

## ENTENDIENDO AMENAZAS VOLCANICAS CON IMÁGENES LANDSAT TM 5 Y VISUALIZACION DE BASES DE DATOS: EL CASO DE LOS LAHARES DEL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ (COLOMBIA)

HENRY VILLEGAS

INGEOMINAS, Diagonal 53 No. 34-53, Bogotá D.E. – Colombia  
henville@ingeoimin.gov.co

**Abstract.** The November 13, 1985 Nevado del Ruiz volcanic eruption that triggered lahars which destroyed the City of Armero killing approximately 23.000 people, was the fourth largest volcanic disaster in human history. Landsat TM 5 data processing was carried out in sub-scenes taken before and after the lahar sedimentation, in order to visualize the magnitude of the catastrophe. Database visualization was carried out for lahars volcanic hazards at Ruiz Volcano, by combining topographic data with the lahars hazard map polygons superimposed on a Landsat TM 5 mosaic. This 3-D visualization method helps volcanologists to explain the uncertainties of volcanic hazards to a public unfamiliar with volcanoes.

**Keywords.** Landsat TM 5, volcanic hazard, hazard communication, lahar, gis, database visualization, Armero, Nevado del Ruiz Volcano.

### 1. Introducción

La erupción de 1985 del Volcán Nevado del Ruiz, muy probablemente quedará para la historia como uno de los grandes errores en la mitigación moderna de riesgos volcánicos (Fisher et al., 1997). Una secuencia compleja de oleadas piroclásticas (pyroclastic surges) y flujos piroclásticos eruptados por el volcán, interactuaron con el hielo y la nieve del casquete glaciar de su cima, desencadenando lahares catastróficos (flujos de escombros de origen volcánico), que descendieron por los ríos Gualí, Azufrado, Lagunillas y Nereidas, causando la muerte a 23.080 personas que habitaban en las proximidades del volcán (Anónimo, 1986).

Con estos lahares, considerados los más mortíferos de la historia registrada (Pierson et al., 1990), la erupción del Ruiz representa el peor desastre volcánico desde la erupción de Mont Pelée, siendo hasta la fecha el segundo del siglo pasado y el cuarto de la historia de la humanidad (Voight, 1990) (Tabla 1).

LOCALIZACION	FECHA	TASA DE MORTANDAD
Tambora (Indonesia)	1815	92.000 personas
Krakatoa (Indonesia)	1883	36.000 personas
Mount Pelée (Martinica)	1902	28.000 personas
<b>Armero (Colombia)</b>	<b>1985</b>	<b>23.000 personas</b>

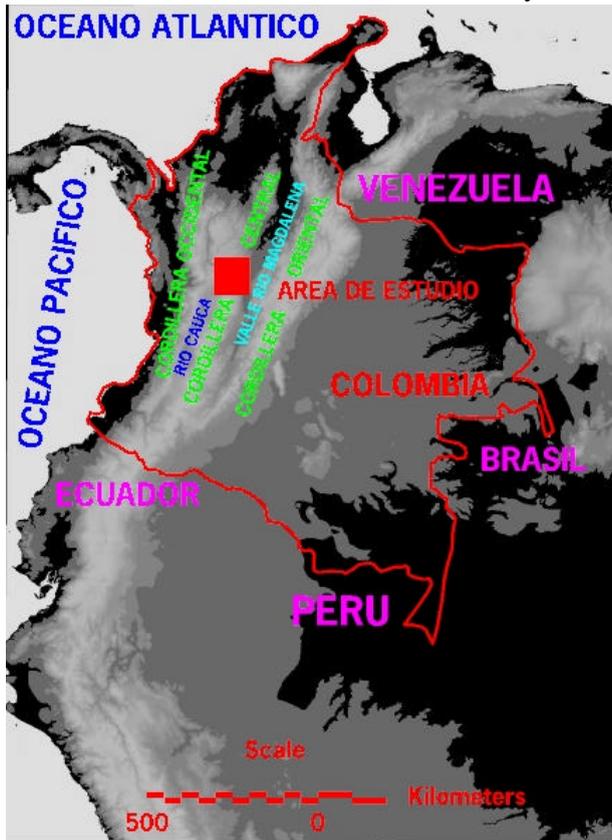
**TABLA 1. Los peores desastres volcánicos de la historia registrada**

