

# VISUALIZACIÓN EN TRES DIMENSIONES, LOS MAPAS DE AMENAZA VOLCÁNICA EDUCAN AL CIUDADANO COMÚN

Villegas, H.<sup>1</sup>

## RESUMEN

Hasta el mapa de amenaza volcánica más confiable, será de poca utilidad si es presentado de una forma que no lo haga útil para políticos, oficiales que manejan situaciones de emergencia y ciudadanos comunes. Se realizó la superposición del Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Nevado del Ruiz (Colombia), sobre imágenes Landsat TM y modelos digitales de elevación, para generar vistas en perspectiva que hagan comprensibles para el público en general, las situaciones de amenaza volcánica.

Esta metodología de visualización en tres dimensiones, podría utilizarse en cualquier mapa de amenaza volcánica disponible. Los productos generados ayudan a mejorar la comunicación entre vulcanólogos y gente no familiarizada con los volcanes, para evitar confusiones, malos entendidos y malas relaciones entre científicos y personas a cargo de la seguridad pública, durante cualquier crisis de emergencia volcánica.

**Palabras clave:** Teledetección, visualización en tres dimensiones, amenaza, mapas de amenaza volcánica, comunicación, Volcán Nevado del Ruiz.

## ABSTRACT

Even the most reliable volcanic hazard map will be of little use, unless it is presented in terms that are useful to politics, emergency management officials and citizens. The Volcanic Hazard Map of the Nevado del Ruiz Volcano (Colombia), was superimposed on Landsat TM 5 data and digital elevation models, in order to generate perspective views for making the volcanic hazard situations comprehensible to the common people.

This 3-D visualization methodology could be used with any volcanic hazard map available. The products generated help to improve the communication between volcanologists and people not familiar with volcanoes, in order to avoid confusion, misunderstanding and strained relations between scientists and persons responsible for the public welfare, during any volcanic emergency crisis.

**Key words:** Remote sensing, 3-D visualization, hazard, volcanic hazard maps, communication, Nevado del Ruiz Volcano.

---

<sup>1</sup>INGEOMINAS, Subdirección de Reconocimientos Geocientíficos,  
Diagonal 53 No. 34-53, Bogotá - Colombia. Correo electrónico: henville@ingeomin.gov.co

## INTRODUCCIÓN

En regiones remotas y poco pobladas, las erupciones volcánicas rara vez causan impacto humano o socio-económico, pero los procesos de amenaza asociados con erupciones o con áreas más habitadas, pueden producir problemas serios. A comienzos de la década de los noventa, se esperaba que la población sujeta a amenaza volcánica se incrementara por lo menos hasta los 500 millones, una cifra comparable con la población mundial estimada para comienzos del siglo XVII (Tilling & Lipman, 1993). El crecimiento de la población exige que la gente continúe habitando y propagándose en áreas de amenaza alta, algunas de las cuales son de considerable valor agrícola y económico. Como resultado, se espera que sigan aumentando los daños causados por catástrofes naturales (Voight, 1990). La erupción cataclística de 1980 del Mount St. Helens en el suroeste de Washington, inició una década marcada por más crisis y desastres volcánicos que cualquier otra de la historia registrada. Los volcanes mataron cerca de 28.500 personas en los ochentas, más que durante los 78 años precedentes, contados a partir de la erupción de Mont Pelée (*Martinica*) en 1902 (Wright & Pierson, 1992).

El Volcán Nevado del Ruiz, con una altura de 5370m sobre el nivel del mar, se localiza en el tercio central de la Cordillera Central de Colombia. Hace parte del Parque Nacional Natural Los Nevados (Garcés & De la Zerda, 1994), y del Complejo Volcánico Ruíz-Tolima, que se extiende por 60Km en la cima de la parte central de la Cordillera Central, y se compone de norte a sur por los volcanes Cerro Bravo, Ruiz, El Cisne, Santa Isabel, Páramo de Santa Rosa, Tolima, Quindío y Machín. Es un volcán activo de forma elíptica, con 12 a 15Km de diámetro mayor, un área de 20Km<sup>2</sup>, pendientes laterales de 20° a 35° y una cima relativamente plana donde se encuentra el Cráter Arenas. Se ubica 28Km al sureste de la Ciudad de Manizales; sus laderas están cubiertas por un casquete glaciar de 21Km<sup>2</sup> que desciende hasta los 4800m de altura, donde nacen los ríos Gualí, Azufrado, Lagunilla, Recio y Claro (FIGURA 1).

Su erupción volcánica del 13 de noviembre de 1985 fue la peor de esa década. Una secuencia compleja de masas de flujos de escombros calientes y secos,

moviéndose como fluidos, fue eruptada por el volcán; dichos materiales calientes interactuaron con nieve y hielo en el casquete glaciar del Ruiz, desencadenando masas de escombros de roca saturadas en agua, que descendieron por sus laderas como concreto húmedo. Estos materiales húmedos son denominados flujos de lodo, lahares o flujos de escombros.

