hermelin
Dirección editorial: Juan Carlos Restrepo Rivas
Fotografía de portada: Mauricio Bustamante Pérez
Diseño y Diagramación: Alina Giraldo Yepes
Impresión: Centro de Publicaciones EAFIT

Libro editado e impreso en Colombia por el
Fondo Editorial Universidad EAFIT.
Printed in Colombia

Grupo de Geología Ambiental
e Ingeniería Sísmica.
Escuela de Ingeniería.
Universidad EAFIT

Fondo Editorial Universidad EAFIT
Carrera 49 No.7 Sur- 50 Avenida Las Vegas
Bloque 3, Primer piso, Oficina 120
E-mail: jcrestr2@eafit.edu.co
Página Web: www.eafit.edu.co/fondoeditorial Telé-
fono: 261 95 23 **Fax:** 261 92 72
Medellín - Colombia

⊘ Prohibido el almacenamiento, reproducción o transmisión parcial o total de esta obra, incluido el diseño y las imágenes, por cualquier medio o procedimiento (electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación, reprografía y el tratamiento informático), sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo sanciones establecidas en las leyes.

Universidad EAFIT Medellín, Santafé de Bogotá,
Pereira, Llanogrande.



Contenido

1. Introducción	
Michel Hermelin	11
2. El tsunami de 1979, Costa Pacífica	
Hansjürgen Meyer	17
3. El sismo de Popayán de 1983	
Alberto Sarria	29
4. Erupción del volcán Nevado de Ruiz de 1985	
Camilo Cárdenas	39
5. El deslizamiento de Villatina, Medellín, 1987	
Carolina García	55
6. 1988: el año de las grandes inundaciones	
Max Henríquez	65
7. El evento convulsivo de San Carlos (Antioquia), Septiembre 1990: enseñanzas sobre la amenaza, el riesgo y la seguridad civil	
Elkin Velásquez & Michel Hermelin	77
8. Los terremotos del Atrato Medio-Murindó en octubre de 1992	
Andrés Velásquez	91
9. La avenida torrencial del río Tapartó, (Antioquia) 1993	
Ignacio Piedrahíta & Michel Hermelin	109
10. El terremoto, la avalancha y los deslizamientos de la cuenca del río Páez (Cauca), 1994	
Gustavo Wilches-Chaux	121
11. Aspectos geomorfológicos de la avenida torrencial de 31 de enero de 1994 en la cuenca del río Fraile y sus fenómenos asociados	
Juan Luis González, Omar Alberto Chávez & Michel Hermelin	135

12. La inundación de Bagadó, (Chocó) 1994	
Michel Hermelin	151
13. El Niño: eventos de 1982-83 y 1997-98	
José Edgar Montealegre	159
14. La catástrofe de 1999 en el Eje Cafetero	
Cristina Rosales & Hansjürgen Meyer	169
15. El evento del 29 y 30 de Mayo de 2000 en La Estrella y Sabaneta (Antioquia)	
María Fernanda Cadavid & Michel Hermelin.....	187
16. Inundaciones de mayo-junio de 2002 en el bajo Tunjuelo, sur Bogotá	
Orlando Navas & Alberto Lobo-Guerrero	199
17. Erosión litoral en Colombia	
Iván Darío Correa	213
18. Inventario histórico y análisis de los desastres de origen natural, Departamento de Antioquia, entre 1920 y 2004	
Camilo Polanco & Geovany Bedoya	225
Epílogo	
Michel Hermelin	239
Glosario.....	243

Colaboradores

Bedoya, Geovany

Geólogo. Universidad EAFIT. Maestría en Geología. Colorado State University, USA. Jefe Departamento de Geología. Universidad EAFIT. Investigador en el área de Desastres naturales.

Cadavid, María Fernanda

Geóloga. Universidad EAFIT. Medellín. (2002). Trabajó en el Departamento de atención y prevención de desastres (DAPARD) GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. Medellín. (1999-2000). Actualmente trabaja en Integral Ingeniería de Consulta S.A. Medellín y en el Laboratorio de SIG. Universidad EAFIT.

Chávez, Omar Alberto

Ingeniero Civil. Universidad del Cauca. Profesional Especializado de la Corporación Regional del Valle del Cauca CVC.

Cárdenas, Camilo

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Director de la oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Presidencia de la República (1988-1992). Coordinador del proyecto del PNUD "Reconstrucción de zonas afectadas por la erupción del Volcán del Ruiz: (1986-1988). Consultor nacional e internacional en administración de riesgos y desastres (desde 1992).

Correa, Iván Darío

Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional. Medellín. Doctor en Geología Marina. Universidad Bordeaux I. Geólogo INGEOMINAS (1982-1989), regionales Cartagena y Cali. Áreas de Geología Marina. Profesor Investigador. Departamento de Geología Universidad EAFIT.

Medellín. Coordinador del Área de Ciencias del Mar (desde 1989).

García, Carolina

Ingeniera Geóloga de la Universidad Nacional de Colombia (2003). Trabajó como operadora del Centro de Proyectos e Investigaciones Sísmicas (CPIS) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Miembro actual del Programa de Maestría de Ciencias de la Tierra de la Universidad EAFIT. Actualmente se desempeña como Investigadora Joven de Conciencias. Universidad EAFIT.

González, Juan Luis

BSc. Maestría en Ciencias de la Tierra. Universidad EAFIT. Investigador. Proyecto Delta del Atrato. Universidad EAFIT - INGEOMINAS. PhD Candidate Universidad de Illinois. Chicago.

Henríquez, Max

Meteorólogo Clase I. Universidad de Ciencias Naturales de Budapest-Hungría. (1980). Ha sido consultor y asesor en temas meteorológicos y ambientales de empresas y gremios del sector agropecuario, energético y de transporte. Investigador y conferencista en múltiples universidades e instituciones. Experto en Meteorología y Climatología Sinóptica y Ambiental. Actualmente es Subdirector de Meteorología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-.

Hermelin, Michel

Ingeniero de Geología y Petróleos. Facultad de Minas. Universidad Nacional 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.

Lobo-Guerrero, Alberto

Geólogo, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, (1964). Master of Science in Geology, Stanford University, Stanford, California, U.S.A. (1968). Geólogo Consultor de Alberto Lobo-Guerrero & Cia. Ltda. Fue Director General de INGEOMINAS (1986-1988). Ha sido profesor de Geología en las Universidades Distrital de Bogotá, Nacional de Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería y de Los Andes, Actualmente es Presidente de la Asociación Colombiana de Hidrogeólogos (desde 2002).

Meyer, Hansjürgen

Geofísico, Universidad de Kiel, Alemania, (1975). Fue Investigador, Instituto Geofísico de los Andes, Universidad Javeriana, Bogotá, (1976-77). Director Científico, Observatorio Vulcanológico de Colombia, Ingeominas, Manizales, (1986-87). Profesor, Universidad del Valle, Cali, (desde 1978). Investigador, Observatorio Sismológico del Suroccidente-OSSO, Universidad del Valle, (desde 1987). Director, proyecto 'Red Sísmica de Cusiana-Cupiagua', (desde 1995). Director, proyecto 'Sistema de Detección y Alerta de Tsunami' (Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, OSSO). Representante por Colombia, Grupo de Coordinación Internacional del Sistema de Alerta de Tsunami del Pacífico-ICG/ITSU (UNESCO, COI).

Montealegre, José Edgar

Licenciado en Física y Matemática, Universidad Libre de Colombia, (1976). Meteorólogo - Clase II OMM, Escuela de Meteorología de España, (1978). Magister (M.Sc.) en Meteorología, Universidad Nacional de Colombia, (1999). Coordinador Grupo de Investigación Básica en Meteorología (1994-2003). Investigador Científico, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, (2003 a 2005).

Navas, Orlando

Geólogo de la Universidad Nacional de Colombia, (1978). Especialista en Sensores Re-

motos aplicados a estudios geológicos, CIAF (1983). Fue asesor en el Ministerio de Minas (1998-2000). Presidente de la Sociedad Colombiana de Geología y miembro de la Junta Directiva del Consejo Profesional de Geología. Ha sido docente en las Universidades Santo Tomás de Aquino, Antonio Nariño, en la Fundación Tecnológica del Area Andina, y La Salle. Actualmente se desempeña como docente invitado en el postgrado de Geotecnia Vial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC - sede Sogamoso y en la Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas - UDCA. Desde 1981 ha estado vinculado con el INGEOMINAS como técnico - científico. Actualmente está adscrito al Servicio Geológico - Subdirección Geología Básica. Coordinador Nacional del Nodo Colombiano de Geomorfología.

Piedrahíta, Ignacio

Geólogo de la Universidad EAFIT (1996). Ha sido profesor de Cátedra de las Universidades EAFIT y de Antioquia. Asistente de investigación Grupo de Ciencias del Mar, Universidad EAFIT y autor de cuentos y crónicas.

Polanco, Camilo

Geólogo de la Universidad EAFIT, Medellín, (2002). Estudiante de Maestría Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (actualmente). Realizó un curso de entrenamiento en el National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), Tsukuba, Japón. (Septiembre-Diciembre 2003). Joven investigador de COLCIENCIAS (Agosto 2002-Septiembre 2003). Investigador de proyectos en el área de Geología, COLCIENCIAS, Universidad EAFIT y Florida (Gainesville).

Rosales, Cristina

Ingeniera Civil de la Universidad del Valle (2001). Asistente de investigación del grupo OSSO. Ha sido coordinadora del Sistema de Inventario de Desastres (DesInventar) para América Latina. Actualmente hace parte del grupo de sismología instrumental del OSSO.

Sarría, Alberto

Ingeniero Civil. Asesor y consultor en estudios de riesgo sísmico, problemas especiales en estructuras industriales y grandes obras de infraestructura e impacto de catástrofes naturales sobre la sociedad. Profesor de la Universidad de los Andes (1966-2004). Fue decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Autor de los libros y revistas en las áreas de Ingeniería Sísmica y Civil entre otros.

Velásquez, Andrés

Ingeniero Geólogo de la Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín (1984). Profesor de la Universidad del Valle y miembro fundador del Observatorio Sismológico del SurOccidente - OSSO y de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina - LA RED. Desde 1992 es director del OSSO.

Velásquez, Elkin

Doctor en Geografía especialidad en política y ordenamiento territorial. Administrador Público de la ENA-Ecole Nationale d'Administration de Francia e Ingeniero Geólogo de la Facultad de Minas de Medellín. Ha desarrollado trabajos e investigaciones en general en el campo de la política territorial, el ordenamiento territorial y el desarrollo regional. Igualmente cuenta con

una producción técnica y científica importante en los campos de la planeación ambiental y de los riesgos naturales. Ha sido profesor e investigador en varias universidades nacionales como EAFIT y la del Rosario, latinoamericanas (Argentina, Nicaragua) e internacionales (Francia). Actualmente es consultor de la Secretaría de Gobierno del Distrito Capital de Bogotá y coordinador del grupo de investigación en Geografía, Política Territorial y Decisiones Públicas de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Externado de Colombia en Bogotá.

Wilches-Chaux, Gustavo

Abogado y Doctor en Derecho y Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad del Cauca (1977). Postgrados en Producción de Audiovisuales -Instituto Politécnico de Bristol (1985) y en Administración de Desastres -Instituto Politécnico de Oxford (1986). Escritor de trabajos sobre gestión comunitaria del riesgo, ética y educación ambiental, gestión ambiental y manejo de desastres, poesía, entre otros. Profesor universitario, conferencista y consultor independiente para entidades públicas como la Alcaldía de Bogotá, Departamento Nacional de Planeación, Ministerio del Medio Ambiente y el PNUD Colombia, y a nivel internacional para el PNUD en Honduras, Save the Children UK de Cuba y con la GTZ en Bolivia, entre otros.

1. Introducción

Michel Hermelin

El tema de los desastres causados por fenómenos de origen natural es de gran interés para Colombia, país que en estas últimas décadas ha sufrido muchas pérdidas de vidas humanas y enormes daños materiales por ese motivo. Basta recordar que la catástrofe de Armero, en 1985, causó más de 20.000 víctimas y que el sismo de Armenia de 1999 significó la pérdida de aproximadamente 4% del producto interno bruto, para entender la importancia de su estudio.

Desafortunadamente el conocimiento del público acerca de los desastres es bajo. La opinión pública se conmueve al enterarse de una catástrofe nacional o internacional como la que acaba de causar el tsunami del océano Índico (Diciembre de 2004) y durante varias semanas, la prensa le dedica mucho espacio. Sin embargo, al poco tiempo se olvida el fenómeno y todo vuelve a ser como antes.

Algo parecido suceder con los gobiernos a todos los niveles: al ocurrir un desastre se ponen en marcha imponentes mecanismos de rescate y ayuda, pero las políticas permanentes de prevención, por lo general, merecen un interés limitado, ya que la inversión destinada a ese rubro produce muchos menos dividendos políticos que la de auxiliar víctimas o inaugurar obras.

Este libro intenta remediar parcialmente esta situación. Presenta una selección de desastres ocurridos en el país durante los últimos 25 años que, sin pretender ser exhaustiva, es geográficamente bastante representativa de ese tipo de fenómenos (Fig. 1.1). Si el término no fuera ofensivo para las víctimas directas de los eventos catastróficos, se podría hablar de una especie de antología de los recientes desastres colombianos de origen natural.

La idea de este libro nace de la magnífica publicación *Los desastres naturales en Latinoamérica* editada por José Lugo Hubb y Moshe Inbar (2002) y publicada por el Fondo de Cultura Económica de Méjico. Ese libro contiene el relato de dos catástrofes colombianas, la del volcán de Ruiz (1985) (Mercado, 2002) y la de la avenida torrencial de San Carlos (1990) (Velásquez et al., 2002) descritas también en el presente libro.

Se espera que al poner esta información al alcance del público colombiano sea leída con provecho por personas que simplemente tengan curiosidad en el tema. Debería ser una consulta provechosa para quienes toman decisiones y para las oficinas de planeación nacionales y regionales, territoriales y ambientales. También se espera que sea de utilidad como lectura complementaria en cursos universitarios de geomorfología, de geotecnia, de geología ambiental, de geografía física, de planeación física y de urbanismos entre otros. Finalmente les prestará servicios a los estudiosos, que muchas veces se ven en dificultades para encontrar la información que requieren al desarrollar un trabajo relacionado con este tópico. Para tal fin se les ha solicitado a los autores acompañar cada trabajo con una bibliografía. Sin bien es cierto que se han publicado algunas descripciones y análisis de los desastres colombianos de origen natural, generalmente en

anales de eventos científicos, estos documentos suelen estar dispersos en la literatura nacional o aún internacional, lo que hace difícil su consulta.

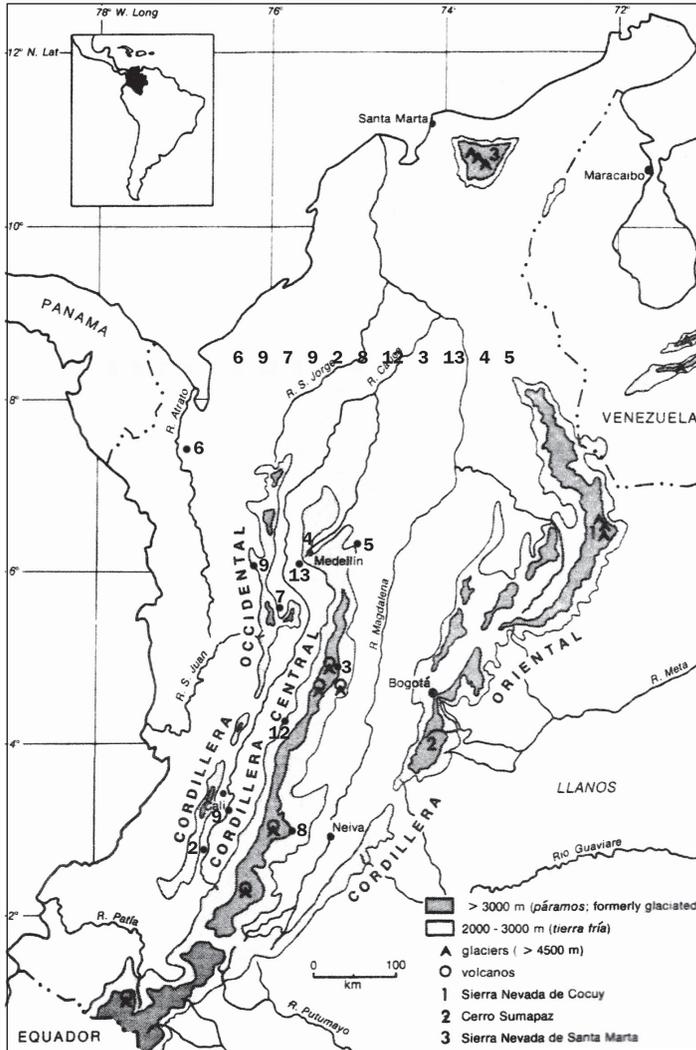


Fig.1.1. Mapa de Colombia con localización de zonas afectadas.

(Los números corresponden a varios de los fenómenos del Cuadro 1.1).

La historia geológica de Colombia y su situación geográfica se combinan para crear el entorno natural muy particular del país:

- Una composición geológica compleja, resultado de una larga evolución durante la cual fragmentos de continentes y de fondo oceánicos se fueron agregando contra el escudo continental oriental.

- Esfuerzos horizontales generados por el movimiento de placas tectónicas que levantaron montañas y aún producen sismos y volcanismo (Fig.1.2). Los sismos, y eventualmente los tsunamis, se generan por liberación de esfuerzos acumulados a lo largo de las numerosas fallas que cruzan el territorio, causadas a su vez por la subducción de la placa Nazca, que forma el fondo del océano Pacífico frente a nuestras costas, al hundirse hacia el oriente debajo de la placa continental. La placa oceánica se funde parcialmente en profundidad y genera volcanismo (Fig.1.3).

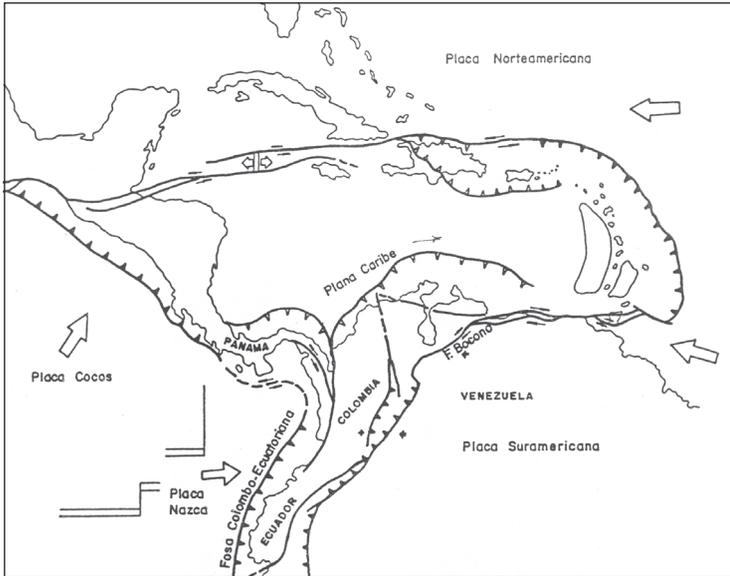


Fig.1.2. Rasgos tectónicos generales de la esquina noroccidental de Suramérica.

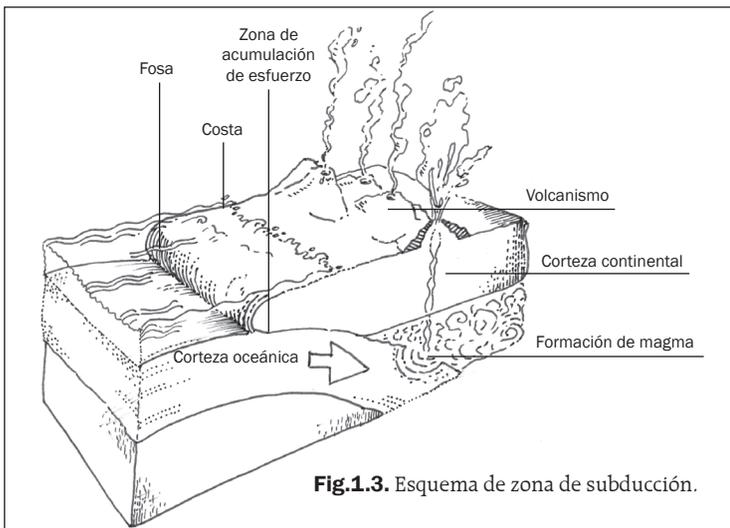


Fig.1.3. Esquema de zona de subducción.

- Las altas montañas del occidente del país significan una variación vertical de temperatura que culmina a los 4.800 m con la acumulación de nieve para formar glaciares: los nevados, que aunque hoy en día estén retrocediendo paulatinamente, siguen representando un peligro en caso de sismo o de erupción volcánica, tal como se comprobó trágicamente, en 1985, en Armero y Chinchiná.
- La alta pluviosidad que caracteriza la mayoría del territorio colombiano genera la posibilidad de inundaciones, de avenidas torrenciales (éstas últimas en terrenos muy pendientes) y de derrumbes, también en terrenos empinados.

La posibilidad de ocurrencia de cualquiera de los eventos anteriores, si puede llegar a causar daños, es lo que se llama una amenaza natural. La definición de amenaza incluye la intensidad con la que puede ocurrir (algo comparable a la energía liberada), el espacio que afectará y la frecuencia con la que ocurrirá. La figura 1.4 representa el concepto de amenaza natural, así como la de vulnerabilidad (grado de exposición que un objeto o conjunto de objetos ofrece a la destrucción) y de riesgo, que resulta ser la combinación de los dos conceptos anteriores.

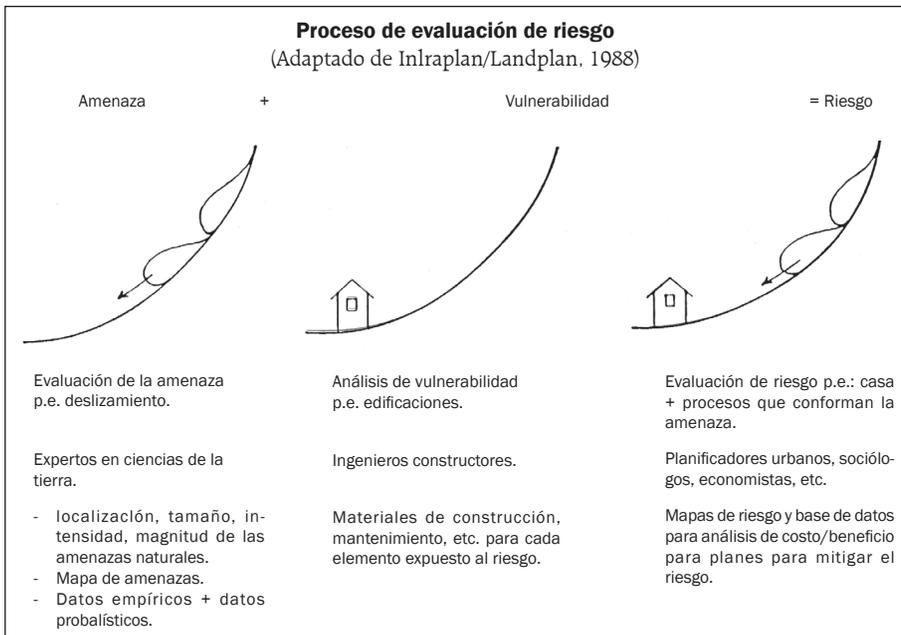


Fig.1.4. Concepto de riesgo natural.

El aumento de la población colombiana (ahora unos 44 millones de habitantes, cuadruplicándose en los últimos 50 años) así como el incremento de la urbanización del país (ahora 3 de 4 colombianos viven en zonas urbanas), que en la mayoría de las ciudades se ha caracterizado por la ocupación indebida de las áreas expuestas a riesgos, han generado un incremento de la vulnerabilidad. Más indirectamente, procesos como la deforestación de laderas seguramente han aumentado la incidencia de amenazas como

las inundaciones, las avenidas torrenciales, los derrumbes y posiblemente la erosión costera.

La recurrencia de los riesgos naturales en Colombia se puede apreciar en el Cuadro No.1.1

Cuadro No.1.1. Lista de los principales desastres en Colombia desde 1970-2000

Año	Lugar	Evento
1974	Quebrada Blanca (Cundinamarca)	Deslizamiento
1979	Eje Cafetero	Sismo
1979	Costa Pacífica (1)	Tsunami
1981	Cúcuta	Sismo
1983	Popayán (2)	Sismo
1985	Nevado de Ruiz (3)	Erupción volcánica
1987	VillaTina (Medellín) (4)	Deslizamiento
1988	Joan (Norte)	Huracán
1990	San Carlos (Antioquia) (5)	Avalancha
1992	Murindó (Antioquia, Chocó) (6)	Sismo y otros
1993	Río Tapartó (Antioquia) (7)	Avenida torrencial
1994	Río Páez (Cauca) (8)	Sismo y otros
1994	Río Fraile (Valle) (9)	Avenida Torrencial
1994	Bagadó (Chocó) (10)	Inundación
1995	Tauramena (Boyacá)	Sismo
1995	Pereira	Sismo
1999	Armenia (Quindío) (12)	Sismo
2000	La Estrella (13)	Avenida torrencial

(Los números se refieren a la localización en la figura 1.1).

En conclusión, Colombia es un país dotado de una magnífica diversidad: geológica, geomorfológica, climática, edáfica, biológica y étnica. Sin embargo, esta situación tiene su contraparte: la existencia de riesgos naturales que obligan al país a mantenerse vigilante ante su ocurrencia. Se ha preconizado desde hace varios años la necesidad de implementar una cultura ambiental. Tal como lo enuncia el considerando de la Ley 99 de 1993 (Ley del Medio Ambiente), dicha cultura debe ir acompañada de un conocimiento de los riesgos naturales, única manera de convivir con ese aspecto de una naturaleza que además de ser protegida debe ser conocida y vigilada. Ojalá el presente libro contribuya a ese objetivo.

Los relatos que siguen se presentan en orden cronológico y tienen una extensión variable, que depende, entre otras cosas, de la información disponible sobre cada caso.

Se ha hecho un esfuerzo con el fin de suministrarle al lector una bibliografía para que pueda profundizar su conocimiento, si lo desea. Además se ha incluido como anexo un léxico de términos técnicos.

Los capítulos que componen este libro han sido escritos por personas con una formación profesional muy diversa: ingenieros, científicos, humanistas. Su visión de cada fenómeno está, por lo tanto, influenciada por su sesgo profesional. El editor ha querido respetar esa heterogeneidad de puntos de vista y de enfoques porque está convencido de que enriquece la visión del lector.

Por otra parte, prácticamente la totalidad de los autores participó en forma directa en las labores de atención de los desastres descritos. Varios de ellos han desempeñado un reconocido liderazgo en la propuesta y la puesta en marcha de proyectos con relevancia nacional y muchas veces internacional en varios campos: la legislación sobre construcciones sismo-resistentes, la organización del Sistema Colombiano de Prevención y Atención de Desastres, la prevención de tsunamis, los aspectos sociales de las catástrofes de origen natural. Como editor de este libro, me siento muy orgulloso de que hubieran aceptado responder a la solicitud de contribuir generosamente, con su tiempo y su conocimiento, escribiendo un capítulo del libro y sometiéndose al laborioso proceso de edición y de publicación. A todos los autores, a todas las personas y entidades que en forma desinteresada contribuyeron a la preparación de este libro, les quiero expresar mis agradecimientos más sinceros.

Referencias

Lugo, J. & Imbar, M. Editores, 2002. "Los desastres naturales en Latinoamérica". Méjico: Fondo de Cultura Económica. 501p.

Mercado, M., 2002. "La erupción volcánica del Nevado de Ruiz, Colombia", 1985. En "Los desastres naturales en Latinoamérica", Fondo de Cultura Económica, p.67-84.

Velásquez, E; Hermelin, M & Mejía, O. El evento torrencial de septiembre de 1990 en San Carlos (Colombia) y sus consecuencias catastróficas. En "Los desastres naturales en Latinoamérica", Fondo de Cultura Económica, p.335-348.

2. El tsunami de 1979, Costa Pacífica, Colombia

Hansjürgen Meyer

Resumen

El 12 de diciembre de 1979 ocurrió, por segunda vez en el siglo XX, un desastroso tsunami en las costas de Nariño y Cauca (SW de Colombia), generado por un terremoto de magnitud 8.4 en la cercana zona de subducción. Las diversas consecuencias del terremoto –vibración fuerte, tsunami y licuación de suelos– causaron grandes pérdidas humanas y materiales, que no fueron mayores por circunstancias como el escaso poblamiento, el bajo nivel de la marea y las tipologías constructivas dominantes. A nivel internacional el evento se destacó, generando diversas investigaciones sismológicas importantes; a nivel nacional el desastre fue el inicio de un proceso de avances de orden científico, técnico, social y político-administrativo, reflejados en el actual Programa Nacional de Prevención de Tsunami. Este trabajo describe algunas características generales del fenómeno tsunami y de los alcances actuales de su conocimiento y la capacidad de pronóstico, y presenta luego las principales características del evento de, 1979, sus antecedentes, consecuencias, cuestiones pendientes en el conocimiento de esta amenaza en costas colombianas, así como avances y necesidades en el control del creciente riesgo que engendran.

Palabras claves: Tsunami, Océano Pacífico, Colombia.

Abstract

On 12 December 1979 a disastrous tsunami occurred, for the second time in the twentieth century, on the coast of Nariño and Cauca (SW-Colombia), generated by a 8.4 magnitude earthquake in the nearby subduction zone. The diverse consequences of this earthquake –strong shaking, tsunami and soil liquefaction– caused great human and material losses, however limited due to circumstances such as sparse population, low tide level and dominant building types. At international level this event singled out, leading to important seismological results; at national level the disaster was the starting point for a process of scientific, technical, social and administrative advances, evident in the present status of the National Tsunami Prevention Program. This article describes some general characteristics of the tsunami phenomenon and of the present knowledge and forecasting capacities; it presents the main features of the 1979 event, its previous occurrences, consequences, pending scientific problems regarding the tsunami hazard on Colombian coasts, as well as advances and needs in the control of the growing risk it entails.

Key words: Tsunami, Pacific Ocean, Colombia.

Introducción

Lo que fue quizá la más exótica y desconocida de las grandes amenazas de origen geológico, señalada además con un nombre usado sólo por un pequeño grupo de expertos, súbitamente y con terrible impacto, se convirtió, con el megatsunami de diciembre del 2004 en el Océano Índico, en un tema de percepción general: los tsunamis.

En Colombia el tsunami más reciente ocurrió hace apenas un cuarto de siglo, pero ya poco se recuerda. Los tsunamis son considerados, en general, como una catástrofe natural de baja probabilidad y alto impacto. Pueden ser generados por cualquier fenómeno capaz de desplazar súbitamente un gran volumen de agua: terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, caída de meteoritos y asteroides. Sin embargo, los más frecuentes son los causados por terremotos; los más grandes provienen de sismos de gran magnitud (con gran desplazamiento por la ruptura), con proximidad al fondo marino y desplazamiento predominantemente vertical. Estos requisitos los cumplen los sismos que ocurren en las zonas de subducción. Por lo tanto, la mayoría de los tsunamis se presentan en la cuenca oceánica con mayor longitud de zonas de subducción, la del Océano Pacífico. Que el tsunami más desastroso de la historia haya ocurrido en un océano percibido como marginal en su potencial para generarlos, el Índico, se debe en gran parte a la total falta de medidas de prevención y a que a ambos lados de la fuente y a poca distancia existan costas bajas densamente pobladas.

Generación y propagación de tsunami

Diversos factores determinan la magnitud de un tsunami: la magnitud del sismo causante y la distribución de deformaciones sobre el plano de ruptura, su profundidad, su estilo de fallamiento y la rigidez del material que compone el plano de ruptura. Por otro lado, la radiación de energía (i.e. altura de olas) es una función de la orientación del plano de ruptura; las olas más altas se forman en direcciones ortogonales.

La amplitud inicial de las olas es función, principalmente, de la magnitud del desplazamiento. Los tsunamis son ondas de gravedad (a diferencia de las ondas sísmicas, que son elásticas), o sea que su propagación sólo depende de una propiedad material del agua que no tiene variación espacial significativa, la densidad. Así, la velocidad de propagación de un tsunami sólo es función de la profundidad del agua (Fig.2-1).

Una de las consecuencias de esta simplicidad es la relativa facilidad para calcular la propagación de olas de tsunami, mediante la integración numérica de ecuaciones de movimiento (Caicedo et al., 1996). Pero se han acumulado evidencias que indican que los tsunamis de origen puramente tectónico son escasos; la vibración sísmica puede desencadenar deslizamientos submarinos que con su desplazamiento contribuyen a incrementar la magnitud del evento (Okal & Synolakis, 2001); esto tiene consecuencias para el realismo de modelos de generación y la evaluación del potencial tsunamigénico de sismos a partir de sus registros a distancia.

Las olas de tsunami se atenúan con la distancia, principalmente, por divergencia geométrica bi-dimensional, por ser ondas superficiales, y por partición de energía en cambios de impedancia (que para estas ondas es la profundidad, esencialmente), en los cuales las olas sufren fenómenos similares a otros tipos de onda: reflexión, refracción, difracción, etc.

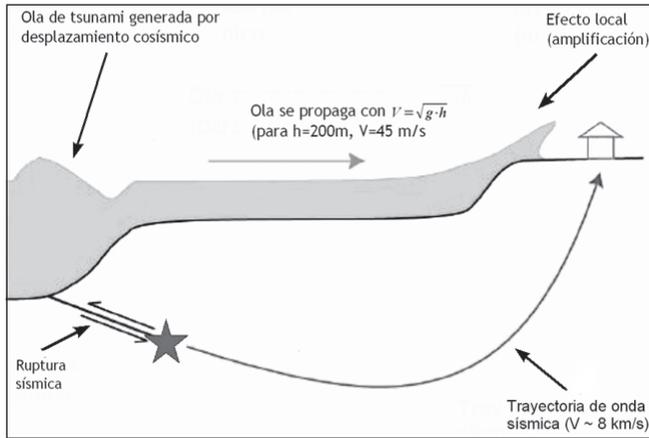


Fig.2.1. Esquema de generación, propagación y terminación de tsunami, a partir de una ruptura sísmica cercana al fondo marino.

La poca atenuación de las olas hace que puedan llegar a distancias de miles de kilómetros con altura suficiente para ser un peligro, tal como lo mostró el reciente tsunami del Índico, que causó devastación en costas africanas (Somalia).

Las alturas de olas terminales de tsunami dependen del perfil batimétrico; al disminuir la profundidad y con ésta la velocidad de propagación, tiene que aumentar la altura de las olas, en virtud del principio de conservación de la energía; así es como pueden llegar a romper hasta con decenas de metros de altura.

Tsunamis de origen lejano o regional sólo tienen consecuencias debidas al impacto de olas; tsunamis de origen cercano, sin embargo –los más frecuentes como causa de desastres–, pueden crear escenarios complejos, por la simultaneidad de la vibración sísmica fuerte, la licuación de suelos, el impacto de olas y la subsidencia cosísmica.

Los escenarios de riesgo por tsunami incluyen el daño por impacto de olas (generalmente varias), inundación, arrastre de corrientes, erosión y daños por flotación (edificaciones de madera).

La gran mayoría de desastres por tsunami ocurren a pocos centenares de kilómetros de la fuente; en ocasiones, tsunamis causados por sismos muy grandes pueden generar desastres a distancias transoceánicas, como ocurrió cinco veces en el siglo XX en el Pacífico (ETDB/PAC, 2002).

Recientemente han recibido mucha atención, como posibilidad real y objeto de análisis riguroso, los megatsunami que pueden ser generados por grandes deslizamientos o por el impacto de meteoritos o asteroides. Un caso concreto estudiado en detalle en su potencial es el del volcán Cumbre Vieja (Islas Canarias), cuya ladera ha evidenciado inestabilidad de gran volumen (Ward & Day, 2001); su desenlace catastrófico podría llegar a producir olas con alturas terminales de hasta 25 metros en costas americanas. Pero también se está empezando a analizar con rigor la posibilidad de tsunamis generados por fuentes extraterrestres; (Toon et al., 1997) publicaron un análisis de probabilidades de ocurrencia y alturas de ola para el caso de generación de tsunami por impacto de cuerpos extraterrestres.

Tsunami con respecto a otros eventos catastróficos

¿Cómo se comparan, en general, los tsunamis con otros fenómenos peligrosos de origen geológico? En cuanto a frecuencia de ocurrencia, los tsunamis son un fenómeno escaso, el extremo opuesto a los deslizamientos; son menos frecuentes que terremotos muy grandes. En cuanto al alcance –regional y transoceánico– sólo los superan algunas manifestaciones del volcanismo (cenizas de inyección estratosférica), pero en cuanto a dimensiones de las áreas expuestas son relativamente limitados, en la mayoría de los casos algunas decenas de kilómetros de franja costera. La ventaja más clara, en cuanto a determinantes del riesgo, la tienen los tsunamis en su pronosticabilidad, tanto de la exposición como de la predicción de ocurrencia en el corto plazo.

Predicción de tsunami

En general los procesos geológicos, que suelen ser complejos y no lineales, eluden cualquier posibilidad de predicción, sensu stricto, aunque en mayor o menor grado (dependiendo de su superficialidad y observabilidad), se pueden hacer pronósticos a partir de la identificación de patrones precursores o de ocurrencia. Esto también es válido para tsunamis, como fenómenos causados por el desenlace catastrófico de un proceso geológico.

Sin embargo, varias características, entre las cuales se destaca la velocidad mucho mayor de las ondas sísmicas en comparación con la de las olas, hacen que los tsunamis sean el fenómeno catastrófico de origen geológico más predecible en el corto plazo. El dimensionamiento del sismo causal a distancia, a partir de registros sismológicos de banda ancha, permite, con anticipación hasta de 24 horas (transpacíficas), dar alarmas e iniciar medidas de evasión.

Exceptuando el impacto de asteroides, los tsunamis son el único fenómeno parcial o totalmente geológico para el cual existen sistemas de detección y alerta internacionales.

El papel de la Geología

Los tsunamis son un fenómeno secundario (causado por otro fenómeno catastrófico súbito) e híbrido; su generación es un fenómeno geológico, que en el caso de un origen por terremoto está casi exclusivamente sujeto al monitoreo y análisis sismológicos mientras que su propagación es un proceso hidrodinámico.

Sin embargo, a la Geología le ha correspondido un papel de creciente importancia en el estudio de tsunamis prehistóricos, a partir de los depósitos terrestres formados por esos eventos, con fines de caracterización y cronología, un problema muy importante por la escasa ocurrencia del fenómeno. Metodologías integradas de la Geofísica y Geología Marina han permitido aclarar aspectos fundamentales de las causas (rupturas sísmicas) y de las consecuencias locales (deslizamientos submarinos) en diversas zonas tsunamigénicas (Collot et al., 2004).

Tsunami en Colombia

Colombia tiene costas en dos mares con evidencias de tsunamigénesis; la costa del Pacífico es el tema principal de este trabajo; la exposición de la costa Caribe se ha analizado

de manera preliminar a partir de la identificación de fuentes potenciales y del modelamiento de la propagación (Caicedo et al., 1996), encontrándose muy baja. Sin embargo, está pendiente el análisis de efectos terminales para sitios vulnerables (lo que requiere batimetría detallada), así como la exposición a fuentes potenciales no sísmicas, como los deslizamientos submarinos.

Tampoco hay evidencias históricas de impacto de tsunamis de origen lejano en costas colombianas (ETDB/PAC, 2002), lo que al menos en parte se puede explicar por la orientación de las fuentes lejanas y la batimetría regional de la cuenca oceánica (prominencias que reflejan energía).

Localización geográfica y marco geológico

La fuente del evento descrito se localizó frente a las costas de los departamentos de Nariño y Cauca (SW de Colombia); los efectos del tsunami se concentraron en las costas de estos departamentos y con mucho menor intensidad hacia el norte del departamento del (Valle del Cauca) y hacia el sur (Provincia Esmeraldas del Ecuador). En las zonas afectadas de Nariño y Cauca predominan las costas aluviales bajas, islas de barra, extensas superficies de manglares y grandes esteros (delta del río Patía y parque nacional Sanquianga), entre los ríos Mira (sur) y Tapaje (norte). En general, la geografía de esta franja de costa es desfavorable en cuanto a exposición a tsunamis; su bajo nivel facilita el impacto directo y los esteros permiten el ingreso de las olas.



Fig. 2.2. Foto aérea oblicua de Tumaco (1985). Al frente la isla Tumaco, al fondo la isla del Morro, a la izquierda los terrenos nuevos de El Bajito; mar abierto a la izquierda. La foto fue tomada durante marea baja.

Las dos poblaciones mayores de esta costa, Tumaco (Fig.2.2) y Buenaventura, son excepciones en el cuadro general de exposición; Buenaventura está relativamente pro-

tegida en el fondo de una bahía de muy poca profundidad y boca estrecha, mientras que la energía que se propaga hacia Tumaco, donde la altura de áreas pobladas no pasa de 3 msnm, es reducida por un escarpe que separa plataforma y ensenada, así como por islotes y barras.

El marco geológico de la fuente del tsunami de 1979 lo constituye el segmento colombo-ecuatoriano de la zona de subducción suramericana, una de las más dinámicas a nivel global; su velocidad de convergencia actual ha sido determinada con GPS en aproximadamente 6 cm por año (Mora-Páez et al., 2002).

Descripción del evento

El conocimiento sobre el evento de 1979 proviene principalmente de la inversión de observaciones sismológicas, de testimonios y del levantamiento de efectos, y de modelamientos posteriores.

El hipocentro del sismo (punto de iniciación de ruptura) se localizó a unos 100 km de la costa, frente a la desembocadura del río Mira, en la corteza superior. La ruptura se propagó hacia el norte, alcanzando una longitud total de 240 km, (Beck & Ruff, 1984), con un desplazamiento máximo de 5.9 metros. La aspereza principal (área de ruptura con mayor liberación de momento sísmico) fue localizada por Beck & Ruff, también con inversión de ondas superficiales, en un segmento de unos 50 km frente al delta del río Patía. Este segmento de la ruptura (Fig.2.3) generó las olas de tsunami de mayor altura

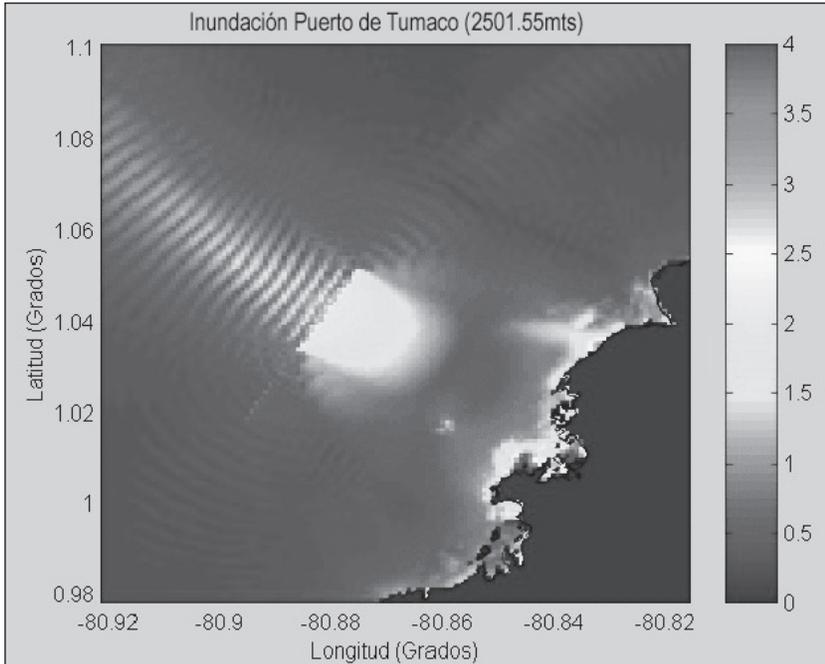


Fig. 2.3. Modelo "1979" de alturas finales de ola, obtenido mediante simulación numérica. En área oceánica se aprecian alturas de ola iniciales del segmento de ruptura principal.

(Caicedo et al., 1996), hecho confirmado por consecuencias como la destrucción de San Juan de la Costa.

El sismo tuvo una magnitud de momento $M_w = 8.4$ (Okal, 1992); además del tsunami causó licuación en extensas áreas costeras y ribereñas, y deformaciones verticales cosísmicas (subsistencia) hasta de 1.6 m en áreas terrestres (Herd et al., 1981).

El sismo ocurrió a las tres de la madrugada, lo que contribuyó a la cantidad de víctimas (estando la mayoría de la población durmiendo en sus casas). Por otro lado, la ocurrencia del tsunami a una hora de nivel de marea bajo, contribuyó a que la incursión y altura de las olas fuera relativamente baja.

La primera ola positiva llegó a San Juan de la Costa (al norte de Tumaco, frente a la aspeza principal) unos 15 minutos después del sismo, mientras que el tiempo de recorrido a Tumaco fue de media hora, según testimonios y modelamiento de propagación (Caicedo et al., 1996); en el mareógrafo del muelle de Buenaventura la primera ola se registró una hora y media después del sismo.

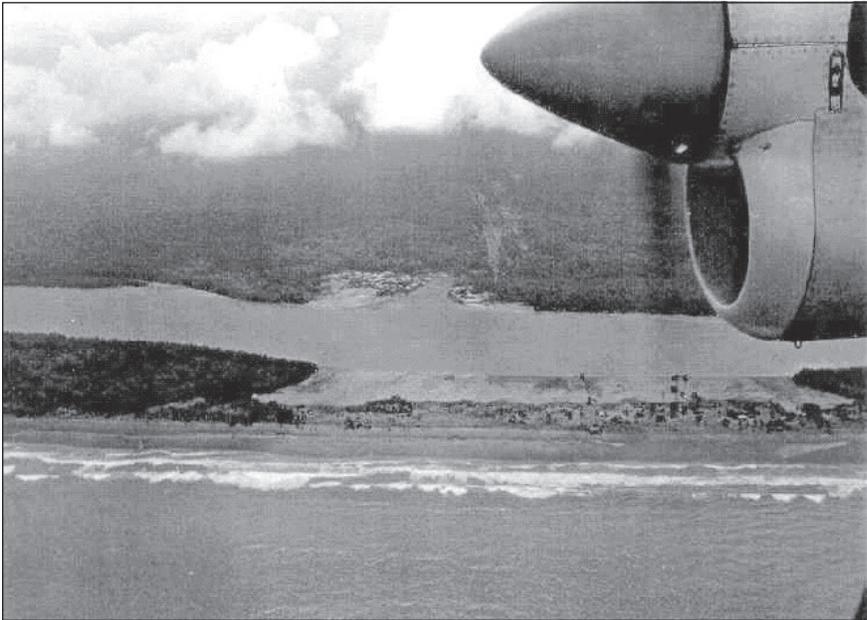


Fig.2.4. Foto aérea oblicua de San Juan de la Costa (1988). Al fondo el reasentamiento.

Poblaciones como San Juan (Fig. 2.4), ubicada sobre una isla de barra, recibieron el impacto directo de las olas, con alturas de más de dos metros. En cambio Tumaco, asentada sobre dos islas (también formadas por sedimentación reciente) se salvó de sufrir un impacto directo peligroso por estar ubicada en la sombra de un escarpe batimétrico (transición plataforma a ensenada), de una isla de barra (El Guano) y de bajos. En todo lo anterior el bajo nivel de la marea jugó un papel crucial.

Los asentamientos con víctimas por olas de tsunami, en la costa entre los ríos Patía y Tapaje, coinciden, en su mayoría, con aquellos que sufrieron impacto similar en el tsunami de 1906.

Antecedentes históricos

La sismicidad de zonas de subducción es un proceso que suele transcurrir durante muchos millones de años; terremotos y tsunamis como los de 1979 deben haber ocurrido en inmensa cantidad y seguirán ocurriendo así. ¿Qué se sabe de los antecedentes del evento de 1979? Al menos, no lo suficiente para identificar patrones de ocurrencia; no hay hasta ahora información de lo que ocurrió antes del siglo XX. El registro histórico para la costa del Pacífico de Colombia durante los cuatro primeros siglos post-colombinos es relativamente escaso; sin embargo, es posible que el registro actualmente conocido refleje la realidad: que en este período no hubiera ocurrido ningún evento similar a los de 1906 y 1979.

El evento del 31 de enero de 1906, que conllevó uno de los estudios post-sismo más antiguos y detallados que se conozcan (Rudolph & Szirtes, 1911), superó al de 1979 en todos los aspectos: magnitud (8.6 vs. 8.4, Okal, 1992), extensión del área de ruptura (doble) y víctimas (2000 vs 500). A pesar de que el poblamiento de la costa era mucho menor que en 1979, el número de víctimas fue varias veces mayor en esta ocasión, casi exclusivamente por causa del tsunami y sobre el mismo segmento de costa afectado en 1979.

También en esta ocasión la marea estaba en un nivel muy bajo, lo que salvó a Tumaco de un impacto devastador. Igualmente, en 1906, la isla El Guano protegió a Tumaco del impacto directo; Rudolph & Szirtes (1911) señalan que la isla El Guano desapareció, igual a lo ocurrido en 1979.

El evento de 1906 tuvo consecuencias que sustentan lo que hoy en día se hace cada vez más evidente, la ocurrencia de deslizamientos co-sísmicos: todos los cables submarinos (8) salientes de puertos colombianos se rompieron (Rudolph & Szirtes, 1911), por movimientos de masas en el área de ruptura, o por corrientes de turbidez.

A raíz del desastre de 1906 el gobierno central comisionó al ingeniero Miguel Triana para que evaluara lo sucedido e hiciera las recomendaciones pertinentes. Para mejorar la protección de Tumaco, Triana propuso aprovechar la gran amplitud de la marea en esa región (hasta 4 metros) para acumular, previa construcción de empalizadas, grandes volúmenes de arena en los bajos frente a las islas, solución interesante por su carácter natural, pero nunca realizada.

Entre los eventos grandes de 1906 y 1979 ocurrieron otros dos sismos, de mucho menor magnitud, en 1942 y 1958. Entre las características de la sismicidad en esta región que han llamado la atención (Beck & Ruff, 1984) está el modo de ruptura. Mientras que el evento mayor (1906) rompió un tramo de más de 500 km desde el norte del Ecuador hasta la latitud de Buenaventura, las rupturas de los siguientes se localizaron contiguas y empatando de sur a norte. Este comportamiento llevó a proponer (Herd et al., 1981) que el evento de 1979 comprueba la "teoría de las brechas sísmicas", agregando que después del evento de 1979 quedaría pendiente un segmento hacia el norte (hasta Buenaventura) para completar el alcance de la ruptura de 1906. En la dirección de ruptura también se encontró un patrón muy regular: los cuatro eventos rompieron hacia norte.

Vistos en conjunto, los eventos de 1979 y 1906 presentan algunos patrones que –como catástrofes naturales y desastres– son singulares a escala global: es el único

caso en el siglo XX (ETDB/PAC, 2002) de ocurrencia de tsunami en la misma localización; también es el único caso en el cual una población entera (San Juan de la Costa) fue arrasada por tsunami en dos ocasiones en el mismo siglo.

Efectos socioeconómicos del evento de 1979

Las pérdidas de vidas humanas del evento, nunca establecidas con precisión, fueron del orden de 500, de las cuales la mayoría se atribuyen al tsunami (sólo en San Juan fueron más de 200). El Departamento Nacional de Planeación calculó las pérdidas materiales en 710 millones de pesos. A esto se puede anotar que ninguno de los dos eventos (terremoto, tsunami) causó impacto importante en la infraestructura o instalaciones industriales, con excepción del sistema de captación y suministro de agua potable para Tumaco en el río Mira.

Las poblaciones con mayores pérdidas por el sismo fueron Tumaco y El Charco, mientras que San Juan de la Costa fue la más afectada por tsunami. En Tumaco la gran mayoría de los daños fueron en viviendas palafíticas de madera y en construcciones de material rígido; la severidad y la distribución de los daños estuvo muy influenciada por licuación, mayoritariamente en rellenos artificiales. En El Charco, población nariñense localizada a varios kilómetros de la costa sobre el río Tapaje, los daños se concentraron en un área del pueblo asentada sobre rellenos realizados con desechos de aserrío, en edificaciones de material rígido.

Las pérdidas por tsunami se concentraron en poblaciones costeras sobre el delta del río Patía y el Parque Nacional Sanquianga, lo que corresponde al segmento de la costa enfrentado a la aspereza principal del sismo. La población San Juan de la Costa (Fig.2.4) ya había sido arrasada, por el tsunami de 1906.

Entre los efectos socioeconómicos de largo alcance cabe destacar el desplazamiento de población, con consecuencias como la formación de barrios enteros de desplazados en la ciudad de Cali.

Impacto ambiental

El impacto ambiental del evento en conjunto –terremoto y tsunami– fue variado: erosión, destrucción de vegetación costera (manglares, cultivos de palma) por subsidencia, cambios en la batimetría y las rutas de navegación en la ensenada de Tumaco. Quizás el fenómeno singular potencialmente más crítico fue la destrucción de la isla El Guano, porque esta isla de barra constituye una de las principales defensas naturales de las islas de Tumaco contra la incidencia de olas. El Guano fue destruido en 1906, pero no ha sido posible establecer cuánto tiempo requiere su re-formación.

En este contexto también cabe anotar la relevancia de lo ambiental en la exposición. Los manglares (y guandales, más tierra adentro) constituyen una barrera para la energía de las olas; además, visto a mayor plazo, forman terrenos capaces de contener la energía de tsunami (Meyer & Rodríguez, 1997). El papel de la vegetación costera como contenedora de energía de olas y factor ambiental de protección es evidente en el caso de San Juan de la Costa (Fig.2.4): el pueblo, ubicado en un segmento deforestado de la isla de barra, fue arrasado, mientras que la vegetación primaria permaneció.

Mitigación

En cuanto a estrategias de mitigación de riesgo, los tsunamis también se distinguen de otras amenazas de origen geológico; todas están centradas en la evacuación (previo aviso de alarma, o sensación de sismo fuerte) y restricción al uso de terrenos bajos próximos al mar. A diferencia –por ejemplo– de la amenaza de terremoto, para la cual la principal estrategia de mitigación siempre ha sido la provisión de resistencia estructural. En pocos países, destacándose el Japón, también se usan medidas de control de exposición (diques, muros); aquí la frecuente incidencia de marejadas causadas por taifunes hace que la relación costo-beneficio de tales medidas sea más favorable.

En 1982, se inició el programa de mitigación en Colombia; en ese año el país se adscribió al Sistema Internacional de Alerta de Tsunami del Pacífico (ITSU). La población sobreviviente de San Juan de la Costa fue reasentada, inicialmente en un sitio costero hacia el sur (Sebastián de Belacázar) y luego detrás de la isla de barra, dentro del estero.

En Tumaco culminó, en 1991, una primera etapa de "reorientación del desarrollo urbano", con el reasentamiento de casi 2000 familias del sector más expuesto (viviendas palafíticas sobre la Avenida de la Playa) a terrenos en la parte continental.

El sistema de alerta (OSSO) para eventos lejanos ha funcionado en varias ocasiones; el sistema para eventos cercanos está en desarrollo.

Conclusiones

El tsunami de 1979 tuvo diversas características que lo destacan, como catástrofe natural y como desastre. A nivel nacional, fue el evento que motivó el inicio del desarrollo de capacidades nacionales para evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo y para la reducción de riesgos.

Entre las cuestiones pendientes para el mejor entendimiento del proceso que genera un tsunami en el litoral está la investigación (geológica) de ocurrencias anteriores a 1906, así como el potencial en el segmento norte de la zona de subducción (Chocó).

Referencias

- Beck, S.L., & Ruff, L.J., 1984. The rupture process of the great 1979 Colombia earthquake: evidence for the asperity model. *J. Geophys. Res.*, vol.89, no.B11, p.9281-9291.
- Caicedo, J.H, Martinelli, B., Meyer, H. J., & Reyna, J., 1996. Simulaciones numéricas de propagación de tsunamis para la Costa Pacífica de Colombia. *Memorias, X Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar*, Bogotá, 16 p (en CD).
- Caicedo, J. H, Martinelli, B, Meyer,H.J., & Steer, R., 1996. Efecto de tsunamis del Mar Caribe en la costa de Colombia". *Memorias, X Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar*, Bogotá, 13 p (en CD).
- Collot, J., Marcaillou, B., Sage, E., Michaud, E., Agudelo, W., Charvis, P., Graindorge, D., Gutscher, M., & Spence, G., 2004. Are rupture zone limits of great subduction earthquakes controlled by upper plate structures? Evidence from multichannel seismic reflection data acquired across the northern Ecuador-southwest Colombia margin. *J. Geophys. Res.*, 109, B11103.
- Dawson, A. G., Long, D, Smith, D.E.,1988. The Storegga slides: evidence from eastern

- Scotland for a possible tsunami. *Marine Geology*, vol.82, p.271-276.
- ETDB/PAC. 2002. Expert Tsunami Database por the Pacific, version 4.8 of December 31, 2002, CD-ROM, Tsunami Laboratory, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk.
- Herd, D. G., Youd, T. L., Meyer, H.J., Arango, J.L., Person, WJ & Mendoza, C., 1981. The Great Tumaco, Colombia Earthquake of 12 December 1979. *Science*, vol.211, n.4481, p.441-445.
- Meyer, H. & Rodríguez, E., 1997. Prevención de tsunami en costa de manglar-Tumaco, Colombia. En *Gestión de Sistemas Oceanográficos del Pacífico Oriental*, edit. Eduardo Tarifeño, Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO, IOC/INF-1046, p.409-415.
- Meyer, H. & Velásquez, A., 1992. Aproximación al riesgo por tsunami en la costa del Pacífico en Colombia. *Publicaciones Ocasionales del OSSO*, no.2, 43 p., Universidad del Valle, Cali.
- Meyer, H., 1997. Un ingeniero moderno. Disponible en http://osso.univalle.edu.co/doc/contrib/ingenieria_informa/1997/bolinf11.htm
- Mora-Páez, H., Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J., Ordóñez-Villota, M., 2002. Resultados del uso de geodesia satelital para estudios geodinámicos en Colombia. *Memorias, I Simposio Colombiano de Sismología*, 15 p., Bogotá.
- Okal, E., Synolakis, A. & Costas E., 2001. Comment on "Origin of the 17 July 1998 Papua New Guinea Tsunami: Earthquake or Landslide?" by E.L. Geist. *Seism. Res. Lett.* vol.72, n.3, p.362-366.
- Okal, E.A., 1992. Use of mantle magnitude M_w for the reassessment of the moment of historical earthquakes - I.Shallow events. *PAGEOPH*, vol.139, n.1, p.17-57.
- Rudolph, E., & Szirtes, S, 1911. Das kolumbianische Erdbeben am 31. Januar 1906. *Gerland's Beiträge zur Geophysik*, vol XI, n.1, p.132-275, Leipzig. Traducción parcial anotada "El terremoto colombiano del 31 de enero de 1906", *Publicaciones Ocasionales del OSSO*, no.1, 1991. Universidad del Valle, Cali.
- Toon, O.B., Zahnle, K., Covey, C., 1997. Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets". En: *Reviews of Geophysics*, v.35, n.1, p.41-78.
- Triana, M., 1908". *Memoria Científica sobre la Formación y Defensa de la Isla de Tumaco*, presentada al Señor Ministro de Obras Públicas.
- Ward, S.N. & Day, S.J., 2001. Cumbre Vieja volcano: potential collapse and tsunami at La Palma, Canary Islands. *Geophys. Res. Lett.*, vol.28, p.3397-3400.

3. El sismo de Popayán de 1983

Alberto Sarria

Resumen:

El 31 de marzo de 1983 la ciudad de Popayán, Colombia y algunas poblaciones cercanas fueron sacudidas por un sismo con magnitud $M_b=5.5$ con foco a menos de 15 km de profundidad y epicentro a unos 12 km del centro de la ciudad. Los costos directos de los daños producidos fueron estimados en cerca de 300 millones de dólares. La ciudad, patrimonio histórico de la humanidad, tuvo que ser reconstruida y entre los estudios realizados para ello se hizo la primera microzonificación sísmica de Colombia, una de las primeras de América.

Palabras claves: Sismo, falla geológica, destrucción, tapia pisada, adobe.

Abstract:

In the morning of March 31st, 1983, the old city of Popayán was strongly shaken by a magnitude 5.5 earthquake with a hypocenter located at a depth of less than 15 km and an epicenter at less than 12 km of the center of the city. That produced severe damage in many constructions. Costs of destruction were estimated in about US\$ 300 millions. The city was rebuilt and the first microzoning study of the country was carried out in the meantime. The main characteristics of the event are described in the present paper.

Key words: earthquake, geological fault, destruction, adobe.

Introducción

El suroccidente colombiano es una zona de actividad sísmica elevada que ha sido afectada por la ocurrencia de un número apreciable de sismos intensos que han producido destrucción y muerte. La ciudad de Popayán y poblaciones aledañas han sufrido los efectos de dos sismos de magnitud intermedia con focos superficiales localizado en las inmediaciones, que causaron grandes daños en las construcciones dominantes. El primero de estos eventos ocurrió el 2 de febrero de 1736 y el segundo, el 31 de marzo de 1983. Sobre el primer evento hay crónicas que permiten suponer que fue muy similar al segundo. El segundo evento fue estudiado en detalle pero infortunadamente no había un acelerógrafo y, en consecuencia, no hubo registros de movimiento fuerte.

Regionalmente, la actividad sísmica está dominada por la zona de subducción, al occidente, por la falla Cauca-Patía y por la falla de Romeral que tiene una gran cantidad de ramales y fallas satélite con actividad variable. La falla de Romeral fue considerada inactiva por importantes investigadores de las Ciencias de la Tierra, hasta muy poco antes del sismo del 31 de marzo de 1983.

A pesar de lo que la historia mostraba, las autoridades y la comunidad local no estudiaron y menos intentaron poner en actividad medidas preventivas y de mitigación de los efectos de lo que podía ocurrir. Esta situación se origina en buena parte porque, la memoria es débil y la gente piensa que a lo largo de su vida ha sentido varios sismos y que ninguno ha producido un daño significativo. Lo ocurrido el 31 de marzo de 1983 desquició la estructura social y económica establecida porque además de 283 muertos y muchos heridos, gran cantidad de gente perdió su vivienda y muchos tuvieron que abandonarla mientras la reparaban. Muchas personas llegaron a la ciudad y aprovecharon las circunstancias para declararse damnificadas esperando que les regalaran una casa. Gente tradicional abandonó la ciudad, no sólo por la endémica falta de oportunidades sino porque al perder su vivienda recibieron el último impulso que necesitaban para emigrar. Esto también alteró la composición social y económica de la región.

El país fue solidario y se inició un gran programa de reconstrucción sin gente preparada para ello; no había experiencia nacional para organizar una empresa de la magnitud necesaria para canalizar la ayuda, evaluar los daños, organizar la reconstrucción y proponer un futuro más atractivo y seguro. Pero la ciudadanía dio un ejemplo de civismo y de solidaridad y la reconstrucción fue exitosa. El sismo originó la normativa sismorresistente de Colombia, con la expedición del Decreto Ley 1400 de 1984.

En este artículo, el autor se refiere a las características del evento, las de las construcciones, los daños, los estudios realizados para orientar la reconstrucción y el desarrollo futuro del área urbana, la microzonificación sísmica de la ciudad y las recomendaciones que se hicieron. El ya desaparecido Banco Central Hipotecario encabezó el esfuerzo gubernamental para afrontar el gran problema causado por el sismo: con una mínima nómina, mucho entusiasmo y una gran capacidad organizacional, en poco tiempo pudo establecer un procedimiento que demostró ser útil y eficiente. Por tal motivo es difícil entender qué razón hubo para que cuando ocurrió el sismo del Eje Cafetero, en 1999, el país tuviera que reinventar todo de nuevo. Sin embargo, es previsible que con el próximo sismo destructor nuestras autoridades olviden lo aprendido y de nuevo, tengan que reinventarlo.

Localización geográfica del evento

En 1983, la instrumentación sísmica nacional era manejada por el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos con estaciones en Galerazamba, Bucaramanga, Fúquene, Bogotá, Chinchiná y Pasto. El sistema tenía dificultades que implicaban la salida de operación de alguna o algunas estaciones por largos períodos. Su ubicación era inapropiada para darle confiabilidad a la determinación de focos. Así mismo, la red internacional tenía dificultades para lograrlo en el caso del evento de Popayán por su moderada magnitud. Una red portátil de cuatro sismógrafos, que se instaló después del evento, permitió el registro de un buen número de réplicas que ayudaron a confinar las estimaciones preliminares del foco, finalmente ubicado a unos 12 km al suroccidente de Popayán, en la falla Rosas-Julumito, uno de los ramales de la falla de Romeral. El plano de falla es casi vertical de acuerdo con los mecanismos focales evaluados a partir de las réplicas. La profundidad focal debió ser entre doce y quince kilómetros. La magnitud estimada del evento fue de 5.5, evaluada en la escala Mb.

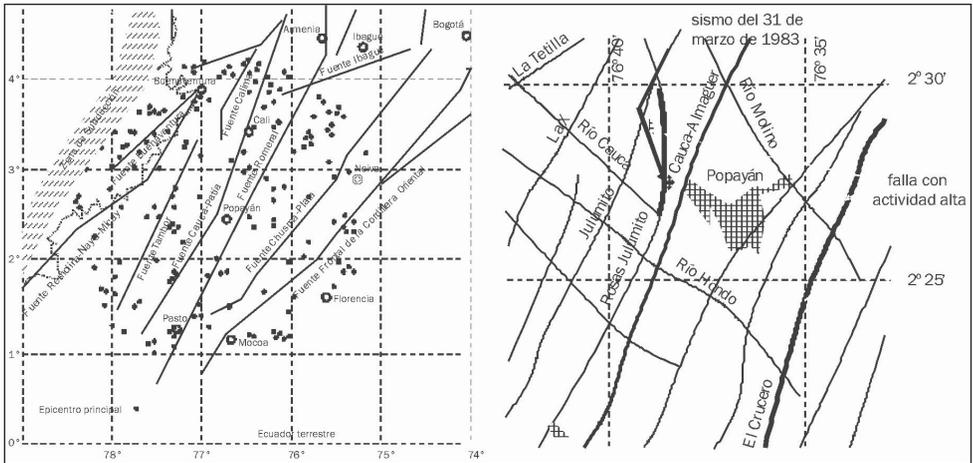


Fig.3.1. Localización de la ciudad de Popayán. A la izquierda, la regional; a la derecha se aprecia el contexto local.

En la Fig.3.1 se aprecia la localización del epicentro del sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983 y el conjunto de fallas geológicas regionales y locales. En el contexto local que se aprecia a la derecha de la figura, las líneas gruesas esquematizan la traza de una fuente de mayor actividad sísmica, mientras que las líneas delgadas muestran fuentes con menor actividad. Los epicentros mostrados en el contexto regional corresponden a sismos con magnitud significativa desde el punto de vista de la ingeniería de construcción, localizados dentro de un círculo de 200 km de radio con centro en Popayán y cubre el registro hasta el año 1987.

La complejidad estructural de la región, en la cual ocurrió la ruptura, obliga a hacer suposiciones sobre las velocidades corticales que afectan la verdadera posición del foco del evento sísmico principal y sus réplicas. Tal deficiencia estimula la creación de centros sismológicos regionales que se dediquen a tareas de esta clase, en vista de que este grado de detalle le resulta imposible a una red nacional, a menos que tenga una densidad muy alta de instrumentos.

Marco geológico

La ciudad de Popayán está localizada en las inmediaciones de la Cordillera Central, en el valle interandino limitado al occidente por la cordillera Occidental y al oriente por la cordillera Central. Localmente la Formación Popayán está constituida por ignimbritas de edad Terciario-Cuaternario y por el Complejo Arquía dominado por esquistos de edad paleozoica (Ingeominas 1986, 1992). El Complejo Arquía se encuentra replegado y fallado y en la Formación Popayán aparecen componentes con desplazamientos horizontales e inclinados. Localmente hay fallas, diaclasas y discordancias. También hay evidencias de actividad volcánica con presencia de lavas y piroclastos andesíticos y dacíticos.

El emplazamiento geológico local hace parte del contexto regional mostrado en la figura 3.1 en el cual las expansiones del lecho del Océano Pacífico que se desplazaron a

distintas posiciones hacia el occidente, también fueron moviendo las diferentes zonas de convergencia hacia el occidente hasta llegar a la posición actual de la zona de subducción que tiene un buzamiento regionalmente variable, menor hacia unos 7.5° norte y del orden de 40° a 45° hacia el límite entre Colombia y Ecuador.

Las fuerzas tectónicas producen empujes con dirección que forma un ángulo en el sentido horario con respecto al Ecuador terrestre. Este ángulo varía con la latitud y no está determinado de manera precisa. Se genera así un campo de deformaciones y esfuerzos regionalmente muy complejo cuyos ejes principales no son constantes en el tiempo ni son iguales a lo largo de la falla de Romeral, que es una de las dominantes. La liberación de los esfuerzos ocurre en la zona de subducción y en las fuentes sismogénicas mostradas en la figura 3.1; como consecuencia se produce una actividad sísmica apreciable. La falla de Romeral se inicia al sur del límite con Ecuador y se prolonga hasta el mar Caribe; su plano tiene características de falla normal pero hay evidencias de que tuvo buzamiento al este no demasiado pronunciado.