Este trabajo trata sobre el estudio multi-temporal de imágenes Landsat TM 5, y su combinación con datos topográficos y mapas de amenaza volcánica, para generar productos didácticos que ayuden a entender la amenaza generada por la deposición de lahares, y ayuden

a los volcanólogos en el difícil proceso de comunicar las incertidumbres de los volcanes y sus procesos, a personas no familiarizadas con los mismos.

## 2. Características generales del área

El volcán Nevado del Ruiz pertenece al Parque Nacional de los Nevados, con 38.000 hectáreas de extensión, situado en la región meridional del país, donde la Cordillera Central de los Andes Colombianos alcanza sus mayores alturas (Fig. 1). Este parque comprende siete



**FIG. 1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO**

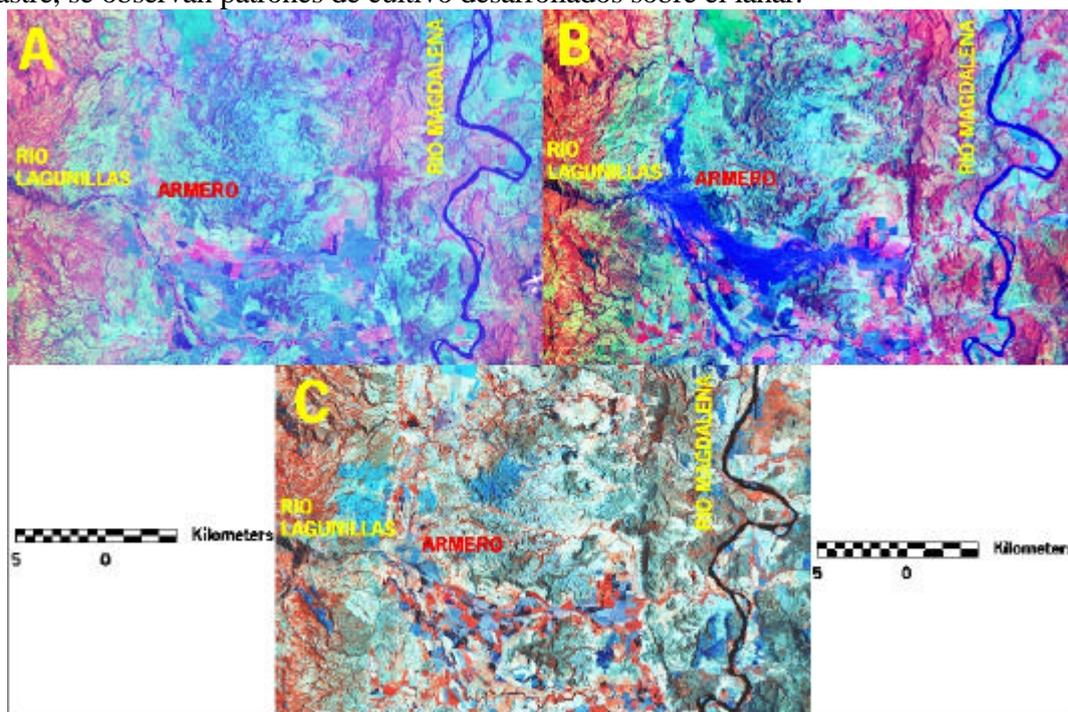
(7) volcanes, los cuales de norte a sur se denominan como Cerro Bravo, Ruiz, El Cisne, Santa Isabel, Quindío, Tolima y Machín (Fig. 2). El arreglo geo-tectónico que conduce al desarrollo de este complejo volcánico, es generado por la interacción de las placas litosféricas de Nazca y Sur América, que facilita la creación de la Mini-placa del Bloque Andino en medio de las mismas. La actividad volcánica es común a lo largo de esta mini-placa, que es un típico margen continental activo (Parra & Cepeda, 1990).