Con estos lahares, considerados los más letales de la historia registrada, la erupción del Ruiz representa el peor desastre volcánico desde la erupción de Mont Pelée, y el segundo del siglo XX, con una tasa de mortandad que le ubica en el cuarto lugar de la historia de la humanidad (TABLA 1). El Municipio de Armero, localizado en las inmediaciones del cañón de desembocadura del Río Lagunillas, aproximadamente a 74 Km (*45 millas*) aguas abajo de la cima del cráter del Ruiz, fue virtualmente borrado del mapa (FIGURA 2) y el 75% de sus habitantes pereció. En un lapso de cuatro horas desde el comienzo de la erupción, las masas de lahares descendieron 5100 m (*16.830 pies*) a lo largo de diferentes ríos, viajaron cerca de 104 Km (*64 millas*) y alcanzaron velocidades de aproximadamente 12 m/s (*40 pies por segundo*) (Pierson et al., 1990). La ruta de destrucción dejó 23080 personas muertas o desaparecidas, 4420 heridos, 5092 casas destruidas, 229.154 personas damnificadas, y 3400 hectáreas (*8389 acres*) de tierra apta para agricultura sepultadas (Anónimo, 1986).

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

LOCALIZACIÓN	FECHA	TASA DE MORTANDAD
Tambora (Indonesia)	1815	92000 personas
Krakatoa (Indonesia)	1883	36000 personas
Mount Pelée (Martinica)	1902	28000 personas
<b>Armero (Colombia)</b>	<b>1985</b>	<b>23000 personas</b>

Las decisiones respecto al acceso y la evacuación de un área expuesta a amenaza volcánica, suelen ser responsabilidad de oficiales del gobierno local y comités de emergencia o personal de la Defensa Civil. Tales decisiones implican costos económicos y sociales enormes, y suelen ser resistidas por la comunidad local. Infelizmente, es difícil la comunicación entre los científicos que estudian los

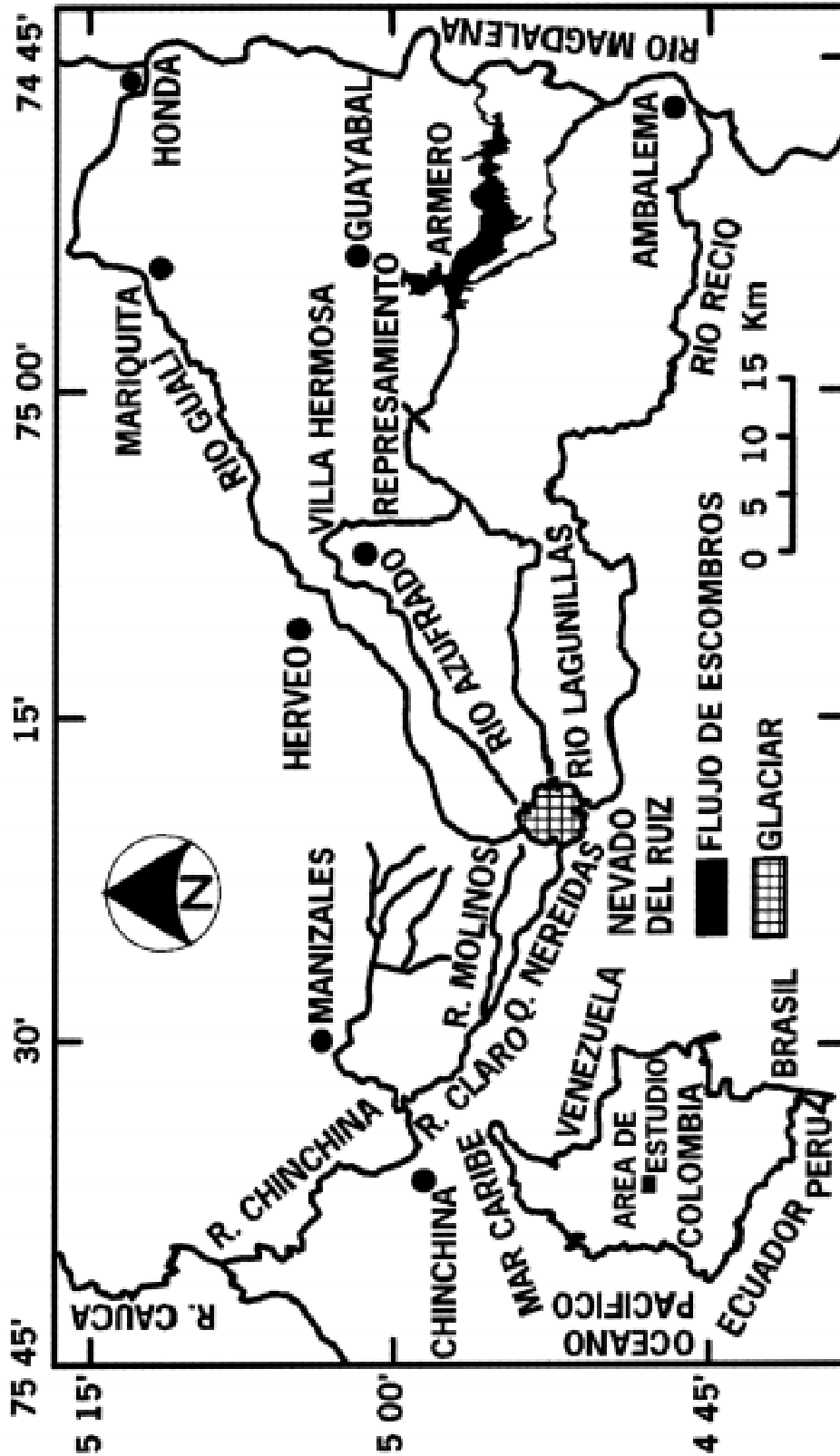


FIGURA 1. Localización del Area de Estudio.

desastres, y los pragmáticos tomadores de decisiones (Voight, 1990). Con mucha frecuencia, los vulcanólogos deben asumir el complejo papel de explicar las incertidumbres de las amenazas volcánicas, a un público no familiarizado con los volcanes. Este proceso suele generar confusión, malos entendidos y relaciones tensas entre científicos y funcionarios responsables de la seguridad social (Peterson, 1988).