La actividad sísmica regional está conformada por fuentes sismogénicas cuyas rupturas producen focos sísmicos con profundidades que varían entre menos de 10 kilómetros y un poco más de 150 kilómetros. La magnitud máxima de la falla Romeral, en el contexto regional mostrado, se ha estimado en un valor similar a 7.6 en la escala Ms. Para otras fuentes sismogénicas regionales o locales, la magnitud máxima estimada es sustancialmente menor, en especial cuando se toma en cuenta que la escala de magnitudes es logarítmica.

Antecedentes históricos

La primera noticia documentada de un sismo se registra en crónicas que hablan de un evento ocurrido en 1566 el cual sacudió fuertemente a Popayán y zonas aledañas. Algunos documentos permiten establecer la ocurrencia de varios sismos significativos desde el punto de vista de la actividad regional: un sismo en el siglo XVI, seis sismos en el siglo XVIII, cien sismos durante el siglo XIX, hasta llegar al siglo XX en el cual, en 1946, hubo una racha de sismos moderadamente intensos con epicentros al este de la ciudad, muy probablemente localizados en algún ramal de la falla de Romeral. En total, hasta la ocurrencia del sismo del 31 de marzo de 1983 en la ciudad de Popayán se tiene noticia de más de doscientos sismos de intensidad significativa. Sólo dos eventos, el de 1736 y el de 1983, tuvieron características de alta destrucción.

El sismo del 2 de febrero de 1736 tuvo efectos desastrosos sobre Popayán. La destrucción fue tal que la ciudad hubo de reconstruirse. La situación fue aprovechada para darle un ordenamiento urbanístico con calles rectas y manzanas de aproximadamente el mismo tamaño que permitieron el desarrollo de una arquitectura que conformó un conjunto armonioso y atractivo que ayudó a cimentar la tradición de sus habitantes.

La mayoría de las informaciones sobre la sismicidad histórica regional o local se encuentra consignada en crónicas de parroquias o en el archivo histórico de la Universidad del Cauca. Como en muchos casos, hay inconsistencias en las crónicas pero junto con la región de Bogotá, es casi seguro que la de Popayán conforma la historia sísmica más completa del país.

Descripción del evento

El 31 de marzo de 1983, a las ocho y trece minutos de la mañana hora local, ocurrió un sismo de alta intensidad que destruyó gran parte de la ciudad de Popayán y varias poblaciones aledañas; la magnitud del evento fue aproximadamente igual a 5,5 en la escala Ms, lo cual le da una connotación apenas moderada al evento desde este punto de vista. El foco fue ubicado a una profundidad entre 12 y 15 km y su epicentro a unos 12 km al suroccidente del centro histórico de la ciudad, sobre la falla Rosas-Julumito, la cual hace parte del corredor de fallas que forma la de Romeral, una de las más importante de Colombia (Ingeominas, 1986).

Aunque no hubo registros de movimiento fuerte, hay indicios obtenidos a partir de la observación de daños y testimonios coincidentes, que permiten estimar una aceleración vertical similar o mayor que la horizontal, lo cual no es extraño en eventos de foco cercano. Es casi seguro que la aceleración horizontal máxima superó el cincuenta por ciento de la gravedad y también se estima que en puntos especiales, la aceleración vertical del terreno pudo superar la gravedad si se toma en cuenta que mucha gente vio saltar materas y otros objetos que yacían sobre el suelo. Las aceleraciones espectrales en período corto debieron superar ampliamente el nivel de la gravedad. La duración de la fase intensa del sismo se ha estimado a partir de los relatos de la gente y posiblemente fue del orden de quince segundos. A pesar de su modesta magnitud, estas características conforman localmente un evento de alta intensidad, que arrasó con una gran cantidad de construcciones causando la muerte de 283 personas y heridas graves a centenares y leves a muchas más.

Por su antigüedad y la relativamente baja actividad constructora, en la ciudad de Popayán abundaba la construcción de adobe y tapia pisada de uno y dos pisos. Las edificaciones tenían pesadas cubiertas con tejas de arcilla cocida apoyadas sobre una espesa capa de tierra y entrepisos conformados por maderas rollizas que daban apoyo a otra espesa capa de tierra sobre la cual se asentaba el ladrillo. Los muros de las casas de dos pisos eran en general de unos 90 cm de espesor en el piso inferior y de 60 cm en el superior. El tipo de construcción y el material empleado (tierra con la adición de varios productos) no permitían una traba efectiva entre muros ortogonales o esquineros. Esta falencia hace especialmente vulnerable la construcción frente a la acción sísmica puesto que se pierde o se reduce de manera drástica la noción de comportamiento global integrado y muros y cubiertas tienden a oscilar de manera sensiblemente independiente. Es de anotar que, en la actualidad, el conocimiento real sobre este tipo de construcciones aún es muy pobre.

La construcción de las cubiertas no permitía la conformación de una acción de armadura (cercha), de tal manera que eran intrínsecamente deficientes, lo cual resultaba agravado por un peso del orden de 150 kilogramos por metro cuadrado. La construcción de entrepisos con pesos de 240 kilogramos por metro cuadrado debilitaba los puntos de apoyo y conformaba otro elemento de vulnerabilidad en las edificaciones de dos pisos. De la investigación realizada sobre los daños se deduce que muchos soportes de cubierta estaban debilitados por la acción del comején, una especie de termita. Las construcciones, de adobe tenían el mismo tipo de cubierta con muros de unos 30 cm de espesor, los cuales adolecen de las mismas deficiencias en la traba de muros esquineros u ortogonales ya anotada para los de tapia pisada.

Muchas construcciones habían sido modernizadas haciéndoles 'closets' y adicionando instalaciones sanitarias y eléctricas, para lo cual se perforaban los muros debilitándolos. La división y subdivisión de las construcciones que a lo largo del tiempo iban pasando de una familia a otra, también dieron origen a debilitamientos que ayudaron a agravar los daños ocurridos. Así, en términos generales, la dominancia de construcciones de tapia pisada y adobe en una buena parte de la ciudad conformaba un escenario de alta vulnerabilidad sísmica. Tal es la razón para los terribles daños y sus consecuencias, a pesar de ser producidos por un sismo de magnitud muy modesta. Este caso se puede repetir en muchas otras ciudades de Colombia.

En épocas más recientes, posiblemente a partir de los años treinta del siglo XX, se iniciaron las construcciones de ladrillo pegado con morteros en los cuales (en muchos casos) se empleaba arena del río Cauca contaminada con ácidos provenientes del volcán Puracé. Esto condujo a morteros deficientes que al emplearse en construcciones hechas sin conceptos de resistencia a la acción sísmica, resultaron en una alta vulnerabilidad a pesar de que en algunas de las construcciones destruidas las cubiertas eran mucho más livianas que en el caso de las de tapia y adobe. Hubo muchas casas de ladrillo que colapsaron y, en el barrio El Cadillal, la destrucción generalizada fue impresionante. En el mortero de pega del ladrillo también se descubrió el empleo de cementos prehidratados que los hacía débiles.

En la ciudad había relativamente pocos edificios construidos de concreto reforzado. En el país no había una norma para el diseño sismorresistente y es casi seguro que en los edificios de concreto reforzado más antiguos, como el edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Cauca, se emplearon concretos de baja resistencia a la compresión, lo cual se refleja en graves deficiencias ante las fuerzas inerciales horizontales porque la estructura no puede desarrollar mecanismos de resistencia al corte. Había en la ciudad unos pocos edificios construidos en mampostería estructural de los cuales dos sufrieron severos daños. Se anota que esos edificios tenían diseños que en la actualidad se consideran erróneos frente a la aplicación de las fuerzas inerciales derivadas de la acción de sismos intensos.

Los sacudimientos del suelo se transmitieron a los muros y cubiertas, generándose una intensa combinación de fuerza horizontal y vertical. La construcción inadecuada de las cubiertas las hizo desplomar colaborando de manera decisiva en el colapso de los muros, principalmente en el interior de las construcciones. Fue frecuente observar casas con el exterior más o menos aceptable pero destruidas en el interior con cubiertas y muros derrumbados. También ocurrieron muchos colapsos de fachadas sobre andenes y calles; el daño en las esquinas fue notorio por las deficiencias que ya se han anotado. Muchas iglesias y edificios públicos resultaron gravemente afectados. Las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 corresponden a fotografías ilustrativas sobre daños que pueden considerarse típicos en edificaciones de la ciudad de Popayán.

En la Fig.3.2 se aprecia el daño esquinero en una casa de adobe de un piso y uno aparentemente menor en la de tapia de dos pisos; sin embargo, el interior de estas viviendas resultó con daños severos. Los daños en ambos tipos de construcción fueron muy notables y en ellos influyó de manera sobresaliente el tipo de cubierta, muy pesado, y su forma, sin acogerse a una noción clara de armadura.



Fig.3.2. A la izquierda se aprecian los daños en una construcción de adobe localizada en esquina. A la derecha se muestran daños en una construcción construida en tapia pisada.



Fig.3.3. A la izquierda, edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Cauca. Se observa un inadecuado confinamiento del núcleo de las columnas destruidas. A la derecha, daños muy severos en una versión inapropiada del concepto de mampostería estructural.



Fig.3.4. A la izquierda, destrucción de los edificios de la Urbanización Pubenza con columnas de sección insuficiente y armadura transversal escasa frente a los requisitos actuales. A la derecha, casas de ladrillo sin diseño para la resistencia a la acción sísmica.

En la Fig.3.3 se muestran daños en la mampostería estructural y en las columnas de concreto reforzado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Cauca. El concepto de mampostería estructural no estaba desarrollado en Colombia en la época del sismo de Popayán. En las columnas de concreto reforzado se observa un espaciamiento demasiado grande del refuerzo horizontal, lo cual no permitió confinar el concreto que, además, era de muy baja resistencia.

En la Fig.3.4 se muestran daños generales en la Urbanización Pubenza y en casos de ladrillo sin resistencia a la acción sísmica. En la Urbanización Pubenza murieron cerca de treinta personas. Otras salieron por la ventana de su vivienda en el segundo piso y llegaron a la calle porque el primer piso colapsó debido a deficiente confinamiento del núcleo de las columnas y a la baja redundancia de las edificaciones, construidas sobre dos ejes de columnas. La mampostería estructural no se acogió a las recomendaciones de diseño actualmente empleadas. Es notoria la situación observada: un edificio igual y contiguo al de los daños mostrados, resultó prácticamente intacto. Este tipo de situaciones se ha presentado en otros sismos intensos que se han descrito en muchos estudios de evaluación de daños.

Además de los daños en edificaciones, las conexiones domiciliarias de acueducto y energía eléctrica fallaron en centenares de puntos por rupturas de tuberías muy viejas y al arrancarse los cables eléctricos. Muchos transformadores quedaron fuera de servicio porque los postes eléctricos metálicos fallaron en su base oxidada.

En algunos puntos la intensidad local llegó al grado X en la escala modificada de Mercalli y, en general, la mínima intensidad registrada en el área urbana estuvo en el orden de VI. En la unidad militar y en la de policía, los uniformados relataron que varios de ellos no se pudieron sostener de pie. La alta intensidad y las deficiencias de diseño y de construcción en las edificaciones de concreto reforzado hicieron colapsar un conjunto habitacional completo y unos pocos edificios, entre ellos el de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Cauca.

A partir de la evaluación de los daños y tomando en cuenta la recolección de nueva información y su posterior análisis, se realizó el primer estudio de microzonificación sísmica de Colombia y uno de los primeros de América. El estudio empleó la más moderna metodología de la época como estudios gravimétricos y geomagnéticos, perfiles de refracción sísmica y geoelectricidad, y ensayos triaxiales cíclicos; se formularon modelos de suelo para la propagación ondulatoria de sismos sintéticos compatibles con la sismotectónica regional y local. El informe preparado y entregado a las autoridades municipales recomendaba la instalación de 22 acelerógrafos en zonas establecidas con el fin de que los registros logrados en eventos futuros permitieran recalibrar los modelos y de esta manera mejorarlos y aprender sobre un tema en el cual las incertidumbres son notables. Nada de esto se llevó a la práctica, pero en el país sí se generalizó la moda de hacer microzonificaciones que, además de costosas, resultan inútiles si carecen de instrumentación.

Impacto socio-económico del evento

Los daños del sismo fueron estimados en un valor cercano a los 300 millones de dólares de la época. Una gran cantidad de actividades artesanales desarrolladas en los hogares

fue destruida. Todas las escasas fuentes de empleo de la región resultaron afectadas en alguna medida. En total se contabilizaron 2470 casas destruidas, 6885 con daños mayores del 50%, 4500 con daños menores y 150 oficinas y talleres averiados.

Los graves daños, la destrucción de fuentes de empleo, la pobreza endémica de la región afectada y el pánico colectivo se combinaron para producir efectos socio-económicos muy graves. Se puede decir que la historia reciente de la ciudad se divide en las etapas previa y posterior al sismo del 31 de marzo de 1983. El evento estimuló una invasión que algunos estimaron en más de treinta mil personas provenientes de distintas regiones del país que se hicieron pasar por damnificados y que, frente a una población estimada en unos doscientos mil habitantes, agrandó notablemente el problema de reconstrucción y atención de la emergencia.

Muchos habitantes de la ciudad, que no habían pensado hacerlo, se vieron obligados a abandonarla mientras que otros, que sí lo habían pensado pero no estaban decididos, encontraron en el sismo y sus consecuencias las razones para abandonarla. Familias de las veredas se trasladaron al casco urbano, además de los inmigrantes no damnificados. El nivel cultural relativamente bajo de los recién llegados impuso un cambio en la ciudad la cual, poco a poco, fue adaptándose a las nuevas realidades. En la actualidad, la población de Popayán ha aumentado, hay nuevos colegios y universidades y la actividad cultural se ha rejuvenecido. Sin embargo, escasean las fuentes de empleo y la preparación ciudadana para una nueva emergencia es similar a aquella que había antes del sismo de 1983.

Impacto ambiental del sismo

El impacto ambiental del sismo del 31 de marzo de 1983 fue insignificante. No había en la ciudad rellenos sanitarios, ni ocurrieron deslizamientos apreciables, ni hubo licuaciones de suelo que hubiesen afectado sistemas de aguas negras. Como tampoco había industria, los colapsos de las edificaciones no produjeron efectos diferentes a la destrucción del bien y la muerte de ocupantes o transeúntes.

Conclusiones

El sismo del 31 de marzo de 1983 produjo una extraordinaria destrucción en la ciudad de Popayán, lo que suscitó la solidaridad nacional y extranjera. Muchas misiones de ayuda vinieron de diferentes organismos nacionales y extranjeros. La organización y el civismo de los habitantes de Popayán colaboraron a optimizar la desordenada ayuda que llegaba: muchas cosas inútiles, abundancia de algunos elementos y escasez de otros. La reconstrucción, organizada de manera casi inmediata bajo la responsabilidad del desaparecido Banco Central Hipotecario, fue eficiente en especial si se toma en cuenta la naturaleza de la construcción que no permitía la simple tarea de acabar de derruir y reemplazar por cualquier otra cosa. Popayán es una reliquia histórica que hace parte del patrimonio de la humanidad; tomando en cuenta esta particularidad, y de manera ejemplar la ciudad fue reconstruida conservando el estilo y en la actualidad ha recuperado su extraordinario atractivo, al tiempo que el sismo que la destruyó sirvió para dar inicio a la normatividad que regula el diseño sismorresistente en el país.

Referencias bibliográficas

INGEOMINAS, 1986. El sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983. Coordinación científica general del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras- Ingeominas. Bogotá. 320 p.

INGEOMINAS, 1992. Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán. Comunidad Económica Europea-Ingeominas. Publicaciones Especiales de Ingeominas: No.2 p.1-224, 1992. Bogotá.

4. Erupción de 1985 del volcán Nevado de Ruiz: el despertar del león dormido

Camilo Cárdenas

Resumen

El 13 de noviembre de 1985 hizo erupción el Volcán Nevado de Ruiz. Los materiales arrojados causaron el derretimiento de parte de su capa de hielo, lo cual generó lahares a lo largo de los cauces de varios ríos que nacen alrededor del volcán. Como consecuencia de los lahares se produjo la devastación de la ciudad de Armero, la destrucción parcial de Chinchiná y de numerosos asentamientos en sus alrededores, con un saldo de más de 20000 víctimas. Pese a que un año antes se había iniciado la reactivación del volcán, el día de la erupción ni el Gobierno ni la población contaban con el mínimo grado de preparación para afrontar la catástrofe. Este trabajo compila y analiza documentos elaborados por diferentes actores, investigadores y analistas de este proceso, desde su inicio hasta la fase de recuperación y reconstrucción posterior al desastre.

Palabras claves: Volcán Nevado de Ruiz, Armero, desastre, erupción volcánica.

Abstract

On November 13th 1985, Nevado de Ruiz Volcano erupted. Tephra melted its ice layer and produced lahars along several rivers around the Nevado. These lahars, destroyed the town of Armero, caused the partial flooding of the town of Chinchiná and of numerous territories in the surroundings, with a death toll of over 20000 deaths persons. Even though the reactivation had been signaled for over a year, neither government nor inhabitants had the slightest degree of preparation to face the catastrophe when it occurred. This paper analyses documents prepared by different actors, researchers and analysts of this process, from its beginning through the recovery and rebuilding stages following the disaster.

Key words: Nevado de Ruiz Volcano, Armero, disaster, volcanic eruption.

Introducción

El desarrollo de Colombia ha estado vinculado con el aprovechamiento de la riqueza que brinda la gran diversidad de su medio natural, pero por factores culturales, sociales, políticos y económicos, el país ha desconocido las limitaciones que conllevan el buen uso y manejo de los recursos de su territorio.

Por ello, la erupción del Volcán Nevado de Ruiz se convirtió en un hito en cuanto a la percepción de los riesgos y desastres asociados con fenómenos naturales en Colombia.

Con un largo historial de eventos de diverso origen y diferente magnitud, los desastres en el país parecían formar parte de la vida cotidiana como algo propio de la naturaleza, obra de Dios o de la mala suerte, frente a los cuales poco o nada podía hacerse para evitarlos o para reducir sus consecuencias.

Aunque dos años antes de la erupción del Ruiz la ciudad de Popayán había sido semidestruida por un terremoto, en 1985 el país estaba absolutamente impreparado para enfrentar y, más aún, para prevenir los efectos de una activación del Volcán Nevado de Ruiz.

El país extrajo muchas y valiosas experiencias de este doloroso acontecimiento, pero con el paso de los años tiende nuevamente a olvidarse la historia y, por tanto, a ocuparse de los riesgos sólo cuando otros desastres han afectado a la sociedad. De ahí la importancia de presentar de manera sintética los aspectos más destacados del manejo de la crisis generada por la erupción Ruiz y de las principales lecciones que aprendió el país a raíz de este evento.

Localización geográfica

Colombia está dominada topográficamente por el sistema montañoso de los Andes, el cual en el sur del país se divide en tres cordilleras que se extienden luego hasta su extremo norte (Fig. 4.1). El Volcán Nevado de Ruiz está ubicado en la cordillera Central, a una distancia de 140 km al noroeste de Bogotá, en los límites de los departamentos de Tolima y Caldas, con una altura de 5321 m.s.n.m. (INGEOMINAS, 2000). Allí nacen varios ríos que corren unos hacia el oriente, como el Lagunilla que pasa por Armero, y otros hacia el occidente, como afluentes del río Chinchiná que pasa por el municipio del mismo nombre.

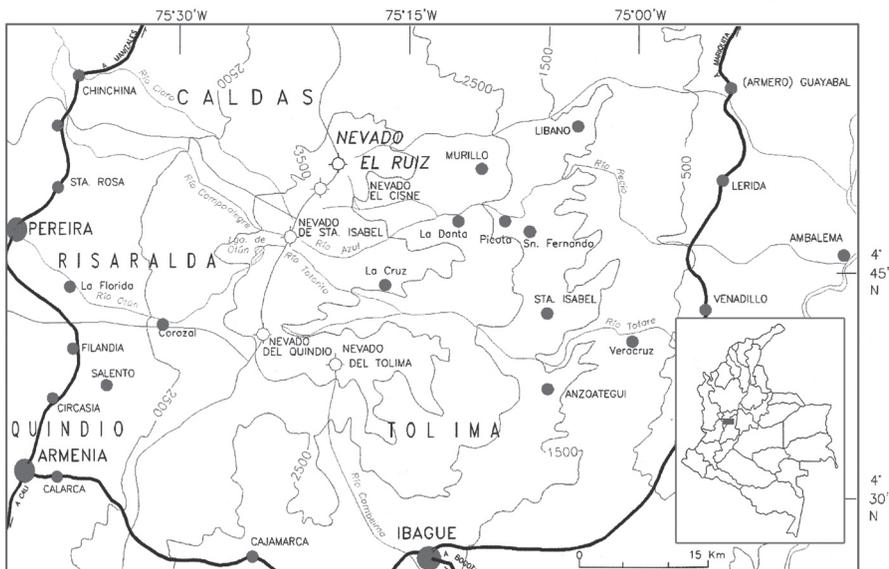


Fig.4.1. Mapa de localización del Nevado de Ruiz. INGEOMINAS 2000.

Las cenizas depositadas en las laderas y los sedimentos que forman el valle del río Magdalena, provenientes del Volcán Nevado de Ruiz, han dado lugar a dos de las regiones más ricas y de mejores suelos de la nación: la zona cafetera en las laderas y el valle del Magdalena, cuyo epicentro económico era justamente la ciudad de Armero, ubicada en el punto en el cual el río Lagunillas, después de descender del Volcán Nevado de Ruiz, desemboca en el valle. Entre Armero y el volcán, en línea recta, hay aproximadamente 55 km de distancia, a pesar de que el volcán no pueda ser divisado por los habitantes del área del Tolima. Es el volcán de mayor actividad turística en el país, por sus fumarolas, aguas termales, escalamiento, refugio, miradores e infraestructura turística.

Marco geológico

Colombia está situada en la zona de interacción de las placas Nazca, Sudamericana y Caribe, lo cual ha dado origen a sismos destructores y, al mismo tiempo, determina un vulcanismo de actividad variable localizado esencialmente en la cordillera Central, en la que han sido identificados 32 volcanes. Allí está ubicado el Parque de los Nevados conformado por seis volcanes, tres de ellos con casquetes de hielo y evidencias de actividad cuaternaria, uno de los cuales es el Volcán Nevado de Ruiz (Fig.4.2). Los seis presentan riesgos asociados para numerosas poblaciones y zonas agropecuarias localizadas en sus inmediaciones (CERESIS, 1989a).



Fig.4.2. Fotografía del Volcán del Nevado de Ruiz. INGEOMINAS 2000. Héctor Cepeda

Según INGEOMINAS (2000), el Volcán Nevado de Ruiz es un estratovolcán activo que en su actividad ha generado lavas, depósitos de flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas, avalanchas de escombros, piroclastos de caída, lahares y domos. De acuerdo

con Parra & Cepeda (en: Mercado, 2002), en el extremo norte del volcán está situado el cráter Arenas, que ha estado activo durante la historia reciente del volcán. El cráter mide aproximadamente 1 km de diámetro y más de 100 m de profundidad y presenta intensa actividad fumarólica. "El volcán estaba en el momento de la erupción cubierto por una capa glaciaria de unos 21 a 25 km² (Mercado, 2002).

Antecedentes históricos

Según Espinosa (Mercado, 2002), en el Volcán Nevado de Ruiz hubo dos eventos anteriores al de 1985. En 1595 un probable blast, surges y flujos piroclásticos, que se convirtieron en lahares, devastaron los valles del Lagunilla y Gualí, causando más de 600 víctimas, casi todos indígenas Gualíes. En 1845 se produjo otra erupción que dio lugar a lahares por el valle del Lagunilla, causando esta vez unas 1.000 víctimas fatales. Ambas cifras de víctimas se acercan al total de los habitantes del área en ese momento. La población circundante desconocía la ocurrencia de estos dos eventos, no obstante la existencia de relatos detallados sobre los mismos.

Fray Pedro Simón (1625) describe el primero: "La reventazón que con evidencia vieron y oyeron los de este Reino, fue a 12 de marzo, domingo de Lázaro del año de mil quinientos noventa y cinco, como a las once del día cuando dio tres truenos sordos como la bombarda tan grandes que se oyeron más de treinta leguas por toda su circunferencia, causados de haber reventado este cerro por debajo de la nieve [...] En la parte donde reventó ahora tienen su principio dos famosos ríos, el que hemos dicho que Gualí, vecino a esta ciudad [Mariquita], y otro mayor que él a cinco leguas, camino de las de Ibagué que llaman el de la Lagunilla [...] Fue más notable esta creciente que en el río de Gualí, en el Lagunilla, cuya furia fue tal que desde donde desemboca por entre dos sierras para salir al llano, arrojó por media legua muchos peñascos cuadrados, en que se echó de ver su furia más que si fueran redondas y entre ellas uno mayor que un cuarto de casa. Ensanchándose por la sabana más de media legua de distancia por una parte y otra, mudando por la una de nuevo la madre y anegando la inundación todo el ganado vacuno que pudo encoger, en cuatro o cinco leguas que fue así extendido hasta entrar en el de la Magdalena, abrasando de tal manera las tierras por donde iba pasando que hasta hoy no han vuelto a rebrotar sino cual y cual espartillo. No se sabe haber hecho otros daños".

Distinto hubiera sido el final de las víctimas de la erupción del Ruiz, en 1985, si en las aulas escolares de la región no sólo se hubiera difundido información sobre la existencia de volcanes en otras latitudes, sino que también se hubieran dado a conocer relatos como el de Joaquín Acosta sobre el evento del Ruiz en 1845 (Espinosa, 1989): "El 19 de Febrero del año 1845, hacia las siete de la mañana, se escuchó un gran ruido subterráneo en las orillas del Magdalena, desde la ciudad de Ambalema hasta el pueblo de Méndez, es decir entre dos puntos alejados de más de 4 miriámetros. Después del súbito ruido se sintió, en una extensión menos considerable, una sacudida de temblor de tierra. En seguida bajó del Nevado de Ruiz por el río Lagunilla, cuyas fuentes están cerca del grupo volcánico del Ruiz, una inmensa corriente de lodo espeso que, rellenando rápidamente el lecho del río, cubrió o arrastró los árboles y las casas, sepultando los hombres y los animales.

Toda la población de la parte superior y más estrecha del Valle de Lagunilla pereció [...] Se evalúan en cerca de mil personas el número de víctimas; la mayoría eran cultivadores empleados en las grandes plantaciones de tabaco en Ambalema”.

“Afortunadamente, una lluvia abundante, que sobrevino en la noche, dio a las aguas suficiente impulso para forjarse paso a través de ese amontonamiento de árboles destrozados, arenas, rocas y lodo fétido, mezclado con enormes bloques de hielo que bajaron de la cordillera en tal abundancia que después de varios días no habían fundido completamente, a pesar de la temperatura elevada (28 a 29 grados) de esos lugares [...] Es la primera vez, que el hombre recuerde, que los habitantes de las orillas ardientes del Magdalena hayan visto de cerca agua solidificada por el frío [...] Fue un espectáculo sorprendente ver las aguas tibias del Magdalena transportar trozos de hielo”.

“El terreno cubierto por los residuos y el lodo es de más de cuatro leguas cuadradas; presenta el aspecto de un desierto o de una playa en cuya superficie surgen, a la manera de islotes, montones de grandes árboles destrozados que resistieron al impulso del torrente. La profundidad de la capa de lodo es muy variable, es mayor hacia la parte superior, donde alcanza cinco a seis metros. Según un cálculo muy inferior a la realidad, se habrían acumulado más de trescientos millones de toneladas de material deslizado o salido en estado de papilla o pasta blanda y muy homogénea, de los flancos del volcán del Ruiz...”.

Respecto a la magnitud del desastre de 1845, INGEOMINAS (1986) menciona que el evento tuvo una dimensión entre 2.5 y 3 veces mayor que el de 1985 y Escobar (1989) estima que el área afectada, en 1845, fue de 12.000 hectáreas, frente a 3387 hectáreas en 1985.

A partir de la erupción de 1845, la actividad del volcán había sido muy baja, lo que condujo a que en las últimas décadas se incrementara notoriamente el turismo hacia el nevado. La población había olvidado la historia del Ruiz y la percepción sobre el riesgo que éste implicaba era confusa; no existía conciencia acerca del efecto realmente peligroso de los flujos de lodo. No obstante, dentro de esa percepción difusa que a menudo subyace en la cultura, las poblaciones circundantes denominaban al volcán “León Dormido”, sin que nadie lo asociara conscientemente con un poder suficiente para destruir la ciudad de Armero, ya que allí sólo se temían las posibles inundaciones que pudieran originarse en el río Lagunilla, como había acaecido ya dos veces en las últimas décadas (Paulsen & Cárdenas, 1998).

Cuando los fenómenos peligrosos de la naturaleza ocurren con frecuencia, como es el caso de inundaciones, deslizamientos o huracanes, la población tiene mayor conciencia de los riesgos a los que está expuesta y de alguna manera los incorpora en su cultura. Distinto es cuando, además de la ausencia del concepto preventivo en la cultura, los periodos de recurrencia son muy prolongados, como en el caso de terremotos y erupciones volcánicas. Por éstas y otras causas, entre los habitantes del área de influencia del Ruiz era casi nula la transmisión oral de la historia de los eventos sucedidos en 1595 y 1845. Como caso especial y único conocido por el autor merece mencionarse el de una pobladora nonagenaria de Lérida, Clementina Rondón (Paulsen & Cárdenas, 1998): “Relata haber escuchado de su padre, cuya familia poseía en 1845 un predio rural localizado en un cerro del Municipio de Armero, que desde dicho predio su abuelo había podido observar la ocurrencia de la avalancha de esa época en toda su dimensión horrorífica.

Debido a ello el padre prohibió en forma reiterada a toda su familia trasladar su residencia a Armero cuando se creó el poblado y comenzó su crecimiento y florecimiento. Finalmente un hermano de la entrevistada se mudó [...] a Armero, pero ella jamás aceptó trasladarse [...] Su hermano y otros familiares radicados en Armero fallecieron en el evento de 1985."

Descripción y análisis del evento

Según Parra & Cepeda (1986), la reactivación del Nevado de Ruiz se inició a finales del 1984 cuando se comenzaron a sentir frecuentes sismos que fueron aumentando en número y cantidad hasta el 22 de diciembre, cuando se presentó el mayor de ellos, apareciendo al día siguiente un sector del casquete de nieve cubierto por una capa de color verde amarillento. En los primeros meses de 1985, INGEOMINAS realizó visitas al área del volcán en compañía de expertos internacionales, quienes advirtieron sobre lo delicado de la actividad del volcán y recomendaron la necesidad urgente de disponer de una red sismológica, de mapas de amenazas y planes de emergencia. Calvache (1986) menciona que la sismicidad y la actividad fumarólica continuaron creciendo entre abril y julio, cuando se observó un aumento notorio en la temperatura del piso del cráter y una concentración de gases sulfurosos en la fumarola.

Después de muchos inconvenientes de índole técnica y administrativa, con cooperación internacional entró en funcionamiento la red sismológica en julio de 1985 y sus primeros registros mostraron una actividad anormal por el elevado número de sismos diarios (Parra & Cepeda, 1986). La sismicidad creció en forma significativa a finales de agosto y el 11 de septiembre se produjo una emisión de cenizas de carácter freático que fue percibida en las ciudades de Manizales y Chinchiná, produciendo una pequeña avalancha en el río Azufrado. Esta emisión despertó la atención hacia el volcán y fue convocada una primera reunión de las autoridades departamentales de su región circundante con el INGEOMINAS, en la cual se decidió elaborar el "Mapa de Riesgos". Con la colaboración de las Naciones Unidas se realizó la primera versión del mapa, la cual fue hecha pública el 7 de octubre. La segunda versión sólo se pudo entregar después de ocurrida la erupción del volcán (Fig.4.3).

Según Restrepo (1986) "el periodista estaba atrapado entre testimonios que no coincidían a pesar de estar suscritos por eminentes científicos. Así sucedió hasta el 7 de octubre. Ese día hubo una información clara y muy grave. Sin embargo, al día siguiente esa entrega del mapa de riesgos en INGEOMINAS fue casi ignorada. Sólo el diario El Espectador tituló con todos los honores en su primera página: "Alta probabilidad de avalancha de lodo del Volcán del Ruiz" y anunciaba los grandes perjuicios previstos para Armero y otras poblaciones. Por su parte CERESIS (1989b) dice: "La asesoría externa que este país buscó no fijó su atención en la prevención de catástrofes sino en el conocimiento del comportamiento del volcán. Esta falta de énfasis preventivo probó ser un error lamentable, como ha sido señalado y tuvo que ver también con el papel desempeñado por los medios de comunicación y las instituciones estatales". La revista Consigna del 15 de noviembre de 1985 (cit. CERESIS 1989a) también menciona que "la gente perdió la confianza en la veracidad de las informaciones y terminó encomendándose a la mano de Dios".

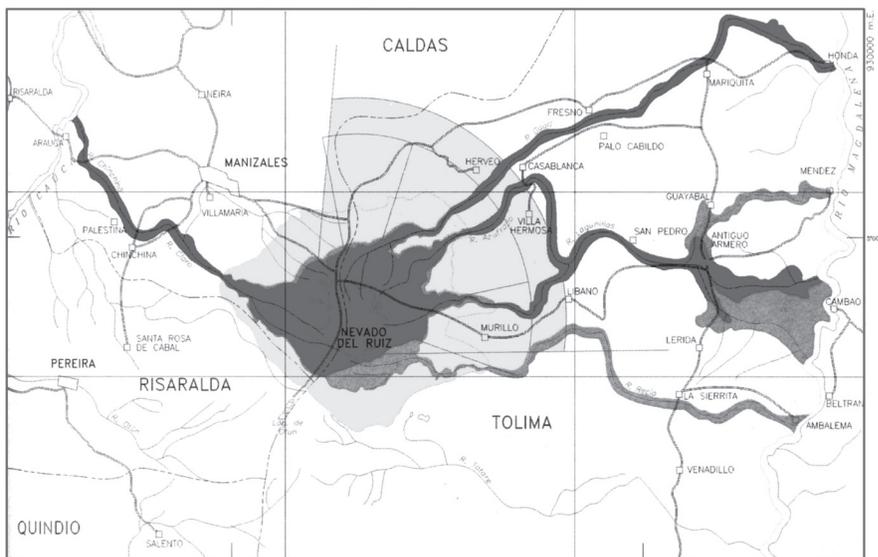


Fig.4.3. Mapa de amenaza del Volcán Nevado de Ruiz. INGEOMINAS 2000.

Según Parra & Cepeda (1986) el 13 de noviembre de 1985, a las 15:05, se presentó una emisión de cenizas por actividad freato-magmática, productos que llevados por el viento comenzaron a caer en numerosos municipios de los alrededores del volcán. Calvache (en: Mercado, 2002) menciona que: "a las 21:08 se escucharon explosiones violentas cerca del volcán, seguidas de fuerte ruido proveniente del cráter, así como de los cauces y cañones de los ríos situados alrededor del volcán. Este fenómeno continuó hasta las 21:30, cuando repentinamente los ruidos del volcán se incrementaron; se generó una columna eruptiva pliniana y comenzaron a caer bloques, lapilli y ceniza en una zona en forma de abanico, que se extendía desde el noreste hasta el sureste, con un eje de dispersión hacia el noreste [...] Entre las 21:45 y las 22:00 cesó la caída de tefra en la mayoría de los lugares cercanos". Según Parra & Cepeda (1986), esta actividad volcánica "generó cuatro tipos de fenómenos: caída de piroclastos, flujos piroclásticos, surjes hidroclásticos y lahares". "La columna generada alcanzó una altura mínima de 10 km.". Las erupciones desencadenaron una fusión del glaciar, con el consecuente flujo de lodos (CERESIS 1989b). Las cenizas expulsadas fueron depositadas hasta la frontera con Venezuela, a más de 500 km de distancia; en cambio, la expulsión de lapilli no sobrepasó el área cubierta por el glaciar. Dicho material y el fundido en el glaciar se desplazaron hacia los ríos que nacen en el Ruiz, originando lahares.

Estos fueron aumentando su contenido de sólidos a medida que descendían por los cauces de los ríos al ir incorporando material de origen glaciar, suelos, vegetación y material resultante de la desestabilización de los taludes de las laderas. Las velocidades medias de las avalanchas fueron estimadas en cerca de 12 metros por segundo y la altura del material de arrastre, en los cauces de los ríos, fue en promedio superior a 20 metros, aunque en ciertos sectores esa altura fue bastante mayor.

Estiman Pierson et al. (1990, en: Mercado, 2002) que unos $2 \times 10^7 \text{ m}^3$ de agua fueron descargados sobre las cabeceras de los valles de esos ríos y que un total de $9 \times 10^7 \text{ m}^3$

de lahares aguados llegaron a depositarse hasta a 104 km de su lugar de origen, pues sus volúmenes iniciales se incrementaron hasta cuatro veces a medida que se alejaban del volcán. Igualmente mencionan varios pulsos laháricos, los dos mayores con 15 a 20 minutos de diferencia, que río abajo estuvieron separados por entre 5 y 7 minutos. Los lahares (Parra & Cepeda, 1986) llegaron a Armero y Mariquita a las 22:35, es decir, cerca de dos horas y media después del inicio de la actividad eruptiva. Al desembocar los lahares en el valle donde estaba ubicado Armero, su altura era cercana a 17 metros, mientras en algunos lugares de la ciudad alcanzaron más de 3 metros: (CERESIS, 1989b).

Aproximadamente el 90% de la ciudad quedó completamente sepultada por el lodo. Al otro lado de la cordillera, Chinchiná fue afectada a lo largo de las riberas del río Chinchiná por el paso del lahar. En total, resultaron afectados 23 municipios de los departamentos de Tolima y Caldas (Presidencia de la República, 1986).

Efectos socioeconómicos y ambientales

La evaluación de los efectos de la erupción del Nevado de Ruiz fue liderada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con la participación de múltiples entidades del Gobierno Nacional y las agencias del sistema de las Naciones Unidas presentes en el país. Sin embargo, en el documento presentado al final de esa evaluación (DNP, 1985) se explicitan sus limitaciones; de un lado, la evaluación se califica de preliminar pues fue realizada pocas semanas después del evento cuando no se contaba aún con información precisa sobre algunos aspectos; se advierte que sólo se evalúan las pérdidas materiales directas en Armero y Chinchiná y se hacen algunas menciones a daños en otros municipios. Pero globalmente, es la información más completa de que se dispone y a ella se hace alusión en este documento.

Además de los efectos directos de la avalancha, es importante recordar que la afectación llegó por el lado del Tolima a cubrir toda su zona norte, ya que la ciudad de Armero era lugar de confluencia de muchas actividades de la región: transporte, comunicaciones, mercadeo, servicios financieros, de salud y educación, de reparación de maquinaria y del parque automotor; constituía el centro de un amplio tejido político, económico, industrial, comercial, de servicios y cultural que se rompió en forma abrupta de manera irreparable. Sumado esto al costo invaluable de la pérdida de tantas vidas, los daños materiales directos son apenas una parte de la destrucción generada por la erupción del Ruiz. (Paulsen & Cárdenas 1998).

En cuanto a pérdida de vidas, nunca pudo obtenerse una cifra exacta, pero en general se acepta que fueron más de 20.000, aunque el gobierno (Presidencia de la República, 1986) menciona 23.084 víctimas, de las cuales 94% corresponde al área de Armero y 6% a la de Chinchiná; que en Armero pereció el 90% de su población y en Chinchiná el 4%, con un total de heridos estimado en 5.200.

Sin duda, el mayor daño físico se produjo en las viviendas, con una destrucción estimada en 4400 en áreas urbanas, 500 más averiadas parcialmente y 250 viviendas rurales afectadas. Los daños en la infraestructura social fueron muy importantes: alrededor de 55 establecimientos de educación primaria y secundaria desaparecieron con toda su dotación y, más grave aún, perecieron 170 educadores y se destruyeron 2 hospitales

completos con capacidad para 160 camas, quedando toda la zona sin atención hospitalaria especializada. Peor fue la desintegración de las redes locales y regionales de relaciones y organizaciones sociales, culturales y productivas que se extendían mucho más allá de los límites territoriales, lo mismo que el impacto de las migraciones que se suscitaron con posterioridad al desastre. La infraestructura de servicios básicos de saneamiento en Armero fue destruido en su totalidad, al igual que varios kilómetros de la tubería de conducción de agua a Mariquita, además de daños en bocatomas y acueductos de otras localidades. El sistema de transporte quedó totalmente desarticulado por el arrasamiento de varios kilómetros de carreteras principales, 200 km de caminos vecinales, 19 puentes, 18 km de red ferroviaria, 10 km de líneas de transmisión eléctrica y todo el sistema de telecomunicaciones de Armero (Figura 4.4).

En cuanto al sector productivo, se perdieron 58 establecimientos que incluían pequeñas y medianas industrias, lo cual contribuyó a la desarticulación de ese sector en el norte del Tolima. En el campo agropecuario se destruyeron o dañaron diversos equipos y maquinaria agrícola, bodegas, molinos y lugares de almacenamiento de productos y semillas y los lahares arrasaron 2500 hectáreas de cultivos estacionales, 300 de cultivos permanentes y 1000 de pastizales, muriendo del orden de 1600 reses; sin embargo, debe tenerse en cuenta que las cenizas y otros materiales piroclásticos expulsados por el volcán se dispersaron por una amplia superficie causando daños a la agricultura y a la ganadería; el área total afectada en forma directa o indirecta por el volcán se estima en 210 000 hectáreas (Presidencia de la República, 1986).

El monto total estimado de pérdidas materiales directas ascendió a 34 940 millones de pesos equivalentes a 211.8 millones de dólares, de los cuales el 33% corresponde al sector vivienda, seguido por el de agricultura y ganadería con 17%, de infraestructura urbana 11.4%, de infraestructura de servicios básicos de saneamiento 8.6% y de transporte 8.3%.

El manejo de la crisis generada por la actividad del volcán

La síntesis del manejo de esta crisis la presenta el mismo Gobierno Nacional (Resurgir, 1986) al expresar que "una de las lecciones más dramáticas que ha dejado la tragedia suscitada por la erupción del Volcán Arenas es la de haber hecho evidente nuestra impreparación técnica, institucional y comunitaria para la prevención y el manejo de calamidades públicas". En efecto, en 1985, se carecía de la legislación, de la organización y de los recursos institucionales, técnicos y financieros indispensables para atender situaciones de esta naturaleza.

La normatividad sobre el tema era escasa, dispersa y sin instrumentos reales de actuación y, ante todo, carecía del concepto preventivo frente a riesgos y desastres. En aspectos de respuesta la única entidad del Estado a la que se habían asignado responsabilidades específicas era la Defensa Civil, pero no contaba con suficiente respaldo institucional, ni con recursos, para actuar en situaciones de emergencia de alguna magnitud; tampoco tenía facultades para coordinar a los órganos públicos y privados nacionales de socorro. De otro lado, ninguna entidad del Estado tenía, entonces, responsabilidad sobre los temas sísmico y vulcanológico, razón por la cual no existían redes de vigilancia en estos campos y, en consecuencia, tampoco operaban sistemas de alerta



PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, 1986.

Fig.4.4. Armero antes y después de la emergencia de noviembre de 1985.

frente a estas amenazas. Lo anterior sucedía, en una cultura nacional de la que estaba ausente el concepto preventivo respecto a posibles riesgos y desastres.

En tales condiciones, aunque el volcán inició su actividad un año antes a la erupción, debieron transcurrir varios para que las autoridades nacionales y regionales, y las poblaciones vecinas al Ruiz, empezaran a prestar suficiente atención a lo que ocurría. Sólo nueve meses después se logró poner en funcionamiento una red sísmica para vigilar el volcán y apenas un mes antes de la erupción se dispuso de una versión preliminar del mapa de amenaza volcánica. Al presentarse la erupción no había ningún tipo de organización institucional ni ciudadana para afrontar la emergencia y la irrupción de los lahares tomó de sorpresa a la mayoría de la población en el más absoluto estado de indefensión a la mayoría de la población.

El papel desempeñado por la comunidad científica fue muy importante: reconoció con antelación la seriedad de las manifestaciones previas a la erupción, pero "dicha información fue transmitida de manera poco clara y comprensible para los interlocutores. Quizás esto tenga que ver con el hecho de que no existían en Colombia expertos que conocieran científicamente los volcanes del país y más precisamente El Ruiz; no disponían tampoco de los equipos adecuados y organizativamente no existía una entidad que ejerciera un claro liderazgo en este campo". (CERESIS, 1989b). "Las misiones científicas extranjeras señalaron la necesidad de elaborar un mapa de riesgo volcánico y de monitorear la actividad del Ruiz, pero sin hacer hincapié en las posibles consecuencias letales de una avalancha, que es lo que finalmente ocurrió". Señala igualmente CERESIS que Colombia, al buscar asesoría internacional, hizo énfasis en el conocimiento del comportamiento del volcán y no en la prevención de catástrofes, lo cual influyó sobre el papel desempeñado por los medios de comunicación y las entidades del Estado.

En este aspecto Mercado (2002) indica que "un factor de responsabilidad (o irresponsabilidad) humana adicional corresponde a la demora de autoridades e instituciones en abordar la situación, lo que pudo hacerse desde principios de 1985 y se tradujo, en el momento crítico, en la incapacidad de la población en general de comprender la verdadera magnitud del desastre que podía ocurrir; el volcán dio el suficiente tiempo para haber educado oportunamente a la gente y haber organizado un sistema de alarma y evacuación". Por su parte CERESIS (1989b) plantea que "aunque en los informes científicos se mencionaba la posibilidad de una avalancha y Defensa Civil trató de prevenir a la población sobre sus peligros, ninguna institución llegó a imaginar la magnitud de lo que ocurriría".

De otro lado, los medios de comunicación cubrieron insuficientemente y otorgaron poca importancia a los acontecimientos previos a la erupción, sin resaltar los aspectos preventivos. Pero, según Restrepo (1989), el periodista se tuvo que mover entre un ambiente de rumores y de incertidumbres [...] Parecía que había una consigna implícita: no alarmen, tranquilicen. Y nos la tomamos en serio".

La población resultó víctima de la falta de preparación del Estado y de la incoherencia entre la información que recibía. Como muestra testimonial de los sobrevivientes de Armero puede citarse (Presidencia de la República, 1988): "el día de la erupción hubo muchas señales para evacuar el pueblo, pero Radio Armero nos dijo que no iba a pasar nada. Nos recomendaron cerrar la puerta y colocarnos pañuelos sobre la boca y la nariz

para evitar la intoxicación con gases. Nos decían que mantuviéramos comida. Uno se confió demasiado. La gente más consciente salió hacia la loma a las nueve de la noche y se salvó”.

Sobra describir la forma improvisada, caótica y, ante todo, descoordinada en que se atendió la emergencia a partir de la erupción, actividad en la que participó un elevado número de instituciones y organizaciones del país y del exterior.

Además de decretar la “Emergencia Económica”, once días después de la tragedia el Gobierno Nacional creó el Fondo de Reconstrucción Resurgir, el cual culminó en marzo de 1986 la formulación del “Programa para la recuperación y reactivación de las zonas afectadas por la actividad volcánica del Nevado de Ruiz” (Resurgir, 1986). En la ejecución de este programa, que duró cerca de cuatro años, participaron alrededor de 150 instituciones públicas y privadas, nacionales e internacionales, con una inversión de 51.292 millones de pesos (Presidencia de la República, 1986), de los cuales alrededor del 12 % correspondió a aportes de cooperación internacional.

Vale la pena destacar, como antecedente para el futuro tratamiento de los riesgos en el país, que en el desarrollo del programa de recuperación se tuvo en cuenta el mapa de amenaza volcánica elaborado por INGEOMINAS y se reubicó a los sobrevivientes por fuera de las áreas de riesgo definidas en éste. No obstante, tres años después se estaba gestando la creación de un nuevo Armero en la misma zona donde estuvo la ciudad destruida. Ello sucedió cuando numerosos vendedores ambulantes, que atendían a quienes visitaban el área del desastre, resolvieron establecer puestos de venta, fijos que luego se convirtieron en sus viviendas y con el apoyo de un dirigente político regional lograron la instalación del servicio de energía eléctrica interrumpido desde la catástrofe. La Presidencia de la República tuvo que intervenir a través de una gestión que duró varios meses, para producir finalmente el desalojo de los nuevos residentes de la zona, haciendo respetar la declaratoria de alto riesgo.

El programa desarrollado se orientó a la recuperación humana, social, económica y material de las áreas afectadas, pero la acción más destacada consistió en la creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, ente de carácter permanente con fuerte énfasis en la prevención. En él participa todo el Estado, es descentralizado y su responsabilidad primera reside en el nivel municipal, con órganos de coordinación en los tres niveles administrativos estatales.

En desarrollo del Sistema Nacional, en pocos años, el país dispuso de una red nacional de vigilancia sísmica y vulcanológica moderna, un sistema nacional automatizado de vigilancia hidrometeorológica, comités de emergencia en los niveles nacional y departamental y en la mayoría de los principales municipios del país. Igualmente se logró la inclusión del tema de los riesgos en una alta proporción de los planes de desarrollo territorial y se expidió una ley obligando la inclusión del análisis de riesgo y de medidas de prevención y mitigación en el ordenamiento territorial municipal. Aunque el Sistema Nacional aún muestra grandes debilidades, continúa siendo un referente sobre el tipo de organización que en esta materia debería introducirse en los países latinoamericanos en esta materia.

Lecciones aprendidas

La muerte injustificada de los habitantes de Armero y Chinchiná generó sentimientos de culpa en diferentes sectores de la sociedad colombiana. De ahí que la principal lección que dejó la erupción del Ruiz fue que el país entendió y aprendió –a un costo muy elevado– que sí es posible y, a la vez, indispensable trabajar preventivamente frente a riesgos y desastres y la temática empezó a formar parte de la cultura nacional.

De igual manera, aunque jurídicamente ninguna entidad del Estado asumió la responsabilidad sobre lo sucedido, el país aprendió que, frente a los riesgos y los desastres, era imprescindible disponer de una legislación que asignara responsabilidades específicas a todos los órganos públicos y privados en sus diferentes niveles, en el campo de sus competencias, lo cual se ha reflejado en el conjunto normativo expedido a partir de finales de la década de los 80.

Finalmente, la tragedia dejó una gran enseñanza: la necesidad inaplazable de contar con una organización nacional de carácter permanente para prevenir riesgos y atender desastres, en la que pudieran actuar de manera sistémica y coordinada los diferentes estamentos públicos, privados y ciudadanos a nivel nacional y local, así como la cooperación internacional. En consecuencia, se creó el del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

Conclusiones

La sociedad que desconoce la historia de sus riesgos y desastres está condenada a sufrirlos en escala cada vez mayor. Por ello, la incorporación del concepto preventivo en la cultura institucional y ciudadana debe ser la columna vertebral para la reducción de los riesgos en cualquier población.

La conciencia y la voluntad política de los líderes públicos y privados son el punto de partida para el accionar de un país en este campo. Sólo sobre esta base es posible alcanzar políticas y normas integrales en el tema, elementos fundamentales para avanzar en la reducción de los riesgos.

La planificación del desarrollo y el ordenamiento territorial constituyen dos instrumentos esenciales para volver operativo el concepto de prevención y mitigación de riesgos y desastres.

Trabajar en forma sistémica y descentralizada es la forma más eficaz para lograr la participación organizada y coordinada de los distintos actores públicos, privados y ciudadanos.

La población no puede ser un ente pasivo en el manejo de esta problemática, sino un actor clave en la reducción de los riesgos, la atención de las emergencias y la recuperación postdesastre.

La comunicación y el tipo de lenguaje que adopte la comunidad científica con los medios de comunicación, las entidades del Estado y la comunidad en general, son determinantes para un adecuado manejo de las crisis.

La cooperación internacional es indispensable frente a desastres de gran magnitud, pero los gobiernos receptores deben ser firmes en liderarla y coordinarla y, ante todo, disponer de criterios para no recibir en forma indiscriminada la ayuda que se les ofrezca.

Bibliografía

- Calvache, M., 1986. "Historia eruptiva del Nevado de Ruiz". En: Ecología de un desastre. Editor: Gonzalo Palomino Ortiz. Grupo Ecológico de la Universidad del Tolima. Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Centro de Formación Ambiental Regional Tolima. Ibagué. 62p.
- Cárdenas, C., 1994. "Antecedentes y orígenes del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de Colombia". En: Revista Geofísica No.40. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Lima. Perú. p.78-79.
- CERESIS, 1989a. Centro Regional de Sismología para América del Sur. Riesgo Volcánico. Evaluación y mitigación en América Latina. Aspectos sociales, institucionales y científicos. Giesecke, Alberto. Coordinador. Lima, Perú. 126p.
- _____, 1989b. Centro Regional de Sismología para América del Sur. El Nevado de Ruiz y el riesgo volcánico en América Latina. Podesta, Bruno. Giesecke M., Alberto. Lima, Perú. p.12-24.
- DNP - SNU, 1985. Departamento Nacional de Planeación. Sistema de las Naciones Unidas. Informe sobre el desastre natural del Volcán Nevado de Ruiz en Colombia. Bogotá. p.9-12.
- Escobar, G., 1989. La Hacienda, el Estado y el Volcán (El Parque Natural de los Nevados y la evacuación del área de riesgo alrededor del Cráter Arenas del Volcán Nevado de Ruiz). Universidad Nacional de Colombia. Sección de Manizales. Departamento de Arquitectura. Cuadernos de Investigación CINDEC No.15. Manizales. 19p.
- Espinosa, A., 1989. "La descripción de la erupción del Nevado de Ruiz en 1845 por Joaquín Acosta. En: Novedades Colombianas Nueva Época No. 1 Museo de Historia Natural. Universidad del Cauca. Popayán. 17p.
- INGEOMINAS, 1986. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras. Mapa actualizado de amenaza volcánica potencial de Nevado de Ruiz. Texto explicativo. Parra, E. Cepeda, H. Thouret, J. Cl. Manizales. Capítulos 4-5.
- _____, 2000. Atlas de amenaza Volcánica en Colombia. Bogotá. p.37-41.
- Mercado, M., 2002. La erupción volcánica del Nevado de Ruiz, Colombia, de 1985. En: Lugo Hubp, José & Invar, Moche. Editores. Desastres naturales en América Latina. Fondo de Cultura Económica. México. p.67-84.
- Parra, P. E. & Cepeda, H., 1986. "Aspectos generales de la erupción del Volcán Nevado de Ruiz el 13 de noviembre de 1985. En: Memorias del Simposio Internacional sobre Geotectónica y Riesgos Volcánicos. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Revista CIAF del Centro Interamericano de Fotointerpretación. Volumen 11. 1987. Bogotá. p.148-158.
- Paulsen A. & Cárdenas, C., 1998. Reasentamiento poblacional forzoso originado en riesgos o desastres asociados con fenómenos naturales. Caso Armero y el Volcán Nevado de Ruiz. Bogotá. p.15-19.
- PNUD, 1985a. El desastre natural del Nevado de Ruiz en Colombia. Evaluación preliminar de los daños y algunas consideraciones para la acción. Naciones Unidas. Programa para el Desarrollo. Bogotá. 5p.
- _____, 1985b. Apoyo al plan de acción para la rehabilitación social, económica y material de la población y de las zonas afectadas por la erupción del Volcán del Ruiz. Proyecto del Gobierno de Colombia. Bogotá. 5p.
- Presidencia de la República. 1986. El volcán y la avalancha. 13 de noviembre de 1985. Imprenta Nacional. Bogotá 190p.
- Restrepo, J. D., 1986. Avalancha sobre Armero. Crónicas, reportajes y documentos de una imprevisión trágica. El Ancora Editores. Bogotá. p.196,197,198.
- _____, 1989. "Periodismo en casos de catástrofe". En: Cuaderno No.6. Sepa-

rata Senanoticias, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Regional de Caldas. Manizales.

RESURGIR Fondo de Reconstrucción, 1986. Programa para la recuperación y reactivación de las zonas afectadas por la actividad volcánica del Nevado de Ruiz. Bogotá. 32p.

Saavedra, M. R., 1996. Desastre y riesgo: Actores sociales en la reconstrucción de Armero

y Chinchiná. Centro de Investigación y Educación Popular CINEP. Bogotá. 143p.

Simón, Fray. P. de, 1625. "Noticias históricas de las conquistas de tierra firme en las Indias Occidentales. Tomo IV, pp.60-62. En: Restrepo, (1986). Avalancha sobre Armero. Crónicas, reportajes y documentos de una imprevisión trágica. El Áncora Editores. Bogotá. 129p.

5. El deslizamiento de Villatina

Carolina García

Resumen

El domingo 27 de septiembre de 1987, a las 2:40 p.m ocurrió la peor catástrofe en la historia de la ciudad de Medellín cuando un deslizamiento de tierra de 20.000 m³, generado en la ladera nororiental del Cerro Pan de Azúcar, se precipitó súbitamente y a gran velocidad sobre la parte alta del barrio Villatina y ocasionó la muerte de aproximadamente 500 personas, destruyó unas 100 viviendas y generó unos 1700 damnificados.

Palabras claves: Deslizamiento, Medellín, Barrio Villatina.

Abstract

On Sunday, September 27th 1987, at 2:40 pm occurred the worst catastrophe in the history of the city of Medellín: a mass movement of 20.000 m³ generated in the north-eastern slope of the Cerro Pan de Azucar burst suddenly and impacted at great speed on the higher part of Villatina suburb, killing approximately 500 people, destroying some 100 houses and displacing about 1700 persons.

Key words: Landslide, Medellín, Barrio Villatina.

Introducción

La ciudad de Medellín, así como la mayoría de las grandes ciudades de Colombia, ha sufrido desde mediados del siglo pasado un gran incremento de su población a raíz de múltiples causas político-sociales que han ocasionado una gran migración de los habitantes del campo hacia la ciudad. Ya que muchas de estas personas no cuentan con los recursos suficientes para adquirir vivienda propia o alquilar una en buenas condiciones, y por lo tanto, en muchos casos llegan a invadir y habitar zonas que presentan amenazas de origen natural, pues sólo ahí tienen la posibilidad de tener una vivienda que esté acorde a su presupuesto.

Muchas de estas zonas, clasificadas actualmente como zonas de alto riesgo al deslizamiento, se encuentran ubicadas en las laderas que rodean la ciudad. Las vertientes del Cerro Pan de Azúcar, situadas al oriente del centro de Medellín, se enmarcan dentro de este tipo de zonas y así se demostró el 27 de septiembre de 1987 cuando en una de sus laderas se produjo un deslizamiento de unos 20.000 m³ que le causó la muerte a aproximadamente 500 personas y dejó a unos 1700 damnificados en el Barrio Villatina parte alta. (Fig.5.1)



Fig.5.1. Deslizamiento de Villatina (Foto tomada por Mauricio Bustamante, 1988).

La aptitud de la zona donde se encontraba el asentamiento destruido fue determinada en función de la capacidad de sus suelos para soportar construcciones civiles por lo que se ignoró totalmente la amenaza que representaba la vertiente situada en su parte oriental, escarpada y con malas condiciones geomecánicas.

Una comisión interdisciplinaria reunida para analizar las causas y pormenores del deslizamiento declaró, pocos días después de la tragedia, que "las características geológicas y de relieve donde ocurrió el siniestro son las normales que se presentan en las vertientes del Valle de Aburrá y el terreno no presentaba características manifiestas de inestabilidad y no estaba incluido en el área de riesgo inminente" (El Colombiano, 29-09-87, pag.4B).

Esto muestra la necesidad de realizar estudios de riesgos y amenazas de origen natural analizando no sólo la zona específica donde se va a edificar, sino todo el entorno, el cual muchas veces, como en el caso de Villatina, puede ser el responsable de grandes catástrofes.

Localización geográfica del evento

La zona donde ocurrió el deslizamiento está situada en el sector centro-oriental en la Comuna 8 de la ciudad de Medellín. El evento afectó al Barrio Villatina parte alta, localizado sobre la parte intermedia de la ladera nororiental del Cerro Pan de Azúcar, caracterizada por presentar fuertes pendientes (Fig.5.2).

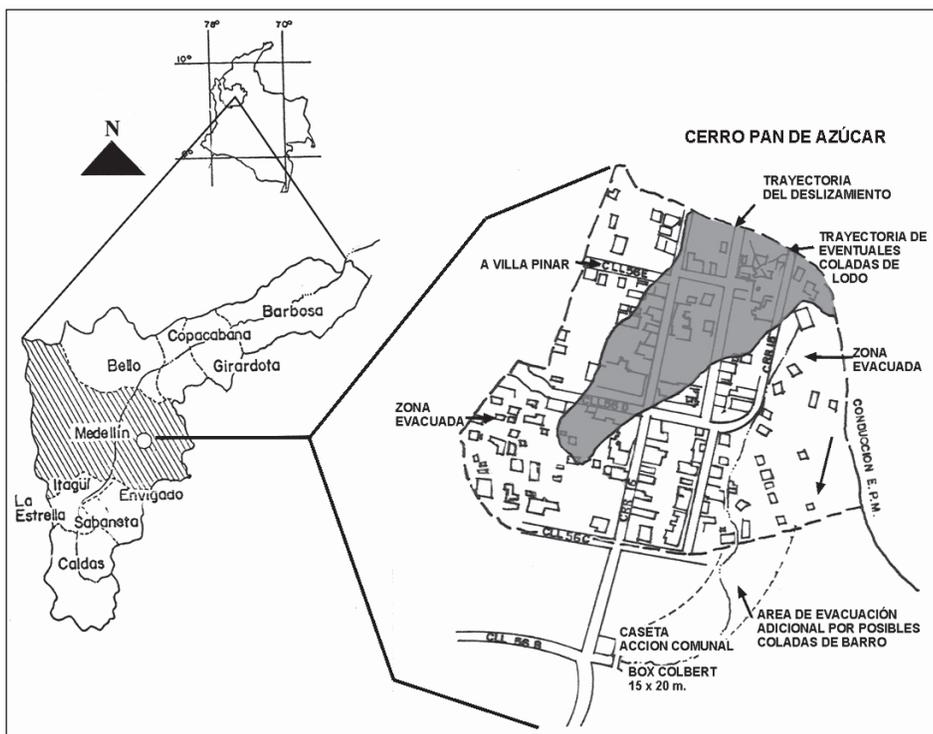


Fig.5.2. Localización del evento (Adaptado de Bustamante, 1988).

Según Coupé, (1997) el Barrio Villatina es un barrio pirata constituido por varias invasiones que empezaron durante la década de 1940. Está limitado al occidente por los barrios Villa Pinar y la Libertad, al oriente por los barrios Villa Lilian y Las Estancias, al sur por El Vergel y el barrio La Pastora y al norte por la ladera nororiental del Cerro Pan de Azúcar .

La zona destruida, comprendida entre las calles 56C y 56E y las carreras 15 y 17, ocupa un área de 1.2 hectáreas (12.000 m²) y comprende tres manzanas (Bustamante, 1988).

Marco geológico

El área está constituida principalmente por la denominada Dunita de Medellín, de edad cretácica, la cual según Restrepo & Toussaint (1984) está compuesta por olivino con minerales accesorios como cromita y magnetita, con una alteración parcial del olivino a minerales del grupo de la serpentinita.

Aunque este tipo de roca tiene una cierta resistencia natural a la meteorización, en el área de estudio se encuentra altamente fracturada y cizallada por incidencia tectónica, lo cual generó bloques rodeados por una matriz limo-arenosa o limo-arcillosa fácil de meteorizar y poco cohesiva que permite el paso del agua (Cárdenas & Ramos, 1988).

Según Cárdenas & Ramos (1988), la zona de transición roca-saprolito de la dunita se caracteriza por presentar bloques de roca redondeados de 0.3 a 1.5 m rodeados por un material limo arenoso. Bajo esta zona se encuentra el saprolito y el suelo derivado de la dunita, el cual está constituido por un material limo arcilloso que presenta abundantes grietas de desecación y algunas fracturas rellenas en muchos casos por óxidos de manganeso y clorita. Estos suelos se encuentran suprayacidos en algunas zonas por paleosuelos caracterizados por abundante contenido de materia orgánica.

Las zonas de cizallamiento evidenciadas por la presencia de salvanda y espejos de falla se caracterizan porque la roca presenta alteraciones a clorita, talco y asbesto, generando así unas superficies de debilidad muy lisas que muchas veces coinciden con la pendiente natural del terreno.

Lo anterior, aunado al alto fracturamiento de la roca, las altas pendientes y la abundante pluviosidad, hace que la zona sea altamente susceptible a deslizamientos, como lo demuestra la presencia de numerosos depósitos de ladera (o vertiente) de espesor variable derivados principalmente de la dunita serpentizada. Estos depósitos presentan una relación matriz-bloques variable de la cual depende su clasificación como flujos de lodos o de escombros. Los bloques que presentan estos últimos varían de tamaño centimétrico a métrico y están embebidos en una matriz limosa a limo arenosa con algunos nódulos de hierro. (Cárdenas & Ramos, 1988).

La topografía de la zona, a pesar de presentar en su mayoría pendientes de más de 45%, muestra algunas irregularidades en el terreno con sectores de pendiente uniforme intercalados con escalones y depresiones. Esto se debe en parte a que muchas de las formaciones superficiales están constituidas por suelos residuales cubiertos por depósitos de ladera los cuales se acumulan en las depresiones preexistentes del terreno, generando peldaños o franjas de pendiente suave (Cárdenas & Ramos, 1988) y configurando cambios bruscos en la pendiente, que debido a las características del terreno, pueden constituir zonas potencialmente inestables. Además, en diferentes niveles de la ladera se aprecian varias silletas de falla que evidencian la alta incidencia tectónica de la zona.

Descripción del evento

El movimiento fue de tipo planar rotacional, generado por un rompimiento súbito de material, controlado en parte por la presencia de superficies planas heredadas que buzan en sentido de la pendiente, así como por suelos y material poco consolidado que generaron una superficie cóncava en la parte inferior de la cicatriz del deslizamiento (Fig. 5.3).

La zona donde se desprendió el material es de forma aproximadamente rectangular con un ancho de 52 m, un largo de 60 m en dirección de la pendiente (Bustamante, 1988), con escarpes laterales de 5 m y un escarpe superior de 8 m, lo cual da un volumen aproximado de 20.000 m³ (Cárdenas & Ramos, 1987), del cual sólo 6.000 m³ se depositaron sobre el barrio Villatina; el volumen restante quedó repartido sobre la ladera a lo largo de los 550 m de recorrido horizontal.

Bustamante propone una división del deslizamiento en tres zonas:

- a) La primera corresponde a un escalón de cambio de pendiente equivalente a la parte superior del deslizamiento con pendiente de 25% entre las cotas 1960 m y 1900 m;

es la fuente del material removilizado comprendida entre la corona y una zona de acumulación primaria que luego del desprendimiento contenía aún unos 8.000 m³ de material potencialmente inestable. Cárdenas & Ramos (1988) señalan que en las paredes de la zona donde se desprendió el material se aprecia una secuencia que corresponde a un depósito de vertiente de 1 m de espesor recubriendo un paleosuelo de poco espesor, luego se encuentra el suelo residual de dunita suprayacido lateralmente por bloques de dunita con estructuras continuas heredadas. Estas estructuras, rellenas por un material arcilloso, buzan en sentido de la pendiente coincidiendo con el plano de ruptura del material;



Fig.5.3. Escarpe lateral del deslizamiento. Se puede apreciar la superficie de deposición del material inestable (Foto Cárdenas & Ramos, 1988).

- b) La segunda zona corresponde a la vertiente por donde se desplazó la masa. Ocupa una extensión de 4 hectáreas comprendidas entre las cotas 1900 y 1750 m con una pendiente promedio de 64%. En esta zona se acumularon unos 6.000 m³ de material con espesores hasta de 1.6 m, los cuales sin ser estabilizados podrían generar flujos de lodos. Es en esta zona donde se presenta una vaguada o depresión topográfica que sirvió para canalizar el flujo hacia las viviendas destruidas y cambió la dirección original del movimiento de S47°W a S69°W, sin lo cual posiblemente el movimiento no hubiera tenido consecuencias tan graves. En esta zona se presentaron además, abombamientos de hasta 2.5 m (Fig.5.4) en la pared oriental, generados por la presión ejercida por el material movilizado;
- c) La tercera zona, localizada entre las cotas 1750 y 1710 m, corresponde al área habitada donde se acumularon unos 6.000 m³ en 1.2 hectáreas con espesores variables de hasta 2 m (Fig.5.5).



Fig.5.4. Abombamiento de la pared oriental de deslizamiento. (Foto Cárdenas & Ramos, 1988).

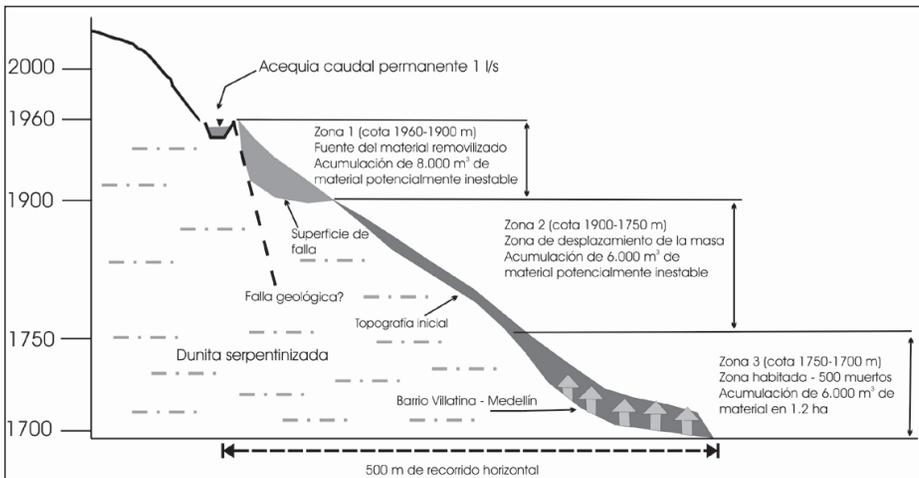


Fig.5.5. Esquema transversal de las zonas del deslizamiento (Adaptado de Bustamante, 1988).