El área de estudio se localiza en la Región Andina Colombiana. Las áreas en los alrededores de las cimas de los siete volcanes, están cubiertas por depósitos piroclásticos y glaciares inconsolidados, que dan condiciones de vida a una cubierta vegetal de baja densidad tipo páramo. Hay bosques primarios creciendo en las laderas oriental y occidental de la Cordillera Central, y patrones de vegetación totalmente alterados por agricultura, ganadería y otras actividades humanas, en las zonas más bajas que coinciden con los valles de los ríos Magdalena y Cauca.



Machín se resaltan con estrellas rojas (Fig. 2). El lahar que sepultó Armero aparece como una mancha azul hacia el noreste.

Aprovechando la resolución temporal del Landsat TM 5, fue posible observar el área de los alrededores de Armero, en sub-escenas tomadas antes (22 de Marzo de 1985, 4 R – 5 V – 2 A, Fig. 3 a) y después (22 de Marzo de 1988, 4 R – 5 V – 2 A, Fig. 3b y 30 de Agosto de 1997, 4 R – 5 V – 7 A, Fig. 3c) del evento de flujo de escombros. En la primera (Fig. 3 a), se distingue la Ciudad de Armero; en la segunda (Fig. 3 b), el lahar que sepultó a la misma se expresa como una mancha azul; y en la última (Fig. 3c), adquirida casi doce años después del desastre, se observan patrones de cultivo desarrollados sobre el lahar.



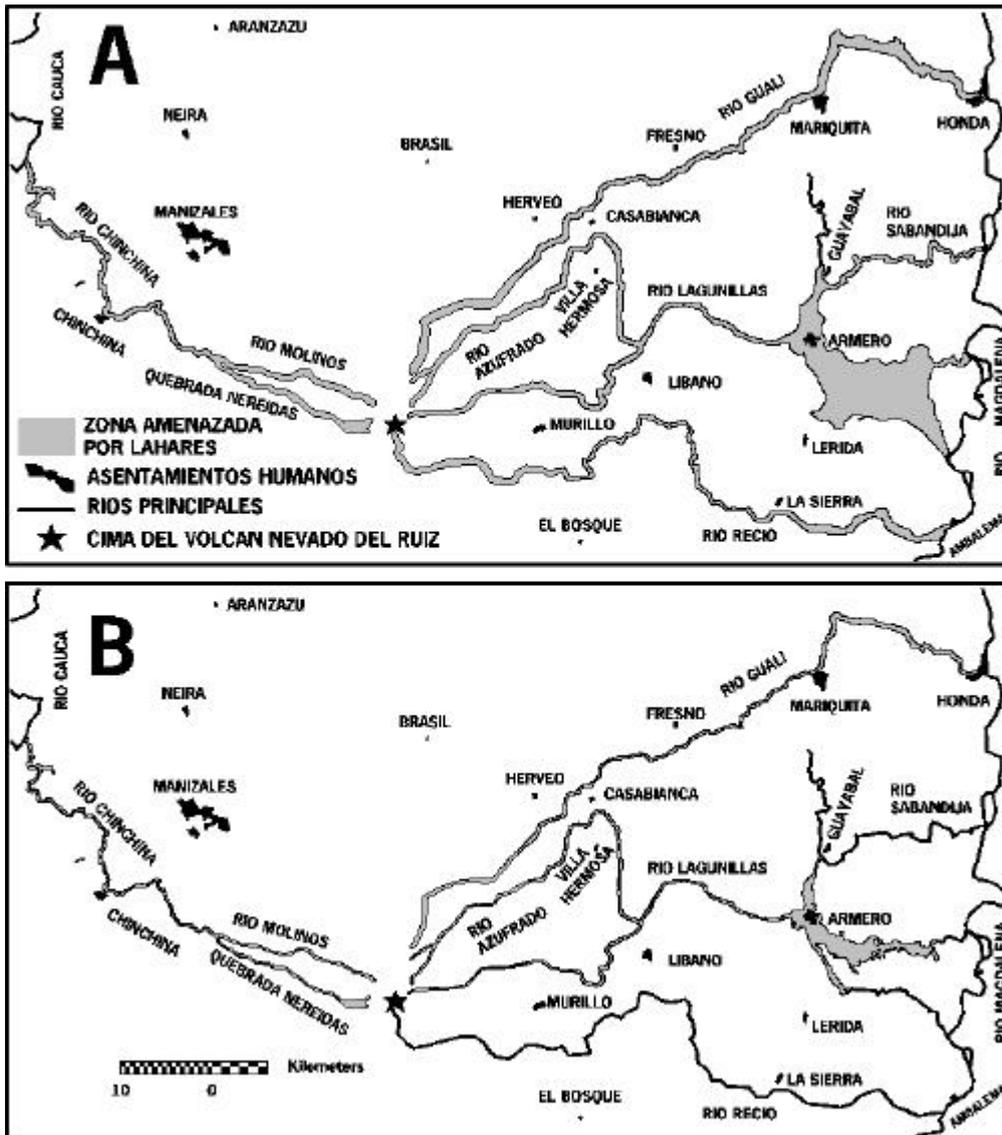
**FIG. 3.** Sub-escenas Landsat TM 5 de los alrededores de Armero, tomadas antes (A. 22/03/1985, 4R – 5V – 2 A) y después (B. 22/03/1988, 4R – 5V – 2 A y C. 30/08/1987, 4R – 5V – 7 A).