Hasta el mapa de amenaza volcánica más confiable será de poca utilidad si no es presentado de manera que sea comprensible para políticos, comités de emergencia y ciudadanos comunes. Los datos de percepción remota, usados con información del terreno, se han constituido en la mejor manera de ayudar a los gestores de decisiones, a intervenir de manera adecuada en la mitigación de situaciones de amenaza volcánica. Este trabajo trata sobre la generación de vistas en tres dimensiones de mapas de amenaza volcánica, como una aplicación de gran relevancia didáctica y gran potencialidad de difusión, para reducir el impacto de futuras erupciones.

### **El Mapa de Amenaza Volcánica del Nevado del Ruiz**

Las erupciones volcánicas no son muy frecuentes, y pocas se espera que ocurran durante la vida de una persona. Pueden acontecer de forma súbita, con señales previas ausentes o muy escasas; sus efectos más destructivos suelen estar limitados a áreas de algunas decenas de kilómetros desde la cima de un volcán, hacia sus relieves más bajos, o definidas por las direcciones preponderantes de los vientos, en los alrededores de cualquier cono volcánico (Mullineaux, 1981).

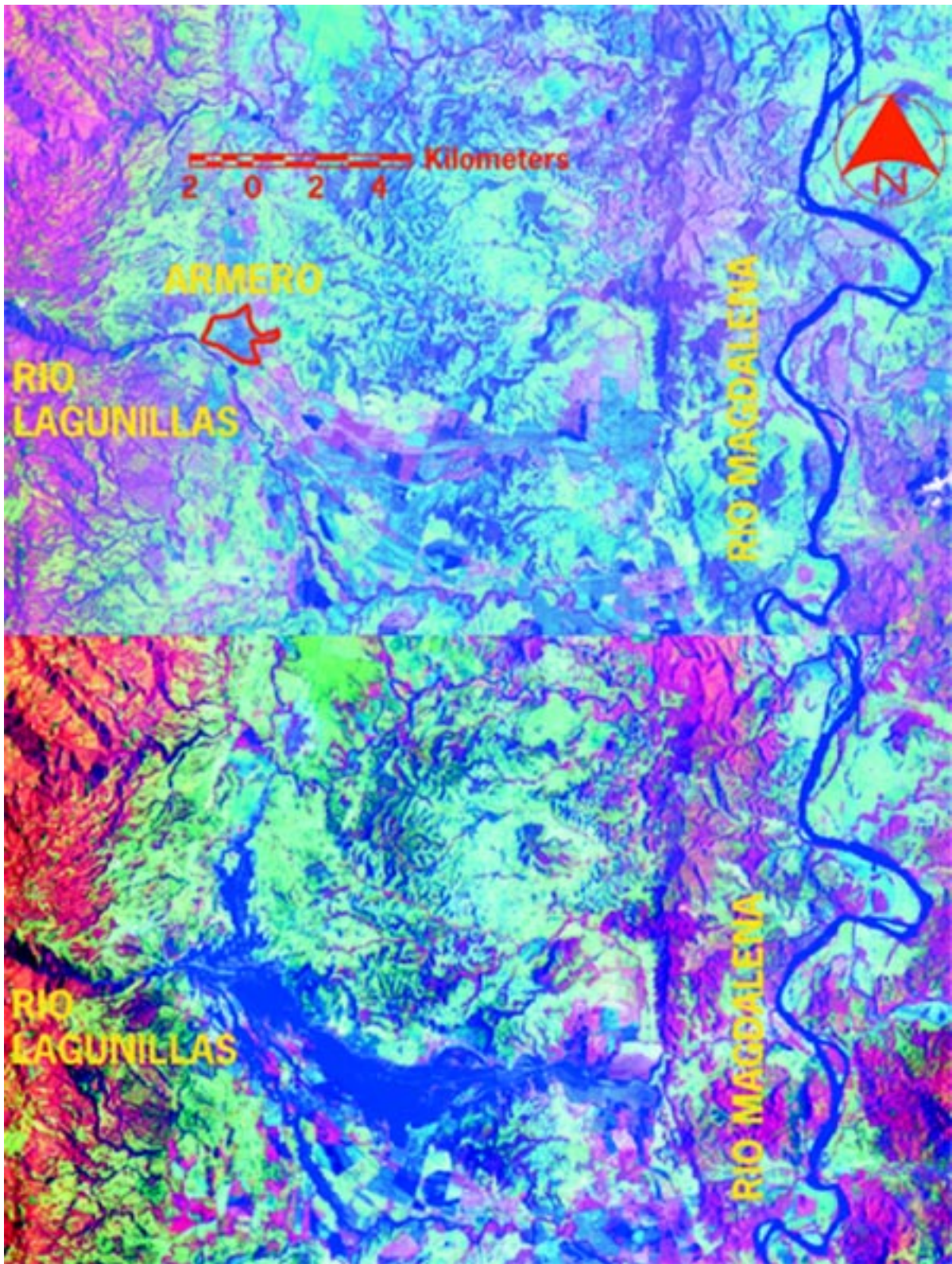
Los mapas de zonas de amenaza volcánica, son tal vez la información más comprensible para que el público en general, las autoridades del gobierno y los ciudadanos comunes, puedan realizar planes para las posibles situaciones de emergencia. Los geólogos pueden determinar la historia eruptiva y de catástrofes de un volcán, a partir de la cartografía y datación del material que ha expelido, del cual es posible deducir la naturaleza, tamaño y frecuencia de sus eventos antiguos (Wright & Pierson, 1992).