Análisis del evento

Fueron varios los factores que desencadenaron el desprendimiento de tierra desde la vertiente del Cerro Pan de Azúcar:

- Factores geológicos: incluyen el alto fracturamiento de la roca caracterizado a lo largo del perfil de meteorización por diaclasas heredadas que buzcan en sentido de la pendiente; además, las diaclasas están recubiertas por talco y clorita lo cual genera planos de debilidad pues la superficie se vuelve muy resbalosa, especialmente cuando está húmeda.

- Factores topográficos: las altas pendientes del Cerro Pan de Azúcar influyeron en la activación del deslizamiento junto con el hecho de que la masa desprendida se encontrara en uno de los escalones que constituía un cambio brusco de pendiente susceptible al desprendimiento.
- Factores meteorológicos: el deslizamiento ocurrió en una época de alta precipitación, lo cual contribuyó no sólo a lubricar las superficies de diaclasas y fallas, sino que además el terreno se saturó parcialmente aumentando su peso y, por lo tanto, la amenaza por deslizamiento. De hecho, el mes de septiembre de 1987, fue el octavo más lluvioso desde 1908, según los registros de la sección de Hidrología de las Empresas Públicas de Medellín (El Colombiano, pag.15A, 21 de octubre de 1987).
- Factores antrópicos: en la zona superior del deslizamiento, por orden de la administración municipal y por intermedio de Corvide, se había construido sin ningún control técnico una acequia o canal para captar aguas desde la Quebrada La Castro (Fig.5.6). Esta acequia no presentaba ningún recubrimiento para impermeabilizarla y, adicionalmente, no recibía mantenimiento; un pequeño desprendimiento la taponó e hizo que se desbordase ocasionando un aporte de agua calculado por Bustamante (1988) en un litro por segundo. Esto, aunado a los factores anteriores, provocó la saturación de la masa de tierra y la lubricación de los planos de debilidad y generó una ruptura súbita de terreno.



Fig.5.6. Detalle de la acequia que aportaba 1 l/s de agua lo cual posiblemente contribuyó al deslizamiento (Foto Cárdenas & Ramos, 1988).

Además de los factores anteriores se suman otros como la presencia de cavernas y grietas que favorecían la infiltración de las aguas, además del hecho que la zona no tuviera una vegetación que contribuyera con la estabilización de la ladera.

La ruptura súbita del material y la forma cóncava de la superficie inferior de desprendimiento hicieron que la tierra desprendida se elevara y al caer atrapara un colchón de aire (Bustamante, 1988); se supone que este fenómeno permitió que la masa se des-

plazara prácticamente sin ninguna fricción y a gran velocidad, por lo tanto, al llegar a la zona habitada, chocó lateralmente con las viviendas cortando a muchas de raíz por el esfuerzo cizallante generado.

La llegada de la masa desprendida a la zona de la tragedia fue acompañada por un ruido fuerte y seco porque al chocar contra las casas, el colchón de aire sobre el cual viajaba la masa fue comprimido, por lo que el aire, al salir bruscamente, pudo producir un estruendo. A este ruido contribuyó la explosión de dos transformadores de energía.

Es interesante la explicación del fenómeno dada aún hoy en día por algunos de los habitantes del sector, los cuales insisten en que la causa del movimiento de tierra fue la explosión de una caleta de dinamita del movimiento guerrillero M-19. Es muy importante resaltar esto, pues debido a esa versión mucha gente del sector no cree que se trata de un fenómeno natural generado en una zona de alta amenaza y minimizan la vulnerabilidad en la que se encuentran (Coupé, 1997).

Efectos socio-económicos del evento

Según el Municipio de Medellín se rescataron 192 cuerpos (El Colombiano, 2-10-1987, pag.1A), pero se sabía a ciencia cierta que eran muchas más las personas enterradas por el flujo. Debido a la magnitud y características del evento es muy difícil establecer con exactitud el número total de personas muertas y de viviendas destruidas (Fig.5.7).



Fig.5.7. Casa destruida por deslizamiento. El empuje lateral de la masa que chocó contra la casa arrancó las paredes dejando sólo el piso (Foto Cárdenas & Ramos, 1988).

Los datos más aproximados que se tienen son los publicados en el periódico El Mundo (7-10-1987, pag.1B), cedidos por los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Antioquia, Alfredo Valle S., Héctor Ruiz D. y Ernesto Díaz R., los cuales realizaron para su trabajo de grado un censo en el barrio Villatina pocos meses antes de la tragedia por lo que pudieron estimar los siguientes datos confiables para la zona afectada: 66 casas destruidas por la avalancha, 3 casas en construcción y un promedio de 7 lotes recubiertos. Teniendo en cuenta un promedio de 9 personas por casa se tiene un total

de 467 personas fallecidas. A esta cifra se deben sumar los visitantes y vecinos de la zona que se encontraban en el lugar al momento de la catástrofe. De hecho se supo posteriormente que por ser un día festivo había gran cantidad de visitantes y familiares que laboraban en otras ciudades y se encontraban de visita en la zona afectada.

Como consecuencia de la catástrofe quedaron damnificadas más de 1700 personas ya que se evacuaron varias cuadras alrededor de la zona cubierta. Esto debido a que se consideraron de alto riesgo por posibles flujos de lodo dado el abundante material inestable existente en las cercanías. Después de una espera hasta de dos años, estas personas fueron reubicadas en diferentes zonas de la ciudad conocidas como San Blas, Héctor Abad Gómez, Villa Café, El Centenario, Lasallista, además del Limonar y una manzana del Barrio Villatina (Coupé, 1997).

Las personas damnificadas esperaban ser reubicadas al menos en zonas con mejores condiciones de estabilidad natural que las existentes en la del desastre, pero desafortunadamente muchas de ellas fueron reubicadas en zonas como El Limonar y La Loca en el Barrio Villatina, consideradas hoy día como inestables. Los errores en la concepción, diseño y ejecución de El Limonar, específicamente, impiden que en él se pueda garantizar la seguridad de las familias que lo habitan (Tamayo en Universidad Nacional de Colombia, 1993). El proyecto de El Limonar refleja los múltiples cambios operados sobre su diseño inicial, como lo es sacrificio de una estructura urbana funcional para dar paso a otra menos onerosa, además de comprometer los espacios destinados a infraestructura y equipamiento comunitario (Figuroa & Jaramillo, 1998).

Además de lo anterior, adicionalmente, están las condiciones del paisaje, tales como la falta de vegetación y las abundantes edificaciones de las zonas de reubicación frente al entorno natural de la zona de la tragedia.

El problema de la reubicación consiste, no sólo en brindar un techo donde la gente damnificada pueda establecerse, sino que también que constituye un proceso mucho más complejo que incluye planificar aspectos tales como la preparación de las familias para asumir las nuevas responsabilidades derivadas de la reubicación; pagar impuestos, servicios, y en casos como El Limonar, tener que pagar incluso una cuota por la vivienda (Coupé, 1997). Antes estas personas no tenían ninguna de dichas responsabilidades. Además muchas veces fueron reubicadas en zonas alejadas de su lugar de trabajo, lo que implica conseguir un nuevo empleo reubicarse laboralmente o pagar altos costos de transporte (Coupé, 2005, comunicación oral). De allí que se presente un descontento comprensible ya que son factores que agudizan ampliamente sus condiciones de pobreza.

Conclusiones

Todo se perdió, no había sensación de tiempo ni de lugar, no se sentía calor ni frío, hambre o sueño. Era un silencio, un silencio de muerte que invadía el ambiente que apenas permitía respirar porque era imposible contener las lágrimas ante tan aterradoras escenas.

Luz Mercedes Mejía
El Colombiano, Septiembre 29 de 1987

El deslizamiento de Villatina sucedió cuando Colombia todavía no se había recuperado de la gran tragedia ocasionada por la erupción del Volcán Nevado de Ruiz, dos años antes. Por esto muchos se preguntaron por qué se volvía a sufrir una catástrofe natural que aunque de menor magnitud, enlutaba al país y afectaba principalmente a los sectores más humildes de la población.

De nuevo, una vez más, las causas de esta tragedia no se deben simplemente a los caprichos de la naturaleza, sino también a fallas humanas, en la medida que de haberse tomado a tiempo las acciones necesarias para estabilizar la ladera donde se generó la catástrofe, posiblemente todo el dolor, la destrucción y la muerte ocasionados hubieran podido evitarse o al menos mitigarse en alto grado.

Aún así, hay que tener en cuenta que en la época en que sucedió la tragedia –1987– apenas se estaban empezando a conformar grupos técnicos de carácter municipal capacitados en el área de prevención y atención de desastres, por lo que no se contaba con estudios completos de la ciudad de Medellín que permitiesen establecer las zonas de alto riesgo. Hoy en día ya se dispone de diversos estudios de este tipo, entre los que se encuentra la Instrumentación y Microzonificación Sísmica del Área urbana de Medellín (Grupo de Sismología de Medellín, 1999), que han permitido establecer las zonas de alto riesgo no recuperables. Desafortunadamente, a pesar de los esfuerzos de las autoridades por divulgar y explicar a la población los riesgos que se corren en estas zonas, muchas de ellas siguen siendo habitadas por gran cantidad de personas que no tienen otro lugar a dónde ir, por lo que prefieren convivir con los riesgos naturales.

Referencias bibliográficas

- Bustamante, M., 1987. "Deslizamientos en Colombia, Villatina. Reconocimiento del deslizamiento ocurrido en el Barrio Villatina, Medellín el 27 de septiembre de 1987". En: Boletín de Vías, v.XIV, no.62. p.39-69
- Cárdenas, O. G. & Ramos, O., 1988. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 347 p.
- Coupé, F., 1997 Villatina: "Recuperación de la Memoria de una tragedia". En: Perspectivas Ambientales Urbanas. Simposio ciudad y Medio Ambiente. Compilador: Hernán Henao Delgado. Universidad de Antioquia. Instituto de Estudios Regionales (INER). Medellín. p.85-98.
- El Mundo, 7 de octubre de 1987. Página 1B. Medellín.
- El Colombiano, 29 de septiembre de 1987. Página 4B. Medellín.
- _____, 2 de octubre de 1987, Página 1A. Medellín.
- _____, 21 de octubre de 1987. Página 15A. Medellín.
- Figuroa, M. & Jaramillo, J. F., 1998. J. El Limonar: Una experiencia de reubicación habitacional para familias residentes en zonas de alto riesgo en la ciudad de Medellín. Trabajo de Grado. Universidad de Antioquia. Medellín, 235 p.
- Grupo de Sismología de Medellín, 1999. Instrumentación y Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín. Municipio de Medellín. Medellín.
- Restrepo, J. J. & Toussaint, J. F., 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. Memorias I Conferencia sobre Riesgos Geológicos del Valle de Aburrá. Sociedad Colombiana de Geología. Medellín. 20 p.
- Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura, 1993. Sistematización de la Intervención Municipal de Medellín en dos barrios localizados en zonas de riesgo. Alcaldía de Medellín. Programa de las Nacionales Unidas para el Desarrollo, PNUD. Proyecto COL. 88/010. 468 p.

6. 1988: El año de las grandes inundaciones

Max Henríquez

Resumen

Los eventos hidrometeorológicos constituyen el 97.4% del total de los desastres que se han presentado entre 1938 y 1988. Dentro de ellos las inundaciones son más frecuentes, debido principalmente a la intensidad de las temporadas lluviosas. La variabilidad climática interanual hace que algunos años sean mucho más lluviosos que otros, fenómeno que se acentúa con los eventos fríos-La Niña en el Pacífico. En este trabajo se analiza el año 1988, muy lluvioso y con desastres hidrometeorológicos en buena parte del país.

Palabras Clave: Desastres naturales, eventos hidrometeorológicos, variabilidad climática interanual, La Niña.

Abstract

On the base of the Historical Database on Natural Disasters of Colombia, hydrometeorological events represent 97.4% of natural disasters in Colombia, between 1938 and 1988. Flooding is the most frequent disaster, mainly during rainy seasons. Some very rainy years are explained by the interannual climate variability, but also by cold La Niña events in the Pacific Ocean. This article analyses year 1988, very humid and characterized by hydrometeorological in the entire country.

Key Words: Natural disasters, hydrometeorological events, interannual climate variability, La Niña.

Introducción

Las estadísticas de este trabajo se tomaron de la base de datos histórica de desastres de Colombia de la Dirección Nacional de Prevención y Atención de Desastres, dicha base se elaboró tomando como fuente las noticias de la prensa nacional de 1938-1988 actualizada a 2001.

Las inundaciones constituyen un alto porcentaje de los desastres de origen natural. Las inundaciones tanto súbitas como lentas en Colombia se presentan, generalmente, en los segundos meses de las temporadas lluviosas de años meteorológicamente normales, cuando los ríos se desbordan. Es el caso del río Magdalena, el más importante del país, cuyos mayores eventos de desbordamiento suelen ocurrir en noviembre y mayo (Fig.6.1, 6.2).

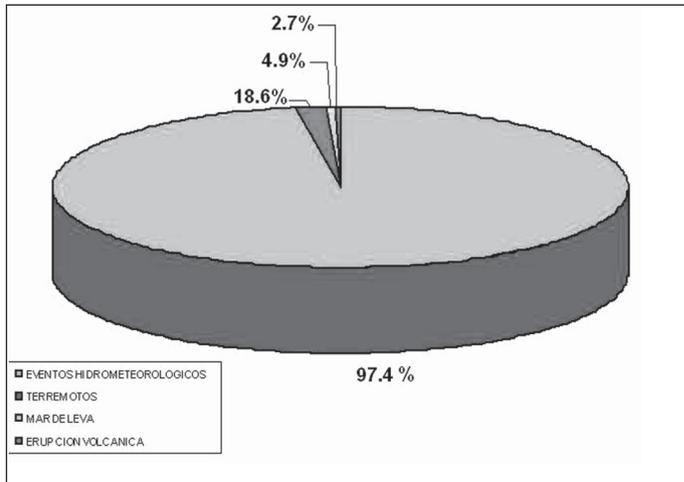


Fig.6.1. Total eventos de desastres naturales.

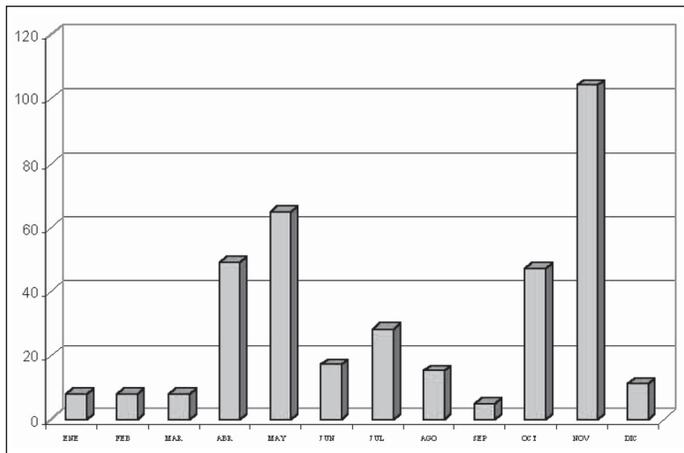


Fig.6.2. Total desbordamientos del Río Magdalena en el período 1936 a 1966.

Algunos ríos de los Llanos Orientales, de la región pacífica y del noroccidente del país, como el Sinú, presentan dinámicas diferentes, desbordándose hacia mediados de año principalmente (Fig.6.3).

La mayoría de los años más lluviosos está asociada con la ocurrencia en las aguas del océano Pacífico de los eventos de La Niña. Entre los más recientes los períodos de junio de 1970 a mayo de 1971, junio de 1973 a febrero de 1974, junio de 1975 a febrero de 1976, marzo de 1988 a marzo de 1989 y diciembre de 1998 a febrero del 2000 (Fig.6.4).

Este análisis sólo se refiere al año 1988 (área señalada por un recuadro dentro de la Fig.6.4) cuando Colombia sufrió grandes inundaciones que afectaron a casi una tercera parte de los municipios del país.

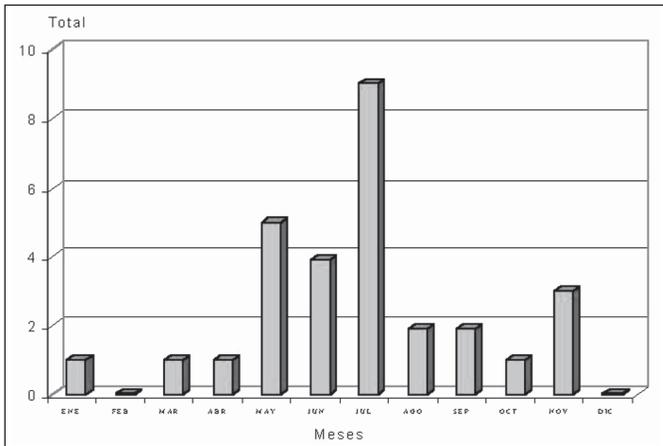


Fig.6.3. Total desbordamientos del Río Sinú en el período 1938 a 1988.

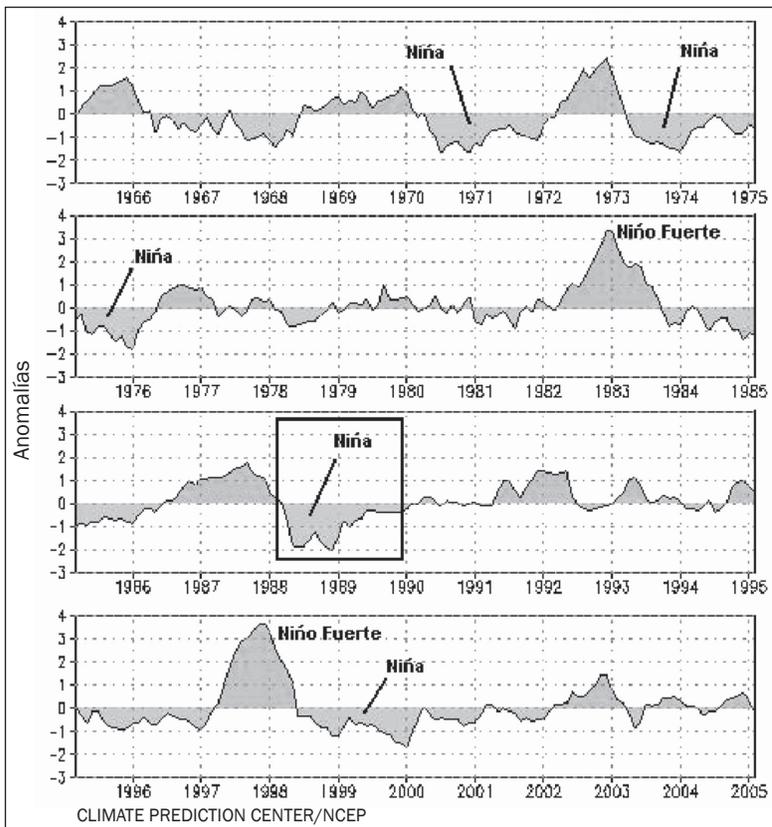


Fig.6.4. Eventos fríos y cálidos en el Océano Pacífico.

Comportamiento de las lluvias durante 1988 en Colombia

El mapa del total anual de las lluvias en 1988 (Fig.6.5) muestra que el comportamiento pluviométrico de ese año fue mayormente normal, pero en varios departamentos de la costa norte, sectores de Antioquia, Norte de Santander y de la zona cafetera, así como de la Amazonia, Cauca y Santander se registraron cantidades por encima de lo normal.

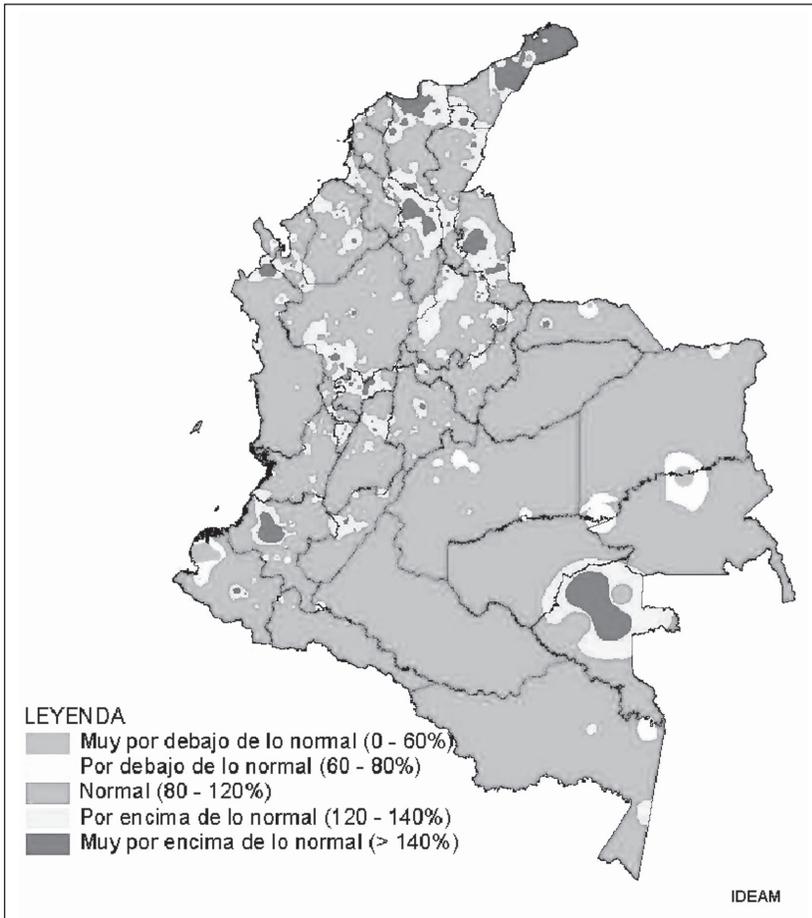


Fig.6.5. Total anual de lluvias en 1988.

Para el año 1988 se encuentran variaciones, mes a mes, de las lluvias que vale la pena detallar para comprender en qué meses se presentaron los excesos de agua que causaron los mayores desastres por inundación en las distintas zonas del país.

El primer trimestre estuvo deficitario en términos generales, con enero y marzo secos y febrero algo lluvioso o normal en la zona andina, el sur de la costa atlántica y la costa pacífica.

Abril fue lluvioso hacia el occidente y seco en el oriente del país. Mayo estuvo la mayor parte del tiempo normal, aunque con zonas con déficit de agua, principalmente sobre las cordilleras oriental y central, y junio con amplias zonas con excesos de lluvias en las regiones andina y caribe.

En el segundo semestre las lluvias se hicieron más copiosas y generalizadas, en especial en junio, agosto y septiembre, las regiones caribe, andina y pacífica estuvieron más lluviosas de lo normal.

El último trimestre también fue muy húmedo. Octubre fue lluvioso, con excesos en varios departamentos de la costa norte. Este es uno de los meses más lluviosos del año en condiciones normales. Noviembre fué quizás el más lluvioso del año con excesos de agua en todas las regiones del país. Diciembre también recibió mucha lluvia.

Los huracanes y su incidencia en el clima de Colombia

Habitualmente las temporadas llamadas "invernales" en Colombia dependen en gran medida de cuantos huracanes se hubieran presentando en la temporada de junio a noviembre y de la cercanía al país y su trayectoria. Estos sistemas ciclónicos del Caribe y Atlántico tienen una gran incidencia en el tiempo y clima colombiano, ya que, determinan la circulación atmosférica en amplias zonas adyacentes a ellos y el potencial de lluvias. Mientras más huracanes se presenten, más lluviosas serán las temporadas "invernales". Cuando un huracán pasa por la zona de influencia meteorológica colombiana, se disparan los mecanismos naturales de producción en algunas zonas. Cuando uno de ellos se acerca mucho a nuestro país, produce eventos extremos y cantidades de agua muy apreciables. Sin embargo, cuando circulan a 2.000 o más kilómetros de distancia, también inducen la ocurrencia de unos sistemas de baja presión que dan lugar a la precipitación.

Un huracán es como una central de energía eléctrica. Hace circular hacia un mismo centro centenares de millones de toneladas de aire a más de 200 km/h, en algunos casos a más de 300 km/h, generando de 300 a 400 mil millones de kilovatios/hora de energía por día y precipitaciones de 10 a 20 mil millones de toneladas de agua diariamente. Un huracán es un enorme sistema que bombea cantidades muy grandes de aire cálido y húmedo a niveles altos de la atmósfera, a muy altas velocidades (Fig.6.6).

Pueden tener diámetros de hasta 1500 km y su promedio de vida es de 9 días. La temporada de huracanes se extiende todos los años desde junio hasta finales de noviembre para la zona del mar Caribe, golfo de México y el océano Atlántico. Un huracán es un remolino que gira en dirección contraria a las manecillas del reloj (en el hemisferio norte) y que se forma en los trópicos sobre océanos con temperaturas superiores a 27°C, entre las latitudes 5 y 20 grados al norte y sur del Ecuador.

Es de anotar que en el Atlántico sur, frente a las costas de Brasil, en marzo del 2004, se formó un huracán de nombre Catarina, el primer huracán de que se tiene constancia en esta parte del planeta, desde los primeros registros de satélites geoestacionarios en 1966 (Fig.6.7). Catarina fue una evidencia más del cambio que se está dando en el clima mundial, ya que nunca antes en la historia se había formado un sistema de estos en ese sector del hemisferio suramericano. Este huracán llegó a tierra por la costa sur de Brasil, al Estado de Santa Catarina el 28 de marzo de 2004 y causó graves daños materiales y la pérdida de varias vidas.

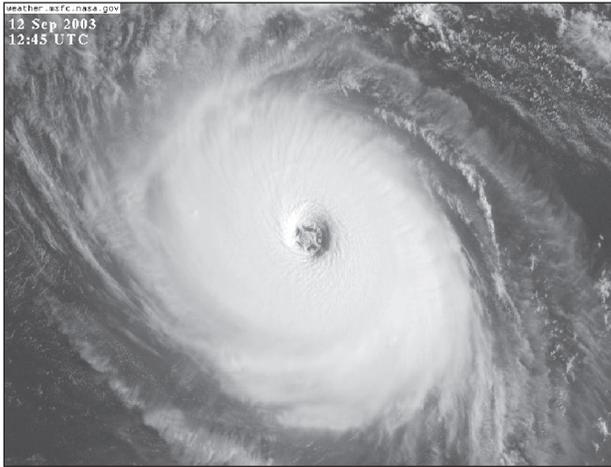


Fig.6.6. Huracán intenso.

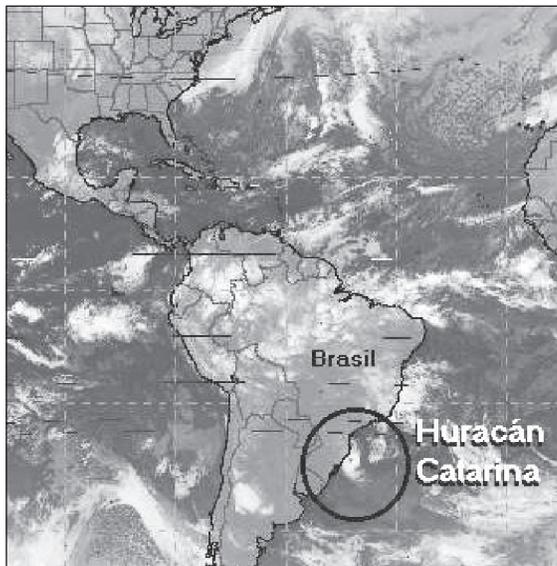


Fig.6.7. Huracán Catarina en Brasil.

La temporada de huracanes de 1988 en el Caribe y Atlántico

En el año de 1988, la temporada de huracanes comenzó el 5 de agosto con la formación de la tormenta tropical Alberto cerca a las costas africanas. No prosperó y desapareció sobre aguas del Océano Atlántico, lejos de las costas de Suramérica. En el golfo de México la tormenta se llamó Beryl. Luego se formaron varias depresiones tropicales, tormentas y huracanes incluyendo al Huracán Gilbert, que comenzó como una onda tropical el 3 de septiembre de 1988, en la costa norte de África. Seis días más

tarde, el sistema había cruzado el Atlántico y se había convertido en tormenta tropical. El 14 de septiembre azotó la península de Yucatán en México, como un huracán de categoría 5. La presión barométrica registrada en el interior de Gilbert fue la más baja jamás registrada en el hemisferio occidental con 888 mb, lo que convirtió a este huracán en el más intenso de la historia en la zona (Fig.6.8).

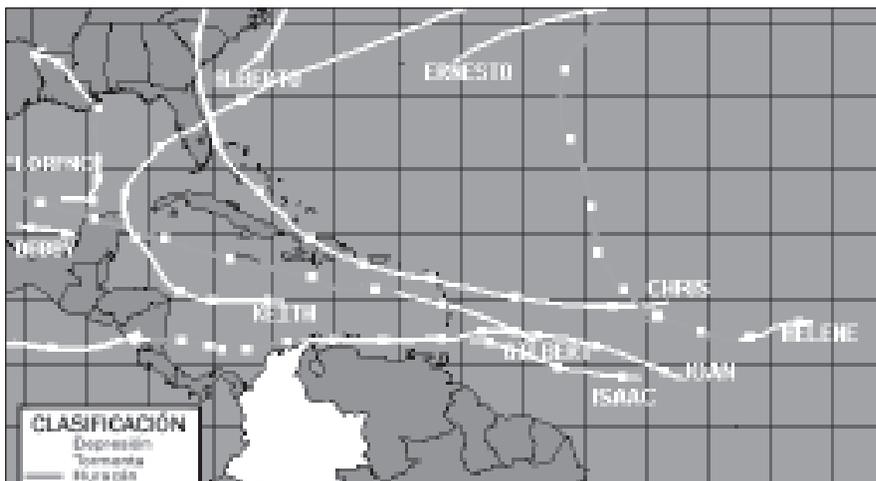


Fig.6.8. Trayectoria de los huracanes de 1988.

Siguió Helene que como huracán no alcanzó a ocasionar daños en zonas habitadas ya que su curso lo llevó hacia el Atlántico norte. Y llegó octubre de 1988 que será recordado por todos los colombianos como el "Joan".

El domingo 16 de octubre en la noche y el lunes 17 en la madrugada, cruzó la Guajira, al norte de Castilletes, con vientos de solo 85-90 km/h. Era una tormenta tropical y su paso duró unas 10 a 15 horas sobre la península. Sus efectos fueron graves. Uribia, la capital indígena, quedó bajo las aguas y muchas casas fueron destruidas. Nadie imaginó que esa ciudad de la Guajira, situada en medio del desierto, con 20 años de permanente sequía, presentara lluvias durante 40 horas seguidas. La vía entre Riohacha y Manaure, la Transversal del Caribe, quedó interrumpida en 14 tramos distintos.

El lunes 17 de octubre Joan salió del territorio guajiro unos kilómetros al sur de Puerto Bolívar en Bahía Portete, cuando su presión atmosférica era de 995 milibares y los vientos de 97 km/h. Ese día marcó un hito en la historia meteorológica colombiana, ya que por primera vez un sistema ciclónico de estos cruzaba la península tierra adentro. Dejó 5 personas desaparecidas y, por lo menos 400 damnificados en Uribia. Allí el alcantarillado que había sido entregado dos días antes quedó destruido por la creciente del arroyo de Maraňamana. En Manaure, ubicada sobre la costa, se presentó un mar de leva de más de 2 metros.

Al día siguiente tomó rumbo al suroeste y se movió amenazante sobre el mar a unos 145 km frente a Santa Marta, Barranquilla y Cartagena. Se convirtió en huracán al aumentar sus vientos hasta 130 km/h.

Efectos socio económicos del paso del Joan y de la temporada invernal

Por causa de Joan los aguaceros de 17 horas de duración y el mar de leva inundaron a Cartagena y los habitantes de La Boquilla, un pueblo de pescadores a pocos kilómetros de esta ciudad, vieron como el mar se llevaba sus casas. Hubo 500 familias damnificadas allí. También hubo desbordamiento en la ciénaga de La Virgen: cubriendo a los barrios pobres ubicados al sur de Cartagena que quedaron convertidos en una Venecia. Algunas casas ubicadas sobre el cerro de La Popa se cayeron. En esta ciudad fue decretada la emergencia económica, social y sanitaria para atender a unas 25 mil personas residentes en 20 barrios populares inundados por el fuerte oleaje.

Quizá la situación más grave del departamento la vivió El Carmen de Bolívar, ya que 8 personas murieron y 15 fueron reportadas como desaparecidas a consecuencia de la creciente y las inundaciones provocadas por la quebrada Alférez en el casco urbano de esa población. 7 barrios quedaron inundados y hubo 5 mil damnificados. 697 casas fueron destruidas y 1768 averiadas afectando al 40% de la población. 21 de las 22 ladrilleras quedaron destruidas y en los cultivos de tabaco las pérdidas se estimaron en 700 millones de pesos. El puente que comunica a El Carmen con Ovejas se derrumbó.

En el departamento del Magdalena se inundaron 14 municipios por los desbordamientos del río Magdalena. Sitionuevo, Remolino, Salamina, El Piñón, Pivijay, Cerro de San Antonio, Pedraza, Tenerife, Plato, Santa Ana, San Zenón, Guamal, San Sebastian y El Banco tuvieron que aplicar medidas de emergencia ya que numerosas familias quedaron damnificadas. En Santa Marta el mar de leva ocasionó la destrucción de un barco de la Universidad Tecnológica del Magdalena. Las olas superaron los 6 metros de altura. Hubo 5.000 damnificados en Plato y en el municipio de Cerro de San Antonio el caño El Zumbón se desbordó e inundó la población. El río Ariguaní que nace en la Sierra Nevada de Santa Marta también se desbordó ocasionando, en El Difícil, graves inundaciones que dejaron un desaparecido y 78 casas inundadas. Olas de 5 metros erosionaron las playas del departamento del Atlántico como Pradomar, Salgar, Puerto Colombia, Santa Verónica y Sabanilla.

Aparte del efecto directo del Joan sobre las costas del norte del país, también hubo desastres en el interior del territorio por las lluvias. Se presentaron deslizamientos sobre las vías de Pereira hacia Tarapacá y Marsella. Hubo una creciente del río Risaralda que dañó la banca de la vía Cerritos-Canoya. También las carreteras hacia el Chocó sufrieron destrozos. En Antioquia y Norte de Santander, el 80% de las vías quedaron interrumpidas por el invierno asociado al paso del Joan.

Cerca de 130 mil personas sufrieron el drama de las inundaciones de los ríos Sinú y San Jorge, pues desde agosto el invierno fue fuerte en Córdoba y Sucre. El paso del huracán Joan volvió a ocasionar crecientes y desbordamientos que inundaron miles de hectáreas de cultivos en estos departamentos eminentemente agrícolas. Este año fue el más catastrófico de la historia en Córdoba, Sucre y, en general, en el país por la oleada invernal que comenzó desde agosto y que recibió una estocada final con el paso del huracán Joan.

Éste ocasionó daños materiales en residencias y locales comerciales así como en la infraestructura de los servicios públicos de la isla de San Andrés, donde pasó antes de

entrar a Nicaragua. El 21 de octubre, a la 1:15 pm, Joan tuvo su máximo acercamiento pasando a 90 km al sur de la isla. Los fuertes vientos destruyeron la torre de Inravisión y la antena del aeropuerto Sesquicentenario. Se cayeron las redes de energía eléctrica y los equipos de telefonía quedaron bajo el agua. El balance de la Oficina de Atención y Prevención de Desastres de la Presidencia de la República indicó que hubo 3 kilómetros de vías costeras destruidas y cerca de 550 casas quedaron sin techo. 32 fueron dañadas totalmente y otras 15 parcialmente. El 90% de los postes del alumbrado en un tramo de 17 kilómetros sufrieron perjuicios. El 80% de los planteles de primaria y el 25% de los de secundaria tuvieron daños de consideración en las cubiertas. Hubo pérdidas en los cultivos de coco, yuca y maíz. No hubo muertos ni heridos gracias a las alertas previas. Los daños se calcularon en 1.000 millones de pesos.

Histogramas de lluvias en varias estaciones meteorológicas

En casi todas las ciudades del país las lluvias excedieron los valores promedio de lluvia en el segundo semestre de 1988, confirmando la intensidad de una temporada invernal muy fuerte en ese año.

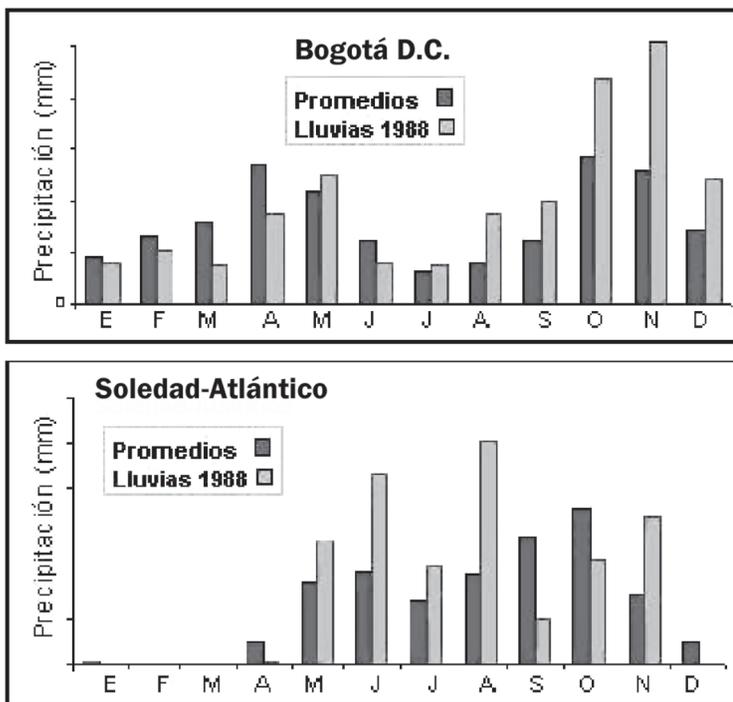


Fig.6.9. Histogramas de lluvias promedio vs 1988 de algunas ciudades.

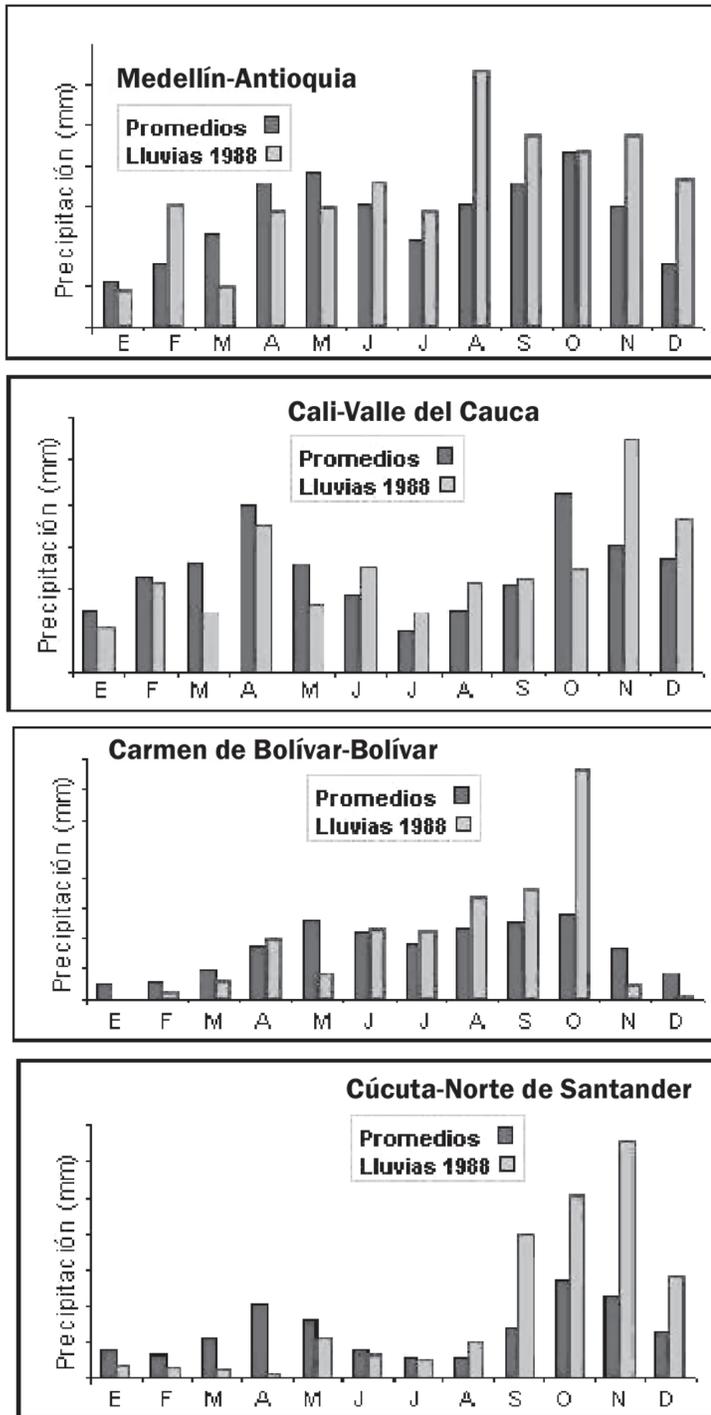


Fig.6.9. Histogramas de lluvias promedio vs 1988 de algunas ciudades.

Conclusiones

Colombia es un país que recibe mucha precipitación por su ubicación en la franja ecuatorial y porque las cordilleras se extienden de sur a norte facilitan un altísimo número de eventos hidrometeorológicos extremos que caracterizan al país.

Esto amerita crear una cultura alrededor del agua y que el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres se esté cada año preparado para afrontar el costo que implica las temporadas invernales. También debe el país crear capacidad científica de seguimiento de los eventos reforzando entidades, como el IDEAM.

En los últimos años y como consecuencia de la mayor variabilidad climática, se han registrado volúmenes de lluvia muy superiores a los observados en décadas anteriores, lo que parece confirmar un posible cambio climático de imprevisibles consecuencias, golpeada también por otros fenómenos socioeconómicos y políticos que empujan a la miseria a un número cada vez mayor de comunidades.

Referencias bibliográficas

- Allan, R., Lindesay, J. & Parker, D., 1996. El Niño Southern Oscillation and Climatic Variability.
- Henríquez, M., DPAD, 2002. Base de datos histórica de desastres de Colombia.
- ISA, Henríquez, M., 1997. Impacto de los Huracanes en las lluvias y los caudales de Colombia.
- Neumann, Ch., Jarvinen, B. R. & Pike, A. C., NWS-NHC Joe D. Elms, NCDC-NOAA, 1987.
- Tropical Cyclone of the North Atlantic Ocean 1871-1986. Asheville-NC.
- Whitfield, P., 1991. Atlas de los fenómenos naturales. Barcelona.

7. El evento convulsivo de San Carlos (Antioquia), septiembre de 1990: enseñanzas sobre la amenaza, el riesgo y la seguridad civil

Elkin Velásquez & Michel Hermelin

Resumen

El evento convulsivo de la cuenca alta del río San Carlos (Antioquia), en 1990, fue desencadenado por un aguacero torrencial de 231 mm que cayó en la noche del 21 de septiembre. Se presentaron varias centenas de deslizamientos, una avenida torrencial y un fuerte socavamiento de cauces. Las consecuencias catastróficas incluyeron varias decenas de muertes, unas 260 personas evacuadas y 57 casas entre destruidas y averiadas. Varios puentes resultados dañados y la Central Hidroeléctrica de Calderas fue destruida por la inundación y el impacto de grandes bloques transportados por la avenida torrencial. Las pérdidas alcanzaron US\$6.000.000. Este evento dejó varias enseñanzas en cuanto a la consideración y los desafíos que sobre el manejo de los riesgos naturales deben incorporarse en nuevas políticas orientadas a la construcción de esquemas de prevención de desastres y seguridad civil sustentados en la co-responsabilidad.

Palabras claves: Evento convulsivo, avenida torrencial, desastres naturales, amenazas naturales, riesgos naturales, seguridad civil.

Abstract

A 230 mm rainstorm which fell on September 1990 in the upper catchment of San Carlos River located 100 km east of Medellín, in the Central Cordillera, Colombia was the origin of a convulsive event. This event included hundred of mass movements, channel widening and deepening, a flash flood and large amounts of transported sediments. As consequence of this catastrophic event, tens of people died and 260 more were evacuated; 57 houses and several bridges were damaged and the hydroelectric plant of Calderas was severely damaged. Losses reached US\$6.000.000. This event implies new knowledge and lessons about research and management of natural hazards and risks as well as about new policies on disasters prevention and civil security.

Key words: convulsive event, torrential floods, natural disasters, natural hazards, natural risks, civil security.

Introducción

Este trabajo sintetiza los aspectos más relevantes del desastre natural que afectó al Oriente Antioqueño el 21 de septiembre de 1990. Al mismo tiempo, además de la presentación de las principales características físicas de este fenómeno, se presentan algunas

reflexiones sobre enseñanzas que esta catástrofe pudo haber dejado a técnicos y quienes tienen poder de decisión.

El contexto geográfico

El evento afectó la cuenca alta del río San Carlos, localizada en la parte oriental de la Cordillera Central, en el municipio de San Carlos, situado unos 100 km al este de Medellín (Fig.7.1). La cuenca presenta elevaciones desde 1000 hasta 1800 msnm. El río San Carlos mostró, en noviembre de 1982, un caudal de 12 132 m³/s (medido en el sitio El Popo, 2 km aguas abajo del casco urbano de San Carlos). Para la quebrada Arenosa, que hace parte de la cuenca alta del San Carlos, el caudal medido cerca al puente de Dosquebradas (Fig.7.1) fue de 0.826 m³/s (UNAL-ISA, 1984).



Fig.7.1. Localización del área del evento convulsivo de San Carlos (Antioquia).

El clima de la zona está influenciado por la latitud (6° N) y por el relieve que actúa como barrera para las masas de aire húmedo que llegan del este provenientes del valle del río Magdalena. La temperatura media anual de la zona es de 21.8°C. La precipitación media anual es de 4344.8 mm en la zona de la Central Hidroeléctrica de Calderas y de 5000 mm en las partes más altas. Se presentan períodos lluviosos en abril y octubre.

Según la clasificación de Holdridge (Espinal, 1977), el área pertenece a la formación vegetal o zona de Bosque muy húmedo Premontano (bmh-Pm).

La cuenca está ubicada en la región conocida como Oriente Antioqueño, la cual gracias a su geología, su topografía y su clima ha sido objeto de un importante desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Uno de estos proyectos es el de Calderas, localizado en la cuenca alta del río San Carlos. Este proyecto aprovecha la caída de agua originada por la desviación del río Calderas que ayuda a mantener un nivel de caudal en el Embalse de Punchiná, situado 25 km aguas abajo y que genera energía en la Central Hidroeléctrica de San Carlos.

La cobertura vegetal de la zona, antes del evento, incluía bosques secundarios, café, caña de azúcar, pastos y rastrojos. La economía de la región se ha basado tradicionalmente en la ganadería y la agricultura. Existen además antecedentes de minería aluvial extensiva.

Descripción y análisis del evento convulsivo

Se ha acordado la denominación de evento convulsivo (Clifton, 1988; Hermelin & Velásquez, 1993) para aquellos eventos catastróficos de alta liberación de energía que han involucrado, en la mayoría de los casos, procesos concatenados. El de San Carlos corresponde a un evento convulsivo dada la avenida torrencial de gran magnitud y los movimientos de vertiente de diferentes tipos y en gran cantidad (varios centenares). Este evento fué desencadenado por una fuerte precipitación concentrada en pequeñas cabeceras de cuencas. En otros casos, en Colombia y en el mundo, han sido sismos de cierta magnitud los desencadenadores de eventos convulsivos. Varios eventos que pueden ser catalogados como convulsivos se han presentado en Colombia en los últimos años e incluso algunos de ellos son presentados en esta obra: Murindó, 1992 (Martínez et al., 1994), Río Tapartó, 1993, Páez, 1994 (Martínez et al., 1995) y Piedrahita & Hermelin, 1996), entre otros.

Tratándose de eventos que los estudios geomorfológicos existentes en el país no habían considerado como importantes modificadores del paisaje y, sobretodo, como generadores de grandes catástrofes, es de suma importancia registrar su ocurrencia, sus características y sus consecuencias. Dicho análisis retrospectivo es importante no sólo en el análisis del modelado de las montañas húmedas tropicales, sino también como aporte necesario para los análisis de la amenaza, el riesgo y la seguridad civil.

La lluvia torrencial

La lluvia torrencial comenzó a las 20:00 del 21 de septiembre y en las siguientes tres horas cayeron 208 mm; 23 mm más cayeron entre las 23:00 y las 4:00 del día siguiente. Estos 231 mm equivalen al 5% de la precipitación anual de la cuenca alta del río San Carlos (unos 5.000 mm). Con base en la localización de los fenómenos de remoción en masa que se produjeron (Fig.7.1) se estimó que el área sobre la cual cayó la parte más intensa del aguacero fue de unos 11 km² que comprenden las subcuencas de las quebradas Betulia, Arenosa, Alejandría, Tupiada y El Sapo. No existían datos históricos de precipitaciones similares en el área, que ha sido ocupada sólo desde hace unos dos siglos. Un evento torrencial de magnitud considerable ocurrió hace cerca de 40 años, resultando destruidos

dos puentes de madera en el propio casco urbano de San Carlos. La instrumentación meteorológica instalada que había funcionado por cerca de dos décadas no había registrado eventos de tal magnitud.

El flujo torrencial

El flujo torrencial provocado por el aguacero estuvo también controlado en cuanto a sus características por la serie de procesos geomorfológicos que tuvieron lugar, en particular por el material incorporado tras el socavamiento de orillas y de lecho, así como el generado por los movimientos de remoción en masa. A partir de los datos de volumen de material movilizado y del tiempo y volumen del aguacero, Velásquez & Mejía (1991) estimaron un flujo torrencial con una proporción aproximada de agua a sedimentos de 3:1 y con un caudal promedio de $174 \text{ m}^3/\text{s}$, durante 3 horas. A partir de los valores de densidad del material movilizado y de las proporciones de agua a sedimentos, se puede obtener una densidad promedio para el flujo de 1.35 ton/m^3 , lo que permitió clasificarlo como un flujo denso. La carencia de un mayor número de estaciones meteorológicas en la zona de estudio no permitió, sin embargo, mayores precisiones en cuanto a la homogeneidad en la distribución areal de la precipitación.

Sobre el principal trayecto afectado del río San Carlos, Velásquez & Mejía (1991) reconocieron dos grandes dominios hidráulicos (Fig.7.2): Un primer dominio hidráulico, entre el nacimiento de la quebrada Betulia y la central de Calderas, en el que se incorporaron a la corriente los materiales provenientes de flujos, socavamiento y deslizamientos. El alto gradiente hidráulico de ese tramo facilitó las condiciones para que la turbulencia fuera máxima. En un segundo dominio, entre la central y el municipio de San Carlos,

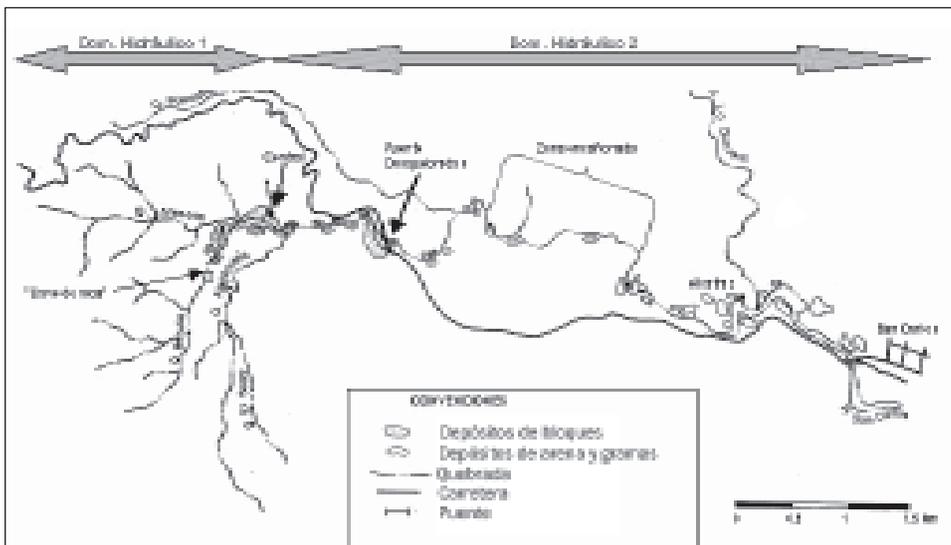


Fig.7.2. Dominios hidráulicos de la crecida en la cuenca alta del río San Carlos y distribución de depósitos.

con una disminución en el gradiente y con un ensanchamiento natural del cauce, se caracterizó por la depositación de la mayor parte del material grueso.

En el primer dominio hidráulico, el flujo arrastró materiales de diversos tamaños, desde arcillas hasta bloques con diámetros equivalentes de 8 m con un peso estimado de 700 ton. Partiendo de los modelos clásicos de transporte de sedimentos (arrastre de fondo, saltación y suspensión para materiales desde gravas hasta arcillas) y guardando las proporciones para este evento, resulta normal que un flujo de densidad 1.35 ton/m^3 que moviliza cuerpos de 700 ton en arrastre de fondo, pueda transportar perfectamente bloques de 2 ton de peso como carga de saltación e incluso de suspensión. En el segundo dominio la disipación energética del flujo ocurrió debido a varios factores : los sitios de caída en el perfil longitudinal localizados en una garganta o "llave de roca" (ver Figura 7.2), la rugosidad del lecho del río, la acción cortante sobre los depósitos, ciertas barreras topográficas y el arrastre de carga.

Procesos geomorfológicos asociados al evento

El evento asoció varios procesos geomorfológicos diferentes: varios centenares de movimientos de masa se desencadenaron sobre las vertientes más inclinadas (Fig.7.3) independientemente del uso del suelo. Varias zonas fueron fuertemente socavadas por la creciente (Fig.7.4) y a partir de allí una gran cantidad de material fue removilizada y depositada a lo largo del río (Fig.7.2), diferenciándose depósitos de bloques (Fig.7.5) y de arena (Fig.7.6) en una especie de gradación granulométrica longitudinal.



Fig.7.3. Ejemplo de concentración de fenómenos de remoción en masa (Fotografía E. Velásquez).



Fig. 7.4. Ejemplo de socavación de cauces (Fotografía E. Velásquez).



Fig. 7.5. Ejemplo de depósitos de bloques en quebrada La Arenosa, en alrededores de la Casa de Máquinas de Calderas (Fotografía E. Velásquez).

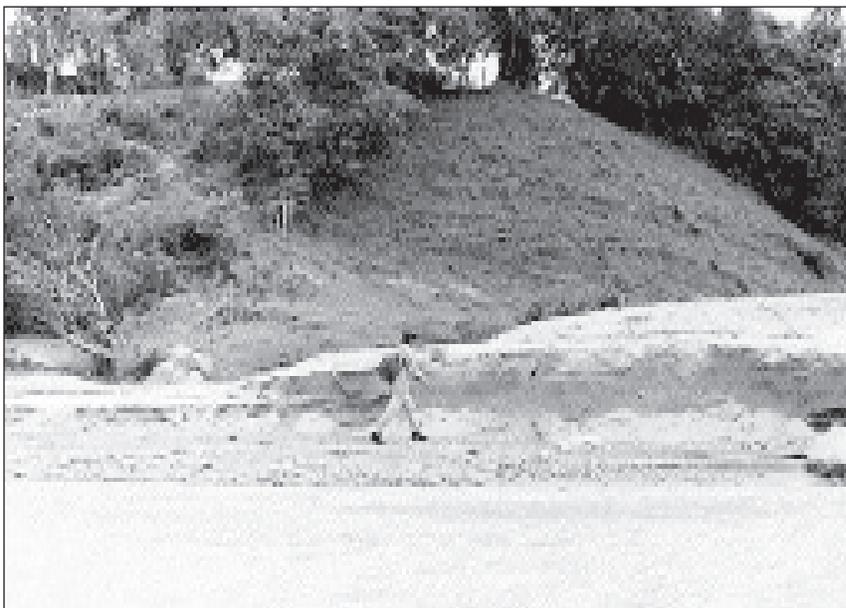


Fig.7.6. Depósitos de arena sobre el río San Carlos (Fotografía E. Velásquez).

Igualmente, se presentaron cambios en el nivel base del río. En unas áreas el nivel base disminuyó a causa del socavamiento de los cauces, mientras que en otras aumentó debido a la acumulación de material en el lecho. En las zonas en que el nivel base disminuyó, varios afluentes quedaron colgados hasta en 20 m (Fig.7.7). Este descenso también provocó el abatimiento local del nivel freático, por lo que se secaron pequeños tributarios paralelos a las quebradas.

Dada su magnitud, varios de los procesos geomorfológicos asociados a este evento convulsivo ameritan un análisis particular:

- **Los fenómenos de remoción en masa:** en la zona del evento se reconocieron dos tipos genéricos de fenómenos de remoción erosión en masa: movimientos de vertientes y movimientos de masa por socavamiento de quebradas (Velásquez et al., 1991). Los movimientos de vertiente ocurrieron en número de varios centenares sobre las laderas de las cuencas de las quebradas Betulia, Arenosa y Alejandría, y de los afluentes del río Calderas. Sobre fotografías aéreas (Fig.7.8) de octubre de 1990 se contaron 838 de estos movimientos. El área cubierta por los movimientos de vertiente fue de unos 11 km², con una densidad de 76.4 movimientos por km². Se distinguieron tres tamaños preferenciales para los movimientos: 2000, 1000 y 300 m³.
- **Movilización de material:** el volumen de sedimentos depositados entre la Central de Calderas y el casco urbano de San Carlos fue estimado a partir de fotografías aéreas de octubre de 1990 a escala 1:7.800, con ayuda de una inspección de campo. Para los depósitos de bloques Velásquez & Mejía (1991) estimaron un volumen de 170 000 m³; los de arenas fueron evaluados de 130 000 m³. Se estima que entre San Carlos y el Embalse de Punchiná, la cantidad de arena depositada es, al menos, el doble de la depositada aguas arriba de la población.

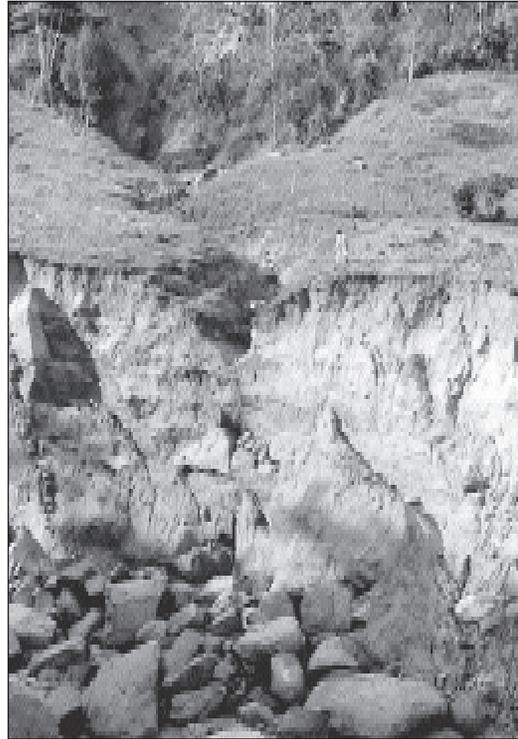


Fig. 7.7. Afluentes "colgados" en tramos de socavamiento máximo en la quebrada Betulia (Fotografía E. Velásquez).

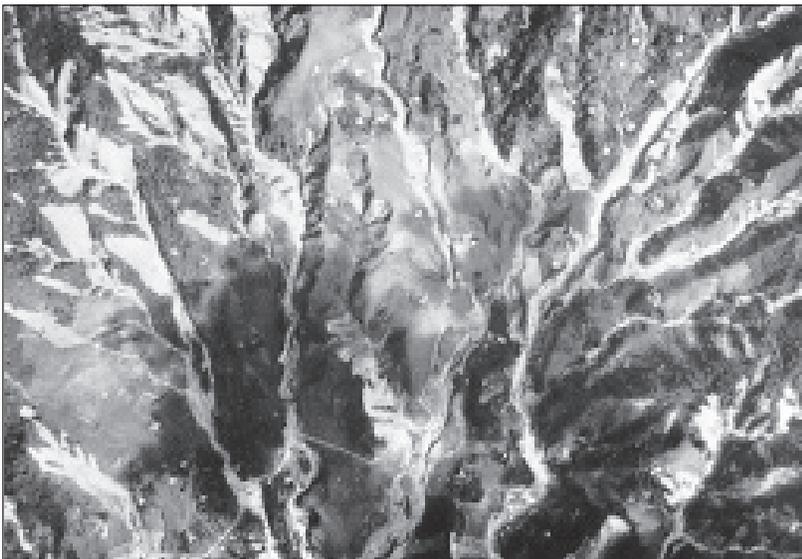


Fig. 7.8. Fotografía aérea de la densidad de fenómenos de remoción en masa en la cuenca de la quebrada Betulia (Fotografía de Interconexión Eléctrica S.A., ISA).

A modo de comparación, de acuerdo con el informe de sedimentación en el embalse de Punchiná, la tasa anual de acumulación de sólidos es de 0.88 Mm^3 en todo el embalse. En abril de 1991, seis meses después del evento, la empresa ISA (Interconexión Eléctrica S.A) realizó un levantamiento batimétrico de 10 secciones en la entrada del río San Carlos al embalse, sobre un trayecto de 1940 m. El volumen acumulado en este tramo del embalse, desde septiembre de 1989 hasta abril de 1991 (1.5 años), fue aproximadamente de 0.77 Mm^3 , es decir 0.11 Mm^3 por debajo de la acumulación total anual en todo el embalse.

Con base en las mediciones de caudales líquidos y sólidos en suspensión en el río San Carlos, Velásquez & Mejía (1991) estimaron el aporte anual de sedimentos al embalse en un promedio de 0.025 Mm^3 . De esta forma, el aporte de los seis meses comprendidos entre la fecha de la creciente y la fecha de la batimetría fue de 0.74 Mm^3 , equivalente al 84% de la sedimentación total del embalse en un año o del 3.1% del volumen muerto del embalse (24 Mm^3).

- Denudación equivalente del evento. Mejía & Velásquez (1991) estimaron que el total de material proveniente de los movimientos de vertiente fue entre 600 000 y 800 000 m^3 . Esto quiere decir que el evento convulsivo produjo una denudación de 70 mm en el área afectada de 11 km^2 . Si se tiene en cuenta que la tasa de denudación de la zona es de 0.78 mm/año, según se deduce de estudios de cenizas volcánicas con una corrección por relieve montañoso realizado para la cuenca del río San Carlos (Universidad Nacional-ISA, 1984), se puede afirmar que el volumen de material movido durante el evento fue 90 veces la cantidad de sedimentos producidos por la misma área en un año, y casi tres veces lo que produce la totalidad de la cuenca del río San Carlos (363 km^2) anualmente.

En total, el volumen de material removido durante el evento se estima en 1.15 Mm^3 , de los cuales 0.8 Mm^3 provienen de los movimientos de vertiente, y 0.35 Mm^3 de la socavación de cauces. El volumen total sería mayor si se tiene en cuenta la cantidad de material del lecho que fue removilizado. Por otra parte, los cálculos del material sedimentado arrojaron estimaciones de 0.3 Mm^3 de material entre la Central de Calderas y San Carlos (0.17 Mm^3 de bloques y 0.13 Mm^3 de arenas); al menos 0.26 Mm^3 se depositaron entre San Carlos y la cola del embalse. Según los datos de ISA, el material depositado en el embalse fue de 0.74 Mm^3 . El total de material sedimentado a raíz del evento fue de 1.3 Mm^3 , valor comparable con el del material erosionado. Con la cantidad de sedimentos producidos por movimientos de vertientes y socavamiento de orillas, la vida útil del embalse de Punchiná, ubicada aproximadamente 25 km aguas debajo de la zona del evento, se ha visto disminuida en forma apreciable.

La recurrencia del evento en la zona

No es fácil en Colombia hacer análisis estadísticos de recurrencia para este tipo de eventos dado que las series de registros meteorológicos y limnimétricos no permiten realizar análisis pertinentes más allá de 20 años a escala de pequeñas cuencas. Incluso, es normal que no se cuente con la más mínima instrumentación para el registro de eventos pluviométricos o torrenciales.

En el caso de San Carlos, el registro sedimentario en los depósitos recientes permitió estimar una recurrencia mínima para este tipo de eventos convulsivos de carácter torrencial (Velásquez et al., 1992). Las cenizas volcánicas presentes entre la secuencia de depósitos torrenciales fueron correlacionadas con otras de la región de edad conocida. Estas correlaciones permitieron establecer que al menos dos eventos torrenciales de gran magnitud han ocurrido en la cuenca de San Carlos en los últimos 10.000 años. Al menos tres eventos más habrían ocurrido entre 10.000 y 20.000 B.P

Síntesis de efectos socioeconómicos del evento

Este evento convulsivo tuvo efectos graves sobre la población del municipio de San Carlos. La síntesis de las consecuencias catastróficas incluye varias decenas de muertes, unas 260 personas evacuadas, 27 casas destruidas y 30 más averiadas.

Varios puentes resultaron seriamente afectados, así como una porción de la ruta de acceso al municipio. Adicionalmente, la central hidroeléctrica de Calderas fue casi destruida como consecuencia de la inundación y por los bloques de gran tamaño transportados por la avenida torrencial (Fig.7.5 y 7.9). En su momento las pérdidas económicas fueron estimadas en más de US \$6.000.000. Se incluye también la disminución de la vida útil de la central hidroeléctrica de San Carlos, una de las más importantes del sistema de interconexión colombiano, debido a la alta sedimentación en el embalse de Punchiná.



Fig.7.9. Detalle de bloques que afectaron la Casa de máquinas de Calderas. Los bloques ya habían comenzado a ser dinamitados y removidos. (Fotografía E. Velásquez).

Enseñanzas sobre la amenaza, el riesgo y la seguridad civil

Enseñanzas sobre la amenaza

En retrospectiva, el evento convulsivo de San Carlos, sumado a las enseñanzas de otros eventos de estas características, permite identificar algunos parámetros que deben ser tenidos en cuenta al momento de analizar la amenaza que representa este tipo de eventos en otras cuencas del trópico húmedo de montaña. Los trabajos de Hermelin et al. (1991, 1992), Velásquez & Mejía (1991), Velásquez et al. (1991, 1992 y 2002) permiten plantear los siguientes puntos:

- La ubicación geográfica en una zona que meteorológicamente presenta una influencia fuerte de las corrientes de convección (en este caso de las que circulan por el Valle del río Magdalena).
- Una precipitación anual muy alta, entre 4000 y 5000 mm.
- Un paisaje caracterizado por unidades geomorfológicas con pendientes fuertes a moderadas, fuertemente disectadas y con geoformas que como los anfiteatros, permiten una rápida concentración del agua de escorrentía.
- Unos suelos en las vertientes con poco espesor y con claros contrastes de permeabilidad en las interfases suelo-roca, suelo-saprolito y en horizontes más bioturbados con respecto a los horizontes inferiores.
- La marcada presencia en las laderas de rasgos como las cicatrices de movimientos de masa en cantidad importante, que evidencian gran actividad de remoción en masa en el pasado.
- La presencia de unidades geomorfológicas de depósitos torrenciales, muy susceptibles al socavamiento.
- Un registro estratigráfico importante en cuanto a depósitos torrenciales y de ladera que permita deducir la ocurrencia de eventos torrenciales importantes en el pasado.
- Una gran cantidad de fuentes de sedimentos: depósitos torrenciales y de ladera, saprolito, gruss, roca diaclasada y material del lecho.
- Algunos parámetros morfométricos de las cuencas que indiquen tiempos muy bajos para la concentración de caudales pico.

En este sentido, el aporte de la geología a la observación de la ocurrencia de eventos convulsivos en el pasado cobra un sentido mayor para desarrollos futuros en zonas de montaña tropical húmeda. A juzgar por el aumento del registro de este tipo de eventos en los últimos 20 años, no parece ser un fenómeno del cual estén exentas muchas cuencas de los Andes tropicales.

Por otra parte, ha quedado claro que más allá de ciertos umbrales de precipitación y pendiente, los movimientos de vertiente ocurren independientemente del uso de la tierra. En los lugares donde los movimientos destaparon roca fresca se notó la influencia de estructuras (diaclasas) paralelas a la pendiente. Todo lo anterior parece indicar que aún si la región hubiese conservado su vegetación original, sin intervención antrópica, los movimientos de vertiente se habrían producido. Sin embargo, en el caso de la sobreexcavación y ensanchamiento de cauces es posible que el bosque original hubiera tenido un efecto interceptor que habría reducido en algo la escorrentía. Un efecto antrópico hipotético pudo eventualmente haberse presentado en relación con un cambio en las condiciones meteorológicas como resultado de la deforestación de la región.