#### 4. Amenaza volcánica para lahares

El término lahar es de origen javanés y fue presentado inicialmente por Scrivenor (1929 en Lavigne et al., 2000), quien lo definió como una corriente de lodo (“mudstream”). Posteriormente Van Bemmelen (1949 en Lavigne et al. op cit.) expandió su definición a “un flujo de lodo, que contiene escombros y bloques angulares de origen volcánico predominante”, pero también añadió “...brechas volcánicas transportadas por el agua”. Algunos autores en la actualidad prefieren restringir el uso del término más al flujo, que a su depósito. Tal aplicación de la palabra lahar es consistente con la definición de consenso, a la cual se llegó en una conferencia internacional de sedimentólogos volcánico-clásticos, que lo definió como “...una mezcla fluida y rápida de escombros de roca y agua (diferente del flujo de corriente normal), que proviene de un volcán” (Smith & Fritz ,1989 en Lavigne et al. op cit.).

Dicha definición es la más aceptada en la actualidad, pero no implica que el comportamiento de los flujos que exhibe un lahar sea simple. Así los lahares pueden

involucrar una fase de flujo de escombros, al igual que fases precursoras que son de flujo de corriente hiper-concentrada. Los dos tipos de flujo pueden erodar o depositar a lo largo de un canal; los flujos de escombros son mezclas de sólidos y fluidos, con concentraciones de sedimento generalmente mayores del 50% en volumen y del 80% en peso; en los flujos de corriente hiper-concentrados, estas concentraciones varían del 20 al 60% en volumen y del 40 al 80% en peso (Beverge & Culberston, 1964 en Lavigne et al., 2000). En la literatura colombiana sobre volcanes, los términos lahar, flujo de lodo y flujo de escombros se han usado como sinónimos de manera incorrecta.



**FIG. 4. Areas de amenaza volcánica por lahares en los alrededores del Ruiz, de acuerdo con eventos ocurridos durante las erupciones del 19 de Febrero de 1845 (A) y el 13 de Noviembre de 1985 (B).**