Esta historia puede utilizarse para predecir el tipo y probabilidad de ocurrencia de eventos futuros. La forma más común de presentar la historia de un volcán y su actividad futura potencial, es un mapa donde se delimiten zonas de amenaza para tipos específicos de procesos volcánicos o hidrológicos. Estas zonas definen porciones del terreno susceptibles de ser afectadas por un evento dado, y deben predecir un intervalo de recurrencia del mismo (Wright & Pierson, 1992). Estos mapas deben actualizarse de manera permanente, para incorporarles el comportamiento actual del volcán, al igual que técnicas mejoradas para el manejo de la amenaza (Parra & Cepeda, 1990).

El Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Nevado del Ruiz (Parra et al., 1986, Parra & Cepeda, 1990), muestra diferentes zonas expuestas a fenomenologías volcánicas características de dicho volcán (FIGURA 3); los colores representan el grado de amenaza en cada zona, que varía desde alto (color rosado), hasta medio (anaranjado) y bajo (amarillo). Los achurados muestran áreas que podrían ser afectadas por procesos volcánicos específicos, tales como flujos de lava, flujos piroclásticos y lahares; con líneas se definen porciones del terreno potencialmente afectables por caída de cenizas o explosiones laterales dirigidas. Dicho mapa se simplificó con el fin de hacer énfasis en la severidad de la amenaza de cada zona, para hacerlo más comprensible al público en general (FIGURA 4).

### **Metodología de Trabajo**

Las imágenes de teledetección con resolución espacial de 1 m (satélite IKONOS), disponibles para uso comercial desde finales de 1999, parecen ser el sistema sensor más adecuado para dar respuesta a situaciones de emergencia volcánica, mientras que las imágenes de radar tienen la capacidad de monitorear erupciones volcánicas durante la noche. Dado que el Landsat TM 5 es el sistema de percepción remota que hasta la fecha ha sido más utilizado para aplicaciones geológicas en Colombia, se ensambló un mosaico con las cuatro escenas que registran el área de influencia del volcán, en composición de falso color TM3 en rojo, TM2 en verde, TM1 en azul, que emula la visión humana, para superponerle los polígonos del mapa de amenaza volcánica (FIGURA 4).



**FIGURA 2.** Estas imágenes Landsat TM 5 (4 en rojo, 5 en verde, 2 en azul) muestran la ubicación de la población de Armero (Colombia), antes de la erupción del Volcán Nevado del Ruiz (arriba) y después de haber sido sepultada por lahares (abajo).