Enseñanzas sobre el riesgo y la seguridad civil

De especial interés es el análisis de la relación entre los fenómenos y los elementos expuestos, en particular las obras de infraestructura de gran envergadura. En el caso de la central de Calderas, los pobladores adujeron inicialmente una gran influencia de la misma en las consecuencias desastrosas del evento. Los diferentes trabajos desarrollados en la zona por la época permitieron, sin embargo, constatar otra cosa. La construcción de la central de Calderas significó es cierto varias modificaciones en el paisaje. El caudal del río San Carlos aumentó en $6.7 \text{ m}^3/\text{s}$ respecto al caudal inicial de $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Este exceso de caudal proviene de la presa del río Calderas que a su vez recibe $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ del río Tafetanes. La infraestructura de la central misma (vías de acceso, zona de antiguos campamentos, sub-estación eléctrica, caudal de evacuación, terraplenes eléctrica, caudal de evacuación, terraplenes, control de taludes) significó modificaciones en un área de unas 3 ha., localizada unos 200 m aguas abajo de la confluencia de la quebrada Betulia y Arenosa.

El 21 de septiembre de 1990, la planta de Calderas no estaba operando; el embalse de Calderas estaba vacío por mantenimiento y el túnel estaba por lo tanto sin agua. Se puede concluir que, excluyendo los daños que ella misma recibió, la influencia que pudo haber tenido la presencia de la planta e instalaciones complementarias sobre el fenómeno fue nula.

De lo anterior queda como enseñanza la importancia de ayudar a las comunidades a elaborar representaciones sociales apropiadas en la relación obras de infraestructura modificaciones del paisaje exposición a desastres naturales. Un buen trabajo en este sentido debe ayudar, además de mejorar las relaciones entre empresas operadoras y comunidades, a construir de manera más acertada escenarios de riesgo y planes de prevención que no sean unilaterales sino colectivos.

Ahora bien, a la luz de los conocimientos adquiridos sobre el evento del 21 de septiembre de 1990, se podría afirmar que la decisión de construir la central de Calderas en el lugar que ocupa actualmente no fue la más adecuada. Sin embargo, es menester comprender que la información básica existente en el momento de la construcción de la central (años 70) no permitía predecir en ese momento la ocurrencia de un fenómeno de tales características. Queda claro que, definitivamente, el riesgo cero no existe, pero que contar con información adecuada sobre la dinámica de estas vertientes puede contribuir a mejorar al menos la preparación para este tipo de eventos de recurrencia secular.

Las políticas de seguridad civil o, en una perspectiva más amplia, de seguridad humana deben obedecer a un esquema de co-responsabilidad entre diferentes actores. De la catástrofe de San Carlos queda como colofón que si bien no es fácil predecir un evento de esta magnitud, si es posible entender que el sitio en el cual tiene lugar un proceso de desarrollo ha estado en el pasado expuesto a fenómenos catastróficos y que ello requiere, cuando menos, un esquema de prevención y mitigación que surja de una co-responsabilidad entre el sector público, el sector empresarial y el sector social. Sobre la base de la normatividad y la institucionalidad existente en Colombia, nuevos pactos de seguridad civil podrían ser concebidos para que cada actor asumiera sus responsabilidades: el Estado la de proveer mayor información sobre las amenazas y las vulnerabilidades, el sector empresarial la de asumir en sus proyectos y diseños acciones, tecnologías y

esquemas financieros que incorporen costos del riesgo y el sector social la de desarrollar nuevas prácticas tendientes a sensibilizar a la población sobre su nivel de exposición pero también su posible contribución a la prevención y el manejo de los riesgos.

Una forma de prevención de desastres y mitigación de riesgos debe abrirse paso a través de esquemas de co-responsabilidad para la producción de seguridad civil y humana. Y esto, retomando elementos de la propuesta de Guilhou & Lagadec (2002), implica al menos cuatro desafíos:

- Redefinir las escalas de riesgo y amenaza, como elemento necesario para esclarecer el desorden de las percepciones, que enturbia la apropiada lectura y trava las lógicas de acción.
- Aportar las condiciones que permitan el surgimiento de respuestas vivibles, adaptadas y compartidas, lo que supondrá más mediaciones en el terreno que decretos soberanos.
- Volver a sembrar en todos los lugares donde sea posible (y entre todos los actores co-responsables) legitimidad, confianza y credibilidad.
- Revalorizar la noción de responsabilidad.

Bibliografía

- Clifton, H., 1988. "Sedimentologic relevance of convulsive geologic events". In: Clifton, H., ed., *Sedimentologic consequences of convulsive geologic events*. Special Paper Geol. Soc. Am., No 229, Boulder, Colorado. pp.1-5.
- Espinal, S., 1977. *Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia*. IGAC, Bogotá. 238 p.
- Guilhou, X. & Lagadec, P., 2002. *El fin del riesgo cero*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 280 p.
- Hermelin, M., Velásquez, E. & Mejía, O., 1991. Algunas reflexiones sobre la catástrofe del 21 septiembre de 1990 en San Carlos-Antioquia. AGID Report No.16, U. EAFIT, Medellín, p.117-128.
- Hermelin, M., Mejía, O. & Velásquez, E., 1992. "Erosional and depositional features produced by a convulsive event, San Carlos, Colombia, September 21 1990". *Bulletin IAEG* No.45, Paris, p.89-95.
- Hermelin, M. & Velásquez, E., 1993. "El papel de los eventos convulsivos en la evolución del paisaje en los Andes septentrionales colombianos". *Resúmenes VI Congreso Colombiano de Geología*, U. EAFIT, Medellín.
- Martínez, J.M., Parra, E., París, G., Forero, C., Bustamante, M., Cardona, O. & Jaramillo, J.D., 1994. "Los sismos del Atrato Medio del 17 y 18 de octubre de 1992. Noroccidente de Colombia". *Revista INGEOMINAS*, No.4, Bogotá, pp.35-76.
- Martínez, J.M., Avila, G., Agudelo, A., Schuster, R., Casadevall, T & Scott, K., 1995. Landslides and debris flows triggered by the 6 June 1994 Paez earthquake, southwestern Colombia. *Landslides News*, No.9, Tokyo, Japan, pp.13-14.
- Piedrahita, I. & Hermelin, M., 1996. Amenazas geológicas por eventos torrenciales en la vertiente occidental del Río San Juan, Colombia. *Resúmenes VII Cong. Col. de Geol.; IV Conf. Col. De Geol. Ambiental*. INGEOMINAS, Santafé de Bogotá.
- Universidad Nacional-ISA, 1984. *Investigación y estudio general sobre calidad de las aguas, geomorfología y sedimentación en las cuencas de los ríos San Carlos, Guatapé, Calderas, Nare (Medio) y San Lorenzo*, Departamento de Antioquia, Universidad Nacional-ISA, Medellín, 4 vol.
- Velásquez, E., Hermelin, M. & Mejía, O., 1991. "Movimientos de masa producidos por

- el evento de septiembre 21, 1990 en San Carlos-Antioquia". IV Congreso Colombiano de Geotecnia, Santafé de Bogotá.
- Velásquez, E., Hermelin, M., Mejía, O. & Toro, G. 1992. "Consideraciones sobre las cenizas volcánicas de la región de San Carlos, Colombia". II Simposio Latinoamericano sobre Riesgo Geológico Urbano., Pereira, p.449-460.
- Velásquez, E., Hermelin, M. & Mejía, O., 2002. "El evento torrencial de Septiembre de 1990 en San Carlos (Colombia) y sus consecuencias catastróficas". In: Desastres Naturales en América Latina. José Lugo H., J & Invar., M. Compiladores, México: Fondo de Cultural Económica, p. 335-348.
- Velásquez, E. & Mejía, O., 1991. Procesos y depósitos asociados al aguacero de septiembre 21 de 1990 en el área de San Carlos (Antioquia). Tesis de Ingeniería, Fac. Minas, U. Nacional, Medellín. 118 p.

8. Los terremotos del Atrato Medio-Murindó en octubre de 1992

Andrés Velásquez

Resumen

La parte septentrional de América del Sur ha sido y es objeto de observación e investigación geológica, tectónica y sismológica así como de múltiples discusiones y modelos para aportar al entendimiento de la geodinámica, la zona es la de confluencia de las microplacas Panamá, Bloque Chocó y Bloque Norandino y de placas tectónicas de mayor tamaño: Nasca, Sur América y Caribe. Los terremotos del 17 y 18 de octubre de 1992 en la región del Atrato Medio (Chocó y Antioquia), con efectos geológicos mayores sobre la pequeña población de Murindó y áreas aledañas, produjeron daños en una zona más extensa que abarcó municipios del Occidente de Antioquia y del Valle del Aburrá (Medellín), Tolima, Valle del Cauca y Cauca, hasta unos 390 km del área epicentral, con pérdidas del orden de 15 millones de dólares.

Palabras claves: amenaza sísmica, terremotos, noroccidente colombiano, bloque Chocó, bloque Panamá.

Abstract

The northwestern portion of South America has been under observation from geological, tectonical and seismological standpoints; it has as well motivated multiple discussions and models to support the knowledge and understanding of the geodynamic of this zone, which is under the influence of Panama, Choco and Norandino microplates, in the frame of Nasca, Sur America and Caribbean plates. Earthquakes from 1992 17th and 18th October in the Atrato Medio region, (Choco and Antioquia), produced geological effects mainly over Murindó town and neighborhoods, as well as a region including municipalities from western Antioquia, Valle del Aburrá (Medellín), Tolima, Valle del Cauca and Cauca, regions located as faraway as 390 km from the epicenter. Losses were estimated in US\$ 15 million.

Key words: seismic hazard, earthquakes, northwestern Colombia, Choco block, Panama block.

Introducción

Se presentan algunos de los resultados de investigaciones sismológicas sobre estos terremotos y los principales efectos locales y regionales relevantes sobre el medio ambiente y las poblaciones. Los terremotos del Atrato Medio-Murindó evidenciaron que se trata de secuencias de sismos de fuentes probablemente similares a las de los

sismos de 1730-1731, 1792, 1882-1883 y 1903-1904. El incremento de riesgos asociados al crecimiento de las poblaciones, a cambios en tipologías constructivas y al crecimiento de riesgos asociados muestran la necesidad de investigaciones aplicadas para optimizar o proteger futuras obras de intervención en el Atrato Medio y en zonas alejadas hoy densamente urbanizadas y sujetas a la amenaza sísmica de eventos como éstos, que en decenios pasados, sólo produjeron pequeños daños.

La secuencia de sismos del 17 y 18 de octubre de 1992 y miles de réplicas en los años siguientes, ocurrieron en una zona selvática, marginal, con características comparables a las de los terremotos del Alto Mayo en la selva amazónica peruana en 1990 y 1991 y Limón-Valle de La Estrella en 1991 en la región caribe entre Panamá y Costa Rica (Maskrey, 1996). Se presenta una revisión de las causas e impactos de los terremotos de Colombia, la cual se nutre de bibliografía previa, de reconocimientos de campo posterremotos del autor (Meyer et al. 1993). Una comisión observó los daños en las poblaciones e impactos ambientales (licuación, deslizamientos, palizadas, vulcanismo de lodo) y concluyó que las condiciones del medio ambiente a lo largo del Atrato Medio, no permitían disponer de sitios más adecuados para reubicación de poblados y que no había peligro de represamientos en el río Atrato o de inundaciones en Murindó, más allá del área cercana al río, la más afectada por licuación, que en octubre de 1992 ya estaba siendo evacuada. Sin embargo, Murindó, que en lengua indígena significa "río de palos", fue trasladado a orillas del río Atrato en un sitio en el cual ha sido inundada frecuentemente y durante periodos de varios meses (OSSO para PNUD, 1998). Los procesos de reconstrucción de la región aún continuaban en 1998 con apoyo de la Naciones Unidas (PNUD), pero la superposición de factores ambientales (alta precipitación, poca disponibilidad de terrenos estables para asentamientos, inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos), junto con niveles de pobreza muy altos y conflicto entre diversos actores armados, hacen prever que la reconstrucción permanente es la concepción más apropiada para intervenir con propósitos de mejoramiento de la calidad de vida en la región. Estos temas, sin embargo, no son desarrollados aquí. Se trata, en cambio, de ofrecer una visión panorámica de la causalidad y efectos de los terremotos del Atrato Medio (generalmente referidos como "el terremoto de Murindó", con implicaciones que trascienden la región y efectos en medios urbanos relativamente lejanos y vulnerables como Medellín y Cali.

Localización

Los terremotos del Atrato Medio-Murindó ocurrieron en límites de los departamentos Chocó y Antioquia. Se trata del valle medio del río Atrato, conformado por depósitos aluviales recientes entre la vertiente occidental de la cordillera Occidental, con rocas ígneas del Cretáceo y sedimentarias del Terciario, y la vertiente oriental de la Serranía del Baudó, conformada por rocas volcánicas y sedimentarias del Terciario, (Duque-Caro, 1993; Ingeominas, 1988 y 1994). La zona, también llamada el "Tapón de Darién" por su clima tropical muy húmedo, muy alto rendimiento hídrico (Eslava, 1994) y extensos pantanos que dificultan la comunicación terrestre entre Centro y Sur América, está habitada por indígenas Emberá y Cuna, población afro-colombiana y mestizos, que se agrupan en pequeñas poblaciones sobre diques aluviales del río Atrato. En la Fig.8.1 se muestra el área epicentral y los municipios afectados por los terremotos.



Fig.8.1. Localización de la Zona.

Antecedentes históricos

La región septentrional de América del Sur en Colombia ha sido afectada por sismos fuertes procedentes de diversas fuentes sísmicas. Los primeros eventos documentados, probablemente generados en la misma fuente de los sismos de 1992, ocurrieron hacia 1730 y 1792 (Arango & Velásquez, 1992); se trata de sismos que afectaron a Medellín, asociados a fuentes en la región, porque produjeron daños en Santa Fe de Antioquia, la población más cercana en ese entonces al Atrato Medio. En esa época, además de incommunicados, el Atrato Medio y la región de Urabá eran prácticamente despoblados y sólo se conservan relatos orales de la tradición mitológica de los indígenas Emberá y Cuna referentes a terremotos, pero sin precisión de fechas. Entre las secuencias sísmicas de la región se encuentran los terremotos de 1970, 1974, 1976 y 1992, otras en 1882-1883 (septiembre y marzo), 1903-1904 (diciembre y enero), 1924-1925 (junio, julio y marzo, julio) y 1952 (febrero, mayo), (Ramírez, 1975; Arango & Velásquez, 1992) y OSSO para PNUD (1998). El sismo de marzo de 1883, que se localizó en el mar frente a las costas del Caribe entre Panamá y Colombia (Camacho & Víquez, 1992), tuvo efectos similares a los de 1992 (White, 1883). Los sismos de diciembre de 1903 y enero de 1904 generaron deslizamientos y éxodo de pobladores desde Frontino, pero se tiene poca información sobre efectos en el Atrato, razón por la cual la región epicentral no se puede confinar adecuadamente. Como en los sismos de Bahía Solano en 1970 y el de 1974 en la frontera con Panamá, se produjeron deslizamientos y palizadas en esa población y en Salaquí,

respectivamente (OSSO para DNPAD, 1993). En la Tabla 8.1 se indican los principales eventos de la zona desde 1970.

Tabla 8.1. Síntesis de terremotos recientes en el Atrato Medio.

Año	Mes	Día	Lat.	Long.	h	m	Efectos
1970	09	26	6.212	-77.594	8	6.6	D, P, L.
1970	09	27	6.432	-77.407	8	6.5	D, P, L.
1974	07	13	7.747	-77.688	12	6.4	D, P, L.
1975	01	25	7.218	-77.773	36	6.1	?
1976	07	11	7.337	-78.470	22	6.3	D, P.
1976	07	11	7.409	-78.127	3	6.2	D, ?
1991	04	04	7.017	-78.153	32	6.1	?
1992	10	17	6.845	-76.806	14	6.2	D, L.
1992	10	18	7.075	-76.862	10	7.2	D, P, L.
1996	11	04	7.306	-77.393	14	6.0	D

Fuentes: NEIC (2005), Ramírez (1975), Archivo macrosísmico OSSO.

Lat. y Long. = Latitud Norte y Longitud Oeste.

h = Profundidad (km).

m = Magnitud.

D, P, L: Deslizamientos, palizadas, licuefacción.

Ambiente tectónico, geológico y geomorfológico

Diversas mediciones de los vectores de desplazamiento de las placas tectónicas, con base en datos de GPS (Posicionamiento Global por Satélite) desde 1988, arrojan tasas de movimientos convergentes de la Placa Nasca y Suramérica del orden de "más de 50 milímetros/año" (Colombia) hasta 70 mm/año (Ecuador) y del Bloque Panamá hacia el Chocó entre 8 y 21 mm/año (Freymueller et al., 1995; Kellog et al., 1998; Trenkamp et al., 2002). El Bloque Norandino, a su vez, se mueve en dirección NE a razón de 6 mm/año. Para el Bloque Chocó Meyer & Mejía (1997), encontraron movimiento general hacia el S a partir de análisis de mecanismos focales de sismos, registrados en la Red Sismológica del Sur Occidente operada por el OSSO. Por otra parte los cauces del Atrato Medio presentan dos tipos de modificaciones en términos de migración: migración de W a E de los cauces principales del Atrato y migración hacia el S de los afluentes, principalmente de la margen derecha (el río Sucio desemboca hoy 47 km al sur de su cauce original) y socavación– migración de meandros hacia el sur, lo que fue interpretado, junto con otras evidencias, como expresión de la compresión del bloque Panamá hacia el SE (OSSO para PNUD, 1998).

La tectónica de la región ha sido presentada por numerosos autores con diversidad de modelos, localización, tipo y nomenclatura de fallas. En general se trata de fallas de dirección N-S a NNW y NW (Page, 1986; Ingeominas, 1988 y 1994; Toussaint, 1991; Toussaint et al., 1992; Galvis & Mojica, 1993; Duque-Caro, 1993; Martínez et al., 1994).

Algunos de estos autores, como Toussaint et al., (1992), proponen la existencia, hacia el piedemonte occidental de la Cordillera Occidental, de una falla inversa con vergencia al W a la que denominan "Sutura de Dabeiba-Pueblorico". Diversos autores proponen la Falla Atrato a lo largo del eje del valle de este río, pero hasta el presente no hay evidencia contundente de la misma.

La geomorfología comprende tres grandes unidades: a) la Cordillera Occidental con vertientes selváticas abruptas sobre rocas ígneas y sedimentarias del Cretáceo al Terciario; b) la llanura aluvial del Atrato con una especie de depresión con cauces abandonados, lagunas y pantanos entre las poblaciones Vigía del Fuerte y Riosucio; c) la Serranía del Baudó con relieve desde colinas onduladas sobre rocas sedimentarias de origen marino del Terciario, hasta vertientes escarpadas sobre estas mismas rocas y complejos volcánico-sedimentarios (Duque-Caro, 1993).

Descripción del evento

Los sismos del 17 y 18 de octubre de 1992 tuvieron los siguientes parámetros hipocentrales y magnitudes: **a)** 17 de octubre, magnitud Mw 6.6, profundidad 14 km, latitud Norte 6,8450 y longitud Oeste 76,8060, con un mecanismo focal de falla inversa y dirección NNE; **b)** 18 de octubre, unos 50 km al N del anterior, magnitud Mw 7.2, profundidad 10 km, latitud Norte 7,0750 y Longitud Oeste 76,820 (NEIC, en ISC, 2005). El sismo del 17, ocurrido a las tres y treinta y dos minutos de la madrugada, produjo fuertes daños en Murindó, licuación y la destrucción de la mayoría de las edificaciones allí, casi todas en madera con techo de paja y fue sentido en todo el NW de Colombia así como en Cali y Bogotá. A este sismo le sucedió una serie de réplicas frecuentes con magnitudes del orden de 5. Al siguiente día, domingo 18 de octubre, a las diez y once minutos de la mañana, ocurrieron los eventos principales completando los daños previos en Murindó y poblaciones cercanas y generando nuevos efectos en los municipios del Atrato chochoano y antioqueño, en la región de Urabá, el Occidente y otros municipios de Antioquia. Entre ellos, en relación con el volumen de pérdidas, se destacó Medellín, ciudad que en eventos previos provenientes del Atrato Medio sólo había tenido efectos importantes en edificaciones altas, especialmente torres de iglesias. Las vibraciones sísmicas fueron sentidas en Panamá (península de Azuero, Ciudad de Panamá), en Venezuela (Caracas y Valencia) y en Aruba. Los sismos produjeron fuertes efectos de licuación de suelos, deslizamientos y la erupción del volcán de lodo Cacahual en San Pedro de Urabá. La prensa informó que frente a Damaquiel en el Golfo de Urabá había emergido una isla. Sin embargo, la isla había emergido semanas antes y los pobladores aprovecharon la información de prensa para atraer turistas.

Análisis del evento

En la Fig.8.2 se muestra la sismicidad mayor en la región de interés, de acuerdo con datos de NEIC (2005). Los cúmulos de epicentros indican las principales fuentes sísmicas: en primer lugar, eventos a lo largo del litoral sobre el borde occidental del Bloque Chocó. En segundo lugar, dos grupos de eventos con alineamientos NE a lo largo de la Serranía de Los Saltos (frontera con Panamá) y en la región del Atrato Medio.

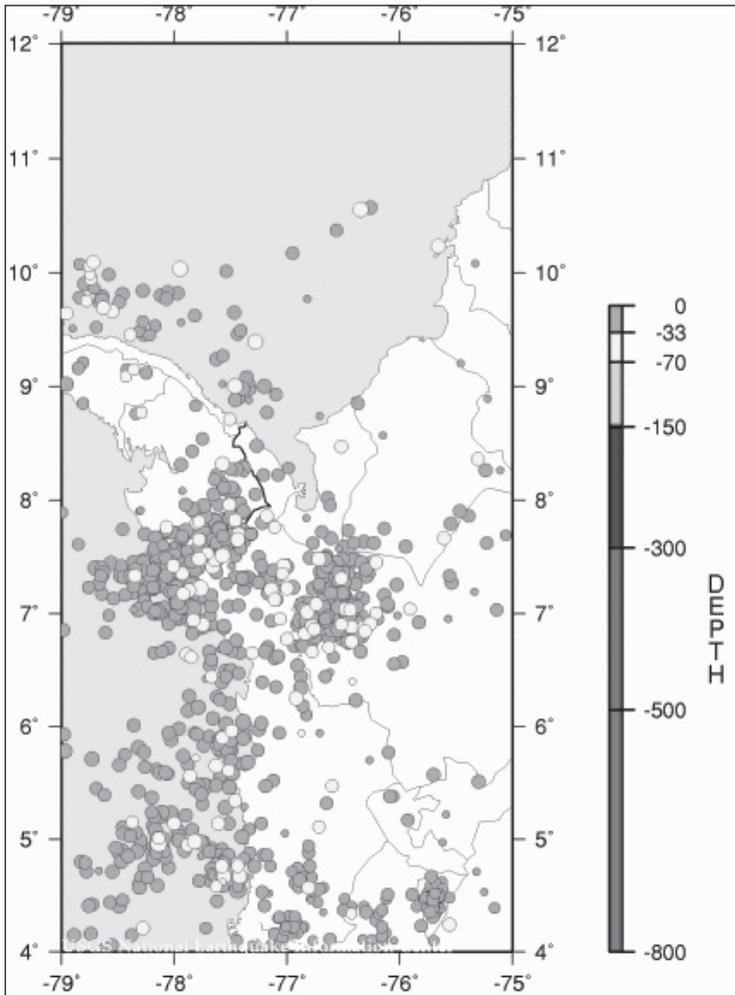


Fig. 8.2. Sismicidad del NW de Colombia - Panamá (NEIC, 2005).

El Bloque Chocó puede ser delimitado solamente de manera aproximada, entre la Serranía del Baudó al occidente y el borde occidental de la cordillera Occidental; al Norte lo definiría la Serranía de Los Saltos, una cadena montañosa transversal, en dirección NE, que podría ser resultado de la colisión del Bloque Panamá. Pennington (1981) indica, que en esta área habría un límite difuso de placas. Con base en datos sismológicos y análisis de mecanismos focales, Meyer & Mejía (1997) proponen un límite hacia la falla Garrapatas (Ingeominas, 1988), entre Buenaventura y la cordillera Occidental en dirección NE, señalando además un desplazamiento relativo del Bloque Chocó hacia el Sur. Con base en la relocalización de 125 réplicas de los sismos del 17 y 18 de octubre de 1992, Toral (1997), encontró que el área de actividad causante del sismo mayor corresponde a una estructura elongada NNE, oblicua con respecto a las direcciones principales de esfuerzos entre los bloques Panamá y Norandino. En esta

región una falla con dirección (NE) no está documentada en la literatura geológica y la misma no es claramente visible en las imágenes de radar (OSSO para PNUD, 1998). El área de ruptura calculada es de aproximadamente 4700 km² y su longitud de 120 km. Los desplazamientos relativos indican una estructura con movimiento lateral izquierdo, con el bloque occidental desplazándose en dirección SW y tendencia principal de ruptura en dirección NNE (Fig.8.3). Este resultado ha sido refinado recientemente por Arvidsson et al (2002), quienes evaluaron los sismos precedentes y posteriores al terremoto del 18 de octubre de 1992. Ellos confirman una dirección de ruptura de dirección NNE (azimut de 9 grados, coincide con el mecanismo focal de Harvard), réplicas alineadas de 90 km de longitud, mayores intensidades y mayor cantidad de energía liberada hacia el sur. Estos autores concluyen que el límite de placas entre los microbloques Panamá y Norandino, es una zona de deformación difusa entre 78 y 76 grados de Longitud Oeste.

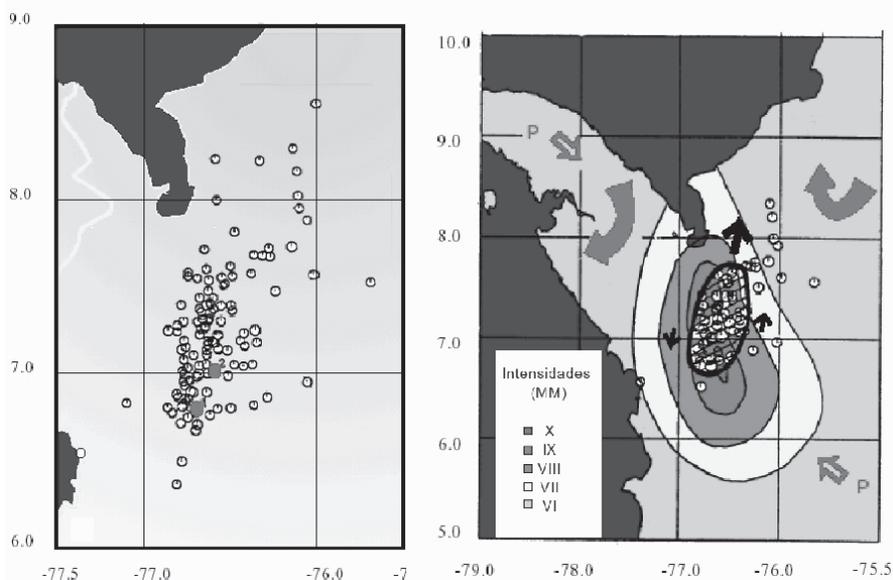


Fig.8.3. Relocalización de réplicas, intensidades y dirección de ruptura (tomado de Toral, 1997, cortesía del autor).

Coral et al., 1993 (en Toral, 1997), presentan un mapa de isosistas con un patrón elongado en dirección NW, seguramente producto de sesgos introducidos por las condiciones de los suelos más blandos y por la distribución de las poblaciones a lo largo del Atrato. Otro esquema de propagación de la ruptura en el mismo sentido, ha sido sugerido por la localización de los eventos principales y de las réplicas con base en el catálogo de NEIC y el trabajo de Martínez et al., (1994). Sin embargo, como lo menciona Toral (1997), estos autores probablemente consideraron el evento mayor (oct. 18) como un evento simple y no como un sismo múltiple, como ha sido documentado por otros autores. En efecto, con base en registros globales de estaciones sismológicas de banda ancha, los sismos fueron analizados por Li & Torksöz (1993) y Ammon et al., (2002), y encontraron que el sismo del 18 de octubre correspondió a un evento múltiple.

El terremoto del 17 de octubre de 1992 ($M_w = 6,6$) se ha interpretado como premonitorio de los del día siguiente. El evento del 18 de octubre fue en realidad un sismo complejo o múltiple, por lo menos doble, con poco tiempo de intervalo entre uno y otro. Similar a la ocurrencia de los eventos de 1992, es peculiar de la sismicidad de la región la ocurrencia de eventos múltiples, poco profundos, con largas series de réplicas. Keilis-Borok et al., (1982) consideraron que el sismo de 1976 (Tabla 1) podría ser una réplica del de 1974 (también un sismo múltiple, con más de un evento). La deformación dominante en esta región está caracterizada por la creación de nuevos sitios cercanos de dislocación en los siguientes 2-3 años y por la generación de excepcionales largas secuencias de sismos (Arvidsson et al., 2002).

Efectos socioeconómicos

Los efectos socioeconómicos de estos eventos fueron analizados por Ramírez & Bustamante (1996), quienes los evaluaron sobre vivienda, infraestructura y medio ambiente a la vez que consideraron las condiciones de marginalidad de la región epicentral, las diferencias en la atención y reconstrucción entre los gobiernos e instituciones de Antioquia y Chocó y el papel de la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

La tipología constructiva, principalmente viviendas de un piso en madera, contribuyó sustancialmente al poco número de pérdida de vidas y heridos. En total se pudo saber de tres muertos en Murindó, dos niños y un anciano, indígenas que el 18 de octubre recorrían deslizamientos generados por el evento del día anterior en las cabeceras de los ríos Coredó y Amparradó.

Además de Murindó hubo daños severos en Bojayá, Riosucio, Mutatá y Urrao y moderados en vivienda e infraestructura en Vigía del Fuerte, Carepa, Chigorodó, Dabeiba y Frontino. En las demás poblaciones, incluida Quibdó los daños fueron leves. En Medellín fueron afectados 243 inmuebles privados (comercio, iglesias, teatros y residencias), 25 con daños severos; 20 edificios públicos y 247 escuelas (64% del total). En total se cuantificaron más de 3400 viviendas afectadas, 1515 en Mutatá y 1667 en Frontino, y centenares destruidas, principalmente en Murindó, Bojayá y Mutatá. En la Figura 8-1, se ilustra la distribución geográfica de los municipios afectados incluidos Fresno en Tolima, Armenia en Quindío, Buenaventura y Cali en Valle del Cauca y Puerto Tejada en Cauca. Los efectos más lejanos ocurrieron en Cali y Puerto Tejada a 390 km de la región epicentral.

Las pérdidas económicas directas en Antioquia fueron estimadas en \$ 3490 millones y en Medellín las pérdidas aseguradas en US \$ 11 millones (Polanco, 2002). Una estimación del total de pérdidas económicas para Chocó y Antioquia, con base en datos de Ramírez & Bustamante (1996), Polanco (2002) y DesInventar (2005), es del orden de US \$ 17 millones, considerando la tasa de cambio de octubre de 1992 de \$ 717 por cada 1 US\$.

Impactos en la Naturaleza

Licucación

Los suelos aluviales recientes del río Atrato y de sus afluentes, conforman llanuras bajas cubiertas de selvas y pantanos, principalmente a menos de los 100 metros sobre

el nivel del mar. La dinámica fluvial ha formado diques naturales paralelos a los ríos, sujetos a inundación ocasional durante las mayores crecientes. A lo largo de estos diques, generalmente limitados también por suelos pantanosos y cortados por sus afluentes menores, se han localizado todas las poblaciones ribereñas del Medio y Bajo Atrato. Las condiciones físicas han definido los asentamientos humanos con una estructura lineal, generalmente conformadas por dos hileras de casas, una calle central sobre los diques y una ocupación menos densa en la ribera de los ríos y en los pantanos posteriores (April-Gnisset, 1993; Mosquera, 1993).

Las viviendas ribereñas y de zonas de pantano se construyen típicamente en madera sobre pilotes de dos a tres metros, mientras que en los diques (menos húmedos) su altura, oscila entre 0,5 y 1,5 metros, con viviendas con mejor calidad constructiva y mantenimiento que las primeras.

La dimensión y estabilidad de los diques parece controlar el tamaño y permanencia de las poblaciones; Vigía del Fuerte y Riosucio ocupan los diques más extensos mientras que Murindó, como caso único, está en la porción cóncava de una curva del río. Las poblaciones menores, principalmente aquellas en las cuales la presencia del Estado no se expresa en pequeñas obras de infraestructura (acueducto, planta de energía, escuela, inspección de policía, puesto de salud, salón comunitario, muelle), presentan una alta movilidad, pudiendo haberse trasladado en varias ocasiones en el transcurso de una década por razones de inundación, de erosión de las riberas, por búsqueda de nuevas tierras para cultivos de pan coger, o por razones de conflictos políticos y socioeconómicos.

La región epicentral determinada instrumentalmente coincide con la zona más compleja y de mayores cambios fluviales: el río Atrato se bifurca, a la altura de Napipí en los brazos Montaña y Murindó que vuelven a juntarse en Bocas de Curvaradó. En este punto y por el cauce del caño del mismo nombre drena actualmente el río Sucio después de desviar su rumbo NW hacia SW. La tradición oral en la región -entrevistas en Riosucio, Murindó Mutatá y La Isla- no permitió establecer si la desviación se debió a la apertura de un canal para explotación de madera o un terremoto; Barlow (1981) indica, por revisión de imágenes de radar, que la desviación ya había ocurrido hacia 1968. La posibilidad de desvío por efectos sísmicos no puede descartarse todavía, más aún, teniendo en cuenta que los terremotos de 1883 en Urabá y 1970 en Bahía Solano, produjeron variaciones en el curso de algunos ríos (Uribe, 1957). En la región considerada se presenta la mayor extensión de ciénagas y pantanos, de tal manera que el Atrato Medio es una especie de depresión que actúa como zona de amortiguamiento de las crecientes. El emplazamiento original de Murindó cumplía con el requisito de alejarse aguas arriba del río del mismo nombre de esta depresión inundable.

Sobre este conjunto de características ambientales los terremotos del 17 y 18 de octubre indujeron licuación de los suelos arenosos y limo-arenosos recientes, poco o nada consolidados y saturados. El Estudio de Navegabilidad del río Atrato (Universidad del Valle para Ministerio de Obras Públicas, 1989) había identificado, con base en perforaciones y ensayos de laboratorio que la composición granulométrica, el grado de saturación y las bajas propiedades geotécnicas, hacían que los diques del Atrato fueran muy propensos a licuación de suelos.

En la Fig.8.5 se ha delimitado la distribución de los principales efectos: licuación sobre terrenos aluviales y deslizamientos. Licuación fuertes se observó por 150 km desde el

norte de Puerto Arquía hasta cercanías de Bajirá (sitio Lomas Aisladas). En Quibdó, 70 km al sur de la región epicentral, se presentaron asentamientos puntuales de viviendas de mampostería piloteadas sobre rellenos hidráulicos; unos 90 km al norte, en Apartadó, se observaron agrietamientos muy puntuales y pequeños conos de deyección de arena. En la zona de licuación fuertes la mayor severidad del fenómeno se presentó entre las latitudes de Vigía del Fuerte y el curso medio del río Sucio, por mayor y más continua presencia de agrietamientos y corrimientos de suelo y caída de árboles verdes en las orillas de los ríos y en selva y pantanos vegetados (Fig.8.6, fotos licuación).

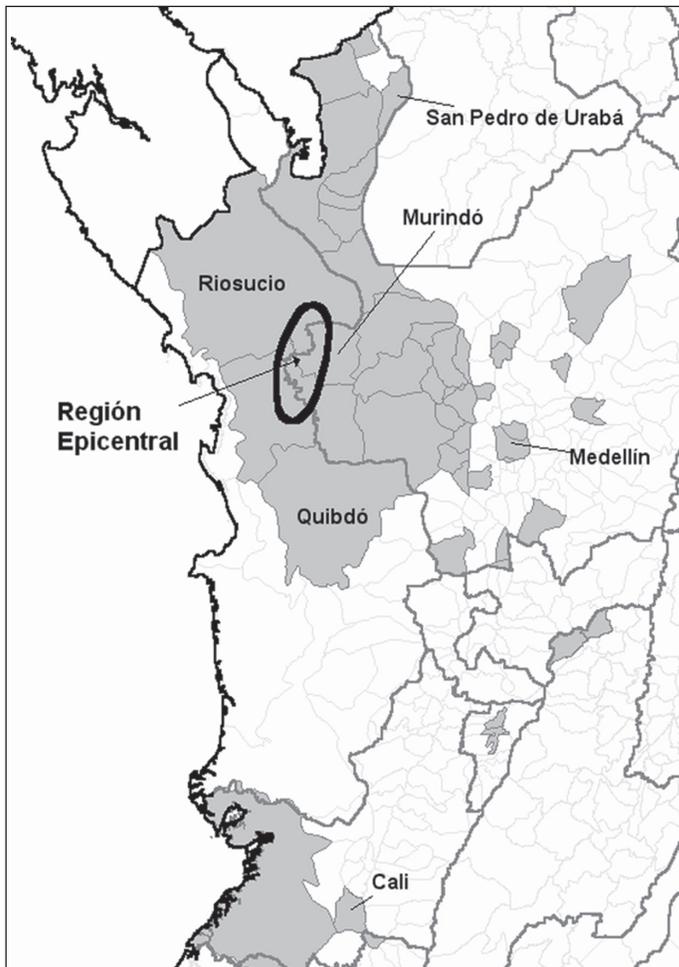


Fig.8.4. Localización epicentral de los terremotos del Atrato Medio-Murindó de octubre de 1992 y municipios afectados.

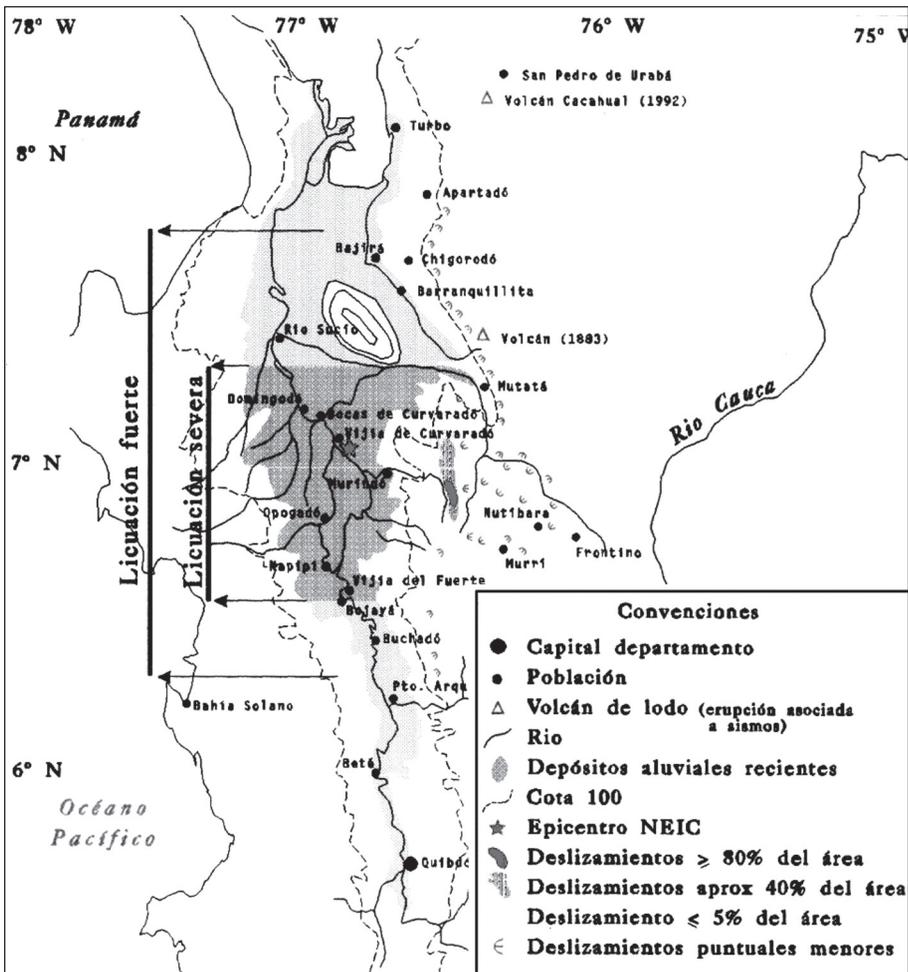


Fig.8.5. Distribución de principales efectos en la Naturaleza (tomado de Meyer y otros, 1993).



Fig.8.6. Licuación en Murindó, vista parcial del casco urbano con mayor licuación hacia orillas del río Murindó y detalle (fotos cortesía de Mauricio Bustamante).

Deslizamientos y palizadas

Aun cuando se reportaron deslizamientos en zonas tan alejadas del área epicentral como la vía Fresno-Manizales, aproximadamente a 290 km de distancia, el mayor número ocurrió en las estribaciones occidentales de la cordillera Occidental y de la serranía de Abibe, a lo largo de unos 150 km. El área más afectada corresponde a las cabeceras de los ríos Coredó y Murindó en donde los suelos, principalmente en las zonas más escarpadas, se deslizaron arrastrando la vegetación dejando al descubierto las rocas parcialmente meteorizadas y fracturadas.

La zona de concentración de deslizamientos, al inicio del frente montañoso, presenta un ambiente permanente cubierto de niebla, correspondiente a "Bosque Natural Protector sobre serranías de difícil acceso" (Inderena, 1896).

A lo largo de la serranía de Abibe, desde sus inicios en inmediaciones de Mutatá, los deslizamientos se localizan en pendientes abruptas, producidas por la incisión de los drenajes sobre rocas sedimentarias meteorizadas.

La región de mayor densidad de deslizamientos corresponde a una franja norte-sur de cerca de 50 km de extensión, con una distribución relativa del porcentaje de paisaje deslizado, delimitada por apreciación visual en vuelos aéreos (helicóptero y avioneta) durante la semana siguiente a los sismos. En la Fig.8.7, se muestra parcialmente la vertiente occidental de la cordillera Occidental al este de Murindó. Esta zona es habitada por indígenas Emberá asentados en viviendas dispersas. Una idea de la baja densidad de población se obtiene del escaso número de víctimas asociadas a este fenómeno: dos niños en la cuenca del río Coreadó y un anciano en la del río Amparradó (Quebrada Amoladora).

Los deslizamientos generaron flujos de lodo que condujeron gran cantidad de árboles hacia los cauces, principalmente hacia el río Murindó; el "río de palos", sobre el cual se formó una palizada entre cercanías de la cabecera municipal y el río Atrato, la cual impidió la navegación y por ende, dificultó las labores de apoyo que en gran parte se tuvieron que realizar con helicóptero. Sin embargo, los habitantes usaron un camino que los comunicaba con el Atrato en aproximadamente una hora. Así, con la presión de dar respuesta a las necesidades de la población y en parte, por el temor generado por las múltiples réplicas, se tomó la decisión de trasladar la cabecera municipal a un sitio sin posibilidad de tierras de cultivo e inundable. Desde sus inicios los pobladores retornaron periódicamente a su antiguo lugar y a sus parcelas en cercanías de él.

Volcanismo de lodo

Las vibraciones del sismo del 18 de octubre de 1992 pusieron en actividad el volcán de lodo Cacahual en el corregimiento del mismo nombre del municipio de San Pedro de Urabá. Las viviendas localizadas alrededor fueron sepultadas por el lodo y algunas más incineradas por los gases exhalados del mismo que ardieron con el fuego de los hogares, generalmente al aire libre, de las viviendas campesinas (Fig.8.8). La cifra de muertos por este hecho oscila entre dos y 14, pero nunca se pudo precisar su número, ni el de heridos por quemaduras.

Fenómenos secundarios y correlación sismotectónica

Las observaciones geológicas y macrosísmicas sobre deslizamientos y licuación, tomadas independientemente, o en comparación, no permiten confinar con certeza la región epicentral y la(s) posible(s) falla(s) causante(s). Las características de los terrenos de llanura (aluviales, arenosos, blandos y saturados) y de cordillera (escarpados, húmedos y meteorizados), y la distribución espacial de los efectos, posibilitan inferir como fallas; una, hacia la cordillera (p. ej., Falla Murindó) y otra bajo la llanura inundable, cada una de las cuales podría haber generado la licuación y los deslizamientos. Criterios geológicos que hubiera podido contribuir a una mejor definición de este aspecto, como evidencias de ruptura superficial, no fueron observadas durante los reconocimientos de campo.

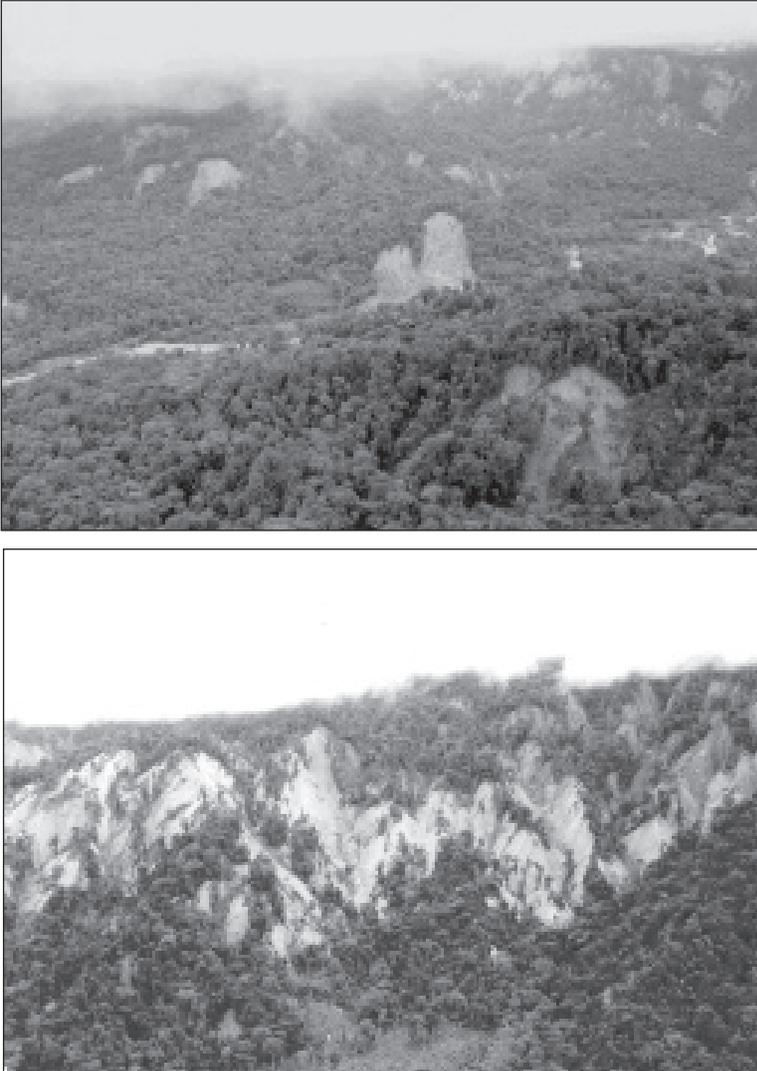


Fig.8.7. Deslizamientos en la cuenca del río Coredó, afluente del Murindó, al E de la población del mismo nombre.



Fig.8.8. Volcán Cacahual en octubre 22 de 1992. A la derecha, viviendas cercanas incineradas.

Conclusiones

Investigaciones sismológicas previas y posteriores a los terremotos del Atrato Medio-Murindó de 1992, coinciden en indicar que éstos fueron generados en una zona difusa de interacción entre los bloques Panamá y Chocó, caracterizada por la ocurrencia de eventos múltiples con largos periodos de réplicas. A diferencia de eventos históricos que produjeron pocos efectos sobre ambientes urbanizados, actualmente esta es una zona relevante para la evaluación del riesgo sísmica, en el NW de Colombia, porque el tipo de asentamientos, construcciones y vulnerabilidad sísmica se ha incrementado en la región del Atrato Medio y en poblaciones distantes.

Las tipologías constructivas propias del Atrato Medio ayudan a explicar porque, a pesar de la intensidad de los sismos, los efectos sobre las vidas humanas fueron mínimos en comparación con sismos de menor magnitud en otras regiones del país. Casi todas las edificaciones en mampostería de ladrillo y en hormigón armado en la región epicentral fueron seriamente dañadas o colapsaron. Es preciso fortalecer las tipologías constructivas en madera en la región del Atrato Medio, incluyendo medidas de reforzamiento de pilotes (inclusión de diagonales). En toda la región los sitios más aptos para núcleos urbanos ya han sido probados por los habitantes y están poblados. El traslado de Murindó a un nuevo sitio mostró, desde sus inicios, ser una medida desafortunada, porque el nuevo ambiente, un dique sobre el río Atrato, resultó ser inundable durante largos períodos. Un nuevo sismo similar a los de 1992 probablemente causará en este dique más daños que en el antiguo sitio del poblado.

Bibliografía

- Ammon, C.J., Lay, T., Velasco, A.A., et al., 1994. "Routine estimation of earthquake source complexity: the 18 October 1992 Colombian earthquake". *Bulletin Seismological Society of America*. v. 84, p.1266-1271.
- Aprile-Gnisset, J., 1993 Poblamiento, hábitats y pueblos del Pacífico. Edición Previa. Universidad del Valle. Cali. 158 p.
- Arango, M. & Velásquez, A., (1993). Catálogo histórico sísmico para Medellín. Alcaldía de Medellín, Planeación Metropolitana, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Editorial Cadena, Medellín, 93 p.
- Arvidsson, R.; Toral, J. & Kulhanek, O., (2002). "Foreshocks and aftershocks of the Mw = 7.1, 1992, earthquake in the Atrato region, Colombia". *Journal of Seismology*, January 2002, vol.6, no.1, p.1-11 (11). Kluwer Academic Publishers.
- Barlow, C.A., 1973. Radar Geology and Tectonic Implications of the Choco Basin, Colombia, South America. MS Thesis, University of Arkansas. Fayetteville, AK. 102 p.
- Camacho, E. & V., Viquez, 1992. Historical seismicity of the north Panama deformed belt. Instituto de Geociencias, U. de Panamá. Report. Panamá, 45 p, 5 maps.
- DesInventar - Sistema de inventario de desastres. 2005. Base de datos de desastres de Colombia. Disponible en: www.desinventar.org.
- Duque - Caro, H., 1993. "Los foraminíferos de la cuenca del Atrato y la evolución del Istmo de Panamá". Colombia Pacífico. Tomo I, Fondo FEN Colombia, P. Leyva (editor). Litografía Arco. Bogotá, p.97-110.
- Eslava, J., 1992. "La precipitación en la región del Pacífico Colombiano. Lloró: ¿El sitio mas lluvioso del mundo?". En: Revista Asociación Colombiana de Ingenieros Geógrafos. N°3 octubre, Editorial Gente Nueva. Bogotá.
- Freymueller, J. T., Kellog, J. N. & Vega, V., 1993 "Movimiento de las Placas en la Región Norandina". En: *Journal of Geophysical Research*, Vol.98, No.B12, p.21, p.853-21, 863.
- Galvis J. & Mojica, J., 1993. "Geología". En: Colombia Pacífico. Fondo FEN Colombia, Pablo Leyva (editor). Litografía Arco. Bogotá, p.80-96.
- INGEOMINAS. 1989. Mapa Geológico de Antioquia. Escala 1:1 000 000, Bogotá.
- _____. 1994. Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Chocó. Geología, Recursos Minerales y Amenazas Geológicas. Esc. 1:600 000. Memoria Explicativa. Imprenta Ingeominas. Bogotá.
- ISC 2005 Bulletin of the ISC, 1904 - March 2003. Disponible en: <http://www.isc.ac.uk/bulletin>. Consulta: Marzo de 2005.

- Keilis-Borok, V. I., Lukina, E.N, Rotwain, I.M & Eran, T. 1982. "Long - term seismological precursors of strong earthquakes. Part 3. Aftershock burst and very strong earthquakes in South America". Computational Seismology V.14. Mathematical Models of the Structure of the Earth and the Earthquake Prediction. (Translated by Allerton Press in 1983), p.14-19.
- Kellogg, J. et al., 1996. Arc-continent collision and oblique subduction in the north andes. Disponible en: <http://www.unavco.ucar.edu/gen-info/science-snap/index.html>.
- Li, Y. P. & Torksöz, M. N., 1993 "Study of the source process of the 1992 Colombia MS=7.3 earthquake with the empirical Green's function method". En: Geophysical Research Letters v.20. p.1087-1090.
- Maskrey, A., 1996 Terremotos en el trópico húmedo. LA RED-ITDG. Tercer Mundo Editores. Bogotá, 328 p.
- Martínez, J.M., Parra,E., París,G., Forero, C., Bustamante, M., Cardona, O. & Jaramillo, J.P., 1994. "Los sismos del Atrato Medio 17 y 18 de octubre de 1992. Noroccidente de Colombia". En: Revista Ingeominas. Bogotá, No.4. p.35-76.
- Meyer, H, J., Velásquez, A., Mejía, J., Marín, W., Campos, A., Mendoza, J., Jiménez, I., 1993. Resultados preliminares del estudio de los terremotos del Atrato Medio del 17 y 18 de octubre de 1992. Informe final a la Dirección Nacional de Prevención y Atención de Desastres y al Fondo Nacional de Calamidades. OSSO-U. Del Valle. 51 p.
- Meyer, H.J. & Mejía, J., 1997 "On the convergence - related faulting in the north Andean block; new details from regional seismic observations". En: The 29 th General Assembly of the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior. Technical Books Editions. Thessalóniki, Grece. p.214
- Mosquera, T. G., 1993 "Los hábitats aldeanos del Chocó", Revista Universidad del Valle. No.5. Universidad del Valle, Cali.
- NEIC, National Earthquake Information Center, 2005. Catálogo. Disponible en: <http://neic.usgs.gov/neis/epic>. Consulta en: Marzo de 2005.
- OSSO para CORPES de Occidente, 1994 Atlas para la planificación con riesgos por fenómenos naturales en el occidente colombiano. Informe inédito. Cali. 44 p., Mapas.
- OSSO para PNUD, Proyecto PNUD, COL/957009/10,1998. Apoyo a la reconstrucción de la zona afectada por el terremoto del Atrato Medio, 1992: Dinámicas ambientales amenazantes en el Atrato Medio. Informe inédito. Cali. 140 p., Anexos y 12 Radarmapas (1:100 000).
- Page, W.D., 1986. Geología sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia. Informe para Integral, S.A. ISA, 157p.
- Paris, G., Machette, M. N., Dart, R. L. & Haller, K. M., 2000. "Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions". En: USGS Open-File Report 00-0284. disponible en: <http://pubs.usgs.gov/of/2000/ofr-00-0284/ofr-00-0284.pdf>.
- Pennington, W., 1981. "Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America". Journal of Geophysical Research Letters. 86, p.10753 -10770.
- Polanco, C., 2002. Inventario y sistematización de los desastres naturales en los municipios del departamento de Antioquia, exceptuando los municipios del Valle del Aburrá entre 1920 y 1999. Tesis. Universidad Eafit. Disponible en: www.desinventar.org/sp/proyectos/tesis/.
- Ramírez, F. & Bustamante, M., 1996. "Los sismos de octubre de 1992 en el Atrato Medio, Colombia". En: Terremotos en el trópico húmedo, Capítulo 3, A. Maskrey (editor). Tercer Mundo Editores. Bogotá, p.189-269.
- Ramírez, J. E., 1975. Historia de los terremotos en Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Editorial Andes. Bogotá, 250 p.

- Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalinda, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., Rivera, C., 2000. "Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia)". *Tectonics*, V.19, p.787-813.
- Toral B, J., 1997. Earthquake studies in the Choco block. Tesis. Seismological Department, Institute of Geophysics, University of Uppsala. Uppsala.
- Toussaint, J. F. 1991. "El terreno cuna y su relación con el bloque Andino". En: *Boletín de Ciencias de la Tierra*. N°.10, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, p.5-94.
- Toussaint, J. F. Restrepo, J.J & González, H., 1992. "Corte geológico cortical en los Andes Colombianos". *Boletín de Ciencias de la Tierra* No.11, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, p.1-14.
- Trenkamp, R., Kellogg J.N. Freymueller, J.T. Mora, H.P., 2002. "Wide Plate Margin Deformation, Southern Central America and northwestern South America, CASA GPS Observations". En: *Journal of South American Earth Sciences*. No.15, p.157-171.
- White J. E., 1883. "Volcanes del Atrato". En: *La Estrella de Panamá*, transcrito parcialmente en *La Voz de Antioquia*, 26 de octubre y reimpresso en *Folletines de La Luz*, Medellín, p.204-205 (1884).
- White, G., 1957. Temblores de Frontino. *Repertorio Histórico (1934)*. Medellín, junio de 1957, v.XX, No.184 a 186, p.219-232.

9. La avenida torrencial del río Tapartó, abril de 1993

Ignacio Piedrahíta & Michel Hermelin

Resumen

El río Tapartó corre de Occidente a Oriente sobre la vertiente occidental del río San Juan, en el flanco Oriental de la Cordillera Occidental. En su parte alta, atraviesa un área de relieve alto y pendientes abruptas, mientras en su parte baja recorre un valle de pendiente suave antes de su confluencia con el San Juan. El 26 de abril de 1993, una avenida torrencial originada en la parte alta de la cuenca produjo estragos en el valle habitado de la parte baja. El fenómeno causó 120 muertos, 320 damnificados y más de 1.000 millones de pesos en pérdidas. La avenida torrencial, un fluido denso compuesto por agua y materiales sólidos, fue el resultado de una suma de factores que incluyen: alta precipitación en un corto período de tiempo y laderas de alta pendiente con cobertura de suelo susceptible de ser arrancada y transportada rápidamente hasta la corriente del río. Debido a que las condiciones geomorfológicas de la cuenca del Tapartó son similares a lo largo de buena parte de la vertiente occidental del Río San Juan, el riesgo de avenidas torrenciales está presente en toda la zona, así como en muchas otras áreas del territorio andino. La dificultad para la prevención, sin embargo, radica en la alta capacidad de recuperación del suelo y el paisaje después de un evento de este tipo. En un período de dos a tres años, las cicatrices físicas de la catástrofe son mínimas en relación con la magnitud del evento.

Palabras claves: Río Tapartó, río San Juan, avenidas torrenciales, inundaciones, desastres naturales, Antioquia.

Abstract

The Tapartó River runs from West to East over the Eastern flank of the Western Cordillera in Antioquia, Colombia. In its upper part, the river crosses a high relief area, and in its lower part a hilly valley before its confluence with the San Juan River. In April 26th, 1993, a torrential flood originated in the upper part of the basin causing destruction in the inhabited lower area. The event produced more than 120 deaths, 320 affected and more than 300.000 US dollars in damages. The torrential flood, a dense fluid composed of water and solid materials, was the result of factors of the upper area, including high precipitation in a short period of time and steep slopes covered by soil which was highly erodible. Considering that similar geomorphologic factors are identical in the northern and southern affluents of the San Juan River, the risk of torrential floods exists in many other surrounding valleys. One the difficulties in prevention, however, lies in the high recovery rates after such an event. In a period of two to three years the scars of the catastrophe had been totally erased.

Key words: Tapartó River, San Juan River, torrential floods, floods, natural disasters, Antioquia.

Introducción

Un evento torrencial es un fenómeno que involucra corrientes de agua, lodo y fragmentos de roca en diferentes proporciones y tamaños, y que ocurre en un período de tiempo muy corto comparado con otros fenómenos naturales (Bloom, 1991). Los eventos hidrológicos torrenciales consisten en la ocurrencia súbita de caudales pico de corta duración y gran velocidad, que transitan a lo largo de los canales en cuencas hidrográficas de montaña, normalmente de tamaño reducido (Vásquez, 1994). Uno de estos fenómenos tuvo lugar el 26 de abril de 1993 en la cuenca del río Tapartó. Para la comprensión del evento es necesario describir la cuenca en términos de dos unidades geomorfológicas diferenciadas: la parte alta y la parte baja. Existe un límite topográfico claro entre las dos unidades en el sitio de Los Chorros (río Tapartó), una serie de saltos escalonados de la corriente que sobrepasa un desnivel total de 100 m.

En la parte alta, correspondiente a los primeros 9 kilómetros del río, el ascenso de vientos sobre ambos flancos de la Cordillera Occidental genera condensación sobre las cumbres (Gómez y Duarte, 1983). Aunque no hay valores concretos de precipitación cercanos a la cabecera del Tapartó, la vegetación de Bosque húmedo montano bajo, sugiere valores hasta de 4.000 mm. anuales (Espinal, 1977).

El relieve de la parte alta es muy fuerte y las pendientes abruptas superan a veces el 100%. Algunos picos, como los Farallones de Citará, llegan a los 4.000 metros de altura, y sus pendientes son tan abruptas que la cobertura de suelo y vegetación de bosque intermedio sufre arranque natural por desprendimiento. El gradiente de pendiente longitudinal del río en la parte alta es del 23.7%, frente a 6.4% en la parte baja.

En la parte baja de la cuenca, últimos 18 kilómetros de recorrido antes de llegar al río San Juan, el río tiene una pendiente suave (6.4% en promedio) dentro de un valle profundo. La precipitación de la zona llega a 2.000 mm. anuales en el punto más bajo del río (IDEAM, estación Ita-Andes), cifra que va aumentando hasta acercarse a los 3.000 mm. anuales en la parte media del río (ISA, en Álvarez et al., 1992). El ancho de la llanura aluvial alcanza decenas de metros y se encuentra habitada de manera permanente, mientras en las laderas se desarrollan cultivos de café y ganadería (Vélez & Jaramillo, 1990).

Localización geográfica

El río Tapartó se encuentra ubicado en el Suroeste del Departamento de Antioquia, sobre la vertiente occidental del río San Juan. Nace en el cerro de San Nicolás, el más alto de la cordillera Occidental y desemboca en el río San Juan tras un recorrido de aproximadamente 27 km (Fig.9.1).

El río Tapartó marca el límite entre los municipios de Andes, al sur, y Betania, al norte, y es accesible desde Medellín por la Troncal del Café. La vía cruza por la confluencia del Tapartó y el San Juan en un sitio llamado El Bosque. Desde El Bosque parte una carretera secundaria, pavimentada también, que asciende 11 km por la margen derecha del Tapartó hasta el corregimiento del mismo nombre.

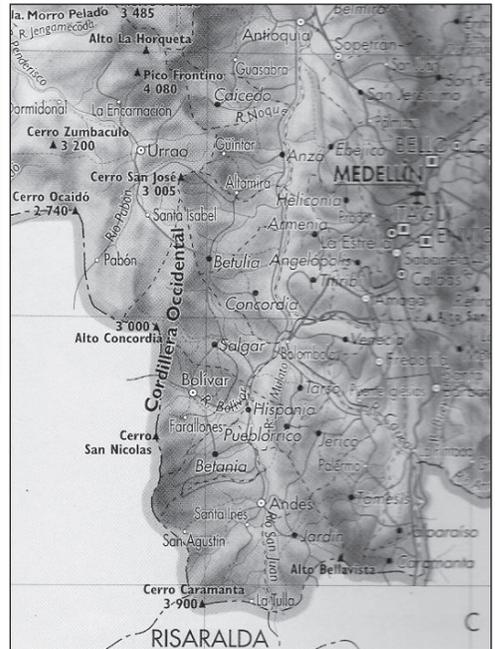


Fig.9.1. Localización geográfica.

Marco geológico

Las dos unidades geomorfológicas que se han descrito están directamente relacionadas con el tipo de roca sobre el que se desarrollan. En la parte alta, la litología corresponde a las rocas del Batolito de Farallones, mientras en la parte baja afloran las rocas sedimentarias del Miembro Urrao de la Formación Penderisco. Sobre esta parte, relacionados con la topografía, se encuentran un par de unidades recientes correspondientes a depósitos de ladera y depósitos torrenciales.

El Batolito de Farallones aflora a partir de 1800 msnm. (sobre el perfil del Tapartó) y alcanza alturas superiores a los 4000 msnm en los Farallones del Citará. Se trata de un cuerpo ígneo plutónico, mozonítico-tonalítico, altamente fracturado, alargado de sur a norte sobre el eje de cordillera (Calle & Salinas, 1991). El cuerpo intruye la Formación Penderisco, en la que produjo una aureola de contacto de unos 500 m. La edad del cuerpo se estima en 11 Ma (Calle et al., 1980).

El Miembro Urrao de la Formación Penderisco se extiende igualmente de sur a norte a lo largo de la vertiente. Limita al occidente con el Batolito de Farallones (sitio Los Chorros) y al oriente con la Formación Combia, cuyo contacto coincide de manera aproximada con el curso del río San Juan. Es una secuencia sedimentaria caracterizada por la estratificación rítmica y fina de limolitas, lutitas, litoarenitas y chert. En general, presenta alto grado de plegamiento y meteorización (Calle et al., 1980). Se estima una edad Cretáceo inferior a medio por correlación estratigráfica (Calle y González, 1980).

Sobre las rocas sedimentarias se presentan dos tipos de depósitos recientes de origen diferente. Los depósitos de ladera están presentes en la parte baja de la vertiente y han sido emplazados por movimientos de masa tanto de las laderas saprolitizadas, como de los antiguos depósitos fluvio-torrenciales. Por su parte, los depósitos torrenciales tienen origen fluvial y se encuentran a diferentes alturas sobre el nivel de la corriente. Su composición de arenas, gravas y bloques de roca, representa una evidencia de la dinámica torrencial en la zona.

Antecedente históricos

Aparte de avenidas torrenciales esporádicas a principios de siglo que los habitantes de la región vieron o que fueron transmitidas y preservadas por tradición oral, no hay reportes de avenidas torrenciales de magnitud similar a la ocurrida en abril de 1993 en el río Tapartó. En cuanto a otras cuencas de la vertiente occidental del río San Juan, pueden mencionarse las de la quebrada La Arboleda y del río Pedral. En la quebrada La Arboleda, situada al sur del Tapartó, en el municipio de Ciudad Bolívar, se presentó un evento torrencial el 4 de junio de 1991 (Sánchez y Peña, 1991), que destruyó 19 viviendas, afectó 5 puentes y causó la muerte de 35 personas (Naranjo, 1991). En el río Pedral hay un reporte oral de pobladores sobre un evento considerable similar al del río Tapartó ocurrido en 1946 (Hermelin, 1993). Es muy posible que se hayan producido más eventos, pero tanto la falta de documentación como el poblamiento relativamente reciente de la zona (fines del siglo XIX) no permiten asegurarlo.

Descripción del evento

La avenida torrencial del río Tapartó tuvo lugar durante la noche del 25 al 26 de abril de 1993. Aparte del desastre humano y material causado por el impacto directo del flujo,

el evento dejó esencialmente dos tipos de evidencias a lo largo de los 18 kilómetros de la parte baja de la cuenca: los depósitos del material sólido que transportaba el flujo torrencial y el socavamiento del lecho del río (Fig.9.2).



Fig.9.2. Panorámica desde el aire que muestra el paso de la avenida torrencial en la zona de la Rochela, a pocos kilómetros del sitio Los Chorros (foto Hermelín, mayo de 1993; en Piedrahíta, 1996). Se puede observar que las quebradas La Selva y La Clara (izquierda) no presentaron flujos importantes, a pesar de que nacen también en Batolito de Farallones.

Los depósitos sepultaron a su vez antiguos depósitos fluvio-torrenciales con pendientes similares a las del río. Internamente, los sedimentos están compuestos en esencia arena media a gruesa en disposición masiva (sin laminación u otras estructuras visibles). El espesor de las capas varía desde algunos centímetros hasta un máximo de 25-30 cm. (Fig.9.3).

La mayor parte de los depósitos antiguos ubicados debajo de 7.5 metros sobre el nivel normal del río, en 1996 (fecha de toma de mediciones), fueron afectados por la avenida torrencial de 1993. El paso del flujo sobre los depósitos antiguos no derribó árboles de gran tamaño, aunque arrasó con la cobertura vegetal de pastos y arbustos. Las construcciones sufrieron en forma variable: aquellas directamente ubicadas en el lecho del río (p.e. puentes), fueron destruidas, mientras que algunas casas sobre la ribera fueron sepultadas y sufrieron destrucción parcial de su estructura.

Sobre el primer tramo de la parte baja predominó el socavamiento del lecho del río con respecto a la depositación, mientras que la parte más baja recibió la mayor parte del material sólido. Cerca del sitio La Selva (a unos 15 km del río San Juan) se observó claramente el proceso de socavamiento y expansión del canal, donde se midieron relaciones

de ancho/profundidad cercanas a 3. Además, se observó el desplazamiento de grandes bloques de roca y huellas de choque sobre su superficie al paso del fluido.



Fig.9.3. Depósitos arenosos junto a bloques de diferentes tamaños removilizados por el flujo de la corriente (mayo de 1993).

Análisis

Tanto los depósitos como el socavamiento del canal y las huellas de choque en los bloques de roca más grandes, permiten hacer algunas afirmaciones preliminares sobre el tipo de flujo. La disposición masiva de los depósitos y el predominio del material grueso, indican que se trató de un flujo turbulento con alta capacidad de transporte. En este tipo de flujos la concentración de sedimentos suele ser variable dentro de un rango alto, al igual que ocurre con la densidad y la viscosidad (Costa, 1988). A partir del predominio del socavamiento en los primeros kilómetros de la parte baja, puede inferirse un flujo hiperconcentrado y de muy alta turbulencia. Así mismo, es evidente que hubo bloques capaces de quebrar superficialmente otros bloques mayores y aún la roca ígnea in situ que aflora en el sitio Los Chorros. Los depósitos arenosos de la parte más baja sugieren un flujo menos concentrado pero de gran velocidad, capaz de afectar un área mayor.