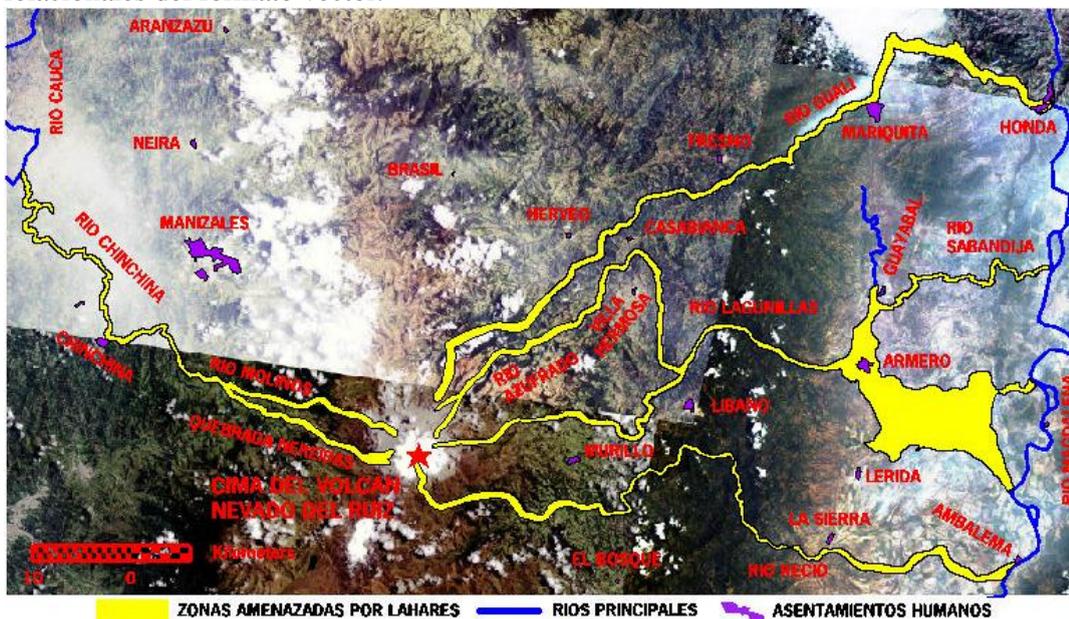
Para el Volcán Nevado del Ruiz, la magnitud de esta clase de evento volcánico depende principalmente del tamaño y tipo de erupción, de la disponibilidad de agua y de material no consolidado en la parte alta del volcán que repentinamente pueda desprenderse, así como del material susceptible de ser incorporado en su camino; también son factores importantes la pendiente y la sinuosidad del cauce de los ríos por donde se desplace el material. La presencia

de depósitos de lahares antiguos en los valles de algunos ríos comprendidos en el área, indica que la posibilidad de ocurrencia de este tipo de evento a lo largo de estos mismos ríos, durante fases eruptivas de alguna importancia, es muy alta (100%) (Parra et al. 1986).

La caída de delgadas capas de ceniza sobre el glaciar del Nevado del Ruiz alrededor del Cráter Arenas, sumado a la ocurrencia de sismos de alta intensidad, pueden producir un aumento en la fusión de la nieve e inestabilidad en los flancos del volcán respectivamente; estos hechos podrían ocasionar lahares e inundaciones comparables con fenómenos mayores ocurridos en la región, sin intervención de la actividad volcánica (Parra et al. op cit.). Sobre el Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Nevado del Ruiz, se modelaron dos escenarios de erupción: el del 13 de noviembre de 1985, y uno similar al del 19 de febrero de 1845, con dimensiones de 2.5 a 3 veces mayores que el primero (Parra et al. 1985, Parra & Cepeda 1990). Las zonas afectables por un evento como el flujo de 1845, se observan coincidiendo con los cursos de los ríos Claro, Lagunillas, Gualí y Recio (Fig. 4 a), mientras el área de influencia del lahar de 1985, se muestra a lo largo de los cursos de los ríos Claro, Lagunillas y Gualí (Fig. 4 b).

### 5. Visualización de bases de datos

Durante el pasado se hizo mucho énfasis en las ventajas de los formatos vector o raster; hoy en día los usuarios SIG pueden beneficiarse de las ventajas de ambos, así como de la posibilidad de migrar información entre los mismos, combinando la flexibilidad y velocidad del procesamiento digital de una imagen raster, con el análisis espacial de las bases de datos relacionales del formato vector.