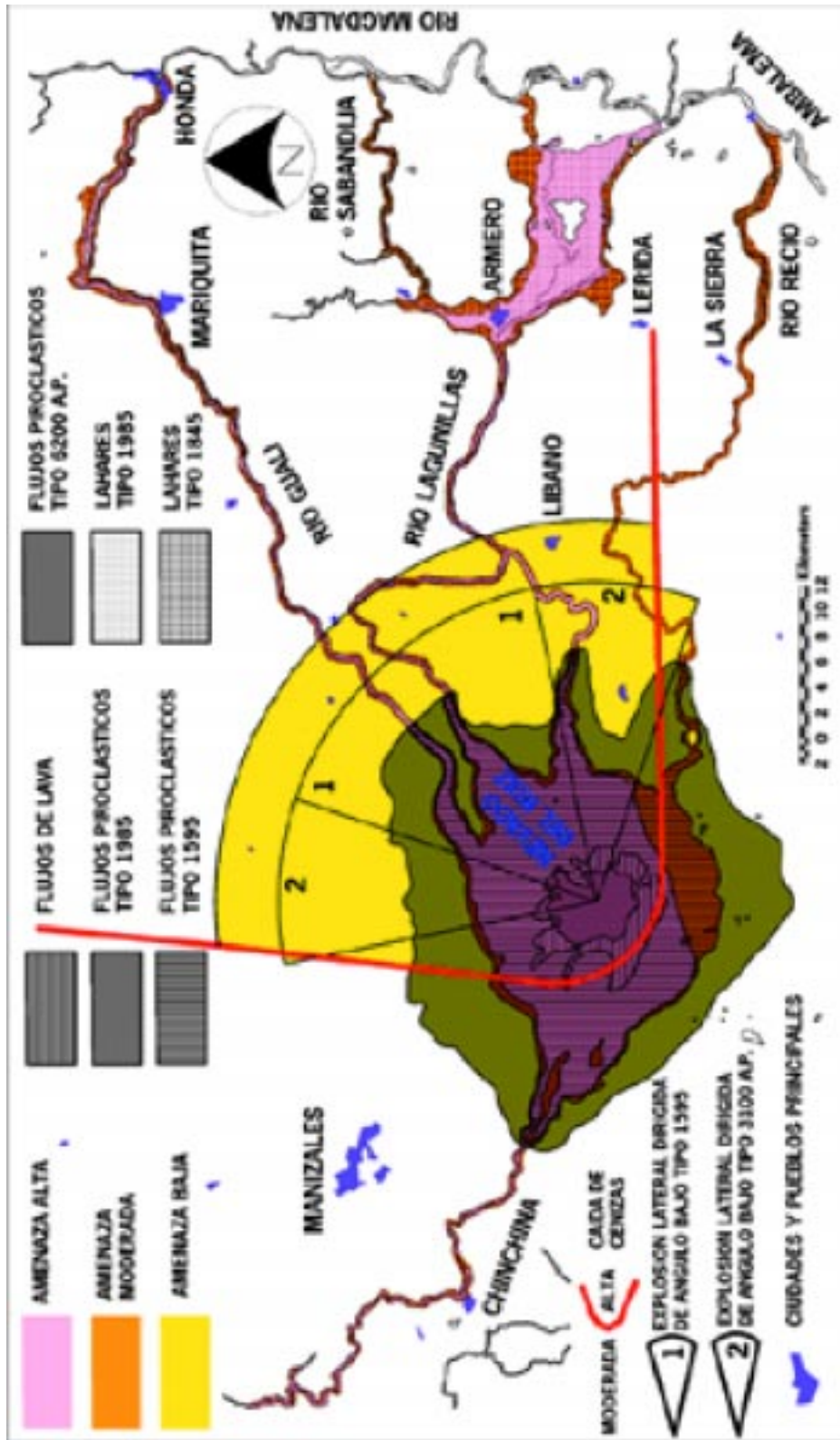


FIGURA 3. Este Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Nevado del Ruiz muestra áreas expuestas a amenaza por flujos piroclásticos o de lava, explosiones laterales dirigidas, cenizas volcánicas o lahares (modificado de Parra et al., 1986).