Es evidente que la avenida torrencial se originó en la parte alta de la cordillera, pues sus efectos se encuentran a lo largo de toda la parte baja de la cuenca, desde Los Chorros hasta el río San Juan. Para generar un flujo turbulento de tal magnitud, es necesaria la presencia de gran cantidad de agua como de material sólido. En caso de lluvias intensas,

las pendientes abruptas facilitan su rápida llegada a las corrientes. Además, el suelo en estas pendientes tiene un contacto neto con la roca fresca, de modo que una vez el suelo se satura, su peso ocasiona el arranque y deslizamiento del material sólido a las corrientes que pasan directamente al pie de las pendientes (Hermelín, 1993) (Fig.9.4). Un eventual taponamiento del río por la acumulación de material en un periodo de tiempo muy corto pudo desatar la avenida torrencial tras el rompimiento de la presa natural. En el caso del Tapartó, se descarta un movimiento de masa en la parte alta generado como consecuencia de intervención humana sobre las pendientes, pues tanto fotos aéreas como reconocimiento visual de sobrevuelos (Hermelín, *op.cit.*) permiten observar que el bosque no ha sido intervenido severamente. Así pues, los desprendimientos naturales de material constituyen la hipótesis de origen más acertada.



Fig.9.4. Huellas de arranque de material superficial en la parte alta. En la foto inferior tomada en 1996 (Piedrahíta, 1996) puede apreciarse la aparición de una nueva huella sobre el costado derecho de la anterior en la foto superior (tomada por Velásquez en julio de 1993).



Por otra parte, es importante revisar las evidencias geomorfológicas correspondientes a depósitos antiguos de origen torrencial. A todo lo largo de la parte baja de la cuenca se observa una serie de niveles de terraza que van desde 1.5 metros sobre el nivel actual del río, hasta cerca de 80 metros para los más antiguos. En la mayoría de estos depósitos, especialmente en los más recientes, es posible observar suelos enterrados por secuencias fluvio-torrenciales, en su mayoría de arenas y gravas arenosas con presencia de bloques, que responden a un régimen histórico de alta dinámica torrencial.

En un sitio ubicado a unos 15 kilómetros antes de la confluencia con el río San Juan se observó un registro bastante completo de eventos sucesivos, que, de igual manera que el evento de 1993, cubrieron suelos antiguos. La secuencia de 3.6 metros sobre el nivel actual del río presenta una serie de 8 depósitos, siendo el último el de 1993 y el primero un paleodepósito de características similares donde se encontró un trozo de madera. Este material orgánico fue datado por el método de C^{14} y se obtuvo una edad de 2.210 +/-85 años BP. Un simple cálculo aritmético permite inferir una recurrencia media aproximada de 280 años para los eventos torrenciales más recientes.

Efectos socio-económicos

Quince días después del fenómeno, la Gobernación de Antioquia (1993) emitió el siguiente inventario: 120 personas muertas y 78 familias afectadas, 9 puentes, 6 kilómetros de vía y 1 escuela destruidas, y más de 1.300 millones de pesos en pérdidas materiales que incluyen la destrucción de cultivos.

El evento torrencial de 1993 afectó la mayor parte del área aledaña al río constituida por depósitos antiguos de origen fluvial y torrencial, localizados a lo largo de los 18 kilómetros de la parte baja del río. Se observó que los depósitos con una altura inferior a los 7.5 metros sobre el nivel normal del río en 1996 fueron afectados. Sin embargo, algunas áreas ubicadas a menos de 2 metros sobre el nivel del río, no fueron siquiera tocadas por el flujo torrencial debido a barreras naturales o artificiales que obligaron al depósito de la carga del fluido y originaron a su vez un cambio en el curso de la corriente.

A pesar de la devastación inmediata, se observó una recuperación notoria del suelo y del paisaje tres años después del evento. Sobre los depósitos arenosos de la avenida torrencial, se desarrolló un horizonte A con porcentajes variables de materia orgánica suficientes para el crecimiento de vegetación. A continuación se presentan dos pares de fotografías en los que se puede apreciar el crecimiento de nueva vegetación en las áreas afectadas. En la (Fig.9.5) se observa una casa campesina que sufrió de cerca las consecuencias del fluido torrencial. Tres años después, la maleza creció y la casa se habitó nuevamente.

En el segundo par de fotografías (Fig.9.6) puede observarse el efecto devastador del flujo sobre potreros cercanos al río. En la foto tomada tres años después, se observa que sólo quedan como evidencia las cicatrices en la corteza de los árboles, mientras que los lugares aledaños son utilizados nuevamente como potreros o frentes de casas.

Una tasa tan alta de recuperación del suelo da una falsa sensación de ausencia de amenaza. En ningún momento se ha restringido el uso de estas áreas, de modo que la mayor parte de los habitantes sigue viviendo en las mismas áreas de riesgo.



Fig.9.5. Recuperación de la vegetación en un área afectada por la avenida torrencial de 1993 ubicada a 6.3 km. del Río San Juan. Foto superior inmediatamente posterior al evento (mayo de 1993) y foto inferior en mayo de 1996 (Piedrahíta, 1996).



Fig.9.6. Marcas producidas por la avenida torrencial sobre la corteza de los árboles, a 8 km. del Río San Juan, (Foto superior: mayo de 1993), y la respectiva recuperación del paisaje en diciembre de 1995 (Foto inferior: Piedrahíta, 1996).

Conclusiones

Lluvias de gran intensidad, pendientes fuertes y desprendimiento de material sólido en la parte alta de la cuenca, fueron los aspectos primarios que desencadenaron la avenida torrencial del 26 de abril de 1993 en el río Tapartó.

La cobertura vegetal de bosque de la parte alta de la cuenca, inalterada desde el punto de vista de la deforestación, es independiente de los movimientos de masa durante el evento torrencial. Una superficie neta de cizallamiento entre el suelo y la roca fresca, hace que el peso agregado del agua lluvia provoque la caída del material de manera natural. Las cicatrices de estos desprendimientos son visibles desde la parte baja como "rasguños" alargados en sentido de la pendiente. Con ayuda de fotos aéreas, se identificaron 15 de estas cicatrices (de al menos 30m de ancho), y al menos una reciente entre 1993 y 1996.

Los efectos producidos por la avenida torrencial estuvieron presentes en toda la parte baja de la cuenca del río Tapartó (últimos 18 km). Sobre la primera parte de este tramo predominó la socavación del lecho, mientras que hacia la parte más baja, la depositación tuvo una mayor incidencia.

Los depósitos de la avenida torrencial de 1993 presentan en promedio un espesor de 30 cm. La presencia de bloques de roca provenientes de la parte alta a lo largo de toda la parte baja de la cuenca en diferentes niveles (desde el nivel actual del río hasta 80 m por encima), sugiere una dinámica torrencial alta, con una larga historia para la cuenca del río Tapartó.

El análisis de las características geomorfológicas y sedimentológicas de una serie de 7 depósitos anteriores al de 1993 (que incluyó la datación del depósito inferior en 2.210 +/- 85 años BP ¹⁴C), sugiere una recurrencia promedio muy aproximada de 280 años para este tipo de avenidas en el río Tapartó.

El origen natural de la avenida torrencial, sumado a la rápida recuperación del suelo y el paisaje en las áreas afectadas, dificultan la prevención de próximos desastres. De hecho, los buenos cuidados que los pobladores tengan con su cuenca no impedirán los efectos de una nueva avenida. Sólo el desalojo de las áreas más bajas (al menos de las afectadas por el evento de 1993), podría prevenir efectos similares si se presentara otro desastre de igual magnitud.

Las características geomorfológicas e históricas, similares en la mayor parte de la vertiente occidental del río San Juan, indican la probabilidad de avenidas torrenciales comparables a las del río Tapartó en 1993 para toda la zona.

Referencias bibliográficas

- | | |
|--|---|
| <p>Álvarez, O., Bernal, F. & Tamayo, E., 1992. Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos del Suroeste antioqueño. Santa Fe de Bogotá, Federación de Cafeteros de Colombia. 452 p.</p> <p>Bloom, A.L., 1991. Geomorphology: A systematic analysis of late Cenozoic landforms.</p> | <p>Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.</p> <p>Calle, B. & González, H., 1980. Geología y geoquímica de la plancha 166 Jericó. Informe 1822. Medellín, INGEOMINAS.</p> <p>Calle, B., González H., De La Peña, R., Escorce, B. & Durango J., 1980. Mapa geológico pre-</p> |
|--|---|

- liminar 166 Jericó (Esc. 1:100.000) - Reseña explicativa. Medellín. INGEOMINAS.
- Calle, B. & Salinas, R., 1991. Mapa geológico plancha 165 Carmen de Atrato (Esc. 1:100.000) - Memoria explicativa. Medellín, INGEOMINAS.
- Costa, J.E., 1988. "Rheologic, geomorphic and sedimentologic differentiation in water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows". In: Baker, B.R., Kochel, R.C. y P.C. Patton, Eds. Flood geomorphology. New York, John Wiley and Sons. p.113-122.
- Espinal, L.S., 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa (Plancha No.8). Volumen XIII, No.11. Bogotá, IGAC.
- Gobernación de Antioquia, 1993. Informe de daños - Tapartó. Programa de reconstrucción en Antioquia, Tapartó - Andes. Inédito. 13 p.
- Gómez, L. & Duarte, E., 1983. 40 años de investigaciones en CENICAFÉ -clima- Volumen 2. Chinchiná (Caldas), Centro Nacional de Investigaciones del Café - CENICAFÉ. 54 p.
- Hermelin, M., 1993. Informe - Reconocimiento de las partes altas de la cuenca del río Pedral. Gobernación de Antioquia - Programa aéreo de salud, Medellín. Inédito. 28 p.
- Naranjo, J., 1991. Informe técnico Ciudad Bolívar. Medellín, Gobernación de Antioquia, Secretaría de Desarrollo de la Comunidad. Inédito. 7 p.
- Piedrahíta, I., 1996. Estudio preliminar de amenazas por eventos torrenciales en la vertiente occidental del río San Juan, Suroeste antioqueño. Proyecto de grado, Universidad EAFIT, Medellín. 127 p.
- Sánchez, I.D. & Peña, O.N., 1991. Informe evaluativo del desastre natural en la vereda La Arboleda del municipio de Ciudad Bolívar. Medellín, Alcaldía Municipal de Ciudad Bolívar. Inédito. 3 p.
- Vásquez, G., 1994. "Reconsideración de la efectividad de la vegetación boscosa para el control de eventos hidrológicos torrenciales". En: Seminario nacional "Políticas, silvicultura y protección forestal". La Ceja, Antioquia, Ministerio del Medio Ambiente, INDERENA, ACIF. 13 p.
- Vélez, A. & Jaramillo J., 1990. Plan de acción - recuperación y saneamiento de la microcuenca del río Tapartó. Medellín, Departamento Administrativo de Planeación - Gobernación de Antioquia y Corporación Amigos del río Tapartó. p.16-18.

10. El terremoto, la avalancha y los deslizamientos de la cuenca del río Páez, 1994

Gustavo Wilches-Chaux

Resumen

El desastre de la cuenca del río Páez ocurrió a raíz del terremoto del 6 de junio de 1994, que también generó una avalancha y más de 3000 deslizamientos. Las mayores pérdidas se localizaron en los municipios de Páez e Inzá. Causó 1100 víctimas y según la tradición indígena tuvo antecedentes en la región. La vulnerabilidad de los habitantes fue alta por el tipo de construcción, que puede mejorarse y por la imposición que data de la Colonia, de construir poblados a orillas de los ríos en lugar del tradicional habitat indígena disperso en las pendientes. Se hace énfasis en la recurrencia de los desastres de origen natural y en la necesidad de implantar una verdadera política de prevención, pues la tendencia mundial actual es un aumento de los desastres pese a campañas como la Década Internacional para la Reducción de Desastres.

Palabras claves: Sismo, avenida torrencial, deslizamientos, Río Páez, Colombia, desastres naturales.

Abstract

The June 6th, 1994 catastrophic event which occurred in the Páez fluvial basin was triggered by a 6.4 magnitude earthquake. As it happened after a long rainy period, it also generated a torrential flood and more than 3000 slides. Major losses were located in the Páez and Inzá municipalities and caused 1100 victims; as evidenced by local indigenous traditions, it was only one of a many similar events. Population vulnerability was high due to the type of housing, which can be improved and because since the Spanish conquest indigenous people were obliged to concentrate in villages on river banks instead of their traditional housing dispersed in the mountain slopes. Recent recurrence of disasters of natural origin is notorious and the need to establish real prevention policies is emphasised because the present world tendency indicates an increase in disasters despite of campaigns as the International Decade for Natural Disaster Reduction.

Key words: Seism, torrential flood, landslides, natural disasters, Paez river, Colombia.

Introducción

Dos tipos de características tipifican al llamado "terremoto del Páez":

- Unas, ligadas a los efectos colaterales del fenómeno que desencadenó el desastre (un terremoto de 6.4 grados en la escala de Richter) que, por sí mismo, no representa un hecho excepcional, pero que se produjo en un momento de intensas lluvias en la región

epicentral, lo cual provocó una serie de fenómenos concatenados (deslizamientos, flujos de lodo, avalancha), que obligaron a reubicar a cerca de 1.600 familias fuera de la zona más afectada.

- Otras, ligadas a las características étnicas y culturales de las comunidades que habitan la zona de desastre, en su mayoría pertenecientes a la etnia nasa o páez, con presencia importante de comunidades guambianas, mestizas y afrocolombianas, ubicadas tanto en cascos urbanos como en zonas rurales.

La región de Tierradentro, como su nombre lo indica, ha sido desde siempre de difícil acceso. Los conquistadores españoles sufrieron en ella algunas de sus más grandes derrotas militares, hasta que desistieron de conquistar a los indígenas por la vía armada. Sólo después, a través de la evangelización, lograron dominarlos y establecerse en la zona. De alguna manera este hecho contribuyó en el largo plazo a convertir el terremoto y la avalancha de 1994 en un desastre, pues las poblaciones destruidas por el flujo de lodo se construyeron a orillas del río Páez, alrededor de templos doctrineros erigidos con el fin de "salvarles el alma" a los nativos. Estos vivían antes en las montañas, en casas dispersas, alejados del agua (que consideran sagrada) y en su cosmovisión tradicional existe una serie de señales que saben interpretar los *The Wala* ("médicos tradicionales" de los nasa) que les indican dónde se puede construir, habitar y cultivar con seguridad, y qué sitios, por el contrario, conviene evitar. Esas señales constituyen formas eficaces de lo que hoy denominamos "gestión del riesgo", que fueron desplazadas por cosmovisiones surgidas en entornos con dinámicas naturales y culturales diferentes. Una prueba más de que la pérdida de la cultura es un factor de vulnerabilidad innegable. (Muchas de las comunidades nativas del Pacífico Sur que todavía conservan la capacidad de "leer" señales de la naturaleza, tales como el comportamiento de los animales y en especial de las aves, lograron retirarse a tiempo de las playas y ponerse a salvo de los efectos del tsunami del 26 de diciembre de 2004.)

En la zona afectada existen ahora y existían al momento de producirse el desastre una enorme cantidad de conflictos no resueltos, la mayoría de los cuales con raíces en la época del "descubrimiento" y la conquista; conflictos interétnicos, religiosos, sociales, políticos, e incluso, conflictos limítrofes entre los departamentos del Cauca y del Huila; sumados ahora a los conflictos que trae consigo el narcotráfico para las comunidades que se dedican a cultivar especies convertidas en ilícitas. (Sarmiento & Olson, 1995).

La recuperación y reconstrucción de la zona afectada por el terremoto y la avalancha, demostraron que un proceso de estos, es, esencialmente, de manejo de conflictos: entre grupos étnicos; entre comunidades humanas de una misma etnia; entre cosmovisiones; entre las comunidades y el Estado; entre ecosistemas y comunidades. Las lecciones que de allí se derivan son muy importantes, pues la experiencia parece indicar que las zonas de mayor riesgo están tendiendo a coincidir –en Colombia y en otros lugares del mundo– con zonas de grave conflicto económico, político y social, muchas veces con expresiones militares, lo cual ha llevado al PNUD a apoyar en nuestro país, un proyecto sobre gestión del riesgo en zonas de conflicto armado.

No se ha hecho todavía una investigación detallada que permita determinar en qué medida el proceso que siguió al terremoto del Páez, logró efectivamente –o no– reducir los múltiples factores de vulnerabilidad que se confabularon con el sismo y la avalancha, para convertir este par de fenómenos naturales en un gran desastre. En otras palabras:

más allá de las cifras sobre la inversión realizada, no se sabe con certeza qué tanto ha contribuido ese proceso a mejorar la calidad de vida de las comunidades y a hacerlas más sostenibles.

En medio de ese mosaico de múltiples vulnerabilidades que presentaba la zona de desastre, resaltaba positivamente un factor que hacía a las comunidades indígenas de la región mucho menos vulnerables, incluso, que otras comunidades urbanas y rurales colombianas que aparentemente son más fuertes en el aspecto económico o en sus posibilidades de acceso a los servicios del Estado. Esa fortaleza es la cultura, que en las comunidades indígenas se manifiesta en lo político, en lo organizativo, en sus formas de producción y de consumo, y en sus relaciones con el resto de la sociedad y con el medio ambiente. La apuesta de NASA KIWE, la Corporación creada por el gobierno nacional con posterioridad al terremoto del Páez, consistió en apoyar esa fortaleza y en enfocar toda la estrategia de acompañamiento hacia el fortalecimiento de los actores locales, incluyendo las organizaciones indígenas y los gobiernos municipales. Una de las expresiones de esa apuesta fue la participación directa en el Consejo Directivo de la institución de representantes de los distintos actores y sectores de la zona afectada, incluyendo indígenas, no indígenas y autoridades políticas y religiosas. La mayor parte de esos integrantes del Consejo Directivo representaban sectores con profundas contradicciones entre sí. (Gómez & Ruiz, 1995).

Habría que ver si hoy, casi diez años después del terremoto del Páez, si las comunidades y los ecosistemas de la zona están mejor preparados o no para evitar que fenómenos como el terremoto y la avalancha se conviertan en desastres, o por lo menos para que sus efectos sean menos traumáticos. Las únicas amenazas que pesan sobre esas comunidades –y sobre otras comunidades colombianas– no son de origen natural. Las comunidades indígenas del Cauca han tenido que afrontar a lo largo de su historia múltiples amenazas, en especial la violencia de quienes han pretendido exterminarlas o por lo menos volverlas invisibles, en respuesta a lo cual han logrado generar estrategias no violentas de resistencia cultural y territorial. Hoy ponen en marcha ese mismo tipo de estrategias para enfrentar procesos que interpretan como nuevas amenazas, tales como el Tratado de Libre Comercio o TLC.

El autor de estas notas fue nombrado director de la Corporación NASA KIWE, y desempeñó ese cargo durante los dos primeros años del proceso de acompañamiento a las comunidades y a los ecosistemas afectados por el desastre del Páez. (Wilches-Chaux, 2000). El texto recoge también una serie de datos y reflexiones que forman parte de los resultados de un estudio sobre los “desastres históricos” que han afectado a Colombia, (Wilches-Chaux, 2005).

Localización geográfica del evento

La región de Tierradentro está situada en la cordillera Central, en el departamento del Cauca, en el suroccidente de Colombia, en límites con el departamento del Huila. Comprende dos municipios: Inzá y Páez, que se caracterizan por ser de población predominantemente indígena, páez (nasa), aunque en los mismos habitan otros grupos étnicos indígenas, al igual que mestizos y afro-descendientes, estos últimos en la zona de Itaibe, municipio de Páez. (Fig.10.1).



Fig.10.2. Foto de Belalcázar a orillas del Paéz.

Posteriormente, a raíz de la Ley 218 de 1994, conocida también como "Ley Páez", (República de Colombia, 1994) se incluyeron nuevos municipios como "afectados" por el desastre, con lo cual pasaron de 15 a 47 (25 en el Cauca y 22 en el Huila), incluyendo las ciudades capitales de ambos departamentos.

El río Páez, principal escenario de la enorme avenida torrencial o avalancha resultado del terremoto, nace en el volcán nevado del Huila, que constituye la mayor altura de la cordillera de los Andes en territorio colombiano (5.780 msnm) y que, conserva todavía uno de los mayores glaciares colombianos. El río Páez es afluente del Magdalena, la principal arteria fluvial de la región andina colombiana.

El sismo se produjo en una temporada de intensas lluvias, lo cual explica la cantidad y las características de los deslizamientos que produjo, aún en laderas que se encontraban cubiertas de bosques: los suelos estaban totalmente saturados de agua y fueron incapaces de mantener su estabilidad cuando se produjo el movimiento telúrico.

El terremoto y sus amenazas concatenadas

El terremoto del 6 de junio de 1994 ocurrió a las 3:47 de la tarde, con epicentro en cercanías de Dublín, población situada en la cuenca alta del río Páez. El foco tuvo una profundidad inferior a 10 kilómetros y el sismo alcanzó una magnitud de 6.4 en la escala de Richter.

Las pérdidas humanas, entre muertos y desaparecidos, se aproximan a 1.100 personas, (Puerto, 1995) un número relativamente bajo de víctimas si se tienen en cuenta las enormes proporciones de los deslizamientos y las avalanchas que afectaron a la cuenca del Páez como consecuencia del terremoto. Seguramente influyó en ello la tendencia

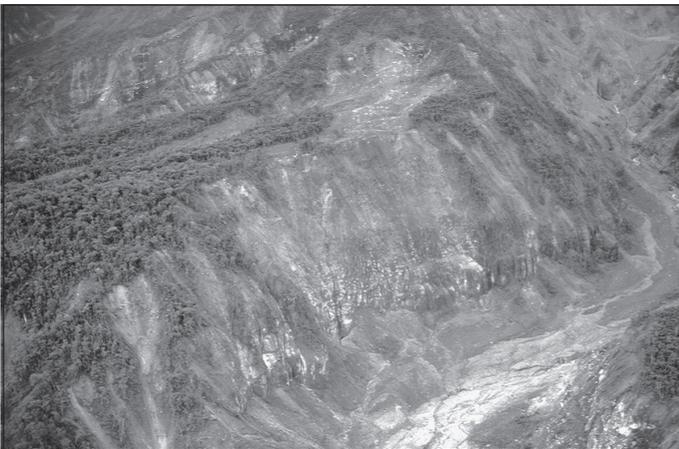


Fig.10.3. Foto del cañón del río Páez, con vestigios de la avalancha y los deslizamientos.

de la población indígena, mayoritaria en la zona epicentral, a vivir de manera más o menos dispersa y lejos de las corrientes de agua. En la tradición mítica de los indios existe memoria sobre la ocurrencia de eventos similares en el pasado (confirmados por los estudios geológicos), durante uno de los cuales fue rescatado de la avalancha el bebé JUAN TAMA, que llegaría a ser el principal líder espiritual y cultural de los paeces.

La destrucción ecológica alrededor de la zona epicentral (o zona con "condiciones críticas de inestabilidad") se calculó en 40.000 hectáreas (400 kilómetros cuadrados), de los cuales un alto porcentaje se encuentra en tierras del Parque Nacional Natural "Nevado Huila". Esta cifra convierte al desastre del Páez en uno de los dos con mayor destrucción ecológica que ha sufrido el país, conjuntamente con los terremotos del Murindó o del Atrato Medio (1992), que afectaron a cerca de 50 mil hectáreas de bosques y suelos.

La zona con "condiciones críticas de inestabilidad" en la región afectada por el terremoto del Páez, es "un corredor de unos 28 kilómetros de largo por 15 de ancho, ubicado en la cuenca alta del río Páez, que incluye casi en su totalidad las subcuencas de los ríos Moras, Símbola y San Vicente." Además, como zonas de uso restringido, se han considerado las subcuencas de los ríos Malvasá, Salado, Ullucos, Negro y Coquiyú o Coquiyó, entre otras. (Convenio INGEOMINAS-NASSA KIWE, 1995).

INGEOMINAS registró 3.002 deslizamientos ocasionados por el terremoto en los municipios de Inzá y Páez. Estos deslizamientos fueron el origen inmediato del flujo de lodo o avalancha, que en algunos puntos estrechos del cañón del Páez alcanzó 70 metros de altura, arrasando con todo a su paso.

Efectos geo-ecológicos y sus consecuencias sociales

Es raro que un terremoto produzca una destrucción geo-ecológica tan extensa y considerable como éste, lo cual constituye uno de los rasgos característicos del desastre; significó la expulsión de su territorio de origen, en los días inmediatamente siguientes al terremoto, de cerca de 1.600 familias, unas ocho mil personas, entre indígenas (1.100 familias) y mestizas (500 familias), que inicialmente se ubicaron en albergues temporales en distintos municipios vecinos del Cauca y el Huila. Posteriormente fue necesario reubicar fuera de la zona a otras familias que permanecieron en lugares de riesgo dentro de sus territorios de origen.

También constituyó un rasgo característico del terremoto del Páez la coexistencia de múltiples amenazas simultáneas en la zona afectada, lo cual, sumado a la destrucción geo-ambiental antes descrita, generó, por una parte, incertidumbre en el Estado y en las comunidades sobre la posibilidad o imposibilidad de volver a habitar y utilizar productivamente sus territorios de origen, y por otra parte, la necesidad no sólo de reconstruir las viviendas y la infraestructura destruida, sino de adquirir tierras productivas para reubicar a las comunidades que no podían reestablecerse de manera definitiva en el corto y mediano plazo en la zona de desastre. Para ese efecto, la Corporación NASA KIWE había adquirido hasta el año 2003, cerca de 11 mil hectáreas y calculaba adquirir cerca de 800 más antes de culminar el proceso en el año 2005.

Las principales amenazas concatenadas fueron las siguientes:

Amenaza sísmica

INGEOMINAS detectó en la cuenca del Páez más de diez fallas geológicas activas, sin contar aquellas existentes en otros municipios considerados como zona de desastre, pero que no sufrieron destrucción del territorio como consecuencia del terremoto del 6 de Junio de 1994 (por ejemplo la cuenca del río Piendamó, que nace en el municipio de Silvia). La vulnerabilidad ante la amenaza sísmica, presente en mayor o menor medida en toda la región andina suramericana, se puede reducir mediante el uso de técnicas de construcción sísmo-resistente, basadas en la ingeniería moderna, en técnicas de construcción tradicionales (como el bahareque) o en una combinación de ambos conocimientos. (Gutiérrez, 1994). De allí que la amenaza sísmica, por sí sola, no hubiera ameritado la reubicación por fuera de la zona de desastre de ese gran número de familias afectadas. Esa decisión se tomó con base en las demás amenazas concatenadas.

Amenaza por avenidas torrenciales o avalanchas

Como consecuencia del terremoto del 6 de Junio de 1994, en todos los ríos y quebradas de la cuenca del Páez y de las subcuencas antes mencionadas, se produjeron derrumbes, represamientos y avalanchas, que a su vez ocasionaron una sedimentación de los materiales de arrastre en los fondos de los cauces, lo cual obligó a desplazar hacia arriba la cota segura a partir de la cual, en ausencia de otros riesgos, se considera que puede edificarse. Uno de los aspectos que convendría evaluar en este momento, diez años después del terremoto, es en qué medida se han tenido en cuenta esas recomendaciones.

Amenaza por deslizamiento o derrumbe

La desestabilización de taludes y laderas constituyó quizás la más grave de las amenazas que quedaron activas en la cuenca del Páez, después del terremoto del 6 de junio y de sus múltiples réplicas. INGEOMINAS detectó en la zona estudiada más de 3.000 deslizamientos actuales, así como condiciones para que por razón de fenómenos naturales (terremotos, fuertes lluvias) y/o actividades humanas (talas, quemas, manejo inadecuado de suelos y aguas, obras de infraestructura sin las debidas precauciones) se puedan producir en otros lugares nuevos fenómenos de remoción en masa.

Amenaza volcánica

El río Páez nace en las faldas del volcán nevado del Huila, (Fig.10.4).

Pese a que no existe registro de erupciones volcánicas en tiempos históricos, los estudios geológicos indican que se trata de un volcán de tipo efusivo, cuyos flujos de lava han contribuido de manera notable a la orografía de la zona. El volcán se encuentra activo, como lo indica la presencia permanente de fumarolas y tremores.

Al principio se pensó que el terremoto del 6 de junio hubiera podido tener origen volcánico y que la avalancha subsiguiente se hubiera producido como consecuencia del deshielo del casquete glacial del volcán nevado Huila, en un proceso similar al que acabó con Armero (Cárdenas, 2005), pero esa hipótesis quedó totalmente descartada. Sin embargo, muchos de los efectos de la avalancha (como la destrucción de la población de Irlanda y de la zona donde se encontraba el hospital de Belalcázar), coincidieron con

los pronósticos del "mapa de riesgos" en caso de erupción volcánica del nevado del Huila, elaborado por INGEOMINAS, al igual que con estudios adelantados por encargo del INDERENA. (Autoridad Ambiental Colombiana, reemplazada por el Ministerio del Medio ambiente en el año 1993). De hecho, la ejecución de los planes de evacuación que se habían elaborado en Belalcázar para el caso de una eventual erupción volcánica, contribuyó a salvar muchas vidas en la cabecera urbana del municipio de Páez.



Fig.10.4. Foto del volcán Nevado Huila (visto desde el occidente en vuelo sobre el Valle del Cauca).

Estudios del volcán después del terremoto señalaron que como consecuencia del sismo se habían producido cambios en el edificio volcánico que, eventualmente, podrían incrementar las probabilidades de una erupción, y que así mismo se habían alterado las

características estructurales del casquete de hielo, aumentando las posibilidades de una futura avalancha.

El volcán nevado del Huila en la zona, implica la amenaza permanente de una erupción, con sus efectos colaterales, como son principalmente flujos de lava, deshielos y avalanchas o lahares, además de las que podrían producir los temblores asociados. Esto conllevó a que algunas zonas que no sufrieron daños mayores con el terremoto del 6 de junio hubieran sido catalogadas dentro de la categoría con mayores restricciones en la "Zonificación para usos del suelo" (Convenio INGEOMINAS NASA KIWE, 1995; Carvajal, 1995; Rojas, 1995).

Después del terremoto y la avalancha del 6 de junio de 1994, también surgió temor sobre los efectos que una eventual creciente de ese río, como consecuencia del deshielo total o parcial del casquete glacial del volcán nevado del Huila, pudiera tener sobre la ciudad de Neiva, situada a orillas del río Magdalena, aguas abajo de la represa de Betania. (Betania represa las aguas del Magdalena después de que éste ha recibido al río Páez). Sin embargo, de acuerdo con los estudios elaborados por encargo de la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, el embalse de Betania podría absorber sin problema un volumen de agua adicional, equivalente al tamaño total del casquete de hielo del volcán nevado del Huila.



Fig.10.5. Foto de Neiva a orillas del Magdalena.

Un efecto colateral del sismo y la avalancha, fueron las "palizadas" o acumulaciones de troncos en la represa de Betania. Esos troncos eran los bosques existentes en las montañas del cañón del Páez que colapsaron como consecuencia del terremoto. Las palizadas representaron un grave problema para la actividad turística y para los pescadores y criadores de peces de Betania (problema que, por supuesto, se volvió más grave por la llegada de decenas de cadáveres a la represa).

Normalmente una erupción volcánica no se produce sin aviso previo, sino luego de un proceso de incremento gradual de la actividad, que pasa por las llamadas etapas de

"alerta amarilla", "alerta naranja" y "alerta roja", lo cual permite prevenir sus consecuencias desastrosas, especialmente mediante evacuación de las comunidades vulnerables. El nevado del Huila es objeto de monitoreo constante por parte de INGEOMINAS, pero ese proceso no carece de dificultades, entre las cuales se cuentan los problemas para acceder a las vecindades de la cima del volcán, con todo lo que ello implica para efectos de instalación y mantenimiento de equipos, y la pérdida y destrucción de los que han logrado instalarse. A esto se suman las dificultades presupuestales por las cuales atravesaba INGEOMINAS, que reducían notablemente su capacidad de maniobra.



Fig.10.6. Foto de las palizadas.

El tiempo que lleva de vigilancia el nevado del Huila resulta aún muy corto para poder interpretar exactamente el significado de los cambios que se van detectando. Los estudios realizados por INGEOMINAS en el nevado, indican que no se trata de un solo volcán, sino de una serie de volcanes "asociados", conformados por varias chimeneas que comparten una misma cámara magmática.

Conclusiones

La principal conclusión es que el desastre de la cuenca del Páez no solamente no es "natural" (parece existir unanimidad al respecto desde hace algún tiempo), sino que la mayoría de los "grandes" desastres que han afectado a Colombia en las últimas tres décadas, han sido anunciados o son "repitentes". No es, pues, la primera vez que afectan a esos mismos territorios y comunidades.

La segunda conclusión es que la principal característica de un desastre es que es un desastre, afirmación que sin embargo no parece entenderse ni en la teoría ni en la práctica. A pesar de que en algunos casos, efectivamente, los desastres abren "ventanas de oportunidad" que permiten obtener legítimamente algunos beneficios de ellos, lo cierto es que producen una gran cantidad de pérdidas que resultan irrecuperables: desde vidas humanas hasta "rutinas" que constituyen elementos esenciales del tejido social de una comunidad, que muchas veces desaparecen para siempre. En los desastres hay algunos ganadores, que no siempre coinciden con los más afectados, pero sobre todo, queda una gran cantidad de perdedores que termina por asumir los mayores costos vitales y sociales en este tipo de eventos. De allí la necesidad de establecer como una prioridad nacional la prevención de los desastres (con énfasis en medidas de mitigación y de prevención de las amenazas evitables), sin descuidar por ellos las actividades de preparación para una adecuada respuesta que, por supuesto, también son indispensables.

Otra conclusión es la necesidad de revisar la estrategia de expedir –al calor de las emergencias– normas como la "Ley Páez" o "la Ley Quimbaya" (posterremoto del Eje Cafetero), y las normas equivalentes que se expidieron después del terremoto de Popayán y del desastre de Armero, que a través de estímulos tributarios, pretenden influir sobre la recuperación económica de una región afectada por un desastre. La experiencia ha demostrado que no sirven para alcanzar los objetivos esperados y que si generan beneficios, no son para las regiones directamente afectadas.

Por último, se registra en el mundo una tendencia grave al incremento de los desastres. Paradójicamente, durante el "Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales" declarado por las Naciones Unidas, la humanidad ha sido testigo de los más grandes desastres de su historia. Existen indicios cada vez más contundentes de que el calentamiento global –en el cual tiene un buen porcentaje de responsabilidad la actividad humana– está incidiendo sobre las características, procesos hidrometeorológicos (como El Niño, La Niña y los tornados y huracanes) que antes se consideraban eminentemente "naturales". Por otra parte, el incremento de la población humana en condiciones de vulnerabilidad, se confabula con lo anterior para generar nuevos riesgos y producir nuevos desastres.

En el análisis del "manejo" de los múltiples desastres que ha tenido que afrontar Colombia, encontramos una serie de lecciones que nos pueden ayudar a incrementar la capacidad de resistencia y de resiliencia del país ante futuras amenazas, siempre y cuando agudicemos nuestro sentido autocrítico, no sólo frente al manejo de los desastres, sino en general, sobre eso que entendemos como "desarrollo".

Bibliografía

- Cárdenas, C., 2005. La Erupción del Volcán Nevado de Ruiz de 1985. 19 p.
- Carvajal, E., 1995. "Análisis descriptivo de la producción y usos del suelo e impacto del desastre del 6 de junio de 1994 en la región de Tierradentro". Documento institucional inédito (Popayán).
- Censo de población CRIC-NASA KIWE.
- Gómez, H & Ruiz, C. A., "Los Paeces: Gente Territorio-Metáfora que perdura". Fundación para la Comunicación Popular FUNCOP - Universidad del Cauca. (Popayán, 1997).
- Gutiérrez, J. N., 1994 Consultor Nasa Kiwe. "Caracterización de la vivienda e impacto del desastre del 6 de junio de 1994 en la región de Tierradentro". Documento institucional inédito (Popayán).
- Martínez, J.M., Aula, G., Agudelo, A., Schuster, R. L., Casadevall, T. & Scott, K., 1995. Landslides and debris flow triggered by the 6 June 1994 Páez earthquake, southWestern Colombia. *Landslides News* V.9. p.13-15.
- Puerto, F. 1995 Análisis descriptivo de los principales indicadores de morbilidad y mortalidad en los municipios de Páez e Inzá afectados por el desastre del 6 de Junio.
- República de Colombia, 1994 Ley 218 de 1994 ("Ley Páez"). Congreso de la República, Bogotá.
- Rojas, M., 1995 Consultor Nasa Kiwe. "Herramientas de planeación para los planes de reconstrucción, la región de Tierradentro, análisis general e impacto del desastre del 6 de junio de 1994". Documento institucional inédito (Popayán).
- Sarmiento, J. P & Olson, R. S., 1995 "Guns, drugs, and disaster: Cauca/ Huila, Colombia, 1994". *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, V.13p. 147-160.
- Wilches-Chaux, G., 2000. "En el Borde del Caos". Casa Pensar - Universidad Javeriana (Bogotá, 2000).
- Wilches-Chaux, G. Cardona, O.D & García, X., 2005. "Descripción de Desastres Históricos - bases para el estudio de desastres recientes en Colombia". Informe parcial de una consultoría para el Departamento Nacional de Planeación para el diseño de una política sobre responsabilidad estatal en casos de desastre. (Bogotá).

11. 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 Chavez & Michel Hermelin

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 más 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 claves: 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 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, Rio Fraile, Colombia.

Introducción

Las avenidas torrenciales son una amenaza natural muy común y posiblemente la meno estudiada en Colombia; sin embargo causan grandes pérdidas en vidas humanas e infraestructura. Solamente entre 1985 y 1995, más de 40 avenidas torrenciales altamente destructivas ocurrieron en el país, con más 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 con la que 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 msnm y su desembocadura en el río Cauca está a una altura de 975 msnm (Fig.11.1).

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 msnm, cambia abruptamente su perfil longitudinal (Figuras 11.1 y 11.2). En este punto sus depósitos se dispersan ampliamente formando un abanico aluvial donde se encuentra situada la cabecera municipal de Florida.

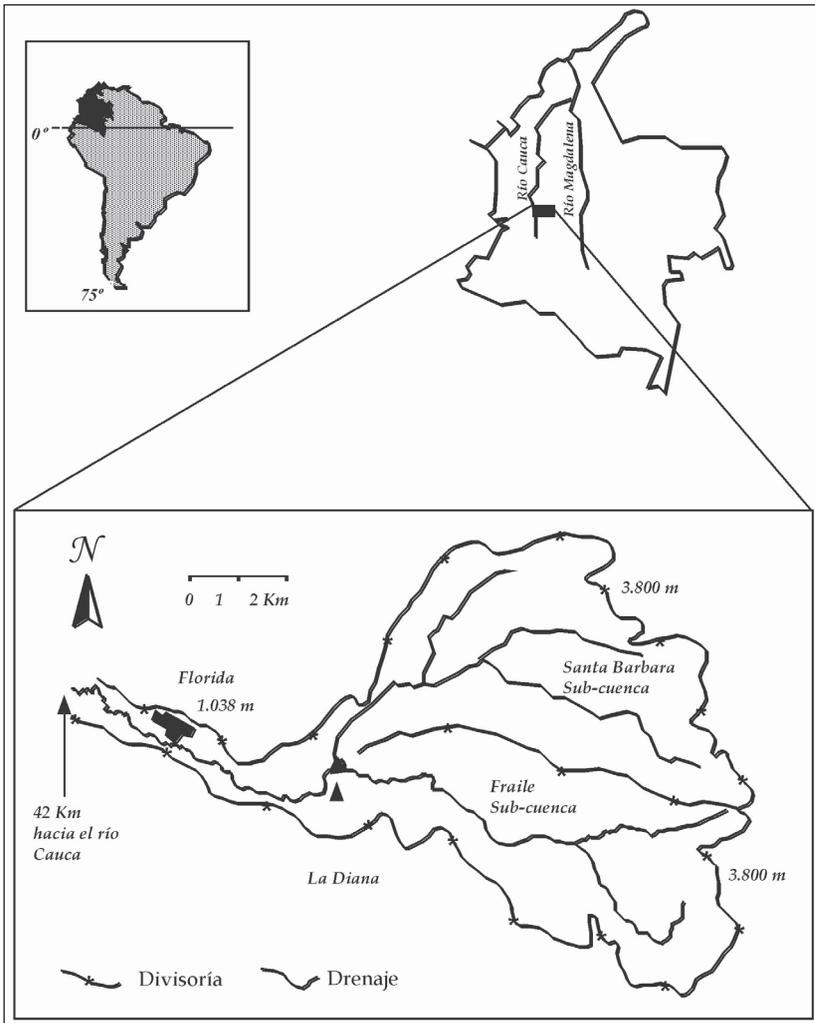


Fig.11.1. Localización de la cuenca del río Fraile y mapa de la cuenca. Se muestran las dos subcuencas, Fraile y Santa Bárbara.

Con base en su elevación, su relieve y su promedio de precipitación, la cuenca puede ser dividida en 3 áreas (Fig. 11.2):

- Área 1, caracterizada por un alto relieve, elevaciones entre 3.800 y 2.100 msnm, 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 msnm, pendientes alrededor de 50% y una precipitación de 1.800 mm/año.
- Área 3, con bajo relieve, elevaciones entre 1.200 y 975 msnm, pendientes suaves, (menos del 15%) y una precipitación de 1.500 mm/año.

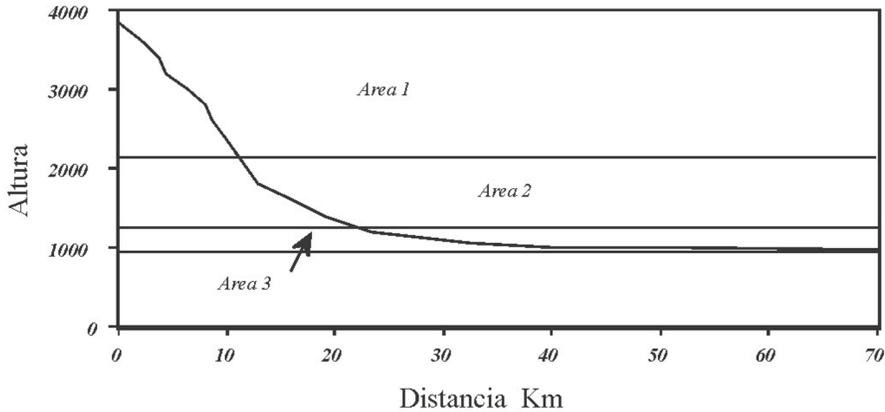


Fig.11.2. Perfil longitudinal del cauce principal del río Fraile. Las líneas horizontales muestran las tres áreas en las cuales se divide la cuenca en función de su elevación, relieve y precipitación promedio. Nótese el gradiente escarpado en el área 1.

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 msnm, a 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 reflejen 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 promedio 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 más alta de la cuenca (Fig.11.3).

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) (Fig.11.4).

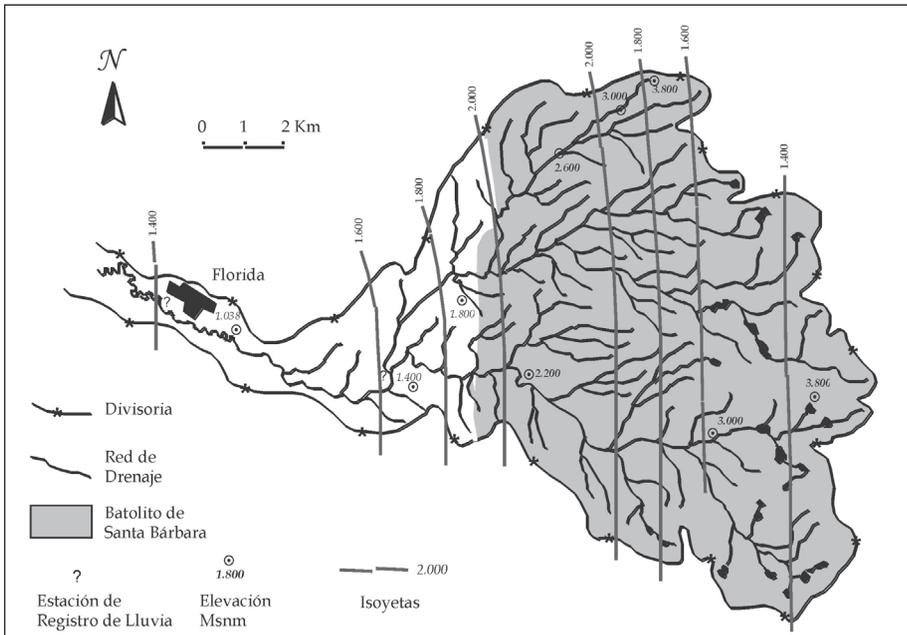


Fig.11.3. Mapa general de la red de drenaje del Río Fraile. El área con saprolito desarrollado sobre cuarzodiorita está indicada en gris. Las isoyetas fueron definidas desde 6 estaciones de medición localizadas en la cuenca y en cuencas vecinas. Mapa modificado de CVC-INGEOMINAS, (1998).

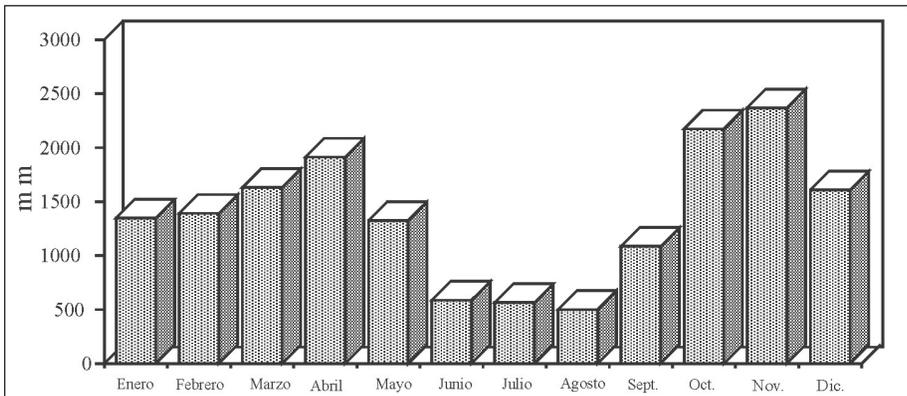


Fig.11.4. Precipitación promedio mensual sobre la cuenca, basada en 25 años de registros (1971-1995).(CVC-INGEOMINAS, 1998).

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 2900 msnm está restringido a vegetación de tipo páramo, lo cual representa el 19% del área total de la cuenca. Por debajo de los 2900 msnm, 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 graves daños a la población de Florida y dejó un gran depósito a la entrada del cañón.

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 1038 y 2410 msnm. No hay registro de lluvias para alturas superiores. Reportes de lluvias totales diarias de enero 29 al 31 se muestran en la tabla 11.1. 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 msnm, 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 11.1. Lluvias diarias caídas en milímetros, medias en las 6 estaciones ubicadas en la cuenca del río Fraile y sus cuencas vecinas

Estación	Dic. 29	Dic. 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 (Fig.11.5). 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 pro-

fundidad 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 Bárbara, 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.



Fig.11.5. 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 fueron arrastrados 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 las márgenes 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 (Fig.11.6).

Afortunadamente en la entrada del cañón hay un marcado cambio de pendiente y los bloques fueron depositados alrededor del sitio de la bifurcación. (Fig.11.7).



Fig.11.6. Depósito compuesto por una mezcla de 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.



Fig.11.7. 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.

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 (Fig.11.8). También se pudo observar ensanchamiento y profundización de cauces.



Fig.11.8. 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 (Fig. 11.9), obstruyó el acueducto y causó daños en la planta eléctrica. La duración de los caudales máximos sólo fue de 20 minutos.



Fig.11.9. 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.

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 msnm 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).

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 (Fig.11.8). Este punto fue seleccionado, ya que aquí no se produjo desbordamiento y ofreció 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, 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

Esto 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: $R_C = P / (2\sqrt{\pi A})$ (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 (Fig. 11.2) 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:

$$1). Q_{\max} > 100 Q_{\text{promedio}}$$

$$2). Q_{\min} / Q_{\max} > 1:5000.$$

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. $415 \text{ m}^3/\text{s}$ es aproximadamente $100(5.6 \text{ m}^3/\text{s})$, y para 2). $0.2/415 = 0.0048$ ($1:5000 = 0.0002$).

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, $1.6 \text{ km}/\text{km}^2$, usando 300 km como valor de Lc , y 186 km^2 como A . Este valor es solamente una aproximación, tomando Lc de un mapa general de escala $1:100000$, 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 km^2 ; sin embargo, una mirada al mapa de la cuenca y a las fotografías aéreas, muestran una red de drenajes densa (Fig. 11.3).

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 trans-

portados (Fig.11.7), 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 1365 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 paleo hidrológico 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.

Chorley, R.J., Schumm, S.A. & Sugden, D.E., 1984. *Geomorphology*. London: Methuen, 605 p.

Costa, J. E., 1978. Colorado Big Thompson flood: geologic evidence of rare hydrologic events. *Geology* v 6, p. 617-620.

- 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. 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. en *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.

12. La inundación de Bagadó, Chocó (1994)

Michel Hermelin

Resumen

Bagadó es un población chocoana de unos 15000 habitantes situada a orillas del río Andágueda. En la noche del 18 de octubre de 1995 fue afectada por una creciente del río, que al subir su nivel en 20 m inundó y dañó o destruyó, por impacto de árboles flotantes, a 353 casas de la localidad. La creciente se debió a precipitación alta en la parte superior de la cuenca. Fenómenos similares se habían producido por lo menos 5 veces en los últimos 100 años. Pese a la recomendación hecha de trasladar la población a la terraza alta contigua donde reside parte de los habitantes, la población sigue en el mismo lugar que ocupa desde su fundación hace unos 3 siglos.

Palabras claves: Inundación, Chocó.

Abstract

Bagado is a town of 15 000 inhabitants located on the western bank of Andagueda river in the Choco department, western Colombia. Its main characteristic is its extreme pluviosity, as it receives from 4000 to 8000 mm of rain per year. On October 18th, 1995, it was affected by a flood due to a 20 m increase of the river level. 353 houses and public buildings were destroyed, mainly by floating tree impact. The cause of the flood was high rain in the upper part of the river basin, as evidenced by the occurrence of landslides in the slopes. Similar phenomena have taken place at least for 5 times in the last 100 years. Despite of the recommendation to translate the entire town to the high neighboring terrace, where part of the population lives, nothing happened and the situation is the same as it has been since Bagado foundation, about 3 centuries ago.

Key words: Flood, Choco.

Introducción

A pesar de la información muy limitada con la que se cuenta acerca de la inundación que afectó a Bagadó en 1994 y acerca del municipio mismo, se ha optado por incluir el caso por considerarlo representativo de la situación de muchas poblaciones colombianas de principios del siglo XXI remotas, aisladas y con una infraestructura muy deficiente, desprovistas de recursos propios y pertenecientes a un departamento pobre.

La capacidad de respuesta tanto de la población como del departamento fueron mínimas. Los habitantes comentaban jocosamente que la inundación no causó víctimas porque estaban viendo su telenovela preferida y aún no se habían dormido. Una visita

realizada casi dos meses después del evento, permitió evidenciar que aún no se habían restablecido ni el acueducto ni la energía eléctrica.

No se trata aquí de cuestionar la actuación de las autoridades locales o departamentales, sino de analizar en forma muy limitada un caso patético de la situación que genera la combinación de pobreza y administración deficiente con desastres de origen natural.

Situación geográfica

Bagadó está situado en la orilla occidental de una cuenca a del río Andágueda, afluente del Atrato, a 3 horas aguas arriba de Quibdó en lancha de motor cuando el caudal del Andágueda permite navegar sin dificultad (Fig.12.1).

En 1994 Bagadó contaba con unos 14000 habitantes en la zonas urbana y en la rural. Los pobladores viven de la minería, de la pesca y de la caza. La población se extiende desde la orilla del río hasta una terraza parcialmente disectada que se levanta a unos 50 m sobre el nivel normal del río Andágueda. La población está situada sobre sedimentos no consolidados de la llanura aluvial del río Andágueda y sobre una terraza del mismo material que muestra evidencias de explotación minera en su parte superior.

Bagadó está localizado en una de las regiones más húmedas del mundo, el bosque pluvial Tropical, con precipitaciones anuales de 4000 a 8000 mm y temperaturas de unos 30°C.

La inundación de octubre de 1995

El evento ocurrió el 18 en la noche, y las aguas, según relatos de los habitantes, subieron en unos 20 minutos hasta una altura de 20.02 m (medidos con nivel Abney) sobre el nivel del río con caudal normal. La creciente llegó a su nivel máximo a las 21:30, después de que el nivel del río creciera en un tiempo muy corto, unos 20 minutos según los habitantes. A las 0:30 del día siguiente empezaron las aguas a bajar. El hecho de que los pobladores no se hubieran dormido cuando ocurrió la creciente, permitió que no hubiera víctimas pues fueron evacuando sus casas a medida que subía el nivel de las aguas. Sin embargo, los daños fueron cuantiosos: 353 casas, 446 familias y 2200 habitantes afectados (Programa de Reconstrucción, 1994) Entre los edificios afectados se hallaban el de la alcaldía (se perdió el archivo municipal), de los juzgados, de la estación de policía, del hogar de bienestar familiar, y del colegio femenino, de la cárcel municipal, del matadero y del cementerio.

La población está situada sobre sedimentos no consolidados de la llanura aluvial del río Andágueda y sobre una terraza del mismo material que parece haber sido explotada por mineros en su parte superior.

Bagadó está localizado en una de las regiones más húmedas del mundo, el bosque pluvial tropical, con precipitaciones anuales de 4000 a 8000 mm y temperaturas de unos 30°C.

El caudal que alcanzó el río Andágueda debió ser considerable, ya que el cauce del río en la zona va de unos 33 a 95 m de ancho (pero debe tenerse el escalonamiento de las terrazas (Fig.12.2).

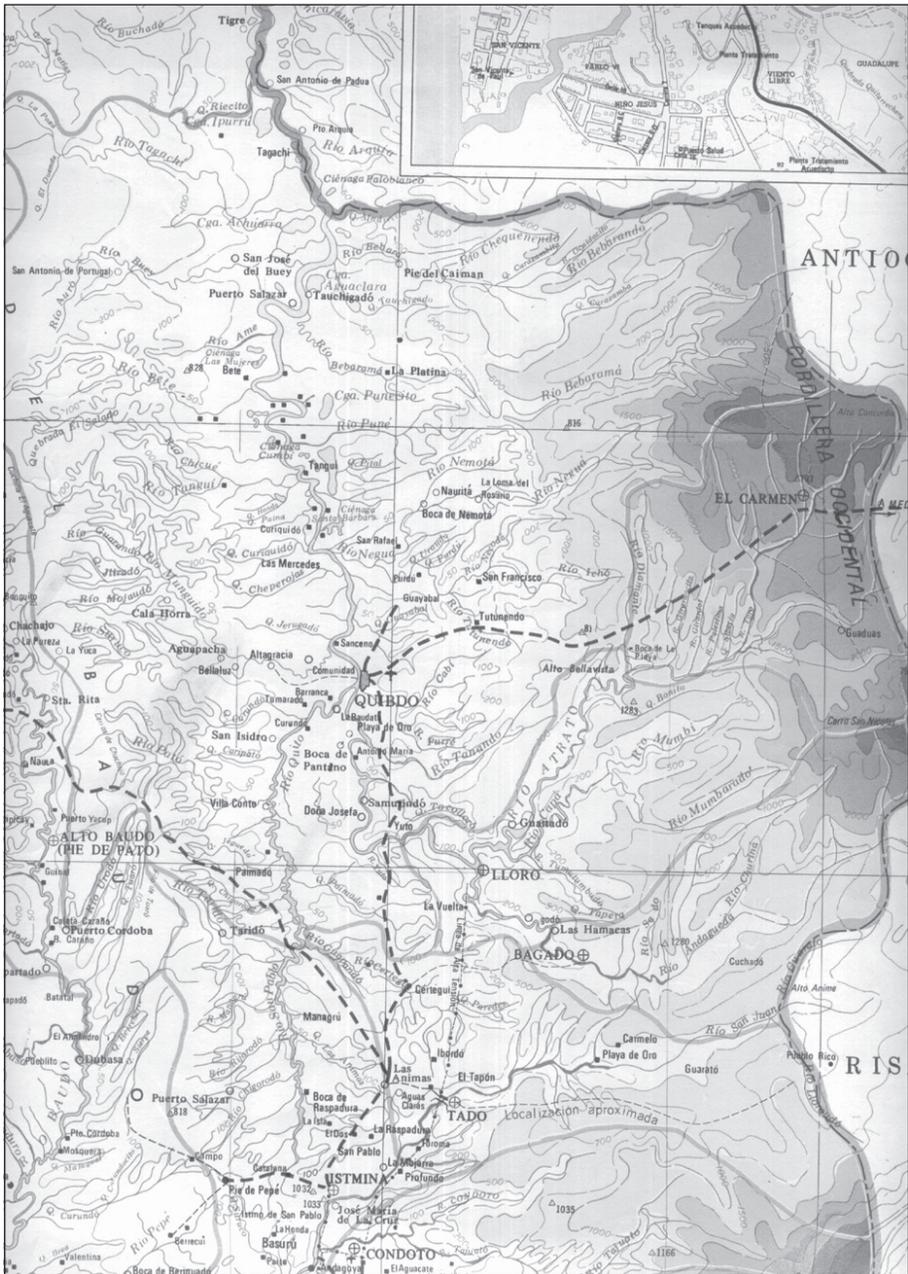


Fig.12.1. Mapa de localización (tomado del mapa del departamento de Chocó, IGAC escala 1:500 000, 1985).



Fig.12.2. Foto aérea escala 1:2 800 tomada del evento.

La creciente se originó en la cuenca alta del río Andágueda. No existen estaciones meteorológicas en la zona. Un recorrido en helicóptero efectuado el 12 de noviembre, permitió reconocer varias huellas de deslizamientos superficiales recientes en las vertientes en la parte media de la cuenca, pero no se pudieron evidenciar huellas de represamiento alguno producido por dichos movimientos de masa. Esas huellas no se observaron en la parte superior de la cuenca. Respalda esa evidencia el hecho de que la creciente del río Andágueda, aunque rápida, no fue instantánea. Por otra parte, lo que se pudo observar acerca de la ocupación humana de la cuenca, muestra que ésta seguía siendo mínima: algunos campamentos mineros y aglomeraciones pequeñas, sin evidencia de explotación agrícola extensa.

Las destrucciones fueron producidas sobre todo por el impacto de troncos flotantes contra las paredes de las edificaciones, hechas con bloques pegados con cemento de baja calidad. (Fig.12.3).

Recurrencia de las inundaciones

La primera entrevista con la población reunida en la iglesia, sólo permitió evidenciar dos eventos en 1936 y en 1986, ambos de una magnitud muy inferior a la creciente de 1995.

Sin embargo conversaciones posteriores con el abogado Yamil Bedoya, entonces secretario del Departamento de Chocó, permitieron establecer una lista mejor documentada:



Fig.12.3. Daños causados por la creciente.



Fig.12.3. Daños causados por la creciente.

- 1889: creciente de magnitud semejante a la de octubre de 1995, que duró 24 horas.
 - 1922: creciente con un caudal aproximado del 50%
 - 1936: creciente que destruyó toda la zona comercial de Bagadó y causó un empobrecimiento de la población, pues también afectó muchas zonas dedicadas a la agricultura. Aparentemente se trató del represamiento del río Andágueda por la sedimentación de las quebradas Chutina y San Marcos, aguas arriba de Bagadó.
 - 1953: la creciente llegó hasta el Colegio Femenino
 - 1962: la creciente llegó hasta el atrio de la iglesia de Bagadó.
- La carencia de datos más precisos no permite establecer ninguna serie estadística, pero sí, de evidenciar que la creciente de 1995 no fue de ninguna manera excepcional.

Medidas propuestas

Bagadó se fundó según algunas fuentes en 1703, según otros en 1830 y se desarrolló inicialmente como un campamento minero.

La solución más obvia que se propuso para evitar futuras inundaciones y que fue acogida por los funcionarios de la empresa Asesorías Municipales, encargada de planificar la reconstrucción, fue trasladar la totalidad de la población a la terraza alta, localizada a unos 50 m del nivel del río Andágueda.

Una visita realizada unos dos meses después del evento permitió evidenciar que ni el acueducto ni el servicio de energía eléctrica habían sido restablecidos.

Por otra parte informaciones recientes (2005) indican que si bien se construyeron viviendas nuevas en la terraza alta, la situación sigue igual. Bagadó sigue pues esperando su próxima inundación.

Bibliografía

IGAC, 1985. Mapa del Departamento de Chocó.
Escala: 1:400 000.

IGAC, 1992. Mapa Planimétrico del Municipio de Bagadó, escala 1:2000, levantado por la oficina delegada del IGAC en Quibdó.

Programa de reconstrucción de la ola invernal de octubre, 1994, Censo de la afectación, ms.

13. El Niño: eventos de 1982-83 y de 1997-98

José Edgar Montealegre

Resumen

Se describen los procesos asociados con los fenómenos del ciclo El Niño y La Niña - Oscilación del Sur. Se establecen las características físicas del océano y la atmósfera en la cuenca del océano Pacífico tropical, su procesos de interacción y los mecanismos que desencadenan las anomalías climáticas inherentes a estos fenómenos. Se detallan las alteraciones climáticas e impactos socio-económicos registrados durante los eventos intensos ocurridos en los años 1982-83 y 1997-98

Palabras claves: El Niño, La Niña, Oscilación del Sur, anomalía climática, desastres naturales.

Abstract

Processes associated with cycles El Niño, La Niña and Southern Oscillation phenomena are described. Physical characteristics of the ocean and the atmosphere in the tropical Pacific Ocean basin are established and their interaction and the mechanisms that trigger the climatic anomalies inherent to these phenomena. Climatic alterations and socioeconomic impacts which occurred during the strong events in 1982-83 y 1997-98 are discussed.

Key words: El Niño, La Niña, Southern Oscillation, climate anomaly, natural disasters.

Introducción

El clima del territorio colombiano se ve afectado como consecuencia directa de la ocurrencia del fenómeno El Niño. En los últimos 25 años el país ha sentido el efecto climático y el impacto socioeconómico consecuente de los eventos presentados en los años 1972-1973, 1982-1983, 1986-1987, 1991-1992, 1994-1995 y 1997-1998. Algunos de estos fenómenos han tenido consecuencias significativas en la sociedad y en los sectores productivos del país, como por ejemplo los episodios de 1982-1983 y 1997-1998, que por lo recientes y por la magnitud de sus consecuencias, permanecen aún en la memoria de los colombianos.

El fenómeno El Niño es una de las fases extremas dentro del ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación del Sur, que es la causa de la mayor señal de la variabilidad climática interanual, en la zona tropical. Del Niño se tienen registros escritos por Francisco Pizarro desde los tiempos de la conquista del Perú, pero su origen es obviamente mucho más antiguo (Quinn et al., 1987). Se sabe por técnicas de reconstrucción de pa-

leoclimas que el fenómeno se ha venido presentando desde hace miles de años. El Niño es un evento natural, resultado de la interacción entre el océano y la atmósfera en la región del océano Pacífico ecuatorial. El conjunto de anomalías atmosféricas y oceánicas asociadas con la ocurrencia del fenómeno tiene impactos muy fuertes sobre la sociedad y la economía de los habitantes del planeta.

Características predominantes del fenómeno El Niño

El Niño es el término originalmente usado para describir la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Este calentamiento de la superficie del océano se produce en forma recurrente en períodos de 4 y 7 años, con una duración promedio de 12 a 15 meses, cubriendo grandes extensiones y por su magnitud afecta el clima en diferentes regiones del planeta, entre ellas el norte de Sudamérica donde está situado el territorio colombiano (IDEAM, 1997).

Fue sólo a partir de la década de los años 70 cuando la comunidad científica internacional empezó a considerar seriamente su estudio y seguimiento. Inicialmente sólo se conocía la presencia de una corriente cálida superficial en el océano pacífico tropical, que se dirigía de occidente a oriente, situándose frente a las Costas de Ecuador y Perú por la época de Navidad, de ahí su nombre (Zea & Montealegre, 1987). Esta invasión de aguas cálidas alteraba el hábitat marino de la región, produciendo una merma en las pesquerías y la mortandad de miles de aves que derivan su existencia de la anchoveta, principal especie piscícola, típica de las aguas frías de esta área. A comienzos de los años 70, el colapso de las pesquerías peruanas coincidió con la ocurrencia de un fuerte evento El Niño. Este hecho originó una mayor atención sobre los procesos oceánicos en la región y se comenzó entonces a estudiar la dinámica de la atmósfera sobre el Pacífico tropical, formulándose las primeras teorías sobre la acción que ésta ejercía sobre el océano en las épocas de El Niño.

Para el periodo 1982-1983, cuando ocurrió uno de los dos eventos más intensos del siglo XX, ya se conocían muchos detalles sobre la circulación y dinámica de ambos fluidos y sus procesos de interacción (Wyrтки, 1975; Rasmuson & Carpentier, 1982). En épocas normales, los vientos alisios que soplan permanentemente durante todo el año en dirección este-oeste sobre el océano Pacífico tropical, acumulan una gran masa de agua cálida en el sector occidental de la cuenca (área de Australia e Indonesia), elevando el nivel del mar en esta área.

Como consecuencia de estas características cálidas oceánicas, se origina la formación de grandes masas nubosas y abundantes precipitaciones en la región. Al comienzo de la primavera del hemisferio sur, en las épocas en que ocurre El Niño, se observa un debilitamiento de los vientos alisios, lo cual trae como consecuencia una disminución en la fuerza de arrastre del agua superficial oceánica, originándose un avance de las aguas cálidas desde Australia hasta las costas suramericanas. El avance de estos núcleos cálidos, reconocido por medio de las ondas Kelvin, puede tardar entre 2 y 3 meses. Con el avance de los núcleos cálidos (Fig. 13.1) se trasladan también las grandes masas nubosas y sus fuertes precipitaciones hacia el Pacífico central y oriental. Uno de estos

núcleos se ubica frente a las costas de Ecuador y Perú, generando enormes volúmenes de precipitación que han llegado a superar las medias históricas en centenares de veces (Enfield, 1988). Estas variaciones están asociadas con el efecto de balancín que se presenta en la presión atmosférica del Pacífico Sur: cuando la presión es alta en el sector centro oriental, disminuye en la parte occidental y viceversa. Este efecto es conocido como la Oscilación del Sur.

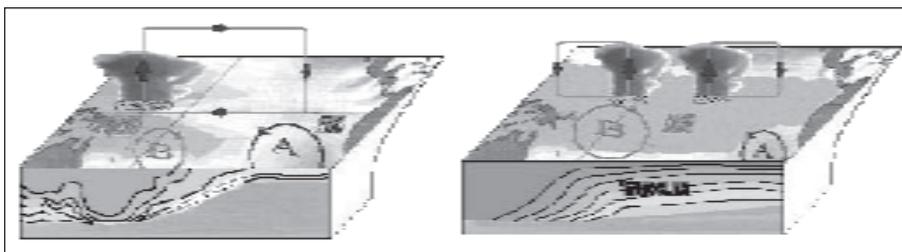


Fig.13.1. Representación esquemática de las condiciones oceánicas y atmosféricas del Pacífico tropical, durante los períodos normales y de ocurrencia de los fenómenos El Niño. Adaptado por Montealegre & Pabón del esquema desarrollado por NOAA/PMEL/TAO Project, USA.

Actualmente el fenómeno El Niño se conoce más ampliamente como los eventos ENOS (El Niño - Oscilación del Sur), ó ENSO (por sus siglas en inglés) en los cuales se involucran la parte oceánica (El Niño) y la atmosférica (la Oscilación del Sur).

El calentamiento de gran extensión del agua superficial del océano Pacífico requiere de cantidades enormes de energía dado el alto valor del calor específico del agua; de allí la magnitud de las perturbaciones oceánicas y atmosféricas que se desencadenan durante las fases extremas del ENSO. La alternación de las dos fases, cálida (El Niño) y fría (La Niña) es un rasgo bien identificado del Océano Pacífico en la escala de tiempo interanual.

La intensidad del fenómeno El Niño depende de la magnitud de las anomalías y del área cubierta por las mismas. Esta intensidad, aunque influye, difiere de la magnitud del efecto climático y del impacto producido por el fenómeno en las actividades humanas. El efecto climático depende de la época del año en que se presenta el fenómeno y el impacto socioeconómico, está más relacionado con la vulnerabilidad de las diferentes regiones y de los sectores de la actividad productiva.

Efectos climáticos e impactos socioeconómicos ocasionados por El Niño

A escala global

Las anomalías climáticas que ocasionan ambas fases, El Niño y La Niña, son variadas, como sucede con el tipo de impacto de un evento a otro, así como con su amplitud, duración y tiempos de comienzo y finalización. Durante El Niño se perturba el transporte oceánico y atmosférico de energía y de momento angular desde el Ecuador a los polos. El fenómeno produce fuertes perturbaciones sobre la circulación atmosférica global y sus efectos climáticos tienen grandes implicaciones socioeconómicas y ambientales. Durante El Niño se producen sequías en África, en la parte tropical de América del Sur y en Australia, principalmente; en marcado contraste con la condición anterior, se registran

inundaciones en California, Perú, Ecuador y el Sudeste de América del Sur (Hamilton & García, 1986). Algunas regiones experimentan efectos directos mientras que otras se afectan a grandes distancias, a través de las llamadas teleconexiones (Glantz, 1996). La influencia del Niño sobre la hidrología global se manifiesta en escalas de tiempo que pueden ir desde meses hasta décadas.