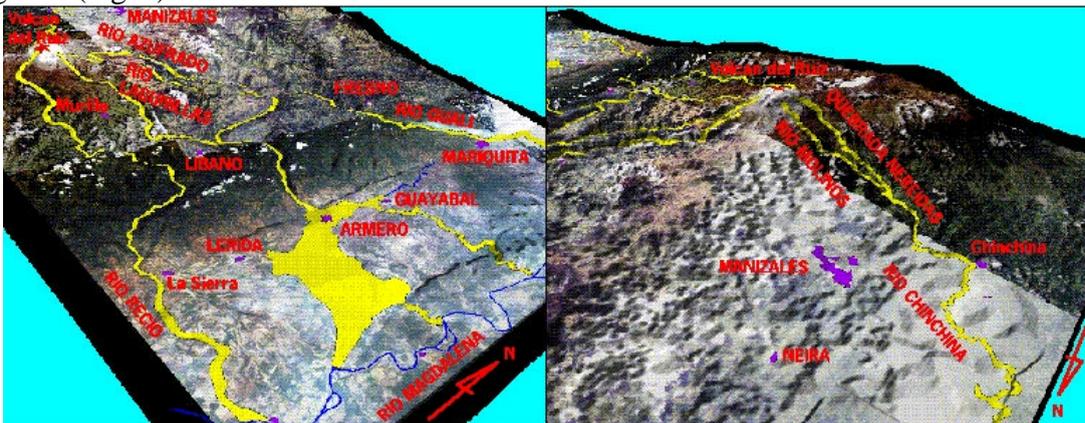
**FIG. 5. Zonas amenazadas por lahares como los del 19 de Febrero de 1845, desplegadas sobre mosaico Landsat TM 5, 3 R – 2 V – 1 A.**

Se ha propuesto la combinación de datos raster con datos vectoriales, como metodología para generar productos que ayuden a mejorar la comunicación entre los volcanólogos y la gente no familiarizada con los volcanes (Villegas 2001 a, Villegas 2002 a, Villegas 2002 b). Los mapas de Amenaza Volcánica por Lahares para el Volcán Nevado del Ruiz (Fig. 4), son juegos de datos vectoriales que representan mediante polígonos, áreas de amenaza volcánica.

El mosaico Landsat TM 5 es un juego de datos raster. Este sistema de percepción remota es el que hasta la fecha ha sido más utilizado para aplicaciones geológicas en Colombia, y muestra mucho potencial para el manejo de situaciones de amenaza geológica generadas por la sedimentación de lahares (Villegas 2001b). Dicho mosaico se presenta en composición de falso color TM3 en rojo, TM2 en verde, TM1 en azul, que emula la visión humana.

La topografía del área de estudio a escala 1:100.000 es un juego de datos vectorial. Como la tercera dimensión (topografía) suele ser la más difícil de percibir, a partir de este mapa se generó un modelo digital de elevación del terreno, promediando las elevaciones de las distintas isolíneas dentro de las celdas de una malla, para crear una matriz digital de las alturas. Esta matriz de salida es un mapa raster.

Al mosaico Landsat TM 5 se le superpusieron los polígonos de amenaza por lahares para el Volcán Nevado del Ruiz, considerando las áreas afectables por un evento como el del 19 de Febrero de 1845 (Fig. 5). Este juego de datos vectoriales y raster se hizo interactuar con el modelo de elevación del terreno, mediante la generación de vistas en perspectiva de las áreas expuestas a amenaza por lahares, donde se emulan todos los parámetros de observación de un observador virtual, tales como localización, altura sobre el nivel del mar, dirección de observación, ángulo del campo de observación, ángulo de visión con respecto de la horizontal (pitch) y exageración vertical del relieve, sobre un paisaje que también es simulado por el programa (Fig. 6).



**Fig. 6. Vistas en perspectiva de zonas amenazadas por lahares en el área de influencia del Volcán Nevado del Ruiz.**

Este es uno de los usos más interesantes de la topografía en ambiente SIG y se denomina visualización de bases de datos. Tal aplicación tiende a convertirse en la manera más común de desplegar información, permitiendo que datos complejos como aquellos relacionados con la amenaza volcánica del Volcán Nevado del Ruiz, sean más fácilmente entendidos por planeadores, políticos y el público en general. Los programas SIG disponibles comercialmente en la actualidad, no solamente le permiten a sus usuarios generar vistas en perspectiva de juegos de datos vector y raster, sino también vuelos virtuales a través de ellos (Brooke, 2001).