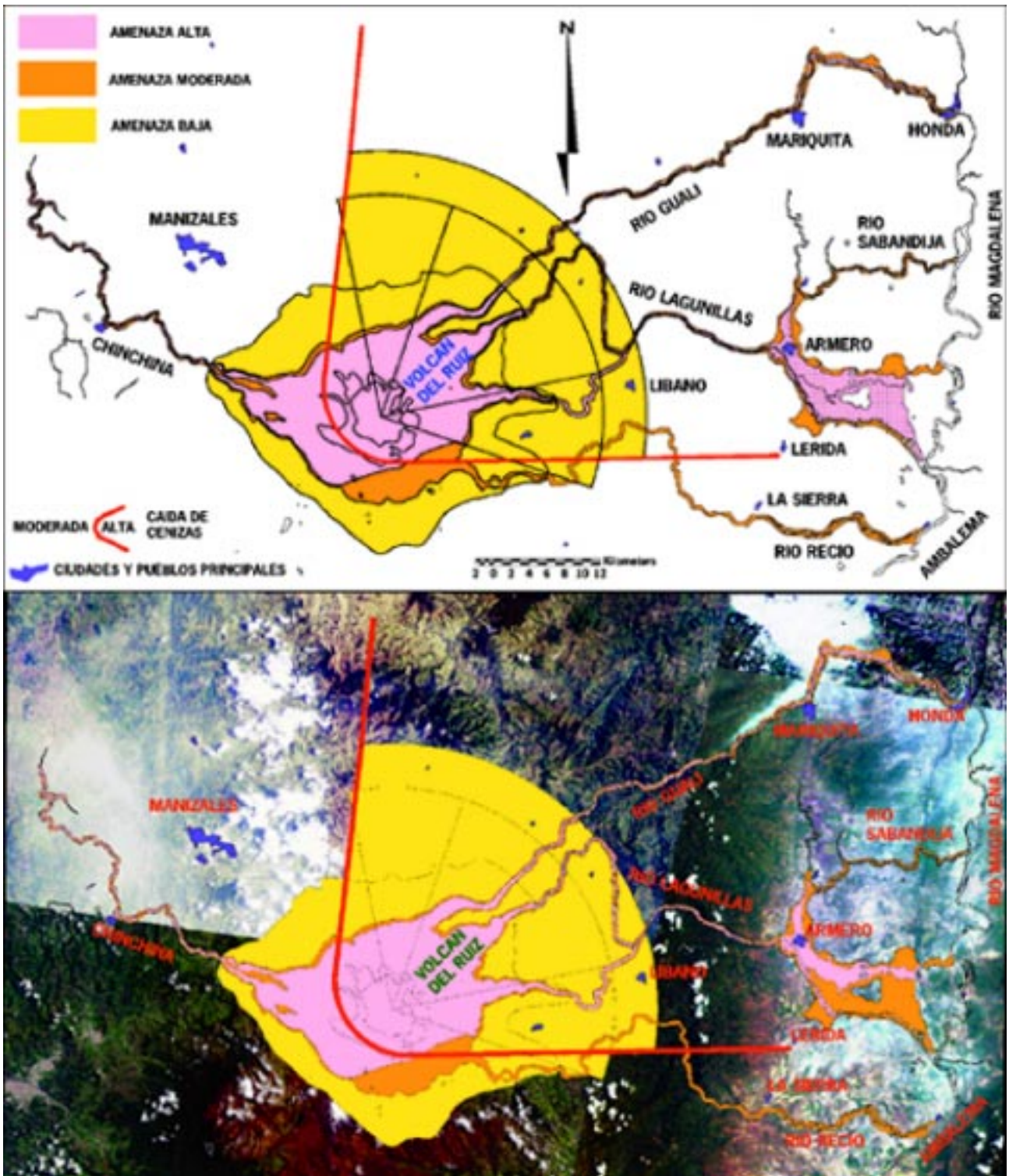


FIGURA 4. Un mapa de amenaza volcánica simplificado del Volcán Nevado del Ruiz fue desplegado sobre cuatro escenas Landsat TM (3 en rojo, 2 en verde, 1 en azul) para crear este mosaico.



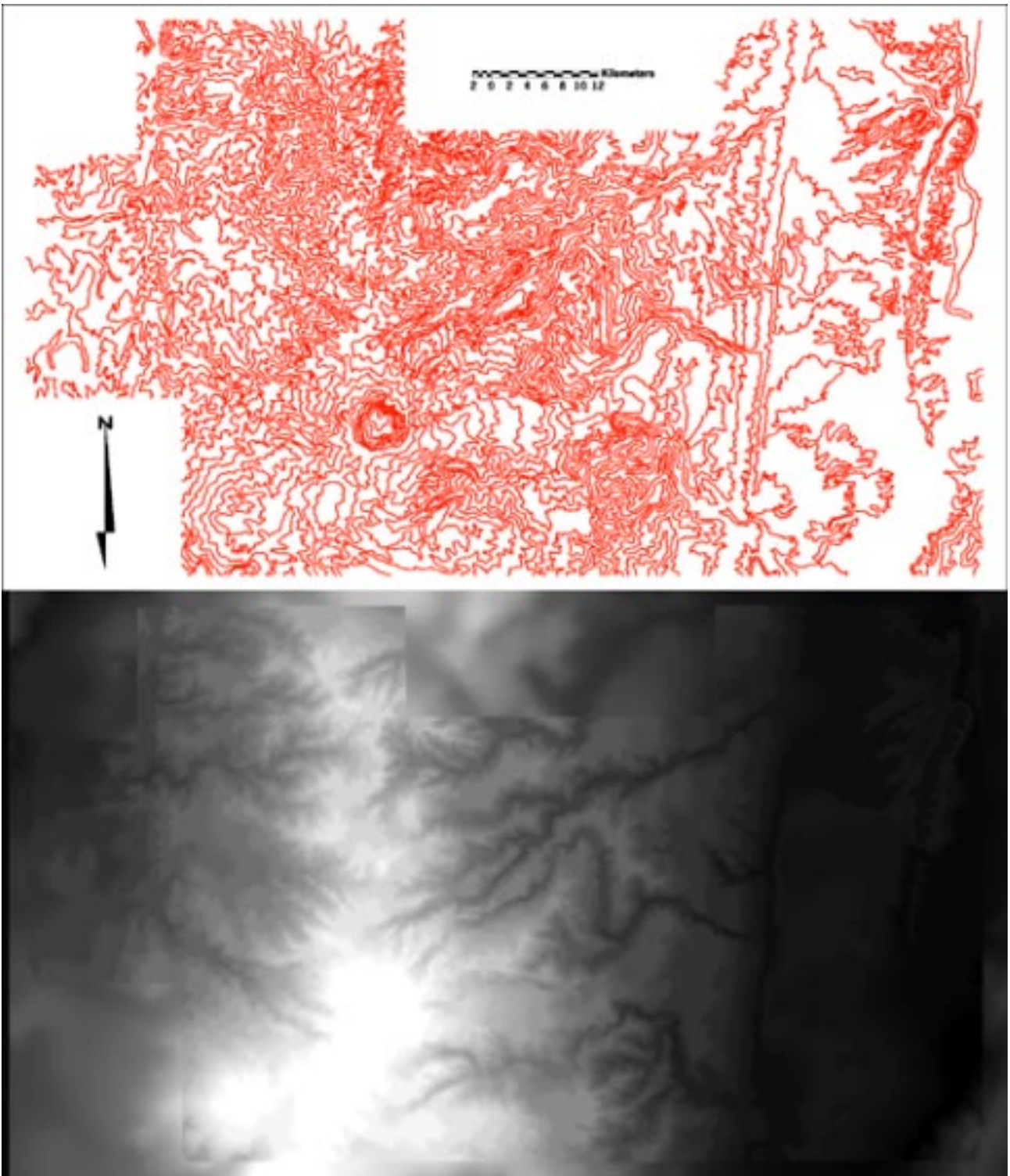


FIGURA 5. Mapa topográfico de los alrededores del Volcán Nevado del Ruiz (arriba) y su modelo digital de elevación del terreno (abajo).