A escala nacional

En Colombia, el fenómeno El Niño tiene un gran impacto socioeconómico y ambiental a través de su efecto climático. Los eventos pasados han dejado claros ejemplos de esta influencia; basta mencionar los graves problemas ocasionados en el suministro de energía hidroeléctrica por el evento de 1991-92 y el impacto que produjo sobre la economía del país, la oferta hídrica y la salud, produjo el evento intenso de 1997-98. En términos generales, sus efectos más destacados están relacionados con la alteración del patrón pluviométrico, el cual se ve disminuido en gran parte de las regiones caribe y andina; los aumentos de la temperatura del aire en los valles interandinos conocidos como ondas de calor; el incremento de las heladas durante las temporadas secas en los altiplanos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño; el aumento de las horas de brillo solar y de la radiación durante dichas épocas y algunas otras alteraciones de carácter local (IDEAM, 1997).

Durante los eventos de El Niño de tipo fuerte o intenso, las ondas Kelvin ecuatoriales alcanzan la latitud de Tumaco produciendo un incremento en el nivel medio del mar hasta de 40 centímetros, lo cual crea condiciones para que los pleamares alcancen mayores alturas. Buenaventura generalmente se ve afectada por el mismo tipo de ondas, pero de carácter costero. Sin embargo, en casos extremadamente fuertes, la influencia de las ondas puede extenderse hasta esta latitud con consecuencias similares a las de Tumaco (Pabón & Montealegre, 1992a).

El fenómeno El Niño 1982-1983

El Niño de 1982-1983, catalogado como uno de los más intensos del siglo XX, se distinguió por su inusual intensidad y principalmente por su carácter atípico, habiendo alcanzado una trascendencia en el ámbito mundial, tanto por la variedad de sus efectos como por la magnitud de sus consecuencias desastrosas. Entre estas últimas, se destacan las intensas lluvias que se registraron en la parte norte del Perú y algunos sectores del litoral pacífico de Colombia y Ecuador, que arruinaron los recursos pesqueros y agrícolas de estos países. Estas lluvias fueron las peores que se recuerden en los últimos 50 años, con casos extremos como el registrado en San Cristóbal (Ecuador) durante el mes de diciembre de 1982, cuando cayeron 548 milímetros (un milímetro de lluvia equivale a 1 litro de agua por metro cuadrado de superficie) siendo el valor medio para ese mes de solamente 14 milímetros. Igualmente fueron catalogadas como catastróficas las sequías presentadas en el sudeste Asiático, Nueva Guinea, Australia, India y África. La alteración climática de ese momento favoreció la generación de huracanes en el Pacífico, habiéndose observado 19 en 1982 y 25 en 1983, cifras que constituyeron nuevos registros. En contraste con esta situación, durante esa época, se dió una de las temporadas de menor actividad en la formación de huracanes en el océano Atlántico.

Algunas estadísticas señalan que en los Estados Unidos ocurrieron, por efecto de este fenómeno, cerca de 160 muertes y daños del orden de los 2.500 millones de

dólares. En Latinoamérica las cifras correspondientes se estimaron en 800 muertes y US\$2.000 millones, en tanto que en Asia y Oceanía alcanzaron valores de 1.000 muertes y US\$4.000 millones. En Africa las repercusiones económicas se evaluaron en unos US\$1.000 millones.

Colombia, situada en el área de influencia del fenómeno, sufrió consecuencias significativas con su ocurrencia (CAF, 2000). Durante el último trimestre de 1982 y los dos primeros meses de 1983, las lluvias se incrementaron considerablemente sobre el litoral pacífico, alcanzando en algunos meses volúmenes equivalentes al 300% de los promedios, como ocurrió en Tumaco. Un comportamiento antagónico se observó en el área de Urabá, donde se presentó una sequía entre noviembre de 1982 y marzo de 1983, la cual adquirió características de gran intensidad, especialmente en enero y febrero, cuando solamente se alcanzaron valores mensuales de lluvia del orden del 5% ó menos, en relación con los valores históricos (Montealegre & Zea, 1992). También en el Chocó se observaron déficit considerables en esta época. En la mayor parte de las regiones caribe y andina se pudo destacar igualmente una tendencia al déficit, especialmente entre los meses de noviembre de 1982 y febrero de 1982. Las características anormalmente deficitarias en estas épocas aumentaron la ocurrencia de heladas en los altiplanos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño, con los consecuentes perjuicios para la agricultura de estos departamentos.

Durante este evento la temperatura ambiente registró aumentos con respecto a los valores medios mensuales en la parte central y sur de la región pacífica, los cuales fluctuaron entre uno y dos grados celsius, con ligera tendencia a ser mayores hacia el sur. En las ciudades de Ibagué y Cali se sintieron durante algunos meses de este período, oleadas de calor, al registrarse temperaturas medias mensuales del aire entre 2.0° y 2.5° C por encima de sus valores normales.

Colombia, situada en el área de influencia del fenómeno, sufrió consecuencias significativas con su ocurrencia (CAF, 2000). Durante el último trimestre de 1982 y los dos primeros meses de 1983, las lluvias se incrementaron considerablemente sobre el litoral pacífico, alcanzando en algunos meses volúmenes equivalentes al 300% de los promedios, como ocurrió en Tumaco. Un comportamiento antagónico se observó en el área de Urabá, donde se presentó una sequía entre noviembre de 1982 y marzo de 1983, la cual adquirió características de gran intensidad, especialmente en enero y febrero, cuando solamente se alcanzaron valores mensuales de lluvia del orden del 5% ó menos, en relación con los valores históricos (Montealegre & Zea, 1992). También en el Chocó se observaron déficit considerables en esta época. En la mayor parte de las regiones caribe y andina se pudo destacar igualmente una tendencia al déficit, especialmente entre los meses de noviembre de 1982 y febrero de 1982. Las características anormalmente deficitarias en estas épocas aumentaron la ocurrencia de heladas en los altiplanos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño, con los consecuentes perjuicios para la agricultura de estos departamentos.

Durante este evento la temperatura ambiente registró aumentos con respecto a los valores medios mensuales en la parte central y sur de la región pacífica, los cuales fluctuaron entre uno y dos grados celsius, con ligera tendencia a ser mayores hacia el sur. En las ciudades de Ibagué y Cali se sintieron durante algunos meses de este período, oleadas de calor, al registrarse temperaturas medias mensuales del aire entre 2.0° y 2.5°C por encima de sus valores normales.

Hacia finales de 1982 y mediados de 1983 se registraron aumentos del nivel medio del mar hasta de 35 centímetros en el área de Tumaco y cerca de 20 centímetros en el sector de Buenaventura. Esta situación contribuyó notablemente a la presentación de marejadas fuertes, alto oleaje, invasión de aguas, inundaciones y grandes desastres en Tumaco, particularmente entre Diciembre de 1982 y enero de 1983. De otra parte, la alteración de la estructura térmica de las aguas marítimas adyacentes al litoral pacífico colombiano, se reflejó en un aumento de la temperatura superficial del mar, el cual fluctuó entre 1.0 y 1.5°C grados Celsius frente a los puertos de Tumaco y Buenaventura.

El fenómeno de El Niño 1997-1998

El fenómeno de El Niño 1997-1998 presentó características inusuales, no vistas en los anteriores eventos. En primer lugar, este fenómeno tuvo un desarrollo muy rápido en comparación con eventos de la misma naturaleza registrados históricamente. De otra parte, la magnitud de las anomalías fue de mayor orden que las registradas en eventos similares y el área de cubrimiento de las mismas fue mucho más amplia. Por estas razones este fenómeno se puede catalogar como el más intenso del siglo XX.

El efecto climático fue severo en diferentes regiones del mundo. La anomalía (diferencia con relación al promedio) en la temperatura de la superficie del mar en el sector central del Pacífico tropical, superó 3.5°C, en tanto que en algunos sectores de la parte oriental alcanzó un poco más de los 6° C (Fig.13.2). Se registraron abundantes lluvias e inundaciones de vastas regiones de la vertiente pacífica de Perú y Ecuador; sequías e incendios forestales en Australia, Indonesia y en algunos países de Centroamérica. También se registraron temperaturas muy bajas en Europa y Asia.

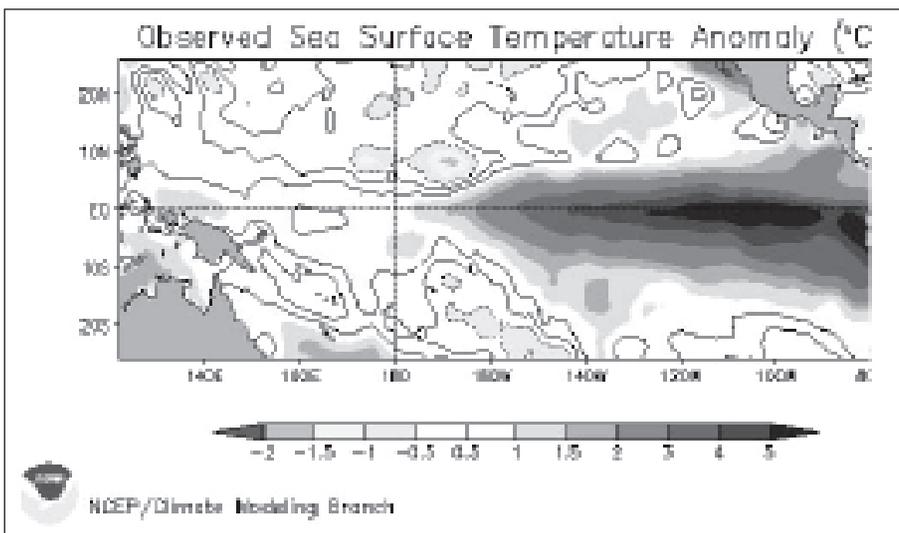


Fig.13.2. Anomalías de temperatura de la superficie del mar en la cuenca del océano Pacífico tropical en diciembre de 1997, cuando se registró la fase madura del fenómeno El Niño 1997-98. Fuente: NOAA/NCEP, USA.

En Colombia, el efecto climático de fenómeno El Niño, se caracterizó por déficit de lluvia en amplias zonas de las regiones caribe, andina y de la Orinoquia; en algunos sectores se presentó ausencia total de precipitación. Uno de los aspectos más atípicos del efecto climático de este fenómeno fue la deficiencia de lluvias en la región pacífica de los departamentos del Valle y Chocó y en el occidente de la Amazonia. Esta situación ocasionó que el área cubierta por los déficits de lluvias a nivel nacional, fuese mayor que en los eventos anteriores (IDEAM, 1997).

Dicha situación produjo alteraciones en la disponibilidad de los recursos hídricos en diferentes regiones. Según la información histórica disponible en el IDEAM, los niveles y caudales de los ríos en el mes de enero de 1998, registraron valores cercanos a los más bajos de los últimos cincuenta años. El déficit generalizado de lluvias generó condiciones muy secas en el sistema vegetación-suelo, especialmente en la mayor parte de las regiones Caribe y Andina.

Otra manifestación de la severidad del efecto climático del fenómeno El Niño sobre el territorio colombiano, fueron las temperaturas altas en horas del día. En algunas estaciones meteorológicas del IDEAM se midieron desde diciembre de 1997 los valores más altos en la historia de los registros de las temperaturas máximas. Esta situación se observó principalmente en la región caribe, en los valles interandinos y en los altiplanos. Fue de especial interés el hecho de que las temperaturas mínimas, durante las horas de la madrugada, no descendieron como en eventos anteriores; la frecuencia de las heladas en los altiplanos durante la presencia del fenómeno no se incrementó como era de esperarse, debido posiblemente a la intensidad misma del calentamiento diurno, por cuanto el almacenamiento calórico debió haber sido mayor que el perdido durante el enfriamiento nocturno.

El estado seco del sistema vegetación-suelo y las altas temperaturas fueron un factor importante en la generación de incendios de la cobertura vegetal. El número de estos eventos registrado en 1997 (superior a los 12 000), no tiene antecedentes en la historia del país.

Igualmente, se observó un incremento del deshielo estacional de los glaciares debido a la mayor radiación que recibieron durante el período de permanencia del fenómeno.

El déficit de precipitación y la reducción de los niveles de los ríos y quebradas, generaron situaciones críticas para el abastecimiento de agua a la población en algunos municipios de las regiones caribe y andina. Aproximadamente 117 municipios de Colombia tienen problemas de abastecimiento de agua para la población; en la actualidad es el aspecto que más afecta la vida nacional, dada la vulnerabilidad de los diferentes municipios ante la disminución de la oferta hídrica.

El área de la salud es otro de los sectores más afectados. Se reportaron importantes incrementos del número de casos con malaria, dengue hemorrágico y clásico en diferentes regiones del país. El número de casos de otras enfermedades también se incrementó substancialmente.

El Pacífico colombiano se ve directamente afectado cuando ocurre el fenómeno El Niño. En el caso del evento de 1997-1998 los efectos directos fueron importantes e incluyeron ascenso del nivel del mar, anomalías positivas de temperatura superficial del mar, efectos en la parte biótica, erosión en la zona costera, etc.

Tanto en Tumaco como en Buenaventura, las aguas superficiales del océano permanecieron cálidas la mayor parte de 1997, registrándose en Tumaco las mayores anomalías positivas a finales del año, con valores cercanos a 2.5°C. En Buenaventura, esta tendencia continuó durante el primer semestre de 1998, con anomalías que oscilaron entre 1.0°C y 2.0°C (Pabón, 1999).

El nivel medio del mar en Tumaco permaneció por encima de sus valores medios durante la mayor parte del año 1997. Las anomalías positivas más significativas, entre 30 y 35 centímetros, ocurrieron en el último trimestre. En Buenaventura, el nivel medio del mar durante 1997 fue similar al observado en Tumaco, aunque las mayores anomalías fueron solamente de 20 centímetros. El incremento del nivel del mar por el arribo de ondas Kelvin propiciaron el desarrollo de erosión en la costa. En algunos sectores del litoral fue marcado el cambio en el paisaje local debido al ingreso de las aguas marinas y al posterior arrastre (en algunos puntos) o al depósito (en otros) de material (Pabón, 1999). La foto de la Fig.13.3 muestra indicios de este proceso: donde están los restos del puente pasaba una carretera.



Fig.13.3. Estado de la carretera que bordea un sector de Juanchaco, Valle, después de ocurrida la fase máxima del evento 1997-1998 (Foto tomada por J.D. Pabón en marzo de 1998).

Conclusiones

Es importante recordar que la magnitud del efecto climático derivado de los fenómenos de El Niño, depende de la época del año en que se presenta el fenómeno, en tanto que el impacto en la sociedad y en la economía del país está más relacionado con la vulnerabilidad de las diferentes regiones y sectores productivos de la actividad nacional. Ahora, la intensidad de un fenómeno de El Niño depende de la magnitud de las anomalías, tanto en el océano como en la atmósfera y del área cubierta por las mismas en el Pacífico tropical. Esta intensidad, aunque influye, difiere de la magnitud del efecto climático y del impacto producido por el fenómeno en las actividades humanas.

Las alteraciones climáticas producidas por los fenómenos El Niño son de carácter hemisférico y de doble signo; es decir, en algunas partes pueden ocurrir excesos de

lluvia mientras que otras se caracterizan por déficits de agua; además si algunos lugares acusan altas temperaturas y oleadas de calor, en otras áreas el tiempo es más frío. En Colombia, el efecto climático del fenómeno El Niño se caracteriza, en términos generales, por déficit de lluvia en amplias zonas de las regiones caribe, andina y de la Orinoquia, generando en consecuencia una reducción en la disponibilidad de los recursos hídricos. Se registran igualmente altas temperaturas en horas del día y valores mínimos durante las horas de la madrugada; lo primero ocasiona el retroceso de los glaciares y la generación de incendios de la cobertura vegetal y lo segundo un notable incremento en la ocurrencia de heladas.

El déficit de precipitación y la reducción de los niveles de los ríos y quebradas generan situaciones críticas para el abastecimiento de agua a la población. Así mismo, el incremento de áreas con aguas estancadas favorece la proliferación de mosquitos y el incremento de enfermedades como la malaria y el dengue en diferentes regiones del país

Referencias bibliográficas

- CAF - Corporación Andina de Fomento, 2000: Las lecciones de El Niño - Memorias del fenómeno El Niño 1997-1998 Retos y propuestas para la región andina. Ex Libris Caracas (Venezuela), 245 p.
- Enfield, D.B., 1988: Is El Niño Becoming more common? *Rev. Oceanography*, November, p.23-27
- Glantz, M.H., 1996: *Currents of Change. El Niño's impact on climate and society*. Cambridge University Press. Cambridge-London-New York. 208 p.
- Hamilton, K., & García, R.C., 1986: El Niño-Southern Oscillation events and their associated midlatitude teleconnections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67, p.1354-1361.
- IDEAM, 1997: Posibles efectos naturales y socio-económicos del fenómeno El Niño en el período 1997-1998 en Colombia. Ed. IDEAM. Bogotá, julio-1997, 39 páginas + anexos.
- Montealegre, J.E. & Zea, J.A., 1992: Estudio sobre el fenómeno El Niño. Publicación especial del Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT. 35p.
- Pabón, J.D. & Montealegre, J.E., 1992: Manifestación El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la costa pacífica colombiana. *Boletín ERFEN*, No.31, pp.3-11.
- Pabón, J. D., 1999: Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en el período 1997-1998 en Colombia. Nota Técnica IDEAM-METEO 003/99. 27 p.
- Quinn, W.H., Neal, V.T. & Antunez de Mayolo, S., 1987: El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *J. Geophys. Res.*, v.92, p.14449-14461.
- Rasmuson, E.M. & Carpentier, T.C., 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly. Weather. Review.*, v.110, p.354-384.
- Wyrтки, K., 1975: El Niño - The dynamic response of the equatorial Pacific to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.*, v.5, p.572-584.
- Zea, J., & Montealegre, E., 1987: Estudio sobre el fenómeno El Niño. Publicación aperiódica HIMAT, primera edición. 22p.

14. La catástrofe de 1999 en el Eje Cafetero

Cristina Rosales & Hansjürgen Meyer

Resumen

A la 1:19 pm del 25 de enero de 1999 ocurrió un terremoto de magnitud $M_w = 6.2$ que sacudió el centro-occidente de Colombia. Fue causado por una falla superficial en un territorio de laderas empinadas a escarpadas, en las estribaciones occidentales de la cordillera Central de Colombia y del abanico del Quindío sobre el cual se localizan las poblaciones de Armenia y Pereira; esta es una región agrícola densamente poblada, denominada el Eje Cafetero. El conjunto de los efectos sobre vidas humanas, infraestructura, medio ambiente y las pérdidas económicas, hacen de este desastre uno de los de mayores consecuencias en Colombia. Resultaron afectados 32 municipios incluídas por lo menos 13 poblaciones con más de 10 000 habitantes; hubo 1185 muertos, 32495 viviendas destruídas; 243 de 521 planteles educativos con daños, entre otros; las pérdidas económicas sumaron por lo menos el 2,5% el PIB del país (1998). Las vibraciones sísmicas provocaron deslizamientos, agrietamientos, flujos de lodo, y variaciones en los nacimientos de agua en un área del orden de 1500 km². Este trabajo se elaboró a partir de información disponible en artículos e informes de proyectos de diversas instituciones nacionales e internacionales y de información de campo obtenida por el OSSO.

Palabras claves: falla cortical, Armenia, amenaza sísmica, deslizamientos, hundimientos, agrietamientos.

Abstract

A $M_w 6.2$ magnitude earthquake occurred at 1:19 pm on January 25th, 1999 in the Colombian western central area. It was produced by a shallow fault in a region with strong relief located in the western slope of the Central Cordillera and on the Quindío alluvial fan, where the cities of Armenia and Pereira are located. This is a densely populated region with an important agricultural activity. The effects on human lives, infrastructure, environment and economy make this seism one of the most severe in Colombia; 32 municipalities were affected, 13 with more than 10 000 inhabitants. The death toll was 1185, 32 495 houses were destroyed and 243 of a total of 521 schools damaged. The economic losses sums up at least 2,5% of the NGP (1988). Seismic waves triggered landslides, crack formation, mudflows and variations in water sources in a area of about 1500 km². This contribution was prepared from information available in publications and reports of several national and international institutions and from information directly collected in the field by OSSO technical and scientific staff.

Introducción

Si se consideran los efectos de los principales sismos superficiales ocurridos en los últimos decenios en Colombia (Popayán, 1983; Atrato Medio, 1992; Puerto Rondón, 1993; Páez, 1994; Islas San Andrés y Providencia, 1995; La Sierra, 2004), el del 25 de enero de 1999, conocido como terremoto del Eje Cafetero, del Quindío o de Armenia, es el desastre que mayor número de víctimas, poblaciones afectadas, daños en infraestructura y pérdidas económicas ha dejado. El epicentro se localizó en una región de vocación agraria densamente poblada, asentada sobre un territorio montañoso y sobre el abanico del Quindío.

La región está dentro de la zona de amenaza sísmica alta según la Norma Colombiana de Construcciones Sismorresistentes (República de Colombia, 1998), según la cual se esperan aceleraciones horizontales máximas del 25% de la gravedad. Este sismo corresponde a la primera evidencia histórica e instrumental de un terremoto superficial con epicentro y efectos en la región, donde dominan los sismos fuertes generados en la zona de Wadati-Benioff. Las aceleraciones medidas en roca, no superaron el 10% de la gravedad y en suelo alcanzaron el 54% (Ingeominas, 1999; CARDER, 1999).

Ubicación geográfica

El epicentro del sismo se originó en el centro de la región andina de Colombia (4,38° N; 75,64° W) (OSSO, 1999a), en las estribaciones occidentales de la cordillera Central (Fig. 1A), unos 175 km al W de Bogotá y unos 18 km al sur de Armenia, una ciudad de 280 922 habitantes (DANE, 1999). El desastre afectó directamente 32 municipios (Fig. 14.1) en cinco departamentos: Quindío, Risaralda, Caldas, Valle del Cauca y Tolima (DesInventar 2004) y produjo fuertes intensidades y aceleraciones verticales en el campo cercano. Reportes de observadores indicaron, por ejemplo, que el techo en cercha metálica del coliseo cubierto del municipio de Córdoba se levantó con las primeras sacudidas para luego desplomarse. La mayor cantidad de pérdidas de vidas y daños en infraestructura y viviendas se concentró en Armenia, aunque el mayor porcentaje de daños con respecto al total de construcciones, ocurrió en pequeñas poblaciones como Córdoba, Barcelona y La Tebaida. En Pereira, que estaba en la fase final de recuperación por el terremoto del 8 de febrero de 1995, también hubo daños importantes. Las vibraciones sísmicas dispararon múltiples efectos geológicos en un área del orden de 1500 km² (Fig. 14.1B) tales como movimientos de masa, principalmente en cortes de carreteras, agrietamientos, hundimientos y cambios en nacimientos de agua (OSSO, 1999b y 1999c; Aguilar & Mendoza, 2002b).

Contexto geológico y sismotectónico

Sismotectónica regional

Tres placas tectónicas convergen en la esquina noroccidental de Sur América: Nazca, Caribe y Sur América. Dentro de ésta última, y adosado a ella, se encuentra el Bloque Norandino. La placa de Nazca subduce este bloque marcando dos fuentes sismogénicas, una oceánica superficial delimitada por el borde de placas, donde se libera la mayor cantidad de energía sísmica del país, conocida como zona de subducción, y otra

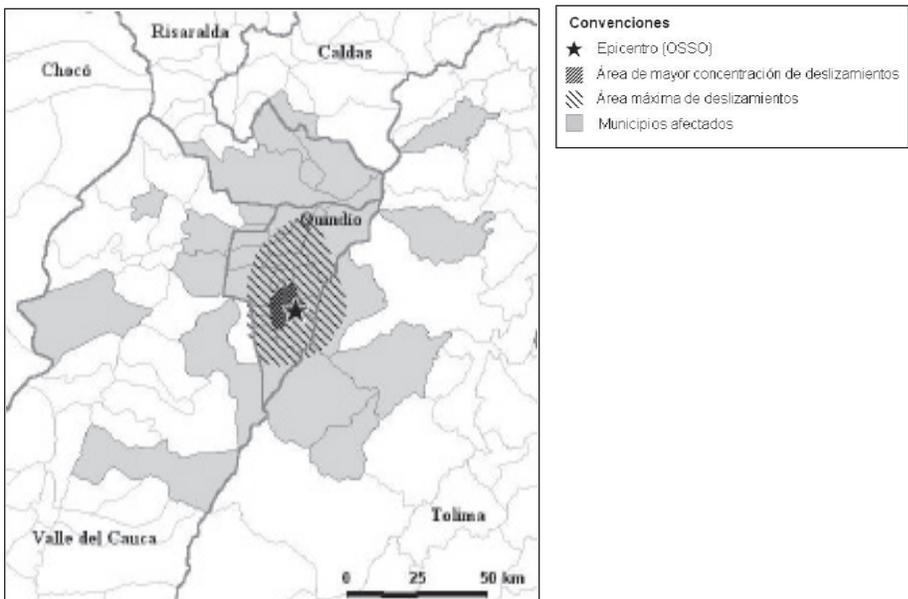


Fig.14.1. Localización y áreas afectadas.

que corresponde a la continuación de la subducción bajo el Bloque Norandino, en los territorios del Valle del Cauca, Eje Cafetero y sur del Chocó, conocida como la zona de Wadati-Benioff.

Contexto geológico, geomorfológico y estructural

Tres ramificaciones de la cordillera de los Andes son el rasgo geomorfológico dominante del Bloque Norandino, el cual está sometido principalmente a esfuerzos de compresión este-oeste (Freymuller et al., 1993). Las unidades litológicas en la región epicentral incluyen rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias desde el Paleozoico hasta el Terciario. El Cuaternario incluye depósitos glaciares, aluviones recientes y depósitos piroclásticos (Ingeominas, 1999; McCourt, 1984). Las rocas se encuentran generalmente meteorizadas y cubiertas por capas de cenizas volcánicas del macizo Ruiz-Tolima.

Entre la cordillera Central (con rocas metamórficas e ígneas), al oriente y la serranía de Santa Bárbara (rocas sedimentarias del Terciario), en límites con el Valle del Cauca al occidente, se emplaza el abanico del Quindío, una secuencia de depósitos de flujos de lodo y depósitos volcánicos cortada por los ríos Consota, Quindío y Santo Domingo y bordeada por los ríos Otún al norte, Verde al sur y La Vieja al occidente (Fig. 14.2). Guzmán et al. (1997) identificaron tres tipos de fallas y lineamientos: (1) Fallas N-S a NNE-SSW que incluyen el sistema de fallas Cauca Romeral, las de mayor continuidad y expresión fisiográfica y mayores evidencias de desplazamiento en el Cuaternario; corresponden a zonas de debilidad cortical con zonas de rocas fracturadas. (2) Fallas NW-SE a WNW - ESE. Cortan algunas estructuras N-S de las cordilleras Central y Occidental. (3) Fallas NE-SW, sobre el piedemonte de la cordillera Central.



Fig.14.2. Rasgos geomorfológicos y estructuras principales. Modelo (de sombras) digital del terreno. Estructuras principales (fallas) a partir del Mapa Geológico de Colombia (Ingeominas, 1988) 1: Serranía de Santa Bárbara, 2: Abanico del Quindío, 3: Río Otún, 4: Río Santo Domingo, 5: Río Verde, 6: Río La Vieja.

Ego & Sebrier (1995) postularon que al norte de 5° N el sistema de fallas NS a NNE (Romeral) es lateral izquierdo, mientras que Meyer & Mejía (1997) encontraron que hacia los 4° N tiene comportamiento lateral derecho. Esto sugiere que hacia el Quindío se localiza la zona de transición o de cambio de esfuerzos regionales López et al. (2003).

Antecedentes

Condiciones naturales y tipologías constructivas

La región afectada incluye laderas empinadas a escarpadas de la cordillera Central, a partir de 900 msnm en el valle del río Cauca y de 1500 msnm al E del abanico del Quindío. Sobre éste se localizan Armenia, Calarcá, La Tebaida y otras de las poblaciones más afectadas; están dedicadas a cultivos de café, plátano y yuca, con una alta densidad de población rural. La vertiente occidental de la cordillera Central, menos poblada, también está dedicada en su parte baja y media al cultivo de café, generalmente bajo sombrío. El clima de la zona es templado, con mayores precipitaciones en los meses marzo a mayo y septiembre a noviembre.

Armenia, al igual que otras poblaciones del área, ha pasado por décadas de crecimiento muy acelerado y desordenado como consecuencia de la economía cafetera. En la arquitectura y tipología originales del Eje Cafetero, predominaron las construcciones de un piso en bahareque. Sin embargo, durante los últimos decenios muchas de las construcciones originales cambiaron, mezclándose con fachadas de ladrillo o incrementando el número de pisos. Estos cambios se hicieron sin técnicas de amarre adecuadas, lo cual, además de cambios de rigidez en los materiales, contribuyó a aumentar el peso y la vulnerabilidad de fachadas, techos en teja y construcciones de mampostería de ladrillo. Los cambios masivos en la tipología constructiva tradicional se iniciaron a finales de la década de 1950.

Sismicidad histórica e instrumental

La sismicidad histórica de la región está poco documentada, por lo reciente del poblamiento mestizo y porque archivos históricos antiguos (por ejemplo el de Cartago, fundada hacia 1538 en el actual sitio de Pereira y trasladada en el siglo XVII) se perdieron. El poblamiento de la zona cafetera se inició hacia 1849 con la fundación de Quinchía en Caldas y las poblaciones del Quindío se fundaron a finales del siglo XIX.

No existen evidencias instrumentales o históricas de sismos superficiales previos con epicentro y efectos en la región del Eje Cafetero. Espinosa (1996), con base en fuentes hemerográficas entre 1911 y 1995, atribuye a fuentes superficiales 31 sismos; indica que la presencia de este tipo de sismos comprueba la actividad de fallas geológicas y que exceptuando el sismo de 1935 en Mistrató, están más o menos alineados sobre el sistema de fallas Cauca-Romeral. Sin embargo, al comparar varios de los sismos con otros catálogos macrosísmicos (que incluyen fuentes hemerográficas con varias coberturas, p. e. Ramírez, 1975; Arango & Velásquez, 1993; CERESIS, 1985) o con catálogos instrumentales localizaciones con buena confinación hipocentral) (NEIC, 2005; ISC, 2005), al menos varios de estos sismos no pueden atribuirse a fuentes superficiales en la zona del Eje Cafetero y regiones adyacentes. En la Tabla 14-1 se incluyen los sismos del catálogo de Espinosa (1996), –ocurridos después de la entrada en operación de la Red Sismológica Estándar Mundial–, en comparación con los parámetros hipocentrales según ISC (2005).

Tabla 14.1. Sismicidad superficial (Espinosa, 1996) vs hipocentros instrumentales (ISC, 2005)

Fecha (a:m:d)	Localidad ⁽¹⁾	Lat. N ⁽²⁾	Long. W ⁽²⁾	h ⁽²⁾	Mb ⁽²⁾	Zona ⁽³⁾
1973:04:03	Salento-Pereira	4,5	-75,7	146	6,1	Quindío
1973:04:24	Dosquebradas	5,2	-75,8	110	5.3	Risaralda
1976:11:20	Génova	6,4	-72,3	137	-	Santander
1986:10:07	Manizales	6,8	-73,0	186	4.9	Santander
1988:09:20	Armenia	4,6	-77,4	36	5,6	S Chocó

(1) Espinosa (1996).

(2) ISC (2005). Lat. N = Latitud Norte; Long. W = Longitud Occidental; h = profundidad en km; M = magnitud.

(3) Zona epicentral instrumental.

De La Tabla 14-1 se desprende que cuatro de los sismos provienen de fuentes profundas (> 100 km): los de abril de 1973 provienen de Wadati-Benioff, los de 1976 y 1986 de Boyacá y Santander; y uno de fuentes superficiales: el de 1988, al sur del Chocó. De acuerdo con NEIC (2005) la sismicidad superficial (profundidades hasta 33 km) previa al sismo del Eje Cafetero está ausente (Fig. 14.3A) para magnitudes mayores a 4,5. Sin embargo, con la red regional del suroccidente, de mayor resolución espacial y menor umbral de detección, si se observa actividad previa, con sismos menores de magnitud 4 (Fig. 14.3B). La sismicidad superficial previa en ambos catálogos es más notoria al occidente, en la región del Valle del Cauca y del Pacífico, donde no hay documentados sismos corticales fuertes al menos desde el terremoto que afectó a Cali y Buga en 1766 (Ramírez, 1975); el catálogo OSSO reporta algunos epicentros en la región del Quindío, alineados NNE con magnitudes entre $2,4 < M_l < 4,0$. Lo anterior ilustra la complejidad implícita en los análisis de actividad potencial de fallas corticales cuyos periodos de recurrencia pueden ser de centenares de años, independientemente del número de sismos registrados en periodos de observación de pocas décadas.

Descripción

Sismología

a) Datos y parámetros sismológicos

El International Seismology Center (ISC, 2005), el National Earthquake Information Center (NEIC, 2005) y el Harvard Seismology (Harvard Seismology, 2005) coinciden en que el terremoto tuvo una profundidad superficial con valores de 24 km, 17 km y 27 km respectivamente. Monsalve & Vargas (2002) a partir de registros telesísmicos la estiman en 18 km. Los resultados preliminares del OSSO y de la RSNC indicaron 34 y 10 km, respectivamente (OSSO, 1999a; Ingeominas, 1999). Las diferencias de profundidad iniciales se pueden explicar por los modelos de velocidad utilizados y el grado de confinamiento (cubrimiento) de las redes sismológicas. En magnitud NEIC (1999) y Harvard Seismology coinciden en $M_w^1 = 6.2$, ISC (2005) indica una Magnitud $M_b^2 = 5.8$.

¹ Magnitud de momento.

² Magnitud de ondas de cuerpo.

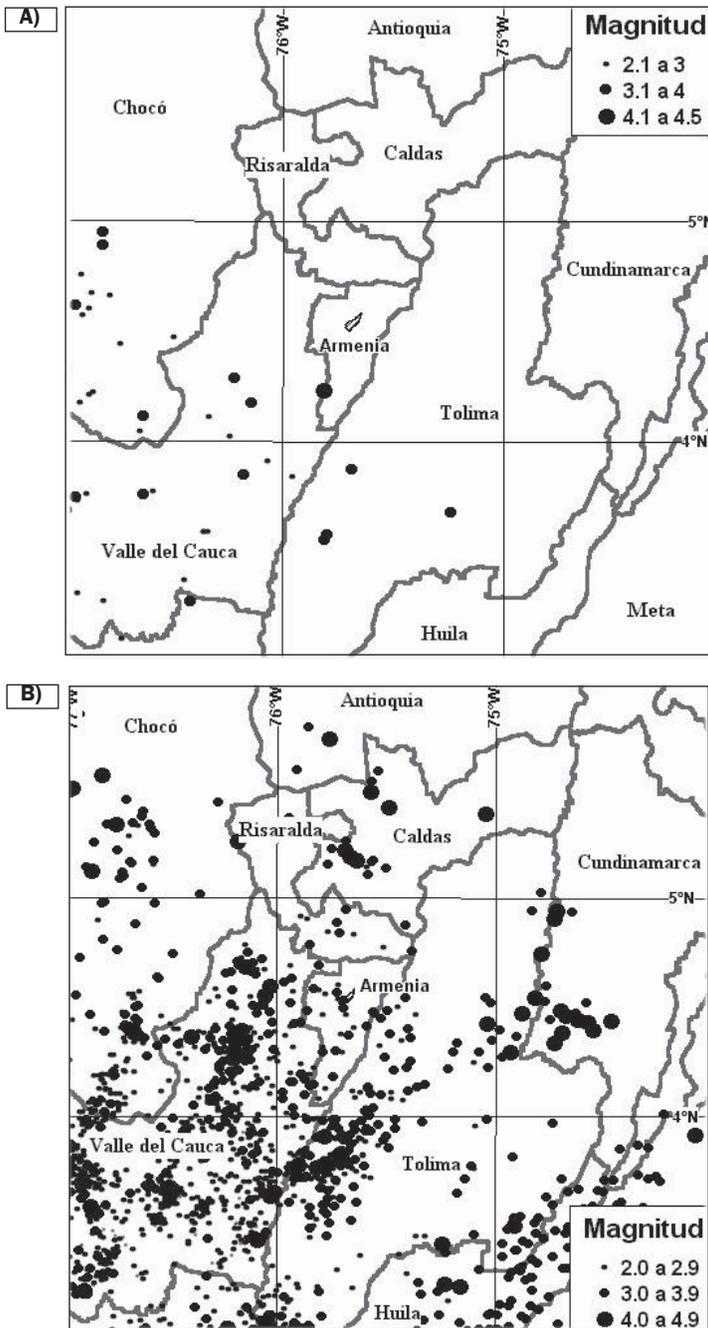


Fig.14.3. Sismicidad superficial hasta el 24 de enero de 1999.

A) NEIC (2005) desde 1973; **B)** OSSO (1999e) desde 1987.

b) La fuente sísmica

A partir de observaciones telesísmicas del mecanismo focal estimado por diferentes autores (NEIC, 2005; Harvard Seismology, 2005), y con base en un análisis de la distribución de las réplicas, Monsalve & Vargas (2002) suponen que el plano nodal de ruptura corresponde a una falla aproximadamente N-S ($356^\circ + -10$) con desplazamiento lateral izquierdo.

c) Proceso de réplicas

El sismo principal desató un proceso de réplicas, que fue decreciendo en frecuencia, cantidad y magnitud. La cantidad total fue de varios millares y en la red del OSSO se registraron réplicas durante los tres años que siguieron al sismo. La réplica de mayor magnitud ocurrió el mismo día del sismo principal, a las 5:40 pm y se estimó una magnitud $M_b = 5.5$ (ISC, 2005), a una profundidad de 10 km. Los mecanismos focales según NEIC (2005), Harvard Seismology (2005) y Monsalve & Vargas (2002) son similares al del sismo principal.

Con base en análisis de 508 réplicas seleccionadas por criterios de calidad y cobertura de estaciones, Vargas et al. (2004), infieren que el volumen de la fuente de la secuencia de réplicas está dentro de las coordenadas 75.6° – 75.7° W y 4.4° – 4.5° N, entre 5 y 21 km de profundidad, la mayoría de las cuáles se ubican debajo del hipocentro del sismo principal.

d) Registros de movimiento fuerte

La red nacional de acelerógrafos (Ingeominas, 1999) reportó la máxima aceleración en una estación en suelo, del orden de 550 cm/s^2 a 13 km del epicentro, y del orden de 82 cm/s^2 en una estación en roca a 42 km al NW del epicentro. La red regional de acelerógrafos reportó la máxima aceleración en Pereira, medida en roca, del orden de 95 cm/s^2 . (CARDER, 1999).

Efectos socioeconómicos

Se realizó una evaluación de los efectos del desastre sobre la vida, la infraestructura urbana y rural, los sectores económicos, así como los efectos indirectos en 28 municipios (CEPAL, 1999); otros informes incluyen 32 municipios (DNPAD, 1999; DesInventar, 2004).

a) Efectos inmediatos

Los efectos en la infraestructura urbana y rural están bien documentados en el informe de la CEPAL (1999). Esta fuente estimó las pérdidas económicas directas e indirectas en 1857 millones de dólares, equivalentes al 2,5% del PIB del país en 1998.

Los principales impactos fueron:

- **Personas:** el sismo dejó 1185 personas sin vida, 94% de las cuales en Armenia (Fig. 14.4a). La CEPAL (1999) estimó que 160 000 personas se vieron severa y directamente afectadas por pérdida de sus viviendas; 400 000 afectadas por efectos en sus familias, vivienda y empleo (Fig. 14.4b) y, que 1 534 500 estuvieron indirectamente afectadas.
- **Vivienda:** Según el DANE (1999) 35 972 viviendas quedaron destruidas o inhabitables (Fig. 14.4c), y 43 76 fueron parcialmente afectadas.

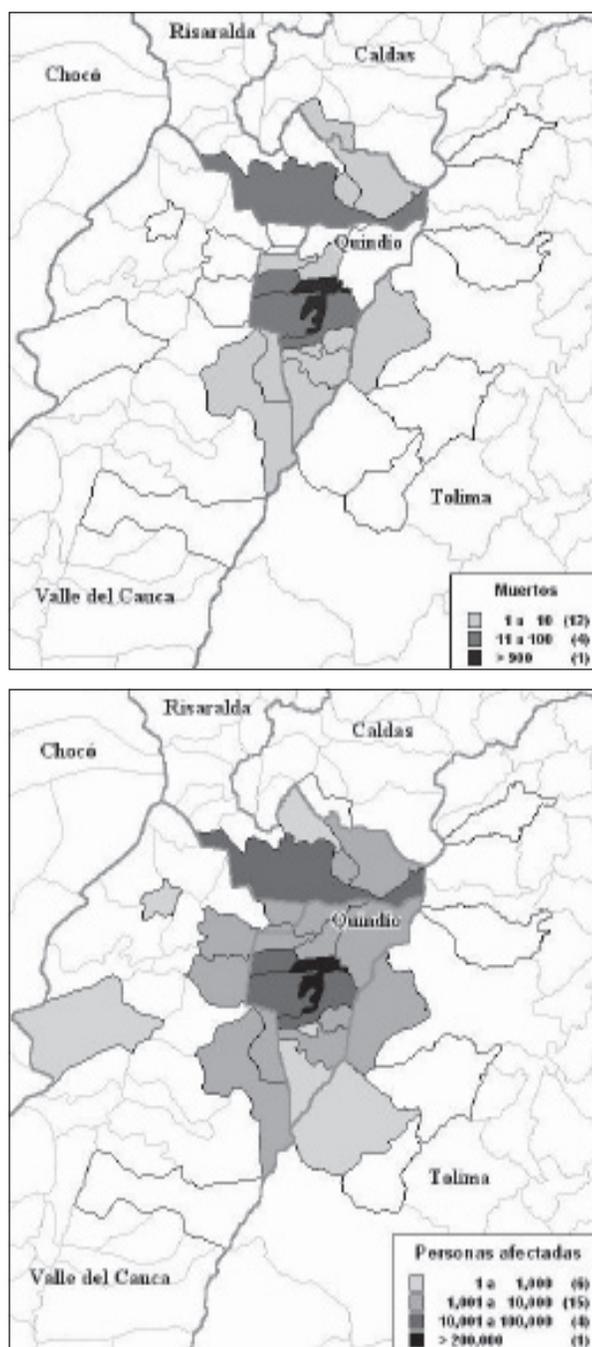


Fig.14.4. Distribución de efectos. a) muertos; b) afectados.

- Sectores: La CEPAL destaca, por su cantidad y extensión, los efectos sobre la infraestructura del sector educativo: de los 521 planteles existentes, 243 quedaron inservibles y 194 sufrieron daños (Fig.14.4c) (Ministerio de Salud, Cit. CEPAL, 1999) (Fig. 4d); del sector Salud ocho edificaciones debieron ser reconstruidas, una de ellas de tercer nivel y 65 quedaron afectadas: 6 de ellas del tercer nivel (CEPAL, 1999).

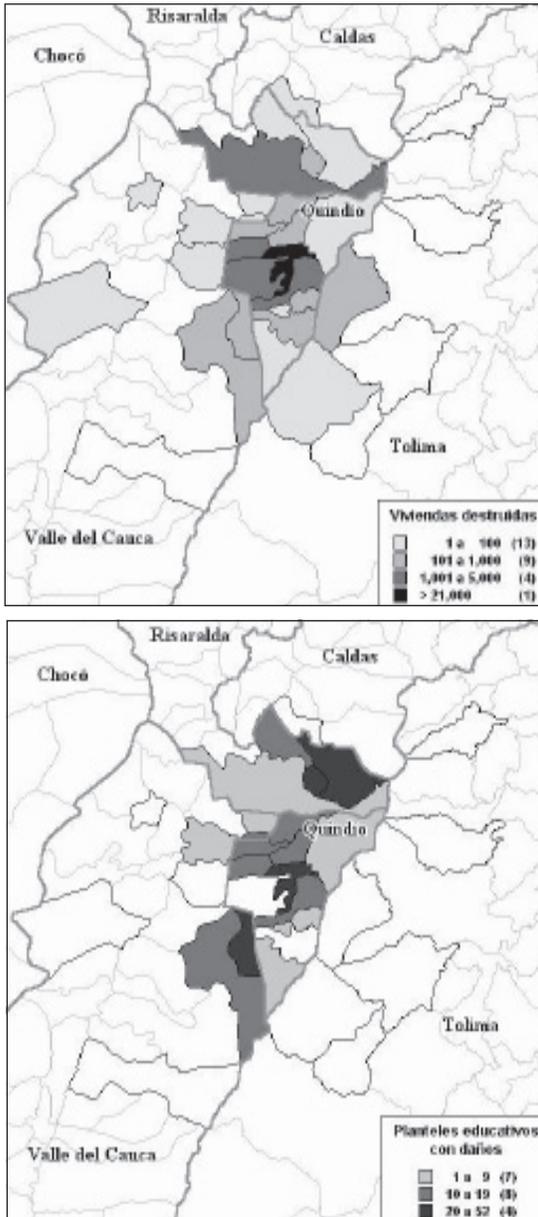


Fig.14.4. Distribución de efectos. c) viviendas destruidas; d) planteles educativos con daños.

Pujol et al. (1999) lo mismo que Cardona (1999), señalan que los daños en edificaciones se debieron principalmente a deterioro, deficiencias constructivas y edificios diseñados y construidos antes de la norma (1993); en Armenia y Pereira edificios en las zonas céntricas sufrieron daños estructurales severos por uso de materiales de baja calidad, además de diseños y construcciones pobres (dimensiones inadecuadas de elementos estructurales; columna corta; columnas con poco reforzamiento transversal; mala interacción entre elementos estructurales y no estructurales).



a) Colapso de vivienda en bahareque, por falla de pilotes posteriores (Pijao).

b) Mestizaje de bahareque, mampostería de ladrillo y madera (Calarcá).



Fig.14.5. Daños en edificaciones.



c) Colapso en edificación mampostería (Armenia).



d) Colapso parcial en escuela (La Soledad, Córdoba).

Fig.14.5. Daños en edificaciones.

b) Efectos de mediano y largo plazo.

El Gobierno nacional creó el Fondo para la Reconstrucción Social y el Desarrollo del Eje Cafetero (FOREC), con el objeto de financiar y realizar las actividades necesarias para la reconstrucción del Eje. El Fondo funcionó hasta el 31 de diciembre de 2001 (FSV, 2002).

Los costos de la reconstrucción se estimaron en US\$750 millones (FSV, 2002; Drosdoff, 2003), que equivalen al 40% de las pérdidas. Según FSV (2002) la reconstrucción se

financió así: "60% del presupuesto de la Nación (impuesto a las operaciones bancarias del 2x1000). 38% como resultado de préstamos de los Bancos Mundial e Interamericano de Desarrollo. 1% equivalente al volumen de las donaciones nacionales e internacionales". Este 1% se destinó en su totalidad para financiar vivienda de arrendatarios. Otra ayuda internacional incluyó la reconstrucción de infraestructura y vivienda por organismos de cooperación como la GTZ (Alemania), SwissAid y Cuerpo Suizo de Socorro (Suiza). Este último reconstruyó los acueductos de Pijao y Buenavista y nueve escuelas de Calarcá y Córdoba. El impacto sobre la economía cafetera se concentró en múltiples pero pequeños deslizamientos que afectaron parcelas cultivadas y vías de acceso así como infraestructura para el secado del grano.

Impacto ambiental

La vibraciones sísmicas dispararon la ocurrencia de diversos efectos geológicos en un área de unos 1500 km² (Aguilar & Mendoza, 2002b): agrietamientos cosísmicos la mayoría sobre cenizas volcánicas; hundimientos, deslizamientos cosísmicos, flujos de lodo y detritos, así como efectos sobre los afloramientos de agua, con la generación de nuevos, desaparición o disminución de caudal (López et al., 2001). El trimestre diciembre-febrero normalmente no es lluvioso, pero en 1999 coincidió con la ocurrencia del fenómeno La Niña (NOAA, 1999) con lluvias abundantes y anómalas que generaron muchos deslizamientos (DesInventar, 2004). Así, en febrero durante lluvias torrenciales, ocurrieron deslizamientos adicionales sobre terrenos previamente agrietados.



Fig.14.6. Deslizamiento cosísmico.

Parcela cafetera sobre cenizas volcánicas, Provincia campesina de Entreríos entre Calarcá y Córdoba. (Foto Geól. Myriam López).

Análisis, discusión y conclusiones

Aunque en Colombia ha habido terremotos de magnitudes mucho mayores (31 de enero de 1906 $M = 8,8$ y 15 de noviembre de 2004, $M_w = 7,1$), o con mayor número de efectos geológicos (Páez, 1994; Atrato Medio-Murindó, octubre de 1992; Tumaco, enero 31 de 1906 y diciembre 12 de 1979), el conjunto de pérdidas generadas por éste lo colocan como el de mayores efectos en vidas e impacto en la economía de Colombia.

Mientras que la zona Wadati-Benioff ha sido la fuente de mayores desastres sísmicos en la región (sismos de 1938, 1961, 1962, 1973, 1979, 1995), el terremoto del 25 de enero de 1999 se convirtió en la primera evidencia fidedigna de un sismo superficial, con efectos adversos y con epicentro en el Eje Cafetero. Junto con sismos superficiales cercanos a centros urbanos (i. e., Popayán, 1983), el del Eje Cafetero muestra la necesidad de fortalecer investigaciones del potencial sísmico de este tipo de fallas causantes.

A pesar de que el terremoto ocurrió en uno de los trimestres secos del año (diciembre-febrero), éste coincidió con un período de abundantes lluvias asociadas con el fenómeno La Niña (NOAA, 1999), lo cual contribuyó a aumentar los efectos ambientales co- y post-sísmicos, principalmente movimientos de masa.

La catástrofe en el Eje Cafetero, al igual que muchos de los desastres inducidos por sismos en Colombia, puede explicarse principalmente como producto de la interacción de múltiples variables: deterioro y falta de mantenimiento de edificaciones; uso de materiales de baja calidad; prácticas de diseño y construcción inadecuadas; falta de revisión y reforzamiento de construcciones previas a la vigencia de la normatividad sismorresistente, –expedida en 1984 y actualizada en 1997–; vibraciones sísmicas altas; efecto local; cercanía al epicentro de ciudades densamente pobladas. Al desastre contribuyó el acelerado y desordenado crecimiento urbanístico, carente de adecuada planificación. Las aceleraciones obtenidas en suelo en el sitio más cercano (Armenia, a 13 km del epicentro), alcanzaron 550 cm/s^2 de la gravedad. Aunque se desconoce el nivel de amplificación en este sitio, es de esperar que en el basamento la aceleración haya sido una fracción de este valor. En el campo cercano las aceleraciones verticales pudieron ser muy altas, lo que debiera llevar a incluir en los códigos de construcción sismorresistente, más requisitos para el diseño frente a fuerzas verticales. Aún cuando no se disponía de información científica sobre actividad local de fallas geológicas, si las construcciones hubieran llenado el requisito de resistir el 25% de la aceleración de la gravedad, con toda seguridad el desastre habría sido de menores proporciones. Urge entonces, como lección obvia para todo el país y en especial para las regiones reconocidas como de alta amenaza sísmica, impulsar el reforzamiento de edificaciones esenciales y de uso masivo, a la vez que promover políticas de aplicación general para obtener niveles de seguridad sísmica aceptables. Esto está plenamente justificado a la luz de las pérdidas reales en este evento: a las pérdidas totales (2.5% del PIB de 1998) se debe agregar la inversión en reconstrucción que alcanzó el 40% de las mismas. En síntesis las pérdidas reales suman, por lo menos, el 3.5% del PIB.

Un sismo con características similares y con epicentro en una región con mayor población y mayor densidad de industria y comercio, tendría efectos de órdenes superiores sobre la economía colombiana. Si se hiciera una extrapolación lineal a una ciudad como

Cali, con unas 18 veces más población y 50 veces más contribución al PIB (FSV, 2001) y suponiendo similar comportamiento de los suelos y niveles similares de vulnerabilidad, un sismo como el del Eje Cafetero en cercanías de ésta, implicaría decenas de miles de víctimas y pérdidas superiores al 100 % del PIB de Colombia en un año.

Agradecimientos

A los colegas del OSSO que colaboraron en la preparación de este trabajo.

Bibliografía

- Aguilar, V. & Mendoza, D., 2002a. Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el Eje Cafetero. Tesis. Universidad del Valle. 213 p. Anexos.
- _____ (b). "Anexo E. Inventario de movimientos de masa 1999". En: Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el Eje Cafetero. Tesis. Universidad del Valle. 19 p.
- AIIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), 1998. Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente. NSR-98. Ley 400 de 1997. Decreto Ley 33 de 1998. Bogotá. Cdrom, 11 secciones.
- Arango, M. & Velásquez, A., 1993. Catálogo histórico sísmico para Medellín. Alcaldía de Medellín - PNUD. Editorial Cadena, Medellín, 93 p.
- CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda), 1999. Proyecto para la mitigación del riesgo sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Informe Final. Pereira. Cdrom.
- Cardona, O., 1999. "Lessons in seismic engineering and disaster prevention". En: Special report: The earthquake of Armenia, Colombia, January 25. Press release. Geozards international Disponible en: <http://www.geohaz.org/member/report/colombia99.htm> Obtenido en: marzo de 2005.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina), 1999. El terremoto de enero de 1999 en Colombia. Impacto socioeconómico del desastre en la zona del Eje Cafetero. Abril de 1999. Comisión Económica para América Latina, 93 pp. Disponible en: <http://www.cepal.org/> Obtenido en: junio de 1999.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), 1999. Dimensión social y económica de los efectos del terremoto del Eje Cafetero: Diagnóstico para la reconstrucción. Bogotá, 1999.
- DESINVENTAR, 2004. "Base de datos DesInventar para Colombia, 1914-2004". Disponible en: <http://www.desinventar.org> Obtenido en: enero de 2005.
- Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, 1999. Evaluación técnica de infraestructura. Informe DNPAD No.16.
- Drosdoff, D., 2003. "Una reconstrucción diferente". En: BID en Acción. Región 3. Banco Interamericano de desarrollo (BID). Disponible en: <http://www.iadb.org/idbamerica/index.cfm?&thisid=1846&articlepview=0&> Obtenido en: marzo de 2005.
- Ego, F. & Sébrier, M., 1995. "Is the Cauca-Patia and Romeral fault system left or right lateral?" Geophysical Research Letters. Vol. 22, No.1, p.33-36.
- Espinosa, A., 1996. "Sismicidad histórica: Informe final". Proyecto para la mitigación del riesgo sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. 42 p.
- Freymueller, J. T., Kellogg, J. N. & Vega, V., 1993. "Plate Motions in the North Andean Region". Journal of Geophysical Research, v.98, p.21.853-21.863.
- FVS (Fondo de Solidaridad del Valle), 2001. Ejercicio de Simulación: Terremoto en Cali. Cali. 51 p.

- FVS (Fondo de Solidaridad del Valle), 2002. Un encuentro con lo público. Reconstrucción del norte del Valle del Cauca. Marta Yomaira Castro: Consultora. Cali, 204 p.
- Guzmán, J., Franco, G., Ochoa, M., 1997. "Evaluación Neotectónica". Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Informe de proyecto. CARDER, 1999. CDROM.
- Harvard Seismology, HRVD, 2005. "Harvard Centroid Moment Tensor database". Disponible en: <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html> Obtenido en: Marzo de 2005.
- INGEOMINAS, 1988. Mapa geológico de Colombia. Escala 1:500.000. Bogotá.
- INGEOMINAS, 1991. Mapa geológico generalizado del departamento del Quindío. Escala 1:100.000. Memoria explicativa. Ingeominas. Bogotá, 42 p.
- INGEOMINAS, 1999. "Aspectos geodinámicos regionales en terremoto del Quindío (25 de enero de 1999)" Informe técnico científico Vol.1. Bogotá. Cdrom.
- ISC (International Seismological Centre), 2005. On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. Disponible en: <http://www.isc.ac.uk/Bull>. Obtenido en marzo de 2005
- López, M., Velásquez, A., Aguilar, V. & Mendoza, D., 2001. "Efectos Geológicos en el área epicentral del Terremoto del 25 de Enero de 1999 del Eje Cafetero, Colombia". VIII Congreso Colombiano de Geología. Agosto 8 al 10 de 2001. Manizales
- López, M., Velásquez, V., Toro, G., Audemard, F., Meyer, HJ. & Hermelin, M., 2003. "Evidence of Holocene compression in the Valle del Cauca, along the western foothills of the Central Cordillera of Colombia". XVI INQUA Congress: shaping the earth, a Quaternary perspective. July 23-30, 2003. Nevada (Canada).
- McCourt, W., 1984. The geology of the central Cordillera in the departments of Valle del Cauca, Quindío and (NW) Tolima (sheets 243, 261, 262, 280 y 300). Misión Británica (British Geological Survey), Report No.8. Ingeominas. Cali.
- Mejía, J. & Meyer, HJ, 2004. "Modelo detallado preliminar de la sismicidad en el occidente de Colombia" Memorias II Congreso Colombiano de Sismología. Grupo Quimbaya (U. del Quindío). Grupo de Geofísica (U. Nacional). Agosto 16 al 24 de 2004. Armenia, Quindío.
- Meyer, HJ & Mejía, J., 1997. "On the Convergence-Related Faulting in the North Andean Block; new Details From Regional Seismic Observations". Memorias IASPEI 29th General Assembly. Thessaloniki, Hellas - 18-28 August 1997.
- Monsalve, H. & Vargas, C.A., 2002. "El sismo de Armenia (Colombia) del 25 de enero de 1999: Un análisis telesismo de ondas de cuerpo. Observaciones de campo y aspectos sismotectónicos". Primer Simposio Colombiano de Sismología.
- NEIC (National Earthquake Information Center), 2005. Earthquake Catalog. Disponible en: <http://neic.usgs.gov/neis/epic>. Consulta en: marzo de 2005.
- NOAA 1999. "Cold & warm episodes by season". ENSO impacts on the USA. Climate Prediction Center, National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponible en: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Obtenido en: junio de 1999.
- OSSO, 1999a. "Sismo en Quindío, enero 25 de 1999" Informes especiales de sismicidad. Disponible en: <http://osso.univalle.edu.co/sismo01251999/> Obtenido en: marzo de 1999.
- OSSO 1999b. Evaluación de Riesgos Geológicos, Aptitud de Terrenos y Acompañamiento Técnico a los Campesinos para la Reconstrucción en la Provincia Campesina de Entreríos, Municipios Córdoba y Calarcá Zona del Terremoto del Quindío. OSSO para Swissaid. Informe final. Cali, 61p.

- OSSO, 1999c. Asesoría al cuerpo suizo de socorro para intervenciones posterremoto en el departamento del Quindío, Colombia. OSSO para Swiss Aid. Informe inédito. Cali. 25p.
- OSSO, 1999d. Catálogo de epicentros registrados por la Red Sismológica del SurOccidente, 1987-1999.
- OSSO, 2001. "Catálogo Macrosísmico para el Norte del Valle". En: Estudio de amenazas y riesgos y la situación de los comités locales de emergencia del Norte del Valle del Cauca. Anexo 5.1. OSSO para Fondo de Solidaridad del Valle. Informe inédito. 83 p., anexos, mapas.
- Pujol, S., Ramírez, J. & Sarria, A., 1999. "Coffee zone, Colombia, January 25 earthquake. Observations on the behaviour of low-rise reinforced concrete buildings". En. Selected papers in Earthquake Engineering. <http://nisee.berkeley.edu/lessons/>
- Ramírez, J. E., 1975. Historia de los terremotos en Colombia. Bogotá, IGAC. Editorial Andes. 250 p.
- República de Colombia, 1998. Ley 400 de 1997. AIS.
- Vargas, C. A., Monsalve, H. L. & Espinosa, A., 2004. "3D velocity structure around the source area of the Armenia earthquake". Memorias II Congreso Colombiano de Sismología. Grupo Quimbaya (U. del Quindío). Grupo de Geofísica (U. Nacional). Agosto 16 al 24 de 2004. Armenia, Quindío.

15.El evento del 29 y 30 de mayo de 2000 en la Estrella y Sabaneta (Antioquia)

María Fernanda Cadavid & Michel Hermelin

Resumen

Durante la noche del 29 y la madrugada del 30 de mayo del año 2000, un aguacero torrencial de intensidad alta y corta duración de aproximadamente 62 mm cayó sobre sectores de los municipios de La Estrella y Sabaneta (Antioquia), desencadenando 264 movimientos de masa y una avenida torrencial en un área de 4 km². Dicho evento causó la muerte de una persona y desaparición de otra; dejó 190 familias damnificadas; interrumpió el tránsito en vías de carácter nacional y causó pérdidas económicas directas estimadas en \$2.450.000.000.

El análisis ponderado de la distribución de los procesos permitió determinar que los movimientos de masa predominantes fueron los flujos superficiales y el factor de mayor incidencia fue la pendiente; el análisis de susceptibilidad del terreno a movimientos de masa por medio de un sistema de información geográfica apoyado por un modelo semi-cuantitativo, muestra que la zona presenta predominancia de susceptibilidad moderada y alta a los movimientos de masa.

Palabras claves: desastres naturales, movimientos de masa, avenida torrencial, susceptibilidad, Antioquia.

Abstract

During the night between May 29 and 30, 2000 a storm hit the towns of La Estrella and Sabaneta in Antioquia, Colombia. A total precipitation of 62 mm was estimated. The storm triggered 264 mass movements and a torrential flood in a 4 km² area. One person was killed and another was reported missing. About 190 families abandoned their homes, the main roads between Medellín and south west Colombia were closed. Direct economic losses were calculated in about US\$1 million.

The use of a geographical information system (GIS), helped to generate a semi-quantitative model of susceptibility that shows the predominance of high and moderately exposed areas. The analyses of landslide distribution and their characteristics indicates that flows were the dominant processes and that slope is the most important factor in landslide generation.

Key words: natural disasters, mass movements, torrential floods, susceptibility, Antioquia.

Introducción

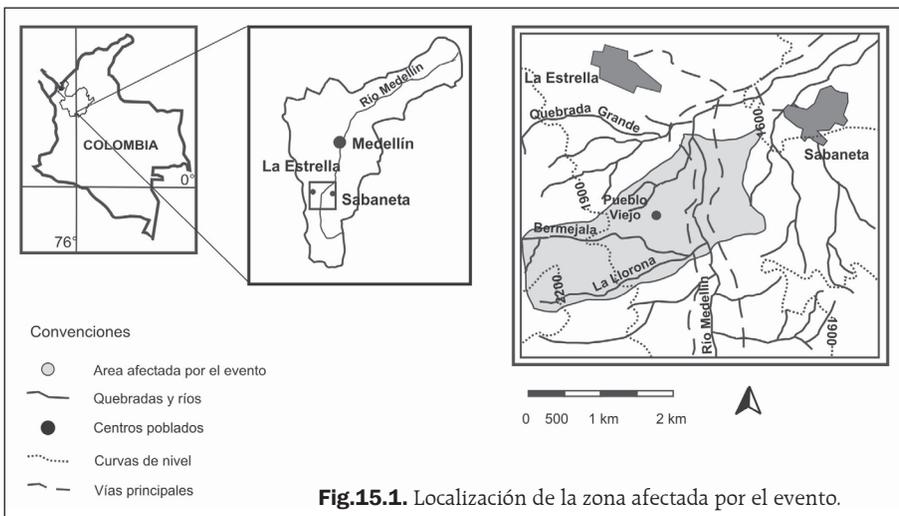
Las regiones del trópico húmedo presentan una dinámica geomorfológica alta; si a esta dinámica se le adiciona un patrón de poblamiento no planificado, se observa que

dichos procesos afectan de gran manera al hombre, generando los denominados desastres naturales. Un ejemplo claro de lo anterior es el evento del 29 y 30 de mayo de 2000, que afectó los municipios de La Estrella y Sabaneta, cuando una lluvia de 62 mm desencadenó movimientos en masa que causaron mucha destrucción en la zona.

Una herramienta clave dentro de la planeación de las zonas urbanas es la prevención de desastres naturales y para ello el estudio de casos es primordial, ya que brinda información sobre el comportamiento e influencia de los factores físicos ante un evento; dentro de este enfoque se realizó, para el evento del 29 y 30 de mayo, un estudio de susceptibilidad a los movimientos de masa, con la ayuda de sistemas de información geográfica.

Localización geográfica del evento

La zona de estudio se encuentra en el extremo sur-occidental del Valle de Aburrá (Antioquia), en jurisdicción de los municipios de La Estrella y Sabaneta, aproximadamente a 15 km al sur de Medellín, con alturas que varían entre los 1650 y 2200 msnm (río Medellín y cerro El Guayabo respectivamente) (Fig. 15.1).



La zona presenta una precipitación media de 2300 mm/año, distribuida en un régimen bimodal, con dos temporadas secas entre diciembre-febrero y junio-agosto y dos lluviosas entre marzo-mayo y octubre-noviembre (IDEAM, 2000).

Marco geológico

La zona se encuentra localizada cerca del Sistema de Fallas de Romeral, el cual durante el Cretáceo tardío fue una zona de subducción de la placa Pacífico bajo la placa Sudamérica (Restrepo y Toussaint, 1984). Dentro de la zona se encuentra gran variedad de litología como de geoformas.

Unidades litológicas: en el área afloran rocas con edades entre el Paleozoico y el Terciario: rocas metamórficas de los Esquistos Cuarzo-sericíticos de Ancón (Toussaint y

Restrepo, 1984), rocas ígneas que incluyen cuerpos de dunita serpentinizada y de gabro, rocas volcano-sedimentarias del Complejo Quebradagrande (Nivia et al., 1996) y la secuencia sedimentaria La Culebra-La Llorona (Martínez et al., 1991) (Fig.15.2).

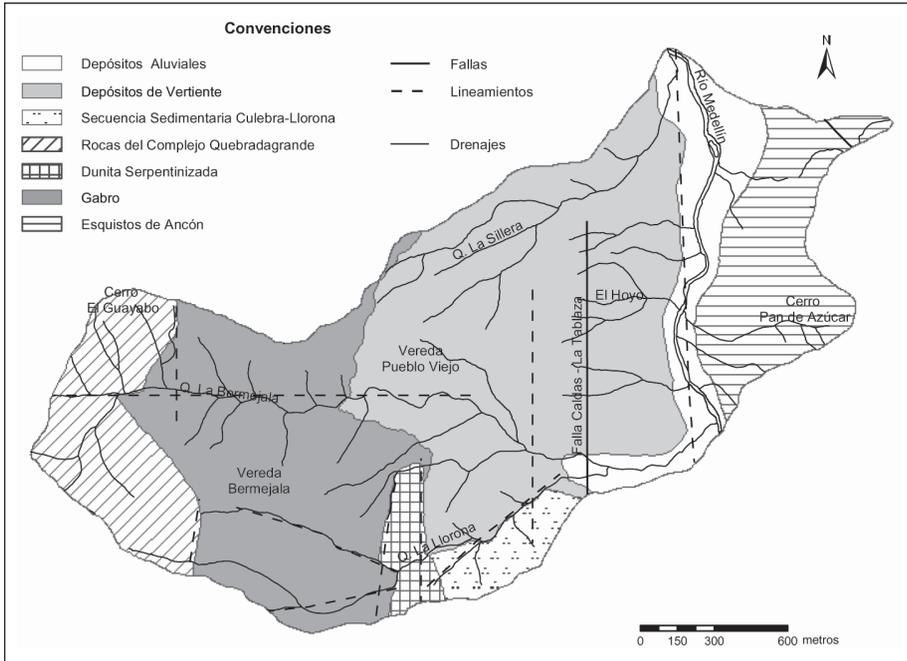


Fig.15.2. Mapa geológico de la zona.

La zona se encuentra afectada por el Sistema de Fallas de Romeral (Traza San Jerónimo) con dirección aproximada N15°W (Restrepo & Mesa, 1988) y localmente por la Falla Caldas - La Tablaza (Toro & Velásquez, 1984) como una traza NS paralela al río Medellín.

Formaciones superficiales

- *Depósitos Aluviales y Aluviotorrenciales*: se presentan a lo largo del río Medellín en una franja alargada con dirección NS, y hacia la confluencia de las quebradas La Bermejala y La Llorona con el río Medellín.
- *Depósitos de Vertiente*: se encuentran asociados a la actividad tectónica y con la presencia de escarpes; se clasifican como depósitos de deslizamientos y flujos de lodo y/o escombros, con forma de colinas suaves, redondeadas y alargadas.

Unidades geomorfológicas

- *Llanuras Aluviales*: se extienden paralelas al río Medellín; corresponden a las zonas de depósito del río y de las corrientes principales; hacen parte de esta unidad las llanuras de inundación, las terrazas y los depósitos torrenciales.
- *Colinas*: son de forma alargada, con pendientes entre el 12 y 45%, con cimas planas a ligeramente redondeadas; corresponden a antiguos depósitos de vertiente descritos por Toro y Velásquez (1984) y Cadavid (2001).

- *Escarpe de Pueblo Viejo*: corresponde a un escarpe de un antiguo deslizamiento, con pendientes del 80% y alturas entre 1700 msnm y 1830 msnm. Está cortado en depósitos de lodo cubiertos por ceniza volcánica con un espesor no mayor a 1 m.
- *Cerros*: corresponden al flanco W del cerro Pan de Azúcar conformado por esquistos cuarzo-sericíticos cubiertos por depósitos de vertiente; presentan alturas entre los 1700 y 1850 msnm, y pendientes hasta del 100%.
- *Vertientes*: definidas por las vertientes de la quebrada La Bermejala, están formadas por rocas del Complejo Quebradagrande y por gabros. Presentan alturas hasta 2200 msnm, pendientes mayores al 100% (Fig. 15.3).