## 6. Conclusiones

Los sensores Landsat TM, a pesar de sus resoluciones espacial y temporal bajas, se constituyen en una herramienta de percepción remota muy útil, para el manejo de situaciones de amenaza geológica generadas por la sedimentación de lahares. Para el tiempo en que la

erupción del Volcán Nevado del Ruiz desencadenó el lahar de Armero, el acceso a este tipo de imágenes de satélite, habría sido de gran ayuda en las labores de mitigación del desastre.

Los productos generados combinando datos de teledetección, con mapas de amenaza volcánica y modelos digitales de elevación del terreno, son cruciales en la gestión de amenazas generadas por procesos volcánicos, para educar y comunicarse con quienes son responsables de la seguridad pública, durante cualquier situación de crisis volcánica.

Los sistemas de información georreferenciada pueden utilizarse como una tecnología de comunicación, para apoyo de programas de educación continua sobre los volcanes y sus amenazas, dirigidos a responsables de la seguridad pública y ciudadanos comunes expuestos a amenaza volcánica.

### **Agradecimientos**

El autor desea expresar sus más sinceros agradecimientos a INGEOMINAS, por haber facilitado los equipos para realizar el procesamiento digital de las imágenes Landsat TM 5, al igual que las coberturas vectoriales de amenaza volcánica, que son tema del presente estudio.

### **Referencias**

- Anónimo, 1986. Estadísticas sobre lo que fue Armero hasta la noche del 13 de noviembre. Secretaría de Información y Prensa de la Presidencia de la República, eds. *El Volcán y la Avalancha, 13 de Noviembre de 1985*, p. 52-55, Presidencia de la República, Bogotá, Colombia.
- Brooke, G., 2001. Not just visualization – simulation.- *Geoinformatics*, july-august, p. 6-9, Emmeloord, Holanda.
- Drury, S.A., 1987. *Image interpretation in Geology*. 243 p, Allen & Unwin Ltd, Londres, Inglaterra.
- Fisher, R.V., Heiken, G. & Hulen, J.B., 1997. *Volcanoes crucibles of change*. Princeton University Press, 317p.
- Lavigne, F., Thouret, J.C., Voight, B., Suwa, H. & Sumaryono, A., 2000. Lahars at Merapi Volcano, Central java: an overview.- *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 100, p. 423-456, Amsterdam, Holanda.
- Parra, E., Cepeda, H. & Thouret, J.C., 1986. Mapa actualizado de amenaza volcánica potencial del Nevado del Ruiz, INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.
- Parra, E. & Cepeda, H., 1990. Volcanic hazard maps of the Nevado del Ruiz Volcano.- *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 42, p. 117-127, Amsterdam, Holanda.
- Pierson, T.C., Janda, R.J., Thouret, J.C. & Borrero, C., 1990. Perturbation and melting of snow and ice by the 13 november 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow and deposition of lahars. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 41: 17-66, Amsterdam, Holanda.
- Villegas, H., 2001 a. Educating policy makers about volcanic hazards.- *Imaging Notes*, v. 16, 5, p. 18-20, Thornton, U.S.A.
- Villegas, H., 2001 b. Interpretación detallada y visualización en tres dimensiones, del flujo de escombros de noviembre 13 de 1985 en Armero (Tolima, Colombia), utilizando imágenes de satélite Landsat TM 5.- *Geología Colombiana*, 26, p. 177-188, Bogotá, Colombia.
- Villegas, H., 2002 a. 3D visualization of volcanic hazards.- *GIM International*, v. 16, p. 61-63, Lemmer, Holanda.
- Villegas, H., 2002 b (en preparación). Visualización en tres dimensiones, los mapas de amenaza volcánica educan al ciudadano común.- *Boletín de Geología Universidad Industrial de Santander*, v. 24, 39, Bucaramanga, Colombia
- Voight, B., 1990. The 1985 Nevado del Ruiz Volcano catastrophe: anatomy and retrospection.- *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 44, p. 151-188, Amsterdam, Holanda