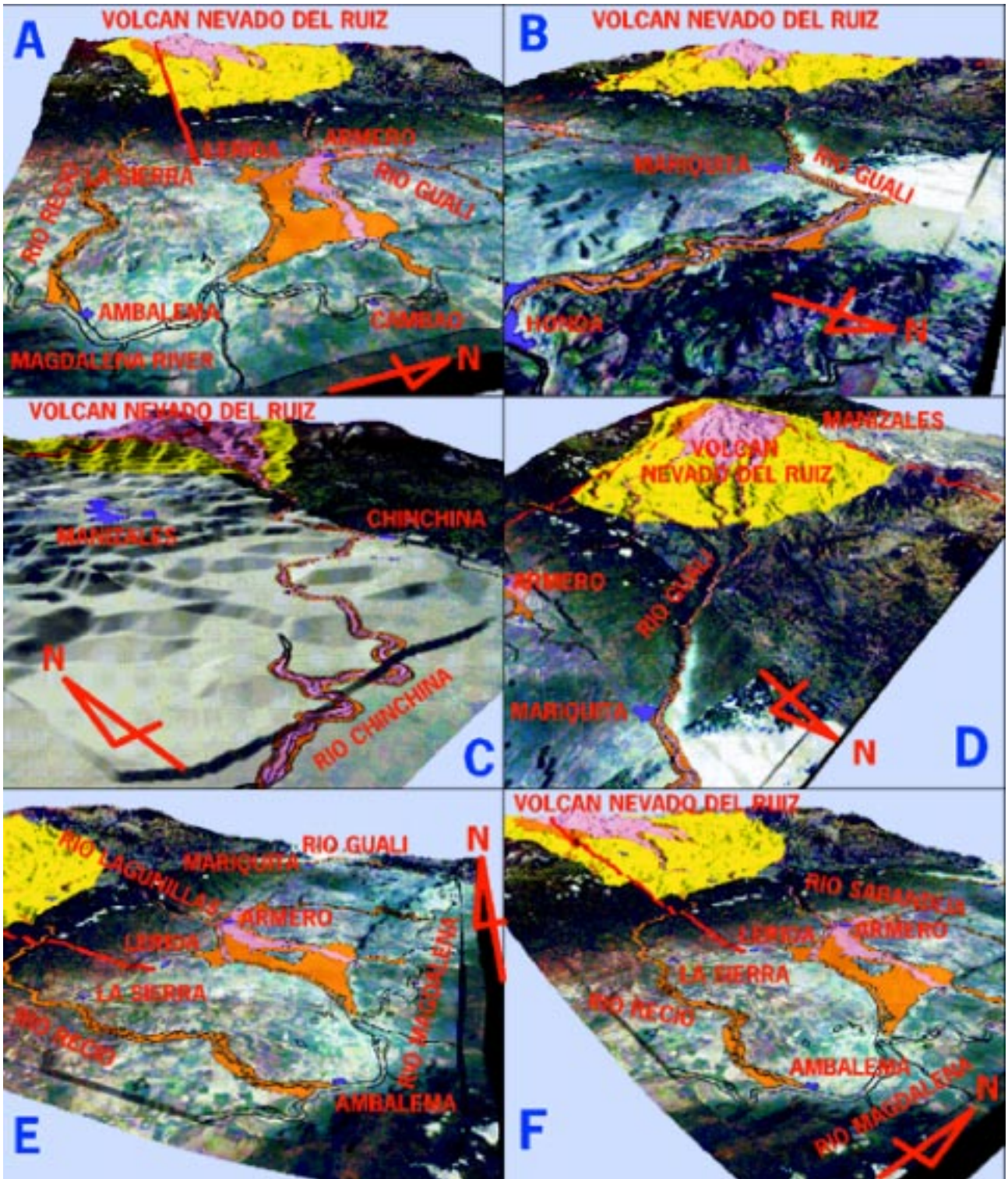


FIGURA 6. Vistas en perspectiva de las zonas de amenaza y el paisaje circundante, que ayudan a los funcionarios del gobierno a tomar mejores decisiones sobre el manejo de las emergencias y a informar al público en general sobre amenazas volcánicas específicas.



Como los ciudadanos comunes tienen dificultad para percibir rasgos en tres dimensiones, los mapas de amenaza volcánica utilizan datos de elevación y representaciones gráficas (colores y achurados), para mostrar rasgos tridimensionales en formato bidimensional.

La topografía del área de estudio a escala 1:100.000, es un mapa vectorial que contiene datos representados por coordenadas, los cuales se organizan como sucesiones de puntos denominadas líneas (curvas de nivel), que tienen longitud pero carecen de área (FIGURA 5). Como la tercera dimensión (topografía) suele ser la más difícil de percibir, a partir de este mapa topográfico se generó un modelo digital de elevación del terreno, promediando las elevaciones de las isólinas dentro de las celdas de una malla, mediante la función Linear Rubber Sheeting del programa ERDAS versión 8.4, para crear una matriz digital de dichas alturas (FIGURA 5).