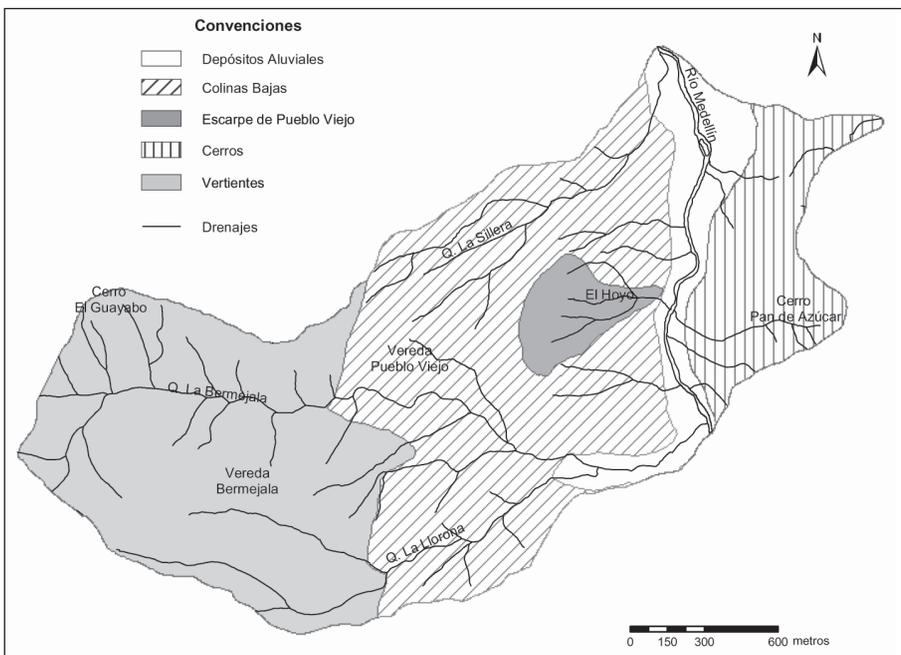


Fig.15.3. Mapa de las unidades geomorfológicas de la zona.

Antecedentes históricos

En la cuenca alta de la quebrada Quebradagrande, localizada a 500 m al norte de la zona en estudio, se presentó en 1982 un fuerte aguacero que produjo avenidas torrenciales, deslizamientos e inundaciones, causando pérdidas de vidas humanas y grandes daños a la comunidad. El evento sólo fue descrito en los periódicos.

El 18 de diciembre de 1999 en el sector de Pueblo Viejo, se presentó un evento similar al descrito en este artículo, que desencadenó numerosos flujos de lodo superficiales (Corantioquia, 2000). La precipitación fue de 58 mm aproximadamente.

Descripción del evento

Durante la noche del 29 y la madrugada del 30 de mayo de 2000, un fuerte aguacero que se prolongó por 7 horas, cayó sobre parte de los municipios de La Estrella y Sabaneta. La precipitación registrada en un pluviómetro a 1.5 km al SE de la zona fue de 62 mm (Comunicación personal, J. L. González, agosto de 2000). Los datos de estaciones meteorológicas cercanas (4 a 7 km) registran muy poca lluvia, indicando un evento local.

Las lluvias afectaron un área mínima de 4.1 km² y produjeron 264 movimientos de masa y una avenida torrencial en la quebrada La Llorona. Los movimientos de masa predominantes fueron flujos de lodo con 61% del total, la mayoría superficiales (0.3 a 1 m) con longitud y ancho variable, seguidos por movimientos complejos con un 26%; los movimientos rotacionales, con profundidad superior a 1.5 m y en su mayoría reactivados, representan el 13% del total (Fig.15.4).



Fig.15.4. Movimientos de masa Quebrada La Bermejala.

El comportamiento observado en este evento, donde lluvias cortas e intensas detonan predominantemente flujos superficiales y pequeños, es similar al determinado en estudios realizados en el trópico húmedo como los de Terlien (1996), Larsen y Simon (1993) y Brand et al. (1985, en Thomas, 1994).

Análisis del evento

Con el fin de determinar la incidencia de los parámetros locales en la ocurrencia de los movimientos de masa, cada proceso fue caracterizado de acuerdo con la pendiente, el uso y la cobertura del suelo y materiales (Fig.15.5).



Fig.15.5. Movimientos de masa generados sobre diferentes pendientes y coberturas.

- Pendiente: 48% de los movimientos se presentaron en el rango de pendientes de 26° a 32° . En el análisis ponderado con respecto al área, se observa cómo el rango 33° - 50° toma mayor incidencia en la ocurrencia de los movimientos de masa pasando de 42% y el rango 26° - 32° sigue siendo importante con 43% (Fig. 15.6 a y b).
- Materiales: el 69% de los movimientos de masa se presentó sobre saprolito de las diferentes unidades, el 28% sobre depósitos antiguos y sólo el 3% sobre lleno artificial. Ponderando, se observa que los llenos antrópicos tienen una incidencia del 49% (Fig.15.7 a y b). Otro material muy susceptible es el saprolito de dunita que representa un 27% ponderado.

Fig.15.6 a y b. Correlación entre movimientos de masa y pendiente. a) directa, b) ponderada.

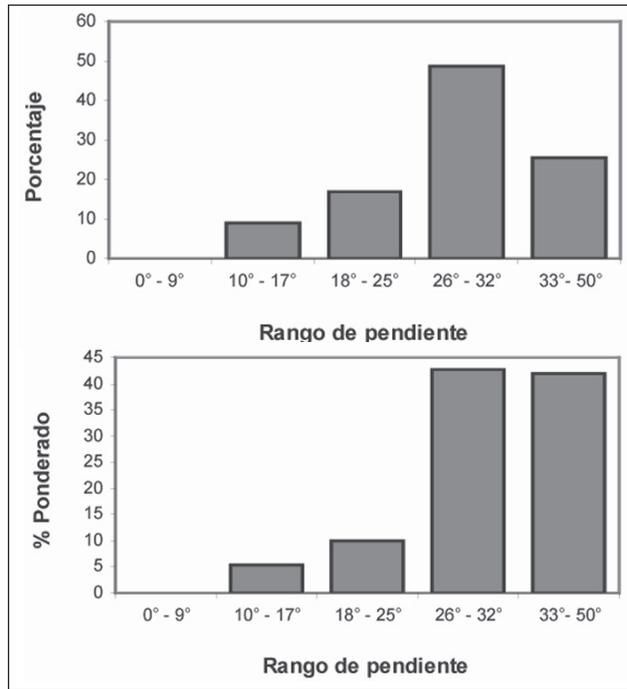
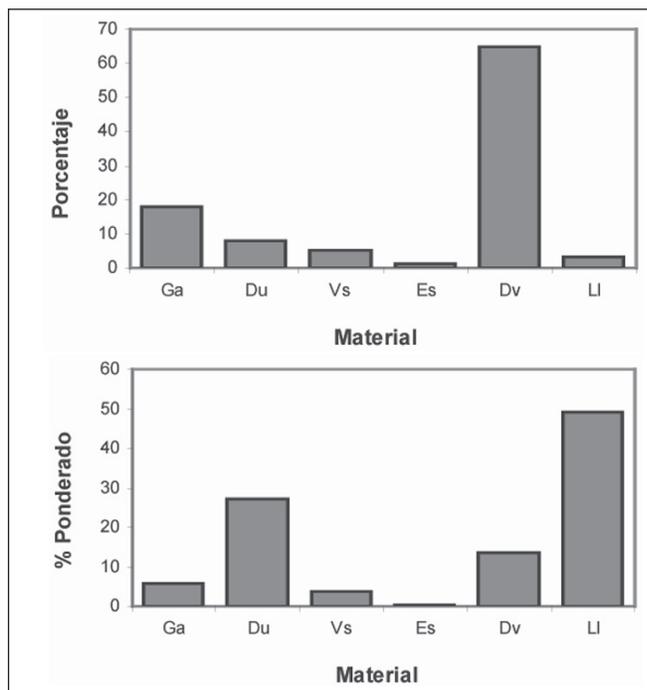


Fig.15.7 a y b. Correlación entre movimientos de masa y material. a) directa, b) ponderada; donde: Ga:gabro, Du:dunita, Vs:volcanosedimentarias, Es:esquistos, Dv:dep. vertiente, Ll: llenos antrópicos.



- Uso y cobertura del suelo:* los datos obtenidos no permiten obtener una conclusión clara sobre la influencia de las coberturas, ya que los procesos se presentan dispersos (Fig.15.8 a y b); aunque el rastrojo presenta una predominancia leve con un 30% del total de movimientos, se debe tener en cuenta que en algunos casos el rastrojo representa cicatrices revegetadas. El análisis ponderado muestra que puede existir alguna influencia de los cultivos (35% de los movimientos).

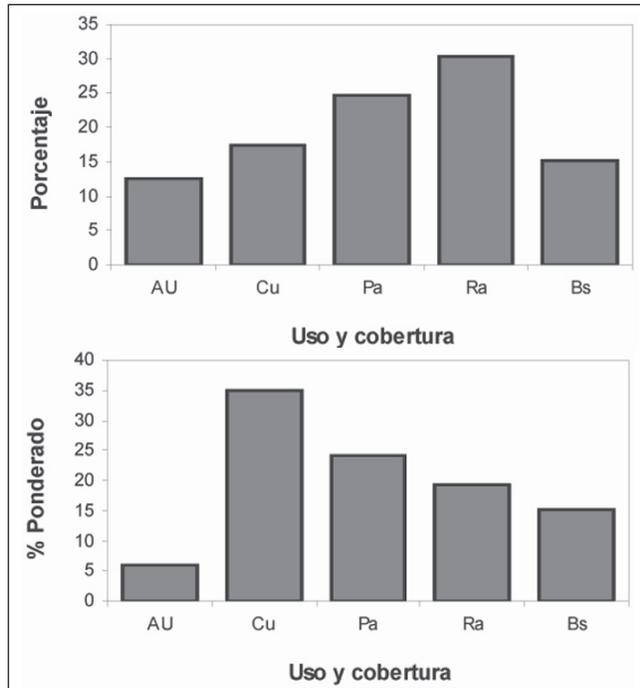


Fig.15.8 a y b. Correlación entre movimientos de masa y uso y cobertura. a) directa, b) ponderada: donde: AU: zonas urbanizadas, Cu: cultivos, Pa: pastos, Ra: rastrojo, Bs: bosque secundario.

Zonificación de la susceptibilidad a movimientos de masa

Para determinar la susceptibilidad del terreno a los movimientos de masa, se escogió un método semicuantitativo que permite hacer evaluaciones rápidas y simples a escala detallada, basado en el conocimiento del terreno y en la ponderación de los diferentes factores analizados, conocidos como unidades cartográficas de parámetro (UCP) (Ramírez y González, 1989; Vargas 1999).

Para el análisis de la zonificación de la susceptibilidad, se definieron las UCP de acuerdo a: geología, pendiente, uso y cobertura del suelo, y presencia de procesos erosivos (activos e inactivos). Para el procesamiento de cada variable se elaboró un mapa a escala 1:10.000, el cual se analizó en celdas de 10x10 m, donde a cada UCP se le asignó un valor de 1 a 5 según las categorías de la tabla 15.1.

El mapa de susceptibilidad general del terreno se obtuvo a partir de la superposición automática de los diferentes parámetros por medio de un Sistema de Información Geo-

gráfica. Esta superposición se realizó de acuerdo con la ecuación propuesta por Vargas y Gómez (1999; cit. Vargas, 1999).

$$ST = Stg + Stp + Stucs + Stpe$$

Donde:

ST = Susceptibilidad del terreno a movimientos de masa

Stg = Susceptibilidad del parámetro geología

Stp = Susceptibilidad del parámetro pendiente

Stucs = Susceptibilidad del parámetro, uso y cobertura del suelo

Stpe = Susceptibilidad del parámetro procesos erosivos

Tabla 15.1. Categorías y valores de susceptibilidad para el análisis de UCP.

Valor	Categoría de Susceptibilidad
1	Muy baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy Alta

Los valores obtenidos de la ecuación se clasificaron en intervalos establecidos para la susceptibilidad general de la zona (Tabla 15.2) a partir de los cuales se obtiene el mapa de susceptibilidad (Fig. 15.9). Se observa que el 4% del área se clasifica con susceptibilidad muy alta presentándose en zonas con procesos erosivos activos, principalmente generados sobre llenos artificiales y depósitos antiguos, con pendientes mayores a 30°. Las zonas con susceptibilidad alta ocupan el 22% del área. El 52% de la zona presenta una susceptibilidad moderada y el 22% restante se clasifica con susceptibilidad baja a muy baja y ésta se caracteriza por presentar pendientes entre 0° y 17°.

Tabla 15.2. Intervalos de susceptibilidad general del terreno.

Intervalos	Categoría de la Susceptibilidad
4 - 6	Muy baja
7 - 9	Baja
10 - 13	Moderada
14 - 17	Alta
18 - 20	Muy alta

Efectos socioeconómicos del evento

Los cálculos realizados por los municipios determinaron en \$2 450 000 000 los daños ocasionados por el evento, siendo La Estrella el municipio más afectado. (Censo Municipios de Sabaneta y La Estrella, 2000).

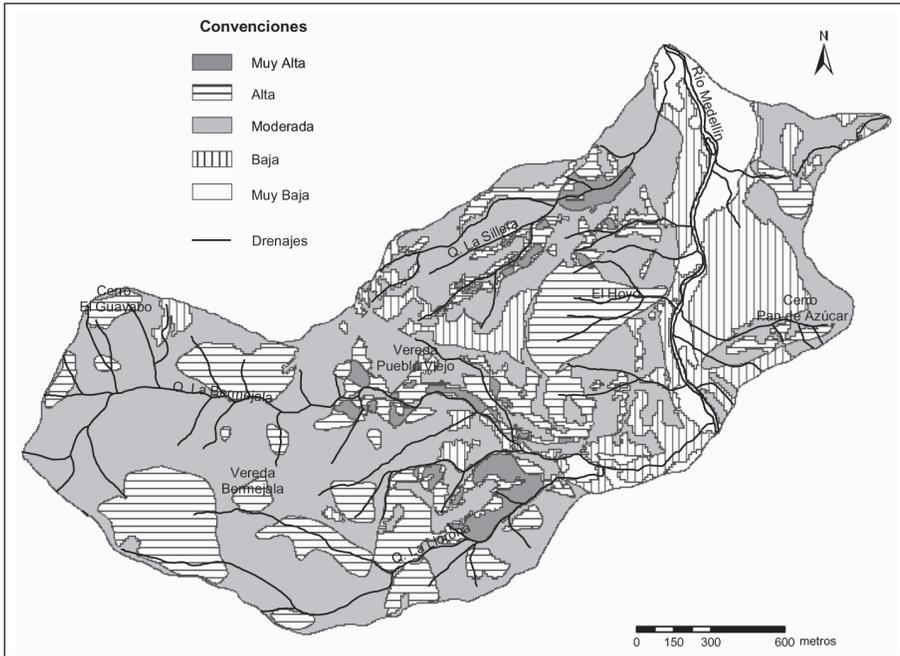


Fig.15.9. Zonificación de la susceptibilidad a movimientos de masa.

Los procesos generados en el evento afectaron 58 viviendas, 53 destruidas y 5 semi-destruidas, cobraron una vida y una persona resultó desaparecida (Fig.15-10). Así mismo, los movimientos destruyeron cultivos de plátano y café asociados a viviendas, además de extensas zonas de cultivos de café en las laderas de la quebrada La Llorona. En total este evento dejó 190 familias damnificadas, muchas de las cuales tuvieron que ser evacuadas (Censo Municipios de Sabaneta y La Estrella, 2000).

Los materiales depositados en las vías dieron lugar a su cierre por más de 24 horas, interrumpiéndose el tránsito de vehículos e incomunicando la ciudad de Medellín con el sur y el occidente del país; esto generó cuantiosas pérdidas al sector productivo, las cuales no fueron evaluadas.

Los movimientos de masa afectaron los acueductos de las veredas Pueblo Viejo, Bermejala y Pan de Azúcar; interrumpiendo la prestación del servicio de acueducto durante 3 días. Los costos asociados tampoco fueron determinados.

Conclusiones

Lluvias de fuerte intensidad que afectan áreas pequeñas (4 km^2) pueden traer consecuencias desastrosas para una comunidad, las cuales están altamente influenciadas por la pendiente, el material, el uso del suelo y la densidad poblacional.

Respecto a los factores locales analizados, el más importante en la generación de los movimientos de masa fue la pendiente, ya que en las mayores a 26° se concentró el 85% del total de los movimientos; a su vez los rellenos artificiales también influyeron al presentar el 49% de los deslizamientos.



Fig.15.10. Deslizamientos sobre lleno artificial que afectaron viviendas (Sabaneta).

Las pérdidas directas calculadas para los dos municipios fueron de \$2 450 000 000 aproximadamente (U\$1 000 000). Las pérdidas indirectas asociadas al evento y generadas por el bloqueo de las vías, el desplazamiento de familias y la interrupción de servicios básicos, no fueron evaluadas.

El análisis realizado mediante SIG muestra un alto grado de inestabilidad del terreno; ya el 52% del área presenta susceptibilidad moderada y a su vez la susceptibilidad alta y muy alta se presentan en el 27% del área estudiada.

Aunque de ocurrencia posterior, es importante señalar que en septiembre de 2004 en el sector de Pueblo Viejo, La Virgen y zonas aledañas, se presentó un evento similar al estudiado, el cual generó numerosos deslizamientos, afectó numerosas familias y trajo cuantiosas pérdidas económicas para el municipio de La Estrella, además de dejar bloqueadas por varios días las vías que comunican a Medellín con el sur y occidente del país. Se considera que de haberse tenido en cuenta los resultados del trabajo realizados a raíz del evento de Mayo de 2000 y que se comunicaron a la autoridad municipal, las consecuencias de dicho evento hubieran sido menores.

Referencias bibliográficas

Cadavid, M.E., 2001. Análisis de los fenómenos asociados al aguacero torrencial del 29 de mayo de 2000, municipios de La Estrella y Sabaneta, Antioquia. Medellín Proyecto de grado Universidad EAFIT, 98p.

CORANTIOQUIA, 2000. Descripción geotécnica de un movimiento en masa ocurrido en el barrio La Inmaculada II (diciembre de 1999), Inspección Departamental de

- Pueblo Viejo, Municipio de La Estrella, Antioquia. Informe Interno. 30p.
- IDEAM, 2000. Datos pluviométricos estación La Salada (Caldas, Antioquia).
- Jibson, R., 1989. "Debris flows in southern Puerto Rico". En: Schultz, A. y Jibson, R., Eds., Landslides processes of the eastern United States and Puerto Rico. Reston, USGS, Special Paper 236, p.29-55.
- Larsen, M.C. & Simon, A., 1993. Rainfall-threshold conditions for landslides in humid-tropical system, Puerto Rico. En: Resúmenes en línea, disponible en <http://dprsjl.er.usgs.gov/public/ewbb/webb007.html>.
- Martínez, H., Medina, J. A. & Vargas, R. D., 1991. Estudio geológico-geotécnico del municipio de La Estrella (Antioquia). Medellín, Proyecto de grado Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, p.165.
- Municipio de La Estrella, 2000. Censo de la emergencia del 30 de mayo de 2000. Informe interno, p.45.
- Municipio de Sabaneta, 2000. Censo de la emergencia del 30 de mayo de 2000. Informe interno, p.32.
- Nivia, A. Gizelle, M. & Andrew, K., 1996. "El complejo Quebradagrande una posible cuenca marginal intracratónica del Cretáceo inferior en la cordillera Central de los Andes Colombianos". Memorias del VII Congreso Colombiano de Geología, Sociedad Colombiana de Geología, Bogotá, tomo III. p.108-123.
- Restrepo, J. J. & Toussaint, J. F. 1984. "Unidades litológicas de los alrededores de Medellín", Memorias I Conferencia sobre Riesgos Geológicos del Valle de Aburrá, Sociedad Colombiana de Geología Medellín, p.1-26.
- Restrepo, N. J. & Mesa, C. L., 1988. La Falla de Romeral y sus implicaciones estructurales y geotécnicas entre Caldas y La Estrella (Antioquia). Proyecto de grado Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 245p.
- Terlien, M.T.J., 1996. Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides. Enschede, ITC Publicación 32, 254p.
- Thomas, M.F., 1994. Geomorphology in the tropics. A study of weathering and denudation in low latitudes. John Wiley & Sons, West Sussex, p.165 -189.
- Toro, G. E. & Velásquez, A., 1984. Estudio geomorfológico y estructural del valle de Aburrá. (Comprendido entre el Municipio de Caldas y las quebradas La Iguañá y Santa Elena, Zonas 2 y 3 de 6). Proyecto de grado, Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 207p.
- Vargas, G., 1999. Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos de masa. Cooperación Colombo-Alemana, Proyecto río Guaitiquía, GTZ, Villavicencio, 197p.

16. Inundaciones de mayo-junio de 2002 en el bajo Tunjuelo, sur de Bogotá

Orlando Navas & Alberto Lobo-Guerrero

Resumen

La cuenca baja del río Tunjuelo, principal afluente del río Bogotá en la zona sur de esa ciudad se ve periódicamente afectada por inundaciones durante las épocas lluviosas. Entre el 31 de mayo y el 10 de junio de 2002, las inundaciones causaron estragos en barrios situados cerca de su cauce, ocasionando daños en la infraestructura e inundando muchas viviendas. Un gran volumen de las aguas se embalsó en los grandes huecos que han dejado las gravilleras. En la cuenca se presentan problemas ambientales, ya que allí habitan 2.5 millones de personas, algunas en barrios localizados en las orillas del río y en urbanizaciones ilegales; al occidente del río, se estableció en 1987 el relleno sanitario de Doña Juana, en el cual ocurrió un deslizamiento de basuras; en el barrio San Benito se concentra la industria de curtiembres que contamina el río y desde 1950 se explotan gravas, gravillas y arenas en sus vegas para la industria de la construcción. Con el fin de controlar y mitigar estas crecientes las autoridades distritales iniciaron la construcción del embalse de Cantarrana; sin embargo se ha identificado un sistema de fallas y algunas de ellas presentan actividad reciente; se hace necesario estudiar el tramo norte de la falla del Tunjuelo, que pasa muy cerca de la presa de Cantarrana. Se proponen además soluciones alternas y complementarias, como un enfoque integral de solución a los problemas sociales ambientales de dicha cuenca.

Palabras claves: Inundaciones, planificación urbana, desastres, canteras.

Abstract

The lower section of the Tunjuelo River, a torrential tributary of the Bogota River, located in the souther part of this city, is periodically affected by floods during humid seasons. Between May 31st and June 10th, 2005, floods caused havoc in the urban zones located near the stream, damaging roads and buildings and invading many houses. A large volume of water inundated quarry pits from where gravel had been extracted. Many environmental problems arise from the are, which has 2.5 million inhabitants and many houssing developments lie in the river banks and are illegal invasions. Doña Juana sanitary landfill was established in the western slope of the valley in 1987 and was affected by a garbage-slide. A highly contaminating tanning industry is located in the San Benito vecinity and since 1950 gravels and sands have been quarried from the alluvial deposits in order to supply building industry demand. In order to control or at last to mitigate floods, the District of Bogota authorities started to build a dam at Cantarrana; however the presence of faults, some of them with recent activity, requires a detailed study of the northernmost segment of the Tujnelito fault, which lies in the

very vicinity of the Cantarrana dam. Furthermore alternative and complementary solutions are proposed as an integral effort to solve the numerous social and environmental problems of the Rio Tunjuelo basin.

Key words: Floods, urban planning, disasters, quarrying.

Introducción

Las fuertes lluvias ocurridas en la cuenca alta del río Tunjuelo produjeron entre el 31 de mayo y el 10 de junio de 2002 tres grandes inundaciones que causaron estragos en los barrios Tunjuelito, San Benito, Abraham Lincoln y Nuevo Muzo, con tres mil damnificados, siete hospitalizados y 420 predios inundados. Los organismos de socorro evacuaron a 48 personas, entre ellas 35 niños, cuando el agua llegaba hasta la segunda planta de sus viviendas. Afortunadamente no hubo muertos porque una gran parte de las aguas de las crecientes, quedó almacenada en tres grandes excavaciones de las minas de gravilla aledañas al río Tunjuelo. (Fig.16.1)



Fig.16.1. Formación de las grandes lagunas por la inundación de junio del 2002.

El problema

En la parte baja del valle del Tunjuelo las inundaciones ocurren periódicamente y se suman a numerosos problemas de tipo ambiental.

Dentro de esa cuenca viven 2.5 millones de habitantes: la tercera parte de la población de Bogotá. Es una de las zonas de mayor densidad habitacional y una de las de mayor

crecimiento. En los últimos años a ambos lados de la nueva autopista a Villavicencio y en los alrededores de Usme, se han asentado muchos barrios nuevos.

Al occidente del río se estableció hacia 1987 el relleno sanitario de Doña Juana, en el cual ocurrió el deslizamiento de basuras en septiembre de 1997.

Desde la década de 1950 se comenzaron a explotar en sus vegas, gravas, gravillas y arenas de sus vegas, que se emplean como agregados del concreto para la industria de la construcción. Algunos de los barrios se han construido en la orilla del mismo río. (Fig.16.2).

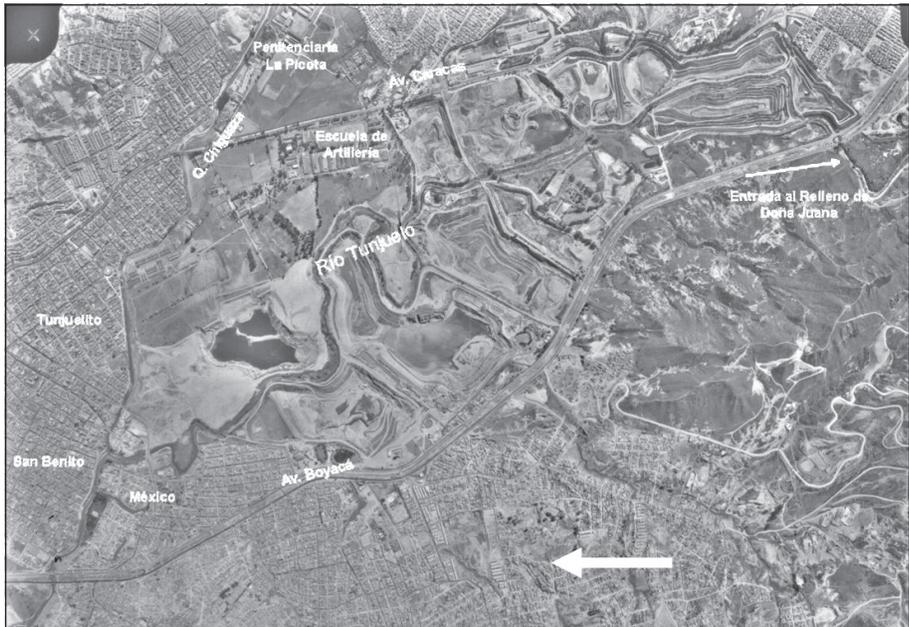


Fig.16.2. Fotografía aérea de la parte baja del valle del Tunjuelo antes de las inundaciones del 2002.

Coexisten barrios residenciales con numerosas industrias y algunas de ellas producen residuos que vierten al río. En la zona del bajo Tunjuelo confluyen muchos factores que hacen imperativo un reordenamiento ambiental urbano. (Fig.16.3)

Inundaciones de mayo-junio de 1992

La cuenca del río Tunjuelo tiene una longitud de 38 km y un ancho de 10 km. Nace en la Laguna de Chisacá a una elevación de 3900 m y desemboca en el río Bogotá, en la Sabana, a 2510 m. (Fig.16.4.)

El Acueducto de Bogotá construyó en años pasados los embalses de La Regadera y Chisacá (El Hato), para suministro de agua al sur de la ciudad, pero estos embalses no tienen capacidad para amortiguamiento de crecientes. En la parte baja, la EMB construyó en la década de los 70, los pequeños embalses denominados 1, 2 y 3 y jarillones con un nivel de protección para un período de retorno calculado en 25 años.



Fig.16.3. Problemas ambientales en la cuenca del Tunjuelo. Desembocadura de la Quebrada Chiguaza en el Tunjuelo.

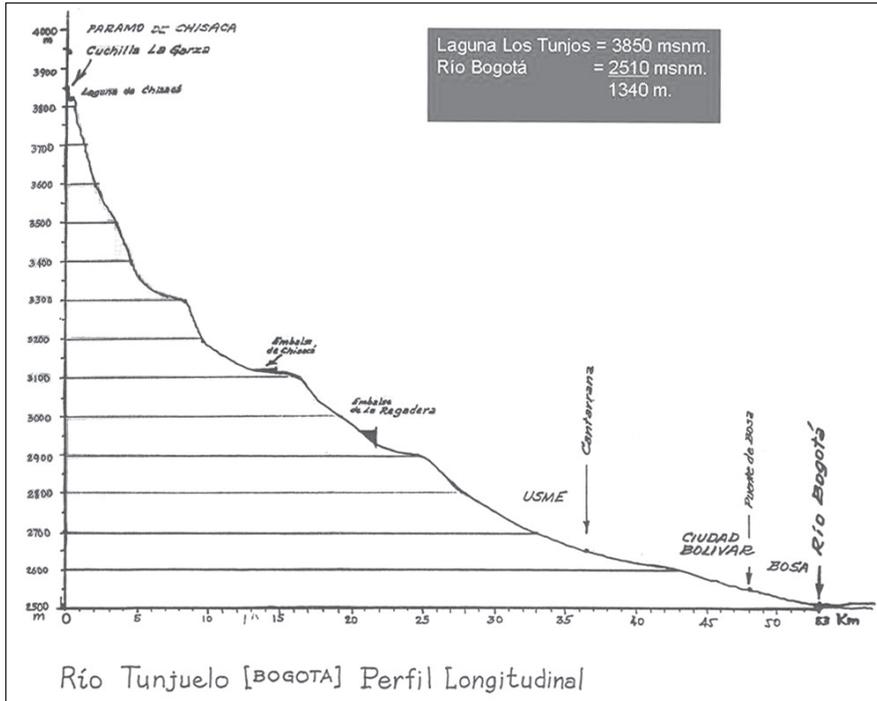


Fig.16.4. Perfil longitudinal del río Tunjuelo.

1:25,000

En los meses de mayo y junio, los vientos alisios suben hacia el páramo de Sumapaz y la sabana de Bogotá por los cañones de los ríos Blanco, Negro y Guatiquía y descargan su humedad contra el frente de la cordillera Oriental en el piedemonte llanero. Al llegar al valle del Tunjuelo, el promedio de precipitación es del orden de 1500 mm/año. En la parte baja de la cuenca es menor.

Mientras que en la parte alta, la zona de vida es bosque muy húmedo Montano (precipitación de 1000 a 2000 mm) en la parte existe bosque seco Montano Bajo (bs-MB) (precipitación de 500 a 1000 mm), con una zona de transición Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB). (Espinal, 1977).

El informe del IDEAM y las estimaciones de la EMB indican que el 9 de junio de 2002, hacia las 7:30 am se presentó un caudal de 186 m³/s a la altura del puente de la avenida Boyacá (San Benito), lo que representa una creciente extraordinaria, no registrada en los últimos 63 años, y equivalente al de una creciente con período de retorno de 100 años.

Como consecuencia fallaron los jarillones en varios tramos, se desbordaron las aguas en las gravilleras, y se inundaron las partes urbanizadas en la llanura aluvial del río al sur del Parque Distrital El Tunal.

La EAAB proyectó un embalse en Cantarrana para controlar y mitigar las crecientes en la cuenca del río Tunjuelo, así como la ejecución de unas obras de adecuación, realces y protección de diques existentes y dragado de algunos sectores del río. Las obras ya comenzaron.

Geología

El valle del Tunjuelo es una fosa tectónica limitada al oriente por la Falla de Bogotá y al occidente por la falla de Chisacá. La columna estratigráfica comprende las Formaciones Tunjuelo, Usme, Regadera, Bogotá, Arenisca del Cacho, Guaduas, y Guadalupe (espesor de 3 575 m) con edades cuaternaria, terciaria y maastrichtiano-campaniana, que reposan sobre 4 250 m de otras formaciones sedimentarias del Cretáceo. (Fig. 16.5)

Dentro de la fosa está el Sinclinal de Usme, cortado por las fallas del río Tunjuelo en su flanco occidental y por las fallas de la Piedra de Bala y Juan Rey en su flanco oriental. Además hay otras fallas transversales, tanto de rumbo como normales. (Fig. 16.6).

La falla del río Tunjuelo, seguida por el río del mismo nombre entre el río Curubital al sur y el sector de Doña Juana, al norte, es una falla inversa orientada N-S, de 23 km de longitud. En el cañón frente a Usme presenta facetas triangulares, aluviones cuaternarios colgados, basculamiento en depósitos de piedemonte, escarpe de línea de falla, quiebre de pendiente, cabalgamiento del Terciario sobre Cuaternario antiguo y corrientes alineadas. Más al norte enlaza con la falla Mochuelo y es cortada por las fallas Yerbabuena y La Primavera en el sector de Doña Juana y Ciudad Bolívar.

La falla Yerbabuena con posición N30°E / 80°SE corta depósitos de la Formación Tunjuelo y la falla La Primavera tiene microfallas N55°E / 70°SE, inversas, que desplazan varios paleosuelos con horizonte bien definido suelos negros (horizonte A) (Fig. 16.7)

En la sabana de Bogotá hubo un extenso lago durante el Plioceno superior y el Pleistoceno (2.4/2.2 Ma hasta 27 000 años), donde se depositaron las Formaciones Subachoque y Sabana. Estos depósitos fluvio-lacustres y lacustres, se encuentran debajo de la cota 2600 m en la superficie plana de la sabana.

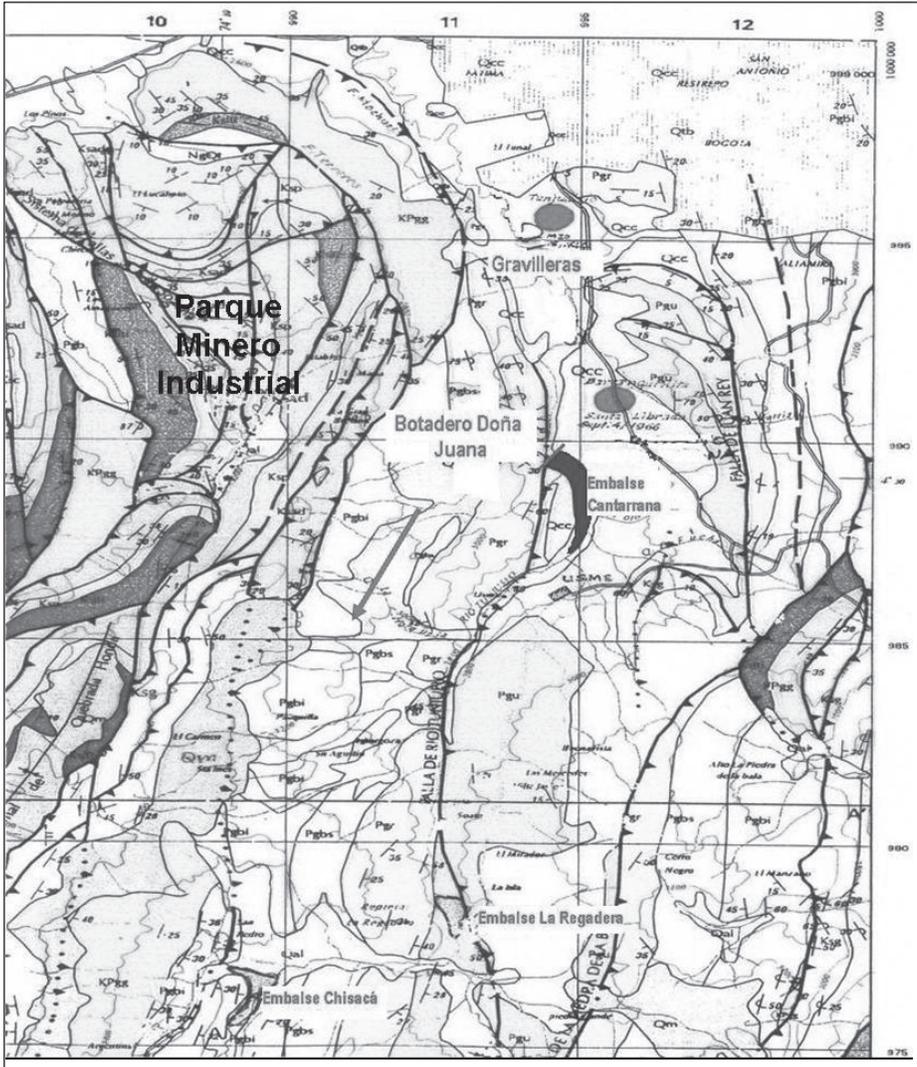


Fig.16.5. Mapa geológico con ubicación de algunas obras ejecutadas y proyectadas. Formación Tunjuelo, Formación Usme: Cuaternario. Formación Regadera, Formación Bogotá: Terciario. Formación Arenisca del Cacho. Formación Guaduas. Formación Guadalupe: Cretáceo.

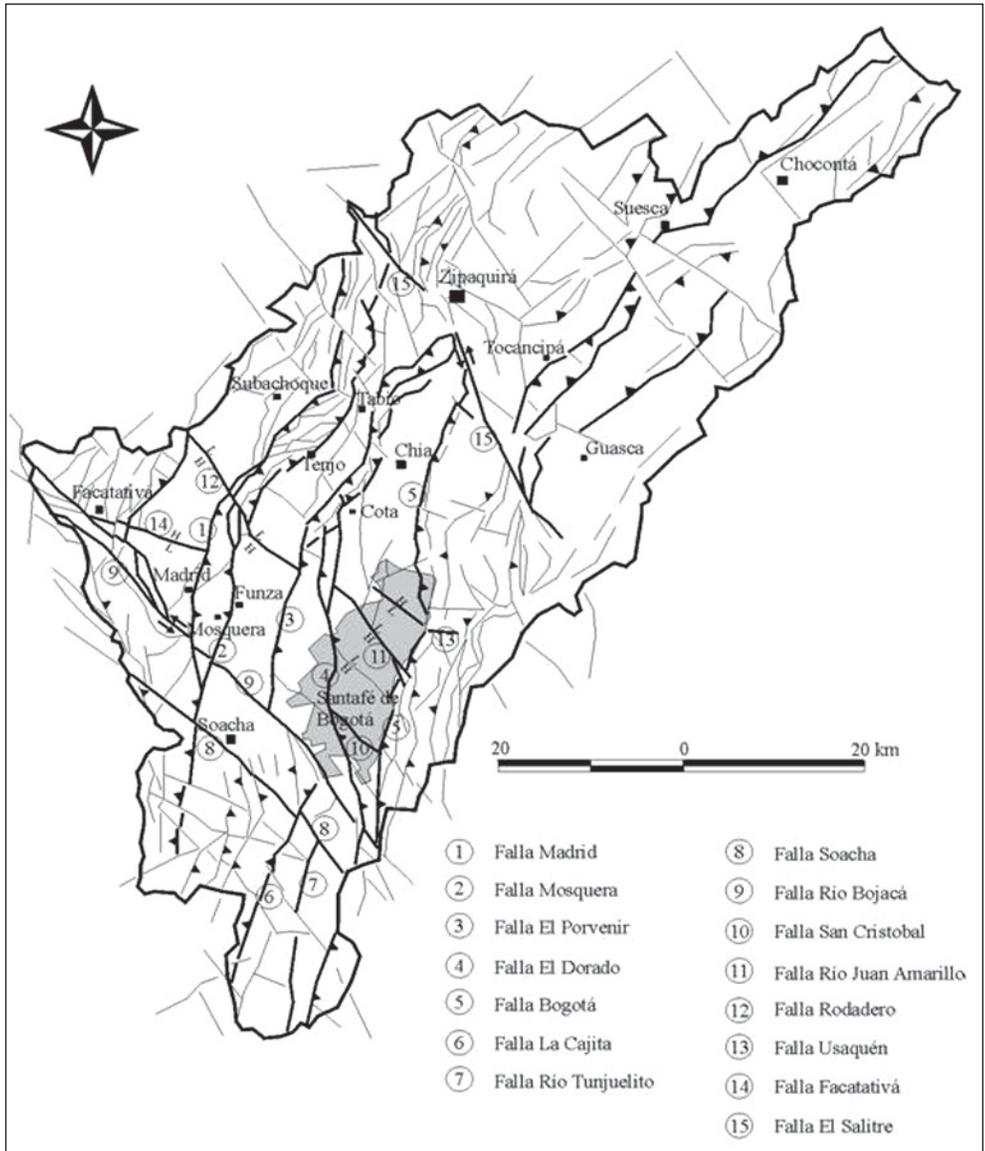


Fig.16.6. Mapa tectónico generalizado de la Sabana de Bogotá.

Fallas de la sabana de Bogotá. Interpretación Geólogo Francisco Velandia. INGEOMINAS (2003).



Fig.16.7. Fallas Geológicas en depósitos cuaternarios en el río Tunjuelo. Proyecto pre-grado U.N. Bogotá, Geociencias.

Durante el Pleistoceno y el Holoceno, el clima era bastante mas frío que el actual y en las regiones aledañas al gran lago hubo glaciaciones de montaña, de lo cual hay abundantes evidencias en los valles del río Tunjuelo, San Cristóbal, San Francisco, Teusacá y también en muchos de los valles transversales de la serranía de Bogotá.

La Formación Tunjuelo es un cono fluvio-glaciario en el curso bajo del río Tunjuelo. Se extiende entre el ápice en la quebrada del Aleñadero (3 km al sur de Usme) y su parte distal llega a los barrios de Bosa, Class, Kennedy, Bavaria y San Rafael. Los grandes cantos rodados, gravas, gravilla, arena, limo y arcilla que se explotan en las canteras de agregados pétreos entre Cantarrana y El Tunal, provienen de esta formación depositada por el río y en comunicación hidráulica con el mismo. Es de suponer que también esté en comunicación hidráulica con otros acuíferos más profundos de la sabana. (Fig.16.8).

Gravilleras

Desde 1942 existe en Bogotá el problema de las explotaciones de materiales de construcción en las inmediaciones de los barrios de la ciudad. En ese año la alcaldía expidió un decreto mediante el cual se prohibió la explotación de canteras, chircales y otras fuentes en las faldas de la serranía de Bogotá. Todavía se aprecian las cicatrices de las canteras abandonadas en todo el borde oriental de la ciudad desde Usaquén hasta Vitelma. Por ello, desde los años 50, los empresarios de materiales de construcción se trasladaron a las vegas del río Tunjuelo donde se proveen de dichos materiales. Las grandes canteras de gravilla y arena del Tunjuelo son enormes tajos a cielo abierto que alcanzan hasta 80 m de profundidad, a muy poca distancia del propio río y muy por debajo de su nivel.

(Lobo Guerrero, 1998). Para avanzar en la minería de estos materiales, ha sido necesario desviar el río en varios tramos.

Al pie de las canteras la ciudad ha venido creciendo desordenadamente. Algunos de los tajos se han rellenado con escombros y otros materiales. Es muy probable que la minería en muchos de estos yacimientos ya sea antieconómica a estas profundidades. Las concesiones y licencias de explotación tienen cierta validez en el tiempo y los yacimientos son propiedad de la nación. Cuando hay razones de Estado las autoridades pueden decretar la caducidad de los contratos de concesión. Parece haber llegado el momento de que estas autoridades, mineras y ambientales, ejerzan su función social en ese sentido.

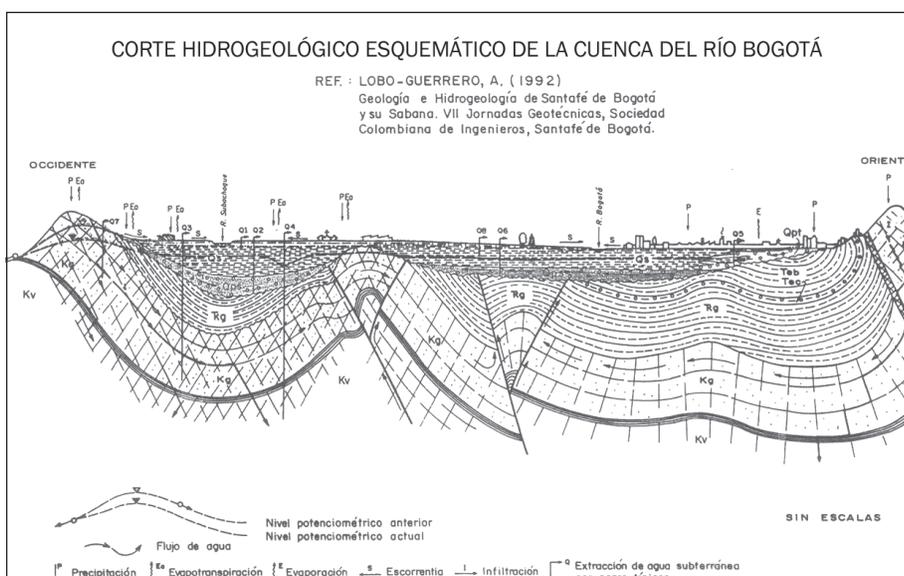


Fig.16.8. Corte geológico generalizado del borde oriental de la sabana de Bogotá.

Propuestas de solución

Se transcriben a continuación dos de las propuestas presentadas para solucionar el problema de la cuenca del río Tunjuelito.

Fundación Ciudades Mejores (Utría, 2002)

La propuesta de esta ONG incluye:

Esta ONG ha hecho una propuesta de solución integral que contempla todos los aspectos, tanto físicos como socio-culturales en la recuperación de la cuenca. Se resaltan los siguientes aspectos.

- a) Reordenamiento hidrológico y ambiental de la cuenca para recuperar con el recurso natural, incluyendo los siguientes aspectos:

- Recuperación y preservación de las fuentes de agua, las micro-cuencas y los afluentes.
 - Recuperación geomorfológica de las áreas afectadas.
 - Reforestación de toda la cuenca.
 - Control efectivo de las inundaciones aprovechando las extensas y profundas excavaciones gravilleras del área norte.
- b) Reordenamiento urbanístico y rural de los asentamientos y emplazamientos productivos:
- Plan de reordenamiento y renovación de los asentamientos urbanos y rurales, con la doble finalidad de alejarlos de las zonas de riesgos de desastres y de reorganizarlos urbanística y ruralmente.
 - Acciones eficaces, justas y equitativas de traslado de la población localizada actualmente en áreas de riesgo.
- c) Incorporación urbanística de la cuenca media y baja del río Tunjuelo a la vida de la capital y de la sabana de Bogotá; construcción de un gran Parque Metropolitano para el sur de la ciudad.
- Plan de vivienda de interés social y de tipo multifamiliar de altura media a lo largo del área en zonas protegidas de inundaciones y contaminación.
 - Construcción de un gran "lago-parque" aprovechando las excavaciones existentes mediante la unificación y la intercomunicación de varias de ellas, conformando un sistema de aguas con cuatro finalidades:
 - Defensa contra las inundaciones con funciones de embalses de amortiguamiento de crecientes y la consecuente mitigación de la amenaza por inundaciones;
 - Infiltración para recarga inducida a los acuíferos;
 - Proveer zonas de sedimentación y de reducción de velocidad del agua, que alivien los problemas de contaminación;
 - Generar un gran escenario recreativo y de recuperación ambiental y paisajística de carácter acuático y forestal. Este parque le daría continuidad y dimensión regional metropolitana al actual Parque El Tunal.

Agremiaciones geológicas (SCG, ACH, ACOGGA, Agunal, 2002).

- Suspensión de la actividad minera de gravillas en el cauce del río Tunjuelo.
- Suspensión de la invasión urbana del cauce desde Usme hasta la desembocadura del río Bogotá.
- Inventario de viviendas que deben abandonar el cauce.
- Adecuación de las excavaciones para recibir agua como lagos interconectados que permitan su mantenimiento y sirvan para conformar el gran parque de Bogotá. Estudio hidráulico de manejo.

Se proponen además las siguientes acciones:

- Recuperación de la planicie de inundación del río.
 - Suspensión de la actividad minera dentro del cauce.
 - Reubicación de barrios localizados dentro del cauce.

- Retiro de las curtiembres del barrio San Benito.
 - Suspensión de la ampliación del botadero Doña Juana.
 - Suspensión del programa de Metrovivienda.
 - Suspensión del Parque Minero Industrial.
- Conformación del gran Parque del Sur.
- Manejo hidráulico de los lagos.
 - Manejo de las infiltraciones a los acuíferos.
 - Obras de protección.
 - Reconformación de humedales.

Acciones Ecológicas (Mendoza, 2003)

- Declarar el páramo Sumapaz, origen del agua, como área de utilidad pública, de reserva vegetal y uso restringido.
 - Organizar con financiación estatal los campesinos asentados en el páramo o sus vecindades, como cuerpo de guardabosques que cumplan funciones protectoras de esta área.
 - Dar prioridad absoluta al rescate y preservación del río Tunjuelo y sus afluentes para reforestar los corredores circundantes, las rondas de las quebradas y las márgenes de los nacederos de agua, humedales y embalses.
 - Establecer un sistema de tratamiento de aguas servidas y disposición y tratamiento de desechos.
 - Eliminar la práctica de canalizar o entubar cursos naturales de agua, que legitima su conversión en alcantarillas. Restablecer, por el contrario, su morfología y condiciones hidráulicas originales.
 - Establecer un sistema de cercas vivas que permitan aprovechar corredores biológicos y, una malla verde que caracterice la cuenca.
 - Aprovechar la cuenca como elemento de regeneración de vida natural, recreación, ornato urbano, y pedagogía sobre el tratamiento y uso del patrimonio natural.
 - Impulsar la conciencia ecológica y ambiental entre la población mediante una acción pedagógica a cargo de instituciones educativas, Organizaciones son gubernamentales y afines, en forma coordinada y sistemática.
 - Establecer un pacto ecológico público y solemne entre ciudadanos y gobernantes.
 - Hacer cumplir lo pactado y llevar a cabo su seguimiento por medio de monitoreo por parte de los guardianes del pacto y de las entidades y oficinas de control ambiental.
- d) Acciones con la comunidad
- La interacción de todos los participantes del plan debe darse en una organización central que podría denominarse Observatorio de la región sur de Bogotá. De ella dependerían cuatro elementos claves en la participación comunitaria: centro de información, proyectos, programas, socialización y conformación de organizaciones de base.

Bibliografía

- Espinal, L.S., 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia memoria explicativa sobre el mapa ecológico de Colombia. IGAC Bogotá, 328 p.
- Lobo-Guerrero, A., 1998. Geología e Hidrogeología de Santa Fe de Bogotá y su Sabana. VII Jornadas Geotecnicas, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Santa Fe de Bogotá.
- Lobo-Guerrero, A., 1998. "Diseño conceptual de recuperación y aprovechamiento de la zona de gravilleras del río Tunjuelo". Lobo-Guerrero Geología Ltda, Bogotá, octubre 13.
- Mendoza, M. A., 2003. "Proyecto de Pacto Ecológico de las comunidades asentadas

en la cuenca alta del río Bogotá". Sociedad Geográfica de Colombia, Bogotá, 19 de mayo, 2 p.

- S. C. G. A., H; AGOCA, AGUNLA, 2002. "Propuesta de solución para el bajo Tunjuelo -Inundaciones mayo-junio del 2002". Bogotá, agosto 30, 7 p.
- Utría, R. D., 2003. Proyecto "Ordenamiento hidráulico, ambiental, urbanístico, social y económico de la cuenca del río Tunjuelo", Fundación Ciudades Mejores, Bogotá, 19 de mayo, 6 p.

Estudios realizados en el río Tunjuelito

- Alvarado B., 1966. Informe Geológico preliminar sobre la presa de Cantarrana en el río Tunjuelo.
- CDM-CEI-PLANHIDRO, 1972. Estudio de mejoras del río Bogotá, control de inundaciones, Recursos Hídricos y disposición de aguas negras (se refiere al embalse de Cantarrana y rondas del río Tunjuelo para control de inundaciones).
- CEI & Gómez Cajiao Ltda, 1977. Estudio del río Tunjuelo.
- CEI, 1983. Estudio preliminar de abastecimiento y drenaje.
- CEI, 1989. Estudio de control de crecientes.
- CEI LTDA, 1997. Estudio de saneamiento ambiental y control de crecientes de la cuenca del río Tunjuelo. Dic. 1997 (para EAAB).
- GEOCOLOMBIA, 1963. Mapa fotogeológico del area del embalse de San Isidro de Cantarrana al sureste de Bogotá.
- GEOCOLOMBIA, 1965. Gravas del aluvión del río Tunjuelo en el área del embalse de San Isidro de Cantarrana al sureste de Bogotá.
- HIDROESTUDIOS LTDA Y BLACK AND VEATCH, 1984. Estudio sobre el río Bogotá (consideran

necesario el proyecto Cantarrana para control de inundaciones).

- HIDROESTUDIOS, 1996. Diseño obras de control de crecientes del río Tunjuelo, diciembre.
- HIDROESTUDIOS Y BLACK & VEATCH 1964. Proyecto del río Bogotá (contempla ensanche Cantarrana).
- HIDROSAN LTDA, 1991. Estudio de control de inundaciones del Tunjuelo bajo (Alternativa de Embalse Cantarrana).
- INGETEC S.A., 1966-1972. Estudios de evaluación y diseño del proyecto del embalse Cantarrana.
- INGETEC S.A., 1967 y 1969. Programa de ensanches de acueducto.
- INGETEC S.A., 1994. Industrias Mineras.
- INGETEC S.A., 1999. Zonificación de riesgos por inundaciones en las localidades de Tunjuelito y Ciudad Bolívar. feb 1999.(Para UPES)
- Julivert, M., 1963. Los rasgos tectónicos de la región de la sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de las estructuras. Boletín de Geología, No.13-14, p.5-102.

Trabajos de grado del departamento de Geociencias, U. Nacional - Bogotá. Hasta 1990

- Bastidas, M. E. & Bernal, E., 1989. Geología y Geomorfología 1:10.000 de un área de 56 km² en el flanco oriental del Sinclinal de Usme, entre la vereda Corinto y las Mercedes al sur de la sabana de Bogotá, Cundinamarca.
- Luna, B. A. & Rodríguez O. F., 1990. Análisis sedimentológico del cono del río Tunjuelo al S.E. de la ciudad de Bogotá.
- Medina, A. J. & Peña, G. A., 1989. Análisis geológico estructural de los sinclinales de Usme y Chipaque, Departamento de Cundinamarca.
- Peña, M. A. & Franco, R., 1989, Geología y Geomorfología 1:10.000 de 49 km², entre Usme y Buenavista, al sur de la Sabana de Bogotá. (Trabajo meritório).

17. Erosión litoral en Colombia

Iván Darío Correa

Resumen

La erosión litoral y los fenómenos relacionados (inundación y salinización de suelos y acuíferos) están convirtiéndose progresivamente en un problema de consideración para el país. Aunque estas amenazas no tengan la connotación de desastre natural (en general no son espectaculares, y normalmente no causan víctimas), en las próximas décadas serán muy posiblemente uno de los problemas ambientales y socioeconómico críticos, debido a que la vulnerabilidad de muchos sectores aumentará en función de factores como el ascenso relativo del nivel del mar, la tectónica activa y las intervenciones humanas. Se ilustran las magnitudes y posibles causas de varios de los mayores eventos históricos de erosión litoral en las costas del país, asociados tanto a factores naturales como antrópicos.

Palabras claves: amenazas geológicas, diapirismo de lodo, erosión litoral, maremotos, terremotos, subsidencia costera.

Abstract

Shore erosion and associated phenomena (flooding and salinization of soils and aquifers) are becoming progressively a first-order problem for Colombia. Although these hazards are not normally considered as natural disasters (in general they are not spectacular nor they cause victims), they probably will be a major environmental and socioeconomic problem for this country due to complex interactions among factors like relative sea level rise, active tectonics, and human interventions on coastal zones. Magnitudes and possible causes of some of the main historical events of shore erosion in Colombia are illustrated and discussed.

Key words: geological hazards, shore erosion, coastal subsidence, earthquakes, mud diapirism; tsunami.

Introducción

La erosión litoral no se percibe a primera vista como una amenaza mayor porque en general no es tan espectacular como los eventos desastrosos, ni tampoco suele involucrar pérdidas de vidas humanas. Sin embargo, el retroceso progresivo de muchos litorales del mundo está generando impactos socioeconómicos y ambientales de primer orden, representados por pérdidas de terrenos e infraestructura, inundaciones, salinización de suelos y acuíferos. Estas amenazas podrán volverse críticas en el futuro próximo ya

que la vulnerabilidad de muchas zonas costeras, aumentará significativamente en los casos en que se intensifiquen los usos y aprovechamientos de sus franjas litorales y se presenten al tiempo ascensos relativos del nivel del mar (Bird, 1985; Bird, 1993; Finkl Jnr., 1994; Viles & Spencer, 1995; Williams et al., 1995; Invemar, 2004).

Algunos aspectos básicos sobre la naturaleza de la erosión litoral

La erosión de un sector litoral durante un período dado refleja pérdidas netas (déficits) de sedimentos que determinan, en última instancia, la desaparición total o parcial de las playas. En muchos casos se produce a continuación la erosión de las zonas de dunas, pantanos salobres y/o del relieve costero adyacente, dependiendo del tipo de costa. El proceso contrario, la sedimentación y colmatación de lagunas, bahías y zonas someras de la plataforma continental adyacente (profundidades menores de 10 m) se convierte también en una amenaza y factor de riesgo cuando afecta la navegabilidad de zonas portuarias y el desarrollo de ecosistemas con altos valores estéticos y ecológicos, como los de pastos marinos, pantanos de manglares y arrecifes coralinos.

Los déficits netos de sedimentos de un sector litoral resultan por lo general de interacciones recíprocas complejas, a muchas escalas de tiempo, entre procesos naturales e intervenciones antrópicas (Fig.17.1). Los resultados pueden llegar a ser difíciles (si no imposibles) de predecir, aún con las herramientas científicas y modelos matemáticos más actualizados disponibles (National Research Council, 1987; Cooper & Pilkey, 2004). En muchos casos, las intervenciones en la zona litoral y cuencas hidrográficas adyacentes (represas, desviación de ríos, extracción de fluidos y de arenas de ríos y playas, obras de defensa, etc.) modifican los procesos naturales (subsistencia tectónica y/o por compactación de sedimentos, reactivación de fallas, cambios relativos del nivel del mar) y generan serios problemas de erosión e inundación costera, bien ejemplificados en los casos de los deltas del Mississippi (U. S. Environmental Protection Agency, 1987; Morton & Purcell, 2001) y del Nilo (Bird, 1985), entre otros. En este contexto, el estudio de las posibles causas y soluciones de la erosión litoral debe orientarse con base en marcos conceptuales que faciliten identificar al menos los principales factores en juego y sus interrelaciones más probables (Fig.17.1).

Por último, las pérdidas de áreas litorales pueden ser definitivas o transitorias, dependiendo de la naturaleza de los materiales involucrados. Son definitivas cuando se erosionan las rocas o los depósitos semiconsolidados del relieve costero (las colinas y terrazas litorales no se vuelven a formar una vez erodadas), y pueden ser solamente transitorias cuando se trata de depósitos de materiales no consolidados, como playas de arenas y gravas, o planos lodosos intermareales (una playa y una plataforma de lodos pueden reconstituirse, algunas veces estacionalmente). Estos últimos casos exigen prudencia máxima antes de formular conclusiones definitivas sobre la estabilidad o inestabilidad de los sectores litorales y hacen necesario identificar, en primer lugar, su evolución histórica. Los inventarios históricos de los cambios de la línea de costa se realizan con base en comparaciones de los contornos litorales representados en cartografía histórica y actual, materiales de sensores remotos y levantamientos topográficos (Dolan & Hyden, 1983; El-Ashry, 1987; Correa 1990a; Morton & Correa, 2004) y, recientemente, con técnicas basadas en el uso de rayos láser (Brock & Sallenger, 2002; Morton et al., 2004). Estos

estudios permiten identificar las tendencias a mediano plazo de la evolución litoral y son el punto de partida para plantear predicciones y escenarios sobre su evolución futura y los posibles impactos de intervenciones humanas.

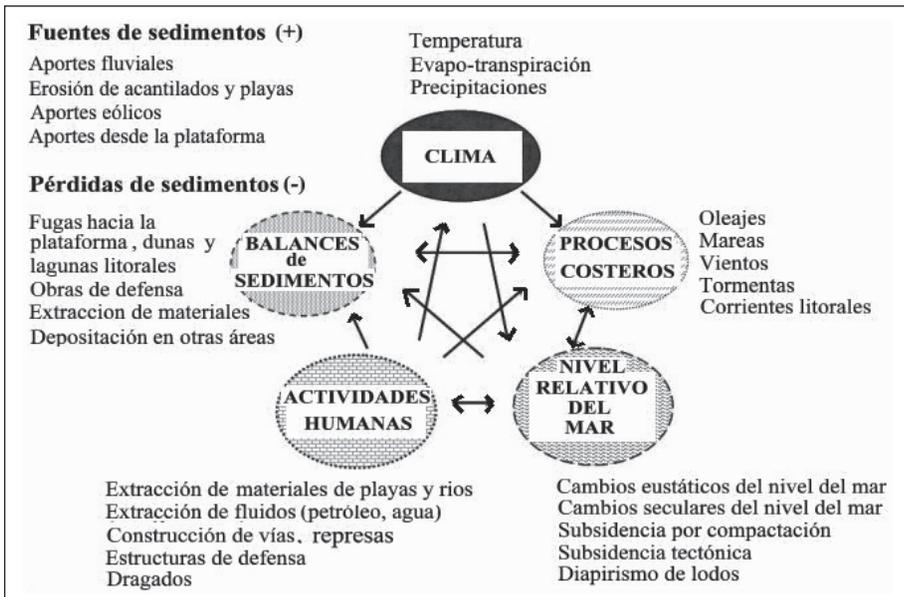


Fig.17.1. Esquema simplificado de algunos posibles factores e interacciones que influyen en los balances de sedimentos de las zonas costeras, promoviendo la erosión (balances negativos) o el acrecimiento (balances positivos) de las franjas litorales. En condiciones naturales, la erosión litoral resulta de combinaciones de procesos geológicos, climáticos y oceanográficos. Las intervenciones humanas han modificado en medida importante los procesos naturales, disparando en muchos casos la erosión o acelerando tendencias naturales pre-existentes. Modificado de Morton (1977).

Erosión litoral en Colombia

Las características geológicas y climáticas del país dejan entrever las complejidades que pueden influir en los cambios morfológicos y en la erosión de sus litorales. Factores como la sismotectónica activa (Page, 1986; París et al., 2000), el diapirismo-volcanismo de lodos (Duque-Caro, 1984; Vernet et al., 1992; Briceño & Vernet, 1992), las influencias del Niño y la creciente intervención de sus zonas costeras (entre otros); conforman una red de causas múltiples cuyas relaciones e importancia relativa sólo podrán evaluarse a partir de investigaciones sistemáticas. Aunque en su mayoría de carácter semicuantitativo, la información histórica disponible evidencia, sin embargo, los fuertes cambios físicos y biológicos de muchos sectores litorales del país (Fig. 17.2), reflejados por eventos de erosión de magnitudes kilométricas, a tasas que han alcanzado valores hasta de 30-40 m/año.

A lo largo de la costa caribe, la importancia de la erosión litoral se intuye a primera vista cuando se considera que las playas de todas las ciudades y asentamientos im-

portantes (Riohacha, Dibulla, Santa Marta, Puerto Salgar, Puerto Colombia, Cartagena, Coveñas-Tolú, Arboletes, Necoclí, Turbo) ya no son naturales y sólo se conservan (en muchos casos precariamente) porque están estabilizadas con obras de defensa (espolones, enrocados, rompeolas, etc.). En el contexto histórico, la inestabilidad de este litoral se confirma con ejemplos bien documentados de erosión y de acrecimiento costero, asociados a factores naturales y/o antrópicos. (Correa, 1990b; Robertson, 1989; Ingeominas, 1998; Robertson, 1998; Serrano, 2004). En el sector Delta del Magdalena-Golfo de Urabá, probablemente el más inestable del Caribe, los eventos erosivos más evidentes causaron la desaparición de flechas arenosas hasta de 12 km de longitud en las áreas de Bocas de Ceniza (Figs. 17.2 y 17.3; Heezen, 1956; Raasveldt & Tomic, 1957; Koopmans, 1971) y Galerazamba (Figs. 17.2 y 17.4; Ramírez, 1959, 1969; Correa, 1990b), y también retrocesos de terrazas marinas hasta de 1.5 km en el sector Arboletes-Punta Rey (Figs. 17.2 y 17.4; Corpourabá-Universidad Nacional, 1998; Correa & Vernet, 2004).

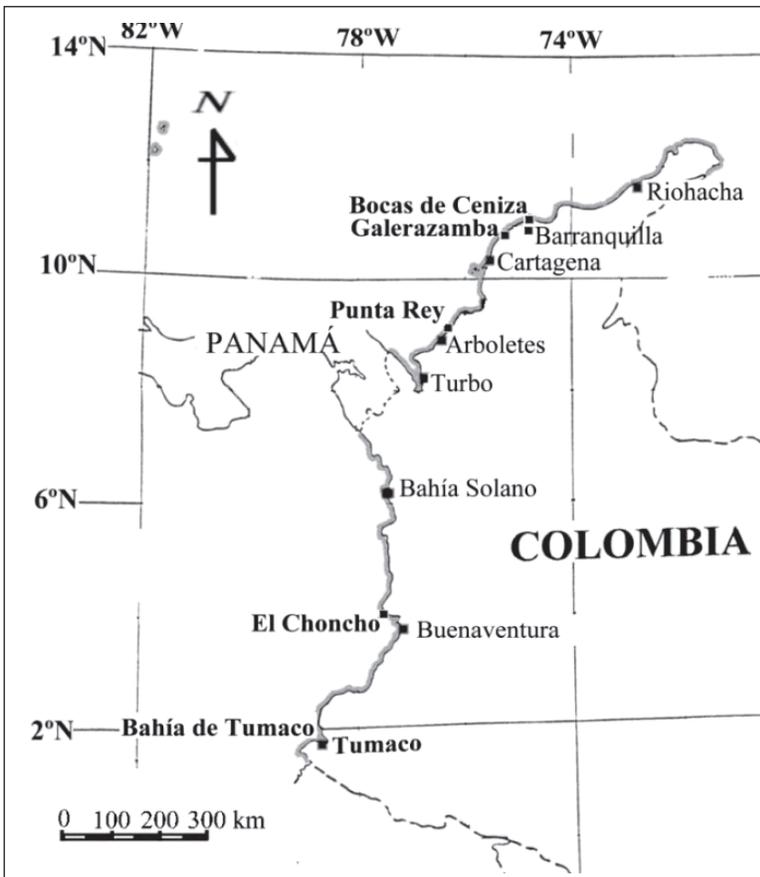


Fig.17.2. Mapa de localización de los ejemplos de erosión litoral referidos en este capítulo (En negrilla).



Fig.17.3. Imagen Landsat TM (2001) de la configuración actual del área de Bocas de Ceniza, desembocadura del río Magdalena. Desde 1938, la evolución morfológica del sector ha sido fuertemente influenciada por la construcción de los tajamares (Te y To) de Bocas de Ceniza. Estos han atrapado (en el costado este de la desembocadura; Te) las arenas transportadas hacia el suroeste por las corrientes litorales dominantes, y direccionado también, "mar afuera", los aportes del río. El consecuente déficit de sedimentos hacia el oeste del tajamar occidental (To) promovió la desaparición de numerosas barras arenosas que protegían los ecosistemas de manglar de la ciénaga de Las Flores y las extensas playas de Puerto Colombia y Puerto Salgar, actualmente con problemas intensos de erosión. El área de Bocas de Ceniza es también famosa por la ocurrencia de importantes deslizamientos submarinos. Imagen cortesía del Invemar.

A lo largo de la costa pacífica, factores adicionales como la tectónica activa (Gómez, 1986; Cossio, 1994; París, 2002), la ocurrencia de terremotos y maremotos (West, 1957; Ramírez, 1970; Herd et al., 1980; Ramírez & Goberna 1980; Meyer & Velásquez 1992) y las fuertes influencias de El Niño (Correa y Restrepo, 2002; Ideam, 2003; Invemar, 2004) añaden dimensiones nuevas al problema de la erosión litoral en el país. La inestabilidad de las playas y pantanos de manglar del Pacífico (zonas de islas barrera), ya de por sí alta por las complejas interacciones entre oleajes, corrientes de marea, altas precipitaciones (Eslava 1992) y aportes fluviales (Correa & González, 1986; Martínez et al., 1995; Ingeominas 1998b) se "multiplica" por los efectos de terremotos/maremotos y fenómenos asociados, particularmente la subsidencia costera (Herd et al., 1980; Page & James, 1981; Gómez, 1986; González & Correa, 2001; González et al., 2002) Los ejemplos más "espectaculares" y mejor documentados de cambios morfológicos y erosión litoral en el Pacífico, se relacionan con el terremoto/maremoto de diciembre 12 de 1979, e incluyen

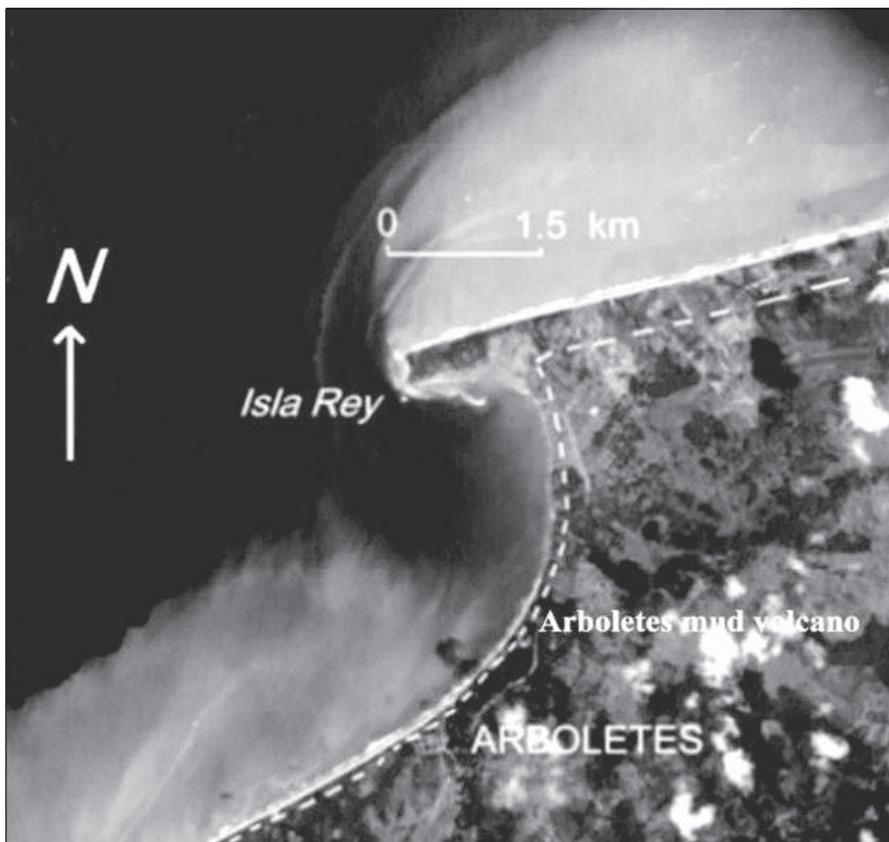


Fig.17.5. Aerofotografía IGAC tomada en 1957, que muestra la península de Isla Rey, hoy inexistente, erosionada completamente por los fuertes oleajes marinos, al parecer con la "ayuda" de la extracción de materiales para construcción. La línea blanca punteada señala la posición aproximada de la línea de costa actual. Tomada de Correa & Vernet (2004).

A más largo plazo, los fenómenos erosivos, lentos pero constantes, pueden también ocasionar importantes modificaciones de las áreas litorales. El caso de la Isla El Choncho, (sector sur del delta del río San Juan; Figs.17.2 y 17.6) ilustra bien la secuencia de eventos naturales que determinó progresivamente (en 30 años aproximadamente) su ruptura y segmentación, generada por sedimentación en su extremo norte, subsidencia asociada al terremoto de 1991 (20 cm), y anomalías positivas del nivel del mar de hasta 20 cm, asociadas al Niño 1997-1998 (Correa & González, 2000; Correa et al., 2002; Morton et al., 2000; Morton et al., 2002; Correa & Restrepo, 2002; González et al., 2002; Restrepo et al., 2002). La misma secuencia general de eventos determinó la ruptura de la isla San Juan de la Costa (suroeste del delta del Patía), una isla de características semejantes a la isla El Choncho, fuertemente afectada por el sismo de diciembre 12 de 1979 (Meyer, este volumen).



A)



B)

Fig.17.6. A) Vista aérea de la Isla El Choncho, inmediatamente después de haberse fragmentado en su parte central, ocupada hasta entonces por el poblado El Choncho. B) Vista aérea del poblado El Choncho, relocalizado en el interior del delta, luego de haber sido destruido gradualmente por la ruptura de la Isla. Fotografías por Iván Correa.

Consideraciones finales

Los ejemplos consignados presentan una primera introducción a la naturaleza de la inestabilidad de los litorales continentales del país, particularmente en cuanto a pérdidas de terrenos con información histórica disponible. No representan, sin embargo, una visión detallada y actualizada del fenómeno, ausente aún por la falta de inventarios estandarizados y actualizados de los cambios morfológicos a lo largo de todos sus litorales. La información disponible permite asegurar, sin embargo, que sectores extensos de ambas costas y de la isla de San Andrés están dominados por tendencias erosionales importantes, que en el caso del Caribe sur (líneas de costa de Antioquia y Córdoba), predominan sobre más del 90% de su extensión.

Con respecto a los aspectos económicos del problema, no existen en el país, hasta donde conoce el autor, estudios que cuantifiquen los valores de uso de los terrenos erosionados, ni los impactos socioeconómicos que han generado en numerosas poblaciones las pérdidas de habitaciones, hoteles, vías y demás infraestructura afectada. Tampoco existen inventarios del número, localización, tipo y costos de las obras de defensa construidas hasta el momento, ni una evaluación sobre sus efectos y conveniencia socioambiental a mediano y largo plazo. Evaluaciones de este tipo están conduciendo en muchos países al planteamiento de medidas alternativas de encarar la erosión costera, en un espectro que va desde la relocalización gradual de las poblaciones, hasta la reconstitución de playas con arenas importadas desde la plataforma marina o el continente. Cada caso tiene sus particularidades y deberá estudiarse, en vista de los escenarios planteados de ascensos del nivel del mar para el futuro próximo (60 cm a 1 m para el año 2100), en contextos de mediano-largo plazo. La percepción geológica de la erosión litoral, olvidada a menudo, es fundamental para la identificación de amenazas y evaluación de riesgos y vulnerabilidades de las zonas costeras del país.

Bibliografía

- Briceño, L. A. & Vernet, G., 1992. Manifestaciones del diapirismo de lodo en el margen colombiano del Caribe. *Geofísica colombiana*, 1:21-30.
- Bird, E. C. F., 1985. *Coastline Changes: A Global Review*. 219p.
- _____, 1993. *Submerging Coasts: The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. John Wiley & Sons, New York. 150p.
- Brock, J. & Sallenger, A., 2002. Airborne topographic Lidar mapping for coastal science and resource management. U.S.G.S. Open-File Report 01-46.
- Cooper, J.A.G. & Pilkey, O. H., 2004. Longshore drift: trapped in an expected universe. *Journal of Sedimentary Research*, V. 74, (5): p. 599-606.
- Corpourabá-Universidad Nacional, 1998. Informe final sobre la Evaluación de Zonas de Erosión Crítica en el Litoral Caribe Antioqueño. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Medellín. 199p
- Correa I. D., 1990a. Erosión Litoral: Panorama actual y perspectivas. En: Hermelin M. (ed.) Mem. I Seminario Andino de Geología Ambiental-I Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. A. G. I. D. Report No.13: Geology and Natural Hazards of the Andean Region. Universidad EAFIT, Medellín: p.129-142.
- _____, 1990b. Inventario de Erosión y Acreción Litoral (1793-1990) entre Los

- Morros y Galerazamba, Departamento de Bolívar, Colombia. En: Hermelin M. (ed.) Mem. I Seminario Andino de Geología Ambiental-I Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. A.G. I. D. Report No.13: Geology and Natural Hazards of the Andean Region. Universidad EAFIT, Medellín: 143-154.
- Correa, I. D. & González, J. L., 1986. Geomorfología General y Sedimentología de la Bahía de Tumaco. Mem. VI Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar en Colombia: p. 233-239.
- Correa, I. D. & González, J. L., 2000. Coastal erosion and village relocation: a Colombian case study. *Ocean & Coastal Management*, 43:51-64.
- Correa, I. D.; González, J.L. & Siegert, E., 2002. Erosión marina en el litoral Pacífico: introducción a sus causas y consecuencias socioeconómicas –el caso del caserío El Choncho, delta del Río San Juan. En: Correa, I., Restrepo, J. D. (eds.) Geología y Oceanografía del delta del Río San Juan, litoral Pacífico Colombiano. Fondo editorial Universidad EAFIT, Medellín: 113-132.
- Correa, I. D. & Restrepo, J. D., (eds.), 2002. Geología y Oceanografía del delta del Río San Juan, litoral pacífico colombiano. Fondo Editorial Universidad Eafit. Medellín. 221p.
- Correa, I. D. & Vernet, G., 2004. Introducción al problema de la Erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe colombiana. *Bol. Invest. Mar. Cost. INVE-MAR*, Santa Marta, 33: 5-26.
- Cossio, U., 1994. Mapa geológico generalizado del Departamento del Chocó, escala 1: 600000 (Geología, recursos minerales y amenazas geológicas). Memoria Explicativa Ingeominas. Bogotá: 3-26.
- Dolan, R. & Hayden, B., 1983. Patterns and predictions of shoreline changes. En: Komar, P (ed.) *Handbook of Coastal Processes and Erosion*. CRC Press; Boca Raton, FLA: 123-151.
- Duque-Caro, H., 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el noroccidente de Colombia. *Bol. Geológico Ingeominas*, 27 (2): 1-29.
- El-Ashry, M. T. (ed.), 1977. *Air Photography and Coastal Problems*. Benchmark Papers in Geology V. 38. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.-Pennsylvania. 425p.
- Eslava, J., 1992. La precipitación en la región del Pacífico colombiano (Lloró: ¿El sitio más lluvioso del mundo?). *Revista Zenit*, 3:7-33.
- Finkl Jnr., C. (ed.), 1994. *Coastal Hazards: Perception, susceptibility and mitigation*. The Coastal Education and Research Foundation (C.E.R.C.), Fort Lauderdale, FLA. 372p.
- Gómez, H., 1986. Algunos aspectos neotectónicos hacia el suroeste del litoral Pacífico colombiano. *Revista CIAF*, 11:281-289.
- González, J. L. & Correa, I. D., 2001. Late Holocene evidence for co-seismic subsidence on the San Juan Delta, Pacific Coast of Colombia. *Journal of Coastal Research* 17 (2):459-467.
- González, J. L.; Correa, I. D. & Aristizábal, O. C., 2002. Evidencias de subsidencia cósmica en el Delta del San Juan. En: Correa, I. D. & Restrepo, J. D. (eds.), Geología y Oceanografía del delta del Río San Juan, litoral pacífico colombiano. Fondo editorial Universidad EAFIT. Medellín: 91-112.
- Herd, D.G.; Leslie Y. T.; Meyer, H., Arango, J.L.; Person, W.J. & Mendoza, C., 1981. The Great, Tumaco, Colombia Earthquake of 12 December 1979. *Science*, 211:441-445.
- Hessen, B., 1956. Corrientes de turbidez en el río Magdalena, Colombia. *Bol. Sociedad Geográfica de Colombia*, 14: 135-140.
- IDEAM, 2003. Programa Integral y Multidisciplinario para el Estudio sobre el fenómeno El Niño – Comité Técnico Nacional para el estudio del Fenómeno El Niño. Publ. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Medio Ambientales. Bogotá. 67p.
- INGEOMINAS, 1998a. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe colombiano.

- Publ. Geológicas Especiales del Ingeominas, 21:1-75.
- _____. 1998b. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral pacífico colombiano. Publ. Geológicas Especiales del Ingeominas, V. 21:p.76-111.
- INVEMAR, 2004. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe continental, Caribe insular y Pacífico) y medidas para su adaptación. Informe Técnico No.2: Caracterización e inventario: 40-44.
- Koopmans, B. N., 1971. Interpretación de Fotografías Aéreas en Morfología Costera. Ministerio de Obras Públicas, Centro Interamericano de Fotointerpretación (C.I.A.F.). Bogotá: p.1-10.
- Martínez, J. O., González, J. .L.; Pilkey, O. H. & Neal, W. J., 1995. Tropical Barrier Islands of Colombia's Pacific Coast. *Journal of Coastal Research*, V. 11. p.432-453.
- Meyer, H. & Velásquez, A., 1992. Aproximación al riesgo por tsunami en la costa del Pacífico de Colombia. Publ. Ocasionales del O.S.S.O., V. 2. 43p.
- Morton, R. A., 1977. Historical shoreline changes and their causes, *Texas Gulf Shoreline*. Geol. Circ. 77-6, Bureau of Econ. Geology, The Univ. of Texas at Austin. 15p.
- Morton, R. & Correa, I. D., 2004. Introducción al uso de los geoindicadores de cambios ambientales en costas húmedas tropicales. *Geología Norandina* [revista electrónica] disponible en <http://www.eafit.edu.co/geologianorandina>
- Morton, R. A.; González, J. L.; Correa, I. D.; Salazar, O.; Tabárez, N. & López, G. I., 2002. Causas y efectos de eventos atípicos de sobrelavado en la costa pacífica de Colombia -los eventos de sobrelavado de mayo a agosto de 1997 en la isla el Choncho, delta del río San Juan. En: Correa, I. D. y Restrepo, J. D. (eds.) *Geología y Oceanografía del delta del río San Juan, litoral pacífico colombiano*. Fondo Editorial Universidad Eafit. Medellín, p. 133-150.
- Morton, R. A.; González, J. L.; López G. I. & Correa, I. D., 2000. Frequent non-storm washover of barrier islands, Pacific Coast of Colombia, *Journal of Coastal Research*, V. 16 p. 882-887.
- Morton, R. A., Miller, T. & Moore, L. J., 2004. National Assessment Of Shoreline Change: Part 1 Historical Shoreline Changes and Associated Coastal Land Loss Along the U.S. Gulf of México. U. S. G. S Open-File Report 2004-1043. 43p
- Morton, R. A. & Purcell, N.A., 2001. Wetland subsidence, fault reactivation, and hydrocarbon production in the U.S Gulf Coast Region., U.S.G.S. Fact sheet FS-091-01. 4p.
- National Research Council, 1987. Responding to changes in sea level – engineering implications. *Comitee on Engineering Implications of Changes in Relative sea level*. National Academy Press. 148p.
- Page, W., 1986. Geología sísmica y sismicidad del Noroeste de Colombia. ISA-INTEGRAL-Woodward-Clyde Consultants. Ingeniería e Hidrosistemas (I.E.H.) Ltda. Bogotá. 156p.
- Page, W. & James, M., 1981. Tectonic subsidence and evidence for the recurrence of large magnitude earthquakes near Bahía Solano, Colombia. *Memorias III Congreso Colombiano de Geología*, p. 14-20.
- Paris, G.; Machette, M.; Dart, R. L. & Haller, K., 2000. Map and database of Quaternary faults and folds on Colombia and its offshore regions. U.S.G.S. Open-File Report 00-284.
- Raasveldt, H. & Tomic, A., 1957. Lagunas colombianas. *Rev. de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. V.10 p. 175-198.
- Ramírez, J.E., 1959. El volcán de lodo de Galezamba. *Rev. de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. V.10 p.301-314.
- _____. 1969. Los Diapiros del Mar Caribe Colombiano. *Mem. I Congreso colombiano de Geología*. Bogotá, p.31 -39.

- _____. 1970. El terremoto de Bahía Solano. *Revista Universidad Javeriana*, V.70: p.573-585.
- Ramírez, J. E. & Goberna, J. R., 1980. Terremotos colombianos: noviembre 23 y diciembre 12 de 1979. Preliminary Report, Instituto Geofísico de los Andes Serie A: Sismología, V.45, p.5-95.
- Restrepo, J. D., Kjerfve, B., Correa, I. D. & González, J. L., 2002. Morphodynamics of a high discharge tropical delta, San Juan River, Pacific Coast of Colombia. *Marine Geology*, V.192, p.355-381.
- Robertson, K., 1989. Evolución reciente del delta del río Sinú, Colombia. *Cours International d'océanographie Côtière en Région Caraïbe*, Bull. IGBA, Bordeaux, V. 45, p. 305-312.
- Robertson, K., 1997. Morfodinámica, Población y amenazas naturales en la costa pacífica colombiana. Convenio Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia- Universidad Nacional, Informe técnico, Bogotá. 80p.
- Robertson, K., 1998. Morfodinámica, Población y Amenazas naturales en la Costa Caribe colombiana. Publ. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Medio Ambientales (I.D.E.A.M.), Bogotá. 78p.
- Serrano, B. E., 2004. The Sinú river delta on the northwestern Caribbean coast of Colombia: Bay infilling associated with delta development. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 623-631.
- U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A.), 1987. Saving Louisiana's coastal wetlands: the need for a long-term plan of action. Report of the Louisiana Wetland Protection Panel, Rep. No.EPA-230-02-87-026. 45p.
- Vernette, G.; Mauffret, A.; Bobier, C.; Briceño, L. A. & Gayet, J., 1992. Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. *Tectonophysics*, 202: 335-349.
- Viles, H. & Spencer, T., 1995. Coastal Problems. Edward Arnold (Ed.). 350p.
- West, R., 1957. The Pacific Lowlands of Colombia: a Negroid area of the American Tropics. Louisiana State University Press, Baton Rouge: 5-50.
- Williams, S. J.; Dodd, K. & Gohn, K., 1995. Coasts in crisis. U. S. G. S. Circular 1075. 32 p.

18. Inventario histórico y análisis de los desastres de origen natural del departamento de Antioquia, entre 1920 y 2004

Camilo Polanco & Geovany Bedoya

Resumen

Este trabajo analiza la información disponible acerca de los desastres naturales reportados en el departamento de Antioquia entre los años de 1920 y 2004, empleando el programa Desinventar. Se reportaron 11.618 desastres naturales en los 125 municipios del área de trabajo, los cuales corresponden a deslizamientos, inundaciones, avenidas torrenciales, sismos y a desastres como vendavales, tempestades, marejadas, heladas, granizadas, sequías, licuación de suelos, incendios urbanos y forestales, volcanismo de lodo, socavación de orillas y caídas de rocas. Lo anterior produjo 2.869 muertes y afectó a 99.100 personas. La mayor cantidad de pérdidas humanas la aportaron los deslizamientos, las avenidas torrenciales y las inundaciones; 13.106 viviendas fueron afectadas y 6.432 destruidas, principalmente por los sismos, inundaciones y deslizamientos. Se pudo constatar que la frecuencia de los desastres naturales va en aumento, así como los efectos tanto en las personas, en las viviendas y en la infraestructura; dos de las principales causas de los desastres naturales siguen siendo los fenómenos hidrometeorológicos y las actividades antrópicas, entre las que se destacan los malos manejos de tierras, la deforestación, el sobrepastoreo y la expansión urbana sin planificación del territorio. Las pérdidas económicas entre 1980 y 2004 fueron de aproximadamente 127.000 millones de pesos colombianos (año 2003), equivalente a US\$ 54 millones.

Palabras claves: desastres naturales, departamento de Antioquia, pérdidas económicas, Software Desinventar, Geología Ambiental.

Abstract

This paper is an analysis of the information available about natural disasters reported in the department of Antioquia (Colombia) from 1920 to 2004, using software Desinventar. A total of 11.618 disasters were reported for 125 municipalities. They were produced by landslides, floods, flashfloods, earthquakes and other disasters like hailstorms, storms, tidal waves, forest fire, soil liquefaction, hurricanes, drought, frost, urban fires, mud eruptions, rockfalls and stream erosion. 2.869 people died, 99.100 persons were affected. Death toll due to landslides was 68%, followed by flashfloods and floods. 27.303 houses were affected and 6.432 destroyed. Earthquakes were responsible for most of house damages, followed by floods and landslides. Disasters are increasing as well as their human and infrastructure effects; the two main causes are hydrometeorological phenomena and human activities as poor land management, deforestation, overgrazing

and urban expansion without planning. The economic losses between 1980-2004 were approximately col \$ 127.000 millions (for year 2003), equivalent to US\$ 54 millions. This cost is very low with respect to the total number of natural disasters (11.618) reported between 1920 and 2004.

Key words: natural disasters, Antioquia, economic losses, Desinventar, environmental geology.

Introducción

Informes generados en los últimos años por organismos como las Naciones Unidas, la Federación Internacional de la Cruz Roja (IFRC) y la Red Social Latinoamericana en Prevención y Atención de Desastres (La RED) muestran el aumento de la frecuencia y de los efectos de los desastres naturales en el mundo, con pérdidas en vidas humanas e infraestructura importantes, en su mayoría en países en vía de desarrollo. Los impactos llegan a modificar los sistemas socio-culturales y socio-económicos de dichos países. A raíz de esta situación, dichos organismos han venido realizando actividades dirigidas a la prevención y atención de desastres, con el fin de mitigar el riesgo y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones (UN, 2002; IFRC, 2002).

El programa Desinventar es una herramienta útil, sencilla y eficaz, que genera bases de datos y permite inventariar, organizar, clasificar y analizar la información de los informes existentes de desastres. Se creó en 1994 con el propósito de soportar de manera ordenada y eficaz el proyecto adelantado por la Red Social Latinoamericana en Prevención y Atención de Desastres (La RED) llamado "Inventario de Desastres en América Latina", el cual consiste en la organización de un inventario de desastres ocurridos en diferentes países del subcontinente (Velásquez et al., 2000).

El departamento de Antioquia, localizado principalmente en el área montañosa de la parte nor-occidental del país, presenta dos cordilleras: la Occidental y la Central; una costa sobre el mar Caribe y un sistema hidrológico enmarcado por los ríos Magdalena, Cauca y Atrato. Estas características fisiográficas y su situación tectónica lo exponen a los desastres de origen natural, algunos de los cuales han sido devastadores: el deslizamiento de Villa Tina en Medellín (1987); el sismo de Murindó (1992), entre otros, cuyos efectos en la población, infraestructura y pérdidas económicas fueron considerables, pero también muchos desastres pequeños; a pesar de que estos últimos suelen ser ignorados por los organismos oficiales, a largo plazo pueden registrar efectos mayores que los de los grandes desastres. Entre las razones por las cuales se presenta esta situación están la mala planificación territorial y el insuficiente espacio para urbanizar, lo cual lleva a la población a exponerse a las amenazas naturales.

En los últimos años las instituciones regionales y municipales dedicadas a la prevención y atención de desastres, como el Departamento Administrativo de Prevención, Atención y Recuperación de Desastres (DAPARD), el Sistema Municipal de Prevención y Atención de Desastres (SIMPAD), las corporaciones regionales como CORANTIOQUIA y CORNARE, han llevado un registro permanente de los desastres en el departamento de Antioquia; sin embargo, se encontró que muchas veces los llamados "pequeños"

desastres no son reportados por el respectivo municipio a los entes territoriales encargados, ya que sus efectos no son de consideración y el municipio puede afrontar la emergencia en una forma directa. Dificultades como ésta, además del desorden en la información reflejado en las fichas de informe, hicieron de la recopilación una tarea ardua y lenta. También, es importante anotar que hubo informes en los que se omitieron o se desconocieron aspectos tan importantes como las causas y los daños económicos causados por el desastre.

El DAPARD (antes de 1995 Fondo de Prevención y Atención de Desastres FOPREVE), publicó en el periódico El Colombiano del 13 de septiembre de 1991 dos mapas sobre la ocurrencia de deslizamientos e inundaciones en los 125 municipios del departamento Antioquia. Dicha información fue aportada por INGEOMINAS, y se recopiló desde 1920 con base únicamente en archivos de prensa del periódico El Colombiano, acumulados en los últimos 60 años (Ingeominas, 1990). En CORANTIOQUIA se hizo una recopilación y sistematización de informes técnicos archivados en la Subdirección Territorial entre 1996 y 1999 (Polanco, 2000). Por otra parte Polanco, (2002) y Saldariaga, (2003) presentan un inventario de desastres para 125 municipios del departamento de Antioquia y los municipios del valle de Aburrá respectivamente utilizando el programa Desinventar.

Marco teórico

Desinventar define "evento" como el fenómeno, natural o no, que una vez desencadenado, produce efectos adversos sobre las vidas humanas, la salud y/o la infraestructura económica y social de una comunidad.

La selección de términos para denominar los tipos de eventos en Desinventar no es "ortodoxa", vista desde disciplinas como la geología, la meteorología, etc., sino que pretende aproximarse a las designaciones más comunes para los fenómenos en los países de América Latina. Se trata, más bien, de proveer términos con los que cada usuario pueda verter de manera práctica la información que sobre desastres se puede acopiar de diversas fuentes: bases de datos, hemerográficas, archivos o desde actividades cotidianas de atención por parte de organismos e instituciones (Velásquez et al., 2000).

Sin embargo es importante tener claros algunos puntos:

- Desinventar diferencia eventos de desastres. Un evento puede causar múltiples desastres, tantos como unidades geográficas afecte.
- Esto hace que las estadísticas llevadas con Desinventar, puedan parecer infladas respecto a estadísticas llevadas con la definición tradicional de desastre, pero sólo en cuanto al número de "desastres".

Área de trabajo

El departamento de Antioquia está situado al noroeste del territorio colombiano; cuenta con una extensión total de 62.839 km², de los cuales 1.152 corresponde al Valle de Aburrá. Se extiende tanto sobre la cordillera Central como sobre la cordillera Occidental; lo limitan los ríos Magdalena y Atrato y lo atraviesa el río Cauca, y cuenta con 125 municipios.

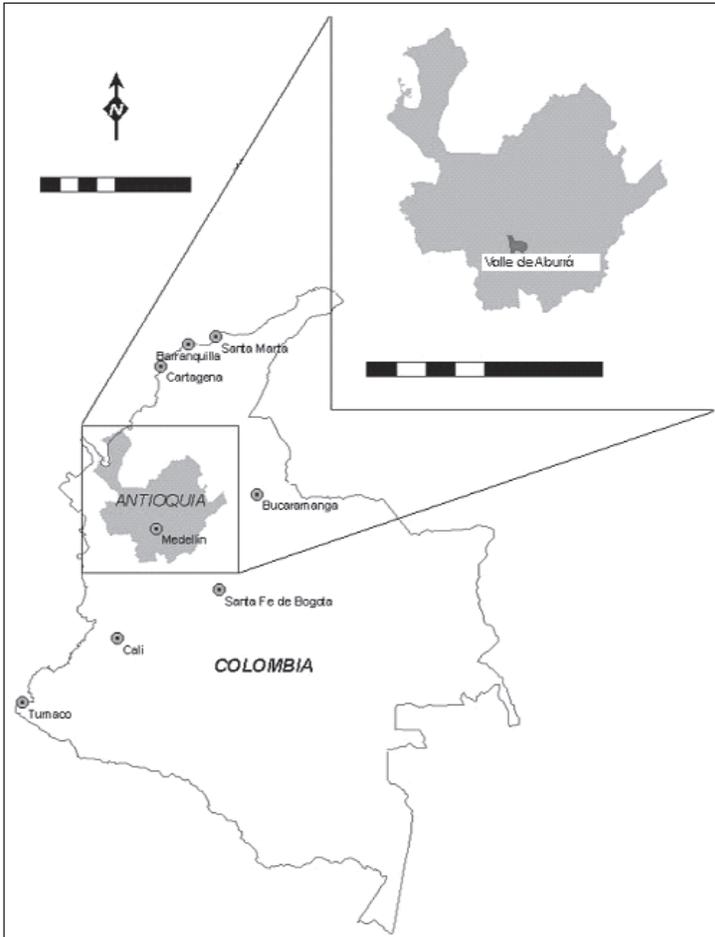


Fig.18.1. Localización del departamento de Antioquia.

Población

El crecimiento poblacional y la migración rural hacia las ciudades, han generado impactos ambientales. Según el Anuario Estadístico de Antioquia (2001), la población total en el departamento de Antioquia se duplicó en las últimas 4 décadas (Tabla 18.1).

Tabla 18.1. Crecimiento de la población del departamento de Antioquia.

Población	1964	1973	1985	1993	2001
Urbana	55%	63%	67%	70%	73%
Rural	45%	37%	33%	30%	27%
Total	2.537.250	3.176.695	4.067.664	4.919.619	5.454.871

Fuente: Anuario Estadístico de Antioquia.2001.

Fuentes de la información analizadas

Las fuentes de información consultadas se muestran en la Tabla 18.2

La información requerida para la elaboración de este trabajo se encontró de una manera heterogénea y difícilmente podría ser tabulada. Se evidencia poca coincidencia para un mismo evento en las diferentes fuentes consultadas (Tabla 18.3).

Tabla 18.2. Fuentes de información consultadas para cubrir el período 1920-1999.

Fuente de información	Período Comprendido
INGEOMINAS (El Colombiano)	1920 - 1990
DNPAD*	1914 - 1999
DAPARD	1991 - 1997
EL COLOMBIANO	1977 - 2004
CORANTIOQUIA	1996 - 1999
CORNARE	1996 - 1999
TRABAJOS DE GRADO	1920 - 1994

* De la base de datos del DNPAD sólo se utilizaron los reportes que corresponden al período 1920-1999.

Tabla 18.3. Cuantificación de los registros coincidentes entre dos fuentes consultadas, en períodos similares.

Instituciones y períodos	Registros aportados por cada Institución	Total registros aportados por ambas Instituciones	Desastres registrados que coinciden
1. El Colombiano DNPAD (1986-1996)	168 43	211	8
2. El Colombiano CORANTIOQUIA (1996)	23 45	68	1
3. El Colombiano DAPARD (1991-1996)	61 98	159	5
4. El Colombiano INGEOMINAS (1986-1990)	107 54	161	20
5. DAPARD DNPAD (1991-1997)	121 65	186	28
6. DAPARD CORANTIOQUIA (1996-1997)	118 88	206	2

Resultados

Del total de 11.618 desastres naturales reportados, los deslizamientos fueron los más numerosos con 4.996 reportes (43%); luego las inundaciones con 3.601 reportes (31%); los sismos con 116 reportes (1%); las avenidas torrenciales con 349 registros (3%), y 2.556 registros correspondiente a "Otros" (22%), entre los cuales están los vendavales, tempestades, marejadas, heladas, granizadas, sequías, licuación de suelos, incendios urbanos, volcanismo de lodo, socavación de orillas, caídas de rocas e incendios forestales; este último grupo fue el de mayor reportes con 993.

Existe un aumento considerable en los registros en las últimas tres décadas, que posiblemente se deba a factores sociales como el incremento en la cobertura de información de los eventos ocurridos en el departamento de Antioquia por parte del periódico El Colombiano (principal periódico del departamento); al aumento en el número de instituciones con competencia en la problemática de los desastres naturales; al crecimiento demográfico de las zonas urbanas; al desarrollo de la urbanización en zonas de alto riesgo; existe además la posibilidad de un aumento en la frecuencia y la magnitud de las amenazas naturales por motivo del cambio global, sin que hasta ahora exista una base suficiente para esta hipótesis (Fig.18.2).

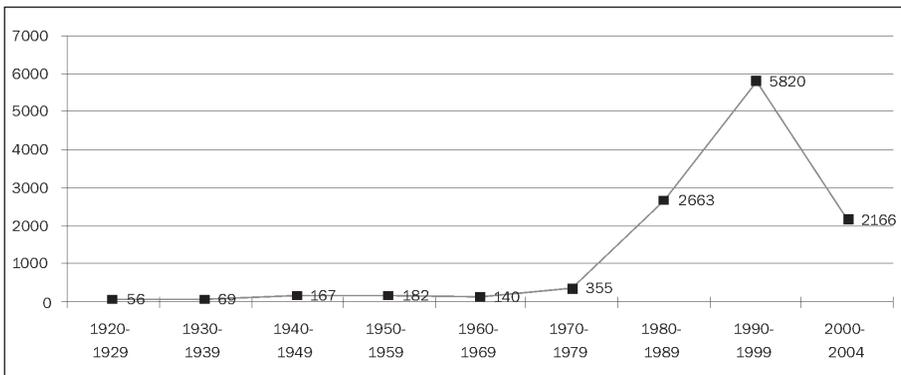


Figura 18.2. Frecuencia de los desastres naturales reportados en las últimas 9 décadas, en el departamento de Antioquia. Es de anotar que el último informe (2116) sólo se refiere el período 2000-2004 y que por lo tanto no modificó sensiblemente la tendencia ascendente de la curva.

Desastres y Áreas Fisiográficas

Con el fin de localizar la distribución de los desastres naturales dentro de entornos geográficos definidos, se repartieron los 125 municipios del área de trabajo en las siguientes regiones y subregiones fisiográficas (Tabla 18.4A).

La mayor cantidad de deslizamientos está concentrada en las regiones fisiográficas del valle de Aburrá, vertiente tanto de la cordilleras Central como Occidental y en los altiplanos. Las inundaciones se ubican principalmente en el valle de Aburrá, llanuras de los ríos Cauca, Nechí y Magdalena. Las avenidas torrenciales se presentan con mayor frecuencia en el valle de Aburrá y vertientes de ambas cordilleras. Los vendavales se

registran principalmente en valle del Aburrá y los municipios costeros al occidente. La Región Valle de Aburrá presenta el mayor número de reportes de deslizamientos, inundaciones, avenidas torrenciales y vendavales (Tabla 18.4B), pero tratándose de la región más densamente poblada y administrada del departamento, no es de extrañar que el número de informes que se genere allí sea mayor que en cualquier otra parte del departamento.

Tabla 18.4A. Agrupación de los 115 municipios del área de trabajo en regiones fisiográficas.

Región	Subregión	Municipios
Cordillera Central	Altiplanos	Guarne, San Vicente, Rionegro, Marinilla, La Ceja, El Carmen, El Retiro, La Unión, El Santuario, El Peñol, Guatapé, Don Matías, Entrerriós, Santa Rosa de Osos, Amalfi, Anorí, Santo Domingo, Belmira, Carolina, Guadalupe, San José de la Montaña, San Pedro, Abejorral, Alejandría, Concepción, Sonsón.
	Vertientes	Armenia, Caracolí, Ebéjico, Maceo, Cisneros, Remedios, San Roque, Segovia, Vegachí, Yalí, Yolombó, Granada, Angostura, Briceño, Campamento, Gómez Plata, San Andrés de Cuerquia, Ituango, Valdivia, Yarumal, Heliconia, San Jerónimo, Liborina, Sopetrán, Sabanalarga, Argelia, Cocorná, Nariño, San Carlos, San Luis, San Rafael, San Francisco, Amaga, Angelópolis, Fredonia, Montebello, Venecia, Toledo, Olaya.
	Valle de Aburrá	Caldas, La Estrella, Sabaneta, Envigado, Itagui, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Barbosa.
	Orillas del río Cauca	La Pintada.
Cordillera Occidental	Vertientes	Ituango, Abriaquí, Anzá, Buriticá, Cañasgordas, Dabeiba, Frontino, Giraldo, Peque, Santa Fe de Antioquia, Uramita, Betania, Betulia, Andes, Caramanta, Ciudad Bolívar, Concordia, Hispania, Jardín, Jericó, Pueblorrico, Salgar, Tarso, Urrao, Valparaíso, Mutatá.
Valle del Atrato		Vigía del Fuerte, Murindó.
Urabá	Costeros	Turbo, Necoclí, Arboletes, San Juan de Urabá.
	Interior	Chigorodó, Apartadó, Carepa, San Pedro de Urabá.
Llanura de los ríos Cauca y Nechí		Nechí, Caucasia, Cáceres, El Bagre, Zaragoza, Tarazá.
Llanura del río Magdalena		Pto. Berrío, Pto. Nare, Pto. Triunfo, Yondó.

Tabla 18.4B. Distribución de los desastres naturales reportados, por regiones fisiográficas.

Sub. Región	Deslizamientos	Inundaciones	Sismos	Avenidas	Vendavales
Altiplano*	167	48	10	52	0
Vertientes*	333	0	13	99	7
Valle de Aburrá	4252	3270	6	105	30
Riberas río Cauca	7	8	1	1	0
Vertientes**	191	0	54	83	5
Valle del Atrato	0	21	12	0	1
Costeros***	6	22	7	2	8
Interior***	4	35	11	2	6
Llanura del Cauca-Nechí	17	128	2	2	7
Llanura del Magdalena	13	69	2	3	8

* Cordillera Central, ** Cordillera Occidental, *** Urabá.

Causas de los desastres socio-naturales

La Red (1996), denomina desastres socio-naturales a la agrupación de variables externas de la tierra (principalmente asociadas al clima) y los factores detonantes generados por la sociedad. En ocasiones las consecuencias de los desastres relacionados con las variables climáticas pueden ser incrementadas por acciones humanas.

Las causas de los desastres naturales pueden ser divididas en naturales y antrópicas, dependiendo del factor detonante del fenómeno; por ejemplo, una causa natural puede ser una intensa lluvia que cae sobre un área y que puede generar inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos, entre otros; y una antrópica es cuando el ser humano interviene en el medio ambiente de una manera desordenada y genera un impacto negativo, como por ejemplo la obstrucción con tierra de los cauces de los ríos, los malos manejos de aguas lluvias y residuales, la deficiente construcción de la infraestructura de alcantarillado, etc. Además, como muchas veces es difícil distinguir entre causa y efecto del fenómeno mismo, quien trabaja con Desinventar podrá hacer uso de un amplio glosario de términos. A continuación se dan algunas de las causas que se incluyen en la ficha de entrada de ese programa, así como la descripción de su uso:

- *Deslizamiento:* Como causa de cierre de vías, accidentes, aislamiento de personas o bienes, sedimentación, avenidas torrenciales, etc.
- *Lluvias:* Como causa primaria o disparadora de inundaciones, avenidas torrenciales, deslizamientos, accidentes, etc.
- *Sismo:* Como generador de tsunamis, deslizamientos, licuación, avenidas torrenciales, daños estructurales, incendio, explosión, accidente, cambio litoral, etc.

Las principales causas encontradas en el área de trabajo están relacionadas con fenómenos hidrometeorológicos, es decir, con períodos muy lluviosos, distribuidos generalmente para el departamento de Antioquia en dos períodos: el primero los meses de Abril, Mayo y Junio, y el segundo los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre. Por esta causa hubo 2.535 reportes, correspondiente al 22% del total de desastres registrados; le sigue el reglón "No reportados o se desconoce" con el 16% (1866 reportes); sigue la intervención del hombre o actividades antrópicas con 1.471 reportes con el 12%, dentro de las cuales se destacan la intervención, desviación e invasión de cauces, deforestación y sobrepastoreo intensivo, minería, movimientos de tierra inadecuados, malos manejos de aguas lluvias y residuales, entre otros. Hay que reconocer que en muchos casos no es fácil, aún para un experto en el tema, determinar la importancia relativa de la acción humana en las causas de un desastre. El 50 % restante correspondió a otras causas como deslizamientos, sismos, tala de árboles, inundaciones, etc., con 5.746 reportes

Efectos

Los desastres son el resultado de efectos adversos (pérdidas) de vidas y bienes de la población en su interacción (como elementos de comunidades, del sistema sociedad) con el sistema tierra. (LA RED, 1996).

Se discuten a continuación los efectos que los 11.618 desastres reportados para Antioquia generaron en las vidas de las personas, sus viviendas e infraestructura entre 1920 y 2004.

Efectos en las personas

Los 11.618 desastres reportados para el período 1920-2004 produjeron 3.469 muertes, 1.542 heridos, 873 desaparecidos, 166.068 afectados. Las pérdidas humanas fueron causadas principalmente por deslizamientos (68%); avenidas torrenciales (17%); inundaciones (12%); "otros" (2%) y el 1% por sismos.

Las pérdidas humanas fueron mayores en la década de 1980: de los 2663 desastres reportados el 21.9% dejó 976 muertes (Fig.18.3, Tabla 18.5).

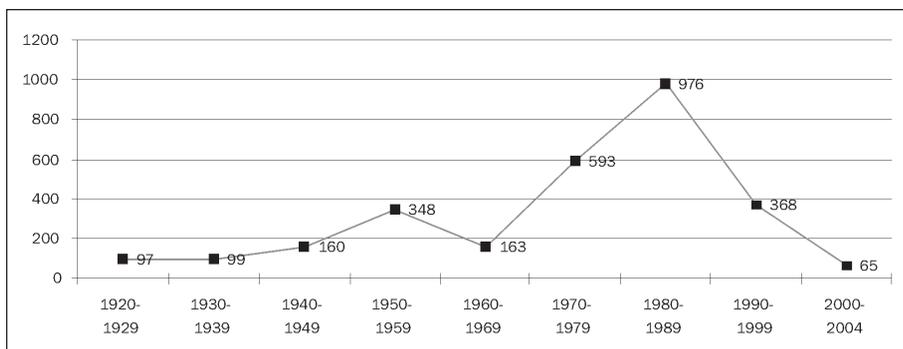


Figura 18.3. Pérdidas humanas reportadas en las últimas décadas, en el departamento de Antioquia, 1920-2004. (Nótese que la última cifra (65) sólo corresponde a un intervalo de tiempo equivalente a la mitad de los demás).

Los desastres con víctimas disminuyen en la década del 90; de los 5820 desastres que se registraron, sólo el 19.2% tuvo muertos (100 desastres) (Tabla 18.5), dentro de los cuales se destacan una avenida torrencial registrada el 4 de Junio de 1991 en el municipio de Ciudad Bolívar, vereda la Arboleda, donde hubo un total de 37 muertos y 27 desaparecidos y la del río Tapartó en el municipio de Andes, vereda la Rochela, el 26 de Abril de 1993, cuyo saldo trágico fueron 59 personas muertas, 70 desaparecidas y 200 damnificados.

Tabla 18.5. Relación entre desastres reportados y desastres con muertos, en el departamento de Antioquia, entre los años de 1920-2004.

Década	Desastres reportados	Desastres con muertos	Muertos
1920-1929	56	11 (2%)	97
1930-1939	69	27 (5.2%)	99
1940-1949	167	53 (10.2%)	160
1950-1959	182	42 (8%)	348
1960-1969	140	50 (9.6%)	163
1970-1979	355	93 (17.9%)	593
1980-1989	2663	114 (21.9%)	976
1990-1999	5820	100 (19.2%)	968
2000-2004	2166	30 (5.7%)	65
Total	11.618	520	3.469

Efectos sobre las viviendas

Se registraron 27.303 viviendas afectadas y 6.432 destruidas. Los eventos que más afectaron y destruyeron viviendas fueron los sismos, inundaciones y deslizamientos. La Tabla 18.6 presenta los desastres con mayor registro de viviendas destruidas, en el departamento de Antioquia, entre los años 1920 y 2004.

Tabla 18.6. Desastres con mayores registros de viviendas destruidas, en el departamento de Antioquia, entre los años de 1920 y 2004.

Evento	Municipio	Fecha	No. de viviendas destruidas
Sismo	Sonsón	30/07/1962	300
Deslizamiento	Medellín*	27/09/1987	100
Sismo	Támesis	23/11/1979	30
Avenida Torrencial	San Carlos	21/09/1990	27
Deslizamiento	Fredonia	22/07/1995	30
Inundación	Henchí	5/09/1996	70
Marejada	Turbo	14/03/1996	12
Inundación	Chigorodó	01/07/1998	46

* Desastre del barrio Villa Tina. 500 personas perecieron.

Los dos desastres que reportaron el mayor número de viviendas afectadas fueron: el sismo del 18 de Octubre de 1992 que afectó los municipios de Frontino y Mutatá, dejando como saldo 1.677 y 1.515 viviendas afectadas respectivamente y el sismo del 30 de Julio de 1962 en Sonsón con 1.200 viviendas afectadas.

Pérdidas económicas

Las pérdidas económicas fueron calculadas para el periodo 1980-2004, ya que no se disponía del Índice del Precio al Consumidor (IPC) para el período 1920-1979. Las pérdidas económicas reportadas fueron bajas con respecto a la gran cantidad de desastres, esto es, 127.000 millones de pesos (año 2004) para un total de 10.649 desastres reportados en el período 1980-2004. Para dicho período los sismos, las inundaciones y otros son los eventos que generaron mayores pérdidas económicas (Fig.18.4).

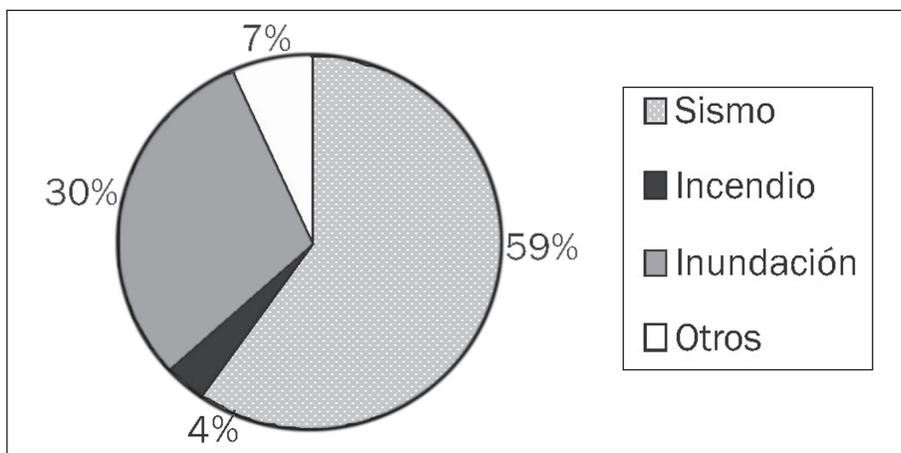


Fig.18.4. Porcentaje de las pérdidas económicas aportadas por los principales desastres reportados, en el departamento de Antioquia, entre los años de 1980-2004.

Los deslizamientos durante El Niño y La Niña

Según (Vélez et al., 2002) la ocurrencia de deslizamientos tienen alguna relación con las fases frías y cálidas del ENSO. Los años de mayor número de deslizamientos por lluvias en Antioquia son 1984, 1988, 1995, 1996, 1990 y 1990. Dado que en Colombia durante la fase cálida del fenómeno ENSO, ocurre una disminución de la cantidad de lluvia total anual y lo contrario, durante la fase fría (Poveda y Mesa, 1999; en Vélez et al., 2002), puede establecerse una relación directa de influencia de los fenómenos de El Niño y La Niña sobre el número de deslizamientos por año respecto a los años normales (sin eventos ENSO).

La Fig.18.5 da cuenta de un mayor número de deslizamientos por año en épocas de La Niña y de una disminución de los deslizamientos en la fase cálida del fenómeno ENSO. Esta gráfica fue construida a partir del número de deslizamientos ocurridos en todos los años El Niño, La Niña y normal.

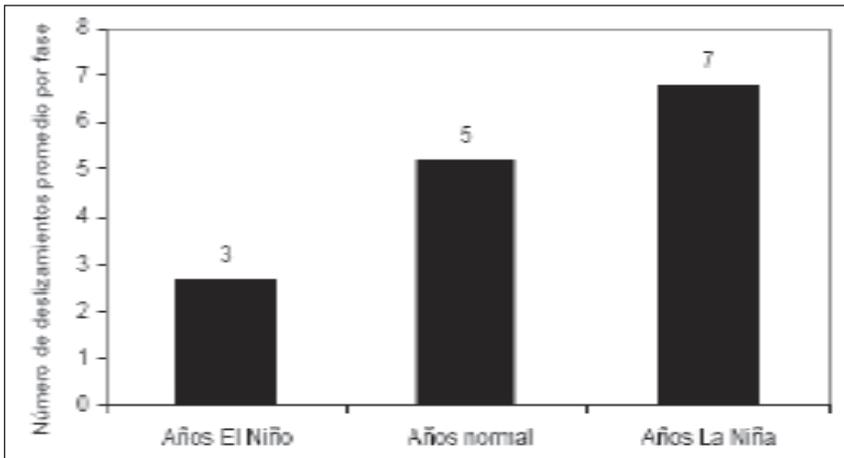


Figura 18.5. Distribución anual estándar de deslizamientos reportados en los años El Niño y La Niña y normal en el departamento de Antioquia, entre 1921 y 2004.

Conclusiones

En Antioquia no se tiene, por parte de las instituciones competentes, un registro de estandarizado de los desastres ocurridos en el periodo 1920-2004. La información de los desastres ocurridos en el departamento de Antioquia se encuentra dispersa, desordenada, sesgada y presenta en general poca confiabilidad.

Muchas veces, los "pequeños desastres no son reportados por los respectivos municipios a los entes territoriales encargados, ya que sus efectos no son de consideración y el municipio puede afrontar la emergencia en una forma directa.

Un alto porcentaje de la ocurrencia de desastres en el departamento de Antioquia se asocia a amenazas hidrometeorológicas. Las pérdidas económicas generadas en las últimas dos décadas estudiadas, son bajas. Los datos encontrados permiten deducir que las pérdidas reales fueron mayores y que el problema radica en el subregistro de la información aportada.

El programa Desinventar es una herramienta eficiente, eficaz y de fácil manejo, que permite la sistematización de la información de los desastres y puede ser utilizada como una herramienta de gestión.

Bibliografía

AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica), 1998. NSR-98. Normas colombianas de diseño y construcción sismo-resistentes. Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998. Tomo 1. 52 p.

Botero, C., 2004. Anuario Estadístico. Ensayo de estadística general del departamento

de Antioquia en 1988. Biblioteca básica de Medellín, Tomo 20. ITM. 496 p.

Gobernación de Antioquia. 2001. Anuario Estadístico de Antioquia, p.215-216.

_____. 2001. Anuario Estadístico de Antioquia, p. 219-220.

- IFRC (International Federation Red Cross). 2002. World Disasters Report. <http://www.ifrc.org/publicat/wdr2002> (2 de Noviembre de 2002).
- INGEOMINAS, 1990. Base de datos de eventos naturales entre 1920-1990. Informe. Medellín, 45 p.
- LA RED, 1996. Terremotos en el trópico húmedo. Ed. Armada Electrónica. 328 p.
- Molina, M., 1999. Base de datos de eventos naturales en la jurisdicción de CORNARE, 1996-1999. Informe, 36 p.
- OPS (Organización Panamericana de la salud). 2000. Los desastres naturales y la protección de la salud. Publicación científica No.575, 123 p.
- Polanco, C., 2002. Inventario y sistematización de los desastres reportados en los municipios del departamento de antioquia, exceptuando los municipios del valle de Aburrá, entre los años 1920-1999. Trabajo de grado. 89 p.
- _____, 2000. Inventario de desastres naturales ocurridos en la jurisdicción de CORANTIOQUIA, entre 1996 y 1999. Trabajo de semestre de práctica. 23-24pp.
- Saldarriaga, R., 2003. Inventario y sistematización de los desastres reportados en los Municipios del valle de Aburrá, entre los años 1990 y 2000. Trabajo de grado. 120 p.
- United Nations (UN). (2002). Living With Risk. United Nations New York, Editorial. 375 p.
- Velásquez, A., Rosales, C. & Ramírez, F., 2000. Los Desastres en Colombia- Una Visión desde Desinventar. Cali- Colombia y Paracas-Perú. OSSO, Univalle. 80 p.
- Vélez, M; Montoya, J; Moreno, H; Rhenals, R. & Polanco, C., 2002. La lluvia y su influencia sobre los deslizamientos en el departamento de Antioquia, Colombia. Memorias XV Seminario de Hidráulica e Hidrología. Cuba. <http://www.banrep.gov.co>
- <http://www.dane.gov.co/infest/pib.htm> y <http://www.inurbe.gov.co>

Epílogo

Michel Hermelin

Este libro ha sido un triste recorrido por un país golpeado como pocos por catástrofes de origen natural.

¿Será que la naturaleza quiere cobrarles a los habitantes de Colombia el disfrute de una variedad de paisajes y de especies tan extraordinaria por medio de eventos mortíferos?

La relación del hombre con la naturaleza no basta para explicar esa trágica situación. Es cierto que la tierra colombiana ofrece lo que varias veces he llamado el síndrome de Jano, el dios romano de las dos caras: una sonriente y otra iracunda. También es evidente que una tierra de volcanes activos, de sismos, de tsunamis, de deslizamientos, de inundaciones y de avenidas torrenciales, no puede ser habitada tranquilamente por un número indefinido de pobladores despreocupados.

El comportamiento de los antiguos habitantes del territorio colombiano, como lo expresé hace ya varios años ((Hermelin, 1992) y como lo manifiesta Gustavo Wilches-Chaux (2005) en este libro, era mucho más sabio que el de nuestros contemporáneos. Habían incorporado su conocimiento empírico pero muy profundo de la naturaleza a sus religiones y vivían en equilibrio con su entorno.

¿Cuáles son entonces los aspectos que deben mejorarse para evitar esa pesada carga que para el país representan los desastres de origen natural? Se pueden señalar varios, a juicio muy personal del autor:

- Conocimiento

Debe conocerse mejor el entorno natural. Es el papel de los investigadores de las ciencias de la tierra, cuya obligación principal se enfoca ahora no sólo hacia la comprensión de los fenómenos actuales, sino en la anticipación de los que esperan a la humanidad a escala local pero también global. Mejorar la predicción es una necesidad, pero aún las comunidades científicas de los países más avanzados reconocen que se trata de un reto que está lejos de ser superado.

- Divulgación

Este problema reviste aspectos complejos, pues no sólo se trata de concienciar a los pobladores sino de educarlos desde su infancia. Los medios deben participar en esa labor, pero como en el caso de los políticos, prevalece entre ellos el inmediateísmo: "vende" mucho más un reportaje sobre un desastre que una campaña educativa, de la misma manera que se ganan más votos repartiendo mercados y cobijas, que haciendo cumplir reglamentos restrictivos sobre ocupación de terrenos expuestos a amenazas naturales.

- Administración pública

Colombia tiene un verdadero arsenal legislativo que cubre prácticamente todos los campos de la prevención y la atención de los desastres:

- Construcciones sismo-resistentes
- Sistema nacional de prevención y atención de desastres
- Reforma urbana
- Medio ambiente
- Planes de ordenamiento territorial

Ninguno se cumple a cabalidad, y sería tema de otro libro analizar el porqué de cada falla. Basta, a título de ejemplo, mencionar el fracaso de los planes de ordenamiento territorial en la gran mayoría de los municipios colombianos: ante la obligación de realizar planes detallados a escala de cabecera municipal y semidetallados en las zonas urbanas, la inmensa mayoría no contaba con una cartografía suficientemente detallada. Tampoco se contaba con mapas temáticos (geológicos, edafológicos, de uso de la tierra, etc.) a escala adecuada. Los municipios pequeños no contaron en la gran mayoría de los casos con un apoyo técnico que les permitiera siquiera identificar esas carencias.

El tiempo dejado por los legisladores para cumplir con la norma fue insuficiente y muchas municipalidades cayeron en manos de "asesores" poco honestos, que con el manejo amañado de novedades tecnológicas, como los sistemas de información geográfica, les entregaron unos "planes de ordenamiento territorial" que poco o nada tenían que ver con la realidad y menos con las necesidades de los usuarios.

Los POT hubieran podido ser una forma adecuada de conocer y enfrentar la situación de riesgo en la que viven centenares de miles de colombianos en las zonas urbanas. El resultado es desafortunadamente desalentador.

También hay que mencionar las raíces profundas de la ocurrencia de tantas catástrofes en Colombia. En primer lugar, no es probable que los fenómenos naturales destructores ocurran ahora con mayor frecuencia y con mayor intensidad que en épocas pasadas. Si bien es cierto que el cambio global que parece acercarse tendrá sin duda influencias negativas sobre los eventos de origen externo (erosión de costas, deslizamientos, inundaciones, avenidas torrenciales), aunque las estadísticas disponibles aún no permitan establecer tendencias reales al respecto.

La explicación del aumento de catástrofes tiene un origen socio-económico, y por ese motivo el presente libro no habla de desastres naturales sino de desastres de origen natural. En la sencilla ecuación explicada en el primer capítulo de este libro:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

si se acepta que la amenaza es prácticamente constante (aunque pueda variar de un año a otro o con la aparición de fenómenos cada vez más conocidos como El Niño), lo que ha aumentado es la vulnerabilidad.

Dicho incremento se debe a varios crecimientos que han caracterizado a Colombia y a la mayoría de los países subdesarrollados:

- **Aumento de la población**
Colombia tiene ahora unos 43 millones de habitantes. Su población se ha cuadruplicado en los últimos 50 años, un poco más del tiempo para dos generaciones. Si no se toman medidas urgentes para frenar seriamente esta tendencia, la situación se volverá insostenible desde cualquier punto de vista.
- **Urbanización**
La gran mayoría de la población colombiana vive en núcleos urbanos, del orden del 73%. Las presiones a la emigración que existe en los campos se ha recrudecido en los últimos años debido a la acción de los grupos ilegales, fortalecidos por los ingresos que genera el comercio de la droga. Las causas de esta situación no son fáciles de solucionar y el control del tráfico de droga escapa a cualquier decisión nacional.
- **Aumento de la infraestructura**
Además del crecimiento de las ciudades se han ampliado las vías de comunicación y de infraestructura en general, si bien a una tasa inferior a la que exigía la integración del país al comercio mundial.

Con el fin de que el país tome conciencia de la amenaza que presenta para su desarrollo futuro la ocurrencia de desastres de origen natural, es indispensable robustecer en forma inmediata la obtención, la compilación y el análisis estadístico de datos fidedignos sobre los eventos y sus consecuencias: el ejemplo de la aplicación del programa DESINVENTAR, generado por LA RED, en el departamento de Antioquia es un inicio que merece ser extendido a todo el país.

Si este libro contribuye a que Colombia tome verdaderamente en serio el problema que significa convivir con sus restricciones naturales –no tan atractivas como sus recursos naturales o sus paisajes pero igualmente reales– estoy convencido de que se habrá cumplido a cabalidad con la intención de cada una de las personas que participaron en su elaboración.

Glosario

A

Amenaza: peligro asociado con un fenómeno físico de origen natural, de origen tecnológico o provocado por el hombre que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos a las personas, los bienes, servicio y/o el medio ambiente.

Asteroide: cuerpo celestial de tamaño pequeño con órbita alrededor del Sol. La mayoría de estos cuerpos tiene orbitas localizadas entre Marte y Júpiter.

Avalancha: galicismo para alud, "gran masa de nieve que se derrumba de los montes con violencia y estrépito", pero también "Masa grande de una materia que se desprende por una vertiente, precipitándose por ella" (DRAE, 2001). En Colombia el término suele usarse actualmente como sinónimo de avenida torrencial.

Avenida Torrencial: "creciente impetuosa de un río o arroyo" (DRAE, 2001). Al agregar torrencial se supone que este caudal está formado de agua acompañada de tierra, rocas, árboles, etc., que viajan a alta velocidad a lo largo del cauce de una corriente con fuerte pendiente.

B

Batimetría: determinación de la profundidad de una corriente, de una costa, etc., por medio de diferentes métodos.

Batolito: cuerpo originado por la cristalización en profundidad de un magma,

mezcla de rocas fundidas. Los batolitos se definen, cuando afloran en superficie, por tener dimensiones superiores a 100 km².

Bosque (húmedo, seco) Montano (bajo, alto): división del territorio en función de la vegetación boscosa que lo recubría antes de la ocupación humana. Los adjetivos se refieren a su humedad y a su altura, o sea a su temperatura media (de la clasificación de Holdridge, adoptada en Colombia por Espinal y otros autores).

Brecha sísmica (seismic gap): para una falla geológica activa, designa un segmento de dicha falla que no ha sufrido movimiento sísmico importante durante un intervalo de tiempo en el que los demás segmentos sí han generado sismos.

C

Caída de piroclastos: las erupciones volcánicas pueden emitir gases, lava y piroclastos, materiales sólidos de diversos tamaños. Se trata de la caída por gravedad de esos piroclastos.

Cercha: término usado en ingeniería para designar un tipo de estructura para construcciones.

Cono de deyección: cuando una corriente torrencial con fuerte pendiente llega a una zona plana, valle o llanura, suele perder velocidad y por lo tanto capacidad de transporte de los materiales sólidos de tamaño diverso que acarrea en sus crecientes,

dejándolo acumulado en forma de un cono con pendientes relativamente fuertes.

Cretáceo: un período geológico que se extiende en el intervalo entre 135 y 65 millones de años.

Cuarzodiorita: roca ígnea cristalizada en profundidad que contiene principalmente feldespatos (aluminosilicatos de Ca, Na y K), cuarzo y minerales oscuros.

Cuaternario: el último período geológico, iniciado hace 1.7 millones de años.

CH

Chircal: término utilizado en el altiplano cundiboyacense para designar una fábrica artesanal de ladrillos y tejas.

Chert: roca de origen oceánico compuesta principalmente por sílice.

D

Diaclasas: fracturas en rocas formando planos a lo largo de los cuales no se ha producido movimiento.

Deslizamiento: movimiento de vertiente con velocidad variable de roca o suelo que se caracteriza por ocurrir a la largo de una o varias superficie definidas.

Diapirismo de lodo: movimiento ascendente de lodos originados en rocas sedimentarias que pueden ocasionar arqueamiento de estratos y su ruptura. Al llegar el lodo a la superficie forma el llamado "volcanismo de lodo", común en la costa caribe colombiana.

Difracción: en geofísica, técnica de investigación que se basa en la interpretación de la velocidad de las ondas sísmicas en función de las propiedades de las rocas que encuentran.

Dunita: roca formada principalmente por olivino, mineral compuesto por un silicato de hierro y magnesio.

E

Empalizada: término utilizado en Chocó para designar la acumulación de árboles en la partes planas de los ríos que frenan la velocidad de la corriente y provocan el depósito de los sedimentos en suspensión.

Ensayo Triaxial: ensayo que se realiza en los laboratorios de mecánica de suelos y rocas, en los que se somete a compresión una muestra del material con control de la presión confinante.

Epicentro: proyección geométrica en la superficie de la tierra del hipocentro o foco de un sismo.

Estero: en una costa con poco relieve, zona poco profunda que queda recubierta por las aguas de las mareas.

Edafología: (sinónimo pedología); la ciencia que estudia los suelos.

Escala de Mercalli: una escala arbitraria de intensidad de los sismos basada en observación de los daños causados. Va de I (sólo detectada por instrumentos) a XII (destrucción total).

Escarpe: designa la superficie inclinada o vertical que genera en superficie el movimiento de una falla durante un sismo.

Escorrentía: el agua que corre sobre los suelos o las rocas a raíz de una aguacero fuerte.

Esquisto: rocas metamórfica caracterizada por foliación, múltiples planos a lo largo de los cuales se pueden partir.

Evento convulsivo: evento natural caracterizado por la liberación de mucha energía, como una erupción volcánica, un sismo o una lluvia torrencial que genera múltiples deslizamientos, inundaciones, etc.

F

Falla: una superficie que separa cuerpos rocosos, a lo largo de la cual han ocurrido movimientos de origen tectónico.

Falla cortical: falla que afecta la corteza de la tierra.

Flujo de escombros: (flujo detrítico) movimiento de vertiente en el que se moviliza, a veces a grandes velocidades, fragmentos de roca de diversos tamaños con un contenido variable de agua.

Flujo de piroclastos: una corriente de alta densidad formada por piroclastos y gases a altas temperaturas, que viaja a grandes velocidades en las laderas de un volcán.

G

Gabro: roca cristalizada en profundidad, formada principalmente por feldespatos (aluminosilicatos cálcicos) y minerales oscuros como los piroxenos, ricos en hierro.

Geología Ambiental: rama de las Ciencias de la Tierra orientada hacia un aprovechamiento racional de la superficie de la tierra y de los recursos naturales por el hombre, reduciendo los efectos de los riesgos naturales.

Geofísica: rama de las ciencias de la tierra que utiliza métodos procedentes de la física: gravimetría sísmica, geoelectrónica, etc.

Geoforma: cualquier forma natural producida por los fenómenos terrestres, tanto de origen interno como externo.

Geomorfología: disciplina de las Ciencias de la Tierra que estudia las geoformas y los depósitos de la superficie de la tierra desde el punto de vista de su origen.

GPS: (Global Positioning System): sistema de localización terrestre basado en

la captación e interpretación de señales enviadas por satélites.

Geotecnia: rama aplicada de la Geología que estudia el comportamiento mecánico de las rocas y de los suelos para fines aplicados a la ingeniería.

Guandales: tipo de vegetación boscosa del litoral pacífico colombiano.

H

Hidrográfia: para una cuenca fluvial determinada, se puede establecer una curva que relaciona, para una precipitación dada en dicha cuenca, la variación del caudal con el tiempo.

Holoceno: parte más reciente del Cuaternario que se inicia hace unos 10 000 años.

I

Ignimbritas: rocas formadas por la depositación de flujos piroclásticos.

In situ: termino usado para significar que la roca o el depósito están en el mismo lugar donde se ha formado.

Isosistas: línea que conecta los puntos donde la intensidad de un sismo ha sido la misma.

Isoyeta: línea que conecta los puntos con igual precipitación.

J

Jarillones: término utilizado en varias partes del país para designar diques artificiales levantados en las orillas de los ríos.

L

Lahar: flujo de lodo producido en un macizo volcánico a raíz de una erupción.

Licuación: fenómeno que se produce en ciertos suelos, generalmente arenosos y

saturados de agua, en los que por efecto de un sismo el material adquiere comportamiento líquido y fluye.

Limolita: roca sedimentaria proveniente de la cementación de limos, partículas finas.

Litoarenita: roca sedimentarias, un tipo especial de areniscas, roca formada por cementación de partículas de arena.

Lutita: sinónimo de arcillolita, roca sedimentaria producida por cementación de partículas de arcilla.

Llenos antrópicos: rellenos artificiales, en muchos casos realizados sin control técnico. Son muy susceptibles a movimientos de masa y a vibraciones sísmicas.

M

Maastrichtiano-Campaniano: las subdivisiones superiores del Cretáceo.

Magma: masa de roca fundida en profundidad, a partir de la que se originan las rocas ígneas.

Mareógrafo: instrumento que permite medir el movimiento de las mareas.

Maremoto: ver tsunami.

Meandros: curvas que suelen describir los ríos con caudal permanente en terrenos planos.

Meteorización: el conjunto de procesos que modifican las rocas en contacto con la atmósfera o a poca profundidad.

Microzonificación: método que consiste en cartografiar y caracterizar una zona en función del comportamiento de su suelo y subsuelo ante las ondas sísmicas.

Movimiento de masa: (movimiento de vertiente). Movimiento de rocas o suelo en zonas inclinadas debido principalmente al efecto de la gravedad.

O

Olivino: mineral compuesto de silicato de hierro y magnesio.

P

Palizada: ver empalizada.

Piroclastos: materiales líquidos o sólidos que arroja un volcán a la atmósfera, con tamaño que va desde polvo hasta bloques.

Placa tectónica: fracciones rígidas de la corteza terrestre que se mueven conservando un comportamiento sólido. Pueden ser continentales u oceánicas.

Pleamar: el nivel máximo que alcanza la marea.

Pleistoceno: período geológico que incluye el Cuaternario y el Holoceno.

Plioceno: último período geológico del Cenozoico, inmediatamente antes del Pleistoceno.

R

Reflexión, Refracción: métodos utilizados en geofísica que se basan en la interpretación de las velocidades a las que viajan las ondas sísmica en las rocas.

Registro Paleohidrológico: se refiere a las evidencias que dejan inundaciones ocurridas en el pasado, que muchas veces pueden datarse gracias a métodos como el radiocarbono.

Réplica: sismo secundario que ocurre después del principal.

Riesgo: probabilidad de ocurrencia de daños y víctimas por efecto de fenómenos de origen natural o humano. En términos técnicos equivale al producto de la amenaza por la vulnerabilidad.

Roca ígnea: roca que se produce por solidificación de un magma (en profundidad) o de una lava (en superficie).

Roca metamórfica: roca que ha sufrido una recristalización en estado sólido, producida por las presiones y las temperaturas a las que ha estado sometida.

Roca sedimentaria: roca formada en ambiente marino o continental por aporte de partículas sólidas (sedimentos) que son compactadas y cementadas. También existen de origen químico y bioquímico.

S

Sismo (terremoto): brusco movimiento que se produce entre bloques separados por una falla. La energía liberada se propaga en forma de ondas que causan destrucción a veces a grandes distancias del foco.

Sismógrafo: aparato que mide las vibraciones producidas por un sismo.

Subducción: una placa oceánica puede introducirse debajo de otra placa oceánica (Antillas Menores) o debajo de la placa continental (Cordillera de los Andes). El fenómeno está acompañado por acumulación de esfuerzos que se liberan causando sismos. Y además, se presenta con frecuencia, fenómenos de volcanismo.

Subsidencia: hundimiento de una zona limitada de la corteza terrestre debido a varias causas naturales o artificiales como la minería o la extracción de aguas subterráneas.

T

Tectónica: la rama de la Geología que estudia la arquitectura de la parte superior de la tierra a partir de sus características amplias como las cadenas y los macizos montañosos, las cuencas oceánicas, etc.

Terremoto: sismo.

Terciario: la tercera era geológica. Junto con el Pleistoceno es parte del Cenozoico y cubre el lapso de 65 a 2 millones de años aproximadamente.

Tremor: vibración característica que producen los volcanes activos.

Tsunami: una ola marina gravitacional generada por una gran deformación de corta duración del fondo oceánico, generalmente producida por un sismo pero también por movimientos en masa de grandes proporciones.

V

Vivienda palafítica: construida a orillas del mar o de un lago sobre pilotes.

Vulnerabilidad: mide la predisposición de un sujeto, edificio o sistema a ser afectado por una amenaza. Si la posibilidad de daño es nula, la vulnerabilidad es cero y, si puede ser totalmente destruido tiene un valor 1.



**UNIVERSIDAD
EAFIT**

Grupo de Geología Ambiental
e Ingeniería Sísmica
Medellín



Universidad
del Valle
OSSO

Observatorio Sismológico
del Suroccidente OSSO
Cali



FONDO
EDITORIAL
UNIVERSIDAD
EAFIT

Esta obra se terminó
de imprimir en:
Centro de Publicaciones
Universidad EAFIT
Medellín, Julio de 2005

Fuentes

Texto: Raleigh Lt Bt

Títulos: Franklin Gothic
Demi