Esta matriz digital de salida o modelo de elevación del terreno es un mapa raster, donde los elementos se organizan en forma de malla o red, y cada celda tiene localización definida por un sistema de coordenadas tipo línea (row) y columna (column), representadas por X y Y respectivamente. El nombre dado a cada celda es "píxel", derivado del inglés "picture element". Estas tienen un atributo numérico Z, que indica sus niveles de gris variando de negro a blanco, correspondientes con un número digital específico, que en el caso de los modelos de elevación coincide con la altura expresada en metros, donde los tonos más oscuros corresponden con las elevaciones menores, mientras los más claros muestran las mayores. En este mapa raster los píxeles tienen una dimensión de 30m de lado, coincidente con la resolución espacial del Landsat TM 5.

Los mapas en formato digital mejoran la capacidad de los científicos para relacionar áreas de amenaza con el paisaje, al igual que la habilidad de los vulcanólogos para comunicarse con el público en general. Mediante la superposición de diferentes zonas de amenaza sobre datos de percepción remota y modelos digitales de elevación del terreno, los científicos pueden crear vistas en perspectiva de las áreas expuestas a amenaza, donde se emulan todos

los parámetros de visión de un observador virtual, tales como localización, altura sobre el nivel del mar, dirección de observación (azimut), ángulo del campo de observación (ACO), ángulo de visión con respecto de la horizontal (pitch) y exageración vertical del relieve, sobre un paisaje que también es simulado por el programa (FIGURA 6).

La visualización en tres dimensiones se realizó con la función Image Drape del programa ERDAS versión 8.4. La tabla 2 muestra los parámetros característicos de cada vista.

## CONCLUSIONES

Los datos de percepción remota utilizados conjuntamente con información del terreno ofrecen cantidad de aplicaciones para la gestión de amenazas generadas por procesos volcánicos. En el momento en que la erupción del Volcán Nevado del Ruiz desencadenó los lahares catastróficos en Colombia, el acceso a datos Landsat TM 5 o de cualquier otro sensor disponible habría jugado un papel muy importante en la mitigación del desastre.

Los productos generados superponiendo mapas de amenaza volcánica, sobre datos de percepción remota y modelos digitales de elevación del terreno, son cruciales para educar y comunicarse con quienes son responsables de la seguridad pública, durante cualquier situación de crisis volcánica.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a INGEOMINAS, por haberle suministrado la infraestructura y el tiempo, para procesar las imágenes Landsat TM 5 y las coberturas de información tema de este trabajo, y por haber asumido los costos que demandó la impresión de las figuras en color. Igual mención merece el Dr. Massimo Mattera de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (España), por sus aportes para mejorar el manuscrito y sus figuras.

**TABLA 2.** Parámetros característicos de las diferentes vistas en tres dimensiones del Mapa de Amenaza Volcánica del Nevado del Ruiz (FIGURA 6).

<b>VISTA</b>	<b>UBICACIÓN OBSERVADOR</b>	<b>EXAGERACIÓN VERTICAL</b>	<b>ALTURA (metros)</b>	<b>AZIMUT (grados)</b>	<b>ACO (grados)</b>	<b>PITCH (grados)</b>
<b>A</b>	Sur-Este	2	16000	285	70	-35
<b>B</b>	Nor-Este	2	10000	238	60	-25
<b>C</b>	Nor-Oeste	2	10000	135	50	-23
<b>D</b>	Nor-Este	2	30900	230	70	-50
<b>E</b>	Sur-Este	2	20000	338	60	-36
<b>F</b>	Nor-Este	2	20000	308	60	-35

## REFERENCIAS

ANONIMO, (1986). Estadísticas sobre lo que fue Armero hasta la noche del 13 de noviembre. En: Secretaria de Información y Prensa de la Presidencia de la República (Ed.): El Volcán y la Avalancha, 13 de Noviembre de 1985, p. 26-32, Presidencia de la República, Bogotá D.E.

Garcés, G. DE LA ZERDA, S., (1994). Gran Libro de los Parques Nacionales de Colombia. Intermedio Editores, Bogotá. 230P.

Mullineaux, D.R., (1981). Hazards from volcanic eruptions, Facing geologic and hydrologic hazards, edited by W.W. Hays, U.S. Geological Survey, Prof. Pap. 1240-B, 86-101.

Parra, E., Cepeda, H. Thouret, J.C., (1986). Mapa Actualizado de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado del Ruiz. INGEOMINAS.

Parra, E., Cepeda, H., (1990). Volcanic hazard maps of the Nevado del Ruiz Volcano, Colombia. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 42: 117-127.

Peterson, D.W., (1988). Volcanic hazards and public response. Journal of Geophysical Research, Vol. 93, No. B5: 4161-4170.

Pierson, T.C., Janda, R.J., Thouret, J.C. Borrero, C.A., (1990). Perturbation and melting of snow and ice by the 13 november 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, glow and deposition of lahars. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 41: 17-66.

Tilling, R.I., Lipman, P.W., (1993). Lessons in reducing volcano risk. Nature, 364: 277-280.

Voight, B., (1990). The 1985 Nevado del Ruiz Volcano catastrophe: anatomy and retrospection. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 44: 349-386.

Wright, T.L., Pierson, T.C., (1992). Living with volcanoes. U.S. Geological Survey, Circular 1073, 58p.

---

*Trabajo recibido: 11 de diciembre de 2001*

*Trabajo aceptado: 30 de enero de 2002*