

### **8-2-5 Reconocimiento en campo sobre la Geomorfología y Geología Volcánica**

Con base en los resultados de la interpretación de fotografías aéreas y los resultados del análisis y organización de las literaturas existentes, se seleccionaron los siguientes puntos de reconocimiento en campo y se llevó a cabo el trabajo.

#### **1) Depósito del Flujo Piroclástico**

Dada la particular importancia que revisten la probabilidad de ocurrencia y el área afectada por el flujo piroclástico en el proceso de análisis de amenazas volcánicas, se examinaron ampliamente los documentos disponibles. En vista de la discrepancia en opiniones acerca de estos documentos en cuanto a si ocurrió o no un flujo piroclástico, el Equipo de Estudio decidió revisar in-situ las evidencias de los depósitos del flujo piroclástico.

De acuerdo con la investigación geológica realizada en el 2000, por el Servicio Geológico de la República Checa, se distribuye extensivamente los depósitos de flujo piroclástico no clasificado sobre el perímetro del complejo volcánico Telica. Además, se tiene ilustrado que el origen del depósito de flujo piroclástico del Volcán El Hoyo se distribuye ampliamente en la parte sur del Complejo Volcánico El Hoyo.

La investigación del Servicio Geológico Checo identificó que el depósito de flujo piroclástico se distribuyó sobre el complejo volcánico Telica; sin embargo, en el lugar, el Equipo de Estudio sólo encontró el flujo de lava de andesita o deisaito y no el depósito de flujo piroclástico.

Si bien es cierto que el depósito de flujo piroclástico que ha sido identificado por el Equipo de Estudio de Checo en el Complejo Volcánico Telica es cuestionable en cuanto a su distribución, se identificó en el sitio otro depósito de flujo piroclástico. Según el Equipo de Estudio de Checo, este depósito tiene su origen en el Volcán El Hoyo, se encontró que en realidad su origen estaba en el Monte Galán (caldera).

#### **2) Lahar**

Se examinaron el caudal y la calidad de lahar en la cuenca baja. Asimismo, se investigó la situación de la fuente de producción de sedimentos en las laderas del volcán objeto del Estudio o en su parte superior. Desde el Huracán Mitch, especialmente en el complejo volcánico Telica, ha avanzado una erosión de larga escala. La descarga de sedimentos a la región río abajo producida por la erosión es preocupante.

Se examinaron los siguientes aspectos durante el reconocimiento en campo.

Los sedimentos (tierra y arena) producidos por la erosión del Complejo Volcánico Telica se han depositado extensamente al pie de montaña.

Los sedimentos desprendidos y arrastrados aguas abajo tienen un diámetro medio de entre 1-2 mm o menos, formando en su mayor parte, lodo suspendido que consiste en escoria, fragmentos de rocas basálticas, etc. de origen piroclástico. Se realizó un análisis granulométrico selectivo para confirmar los diámetros.

La traza del depósito que afloró a consecuencia del Huracán Mitch puede observarse a lo largo del río. El espesor de acumulación es aproximadamente entre 10 cm y 1.5 m cerca de dos laderas al pie de montaña.

#### **3) Flujo de lava**

Mientras se recogían los datos necesarios principalmente para el modelo de simulacro, se analizaron las características litológicas. Adicionalmente, para los efectos de la elaboración del mapa de amenazas, se investigaron las condiciones del flujo de lava de baja viscosidad, en la ladera sur del Volcán El Hoyo y de la parte norte del Volcán Rota. Como resultado, se confirmaron la distribución y calidad de basalto de la meseta y blindaje.

#### **4) Otros**

Durante el reconocimiento en campo, se investigaron y confirmaron aspectos que no habían podido ser identificados con la interpretación de fotografías aéreas, tales como la textura, estructura, y distribución de las rocas volcánicas.



Foto 8-1 Depósito del flujo piroclástico

Éste se encuentra en la zona sur del Complejo Volcánico El Hoyo, distribuyéndose extensamente en el lecho del río. El depósito negro en la parte izquierda inferior está constituido por las cenizas caídas. En el centro de la foto, aparece a modo de referencia un martillo de 30 cm de longitud.

En la Figura 8-20 se presenta el mapa geológico donde se resumen los datos del estudio geomorfológico y geológico.

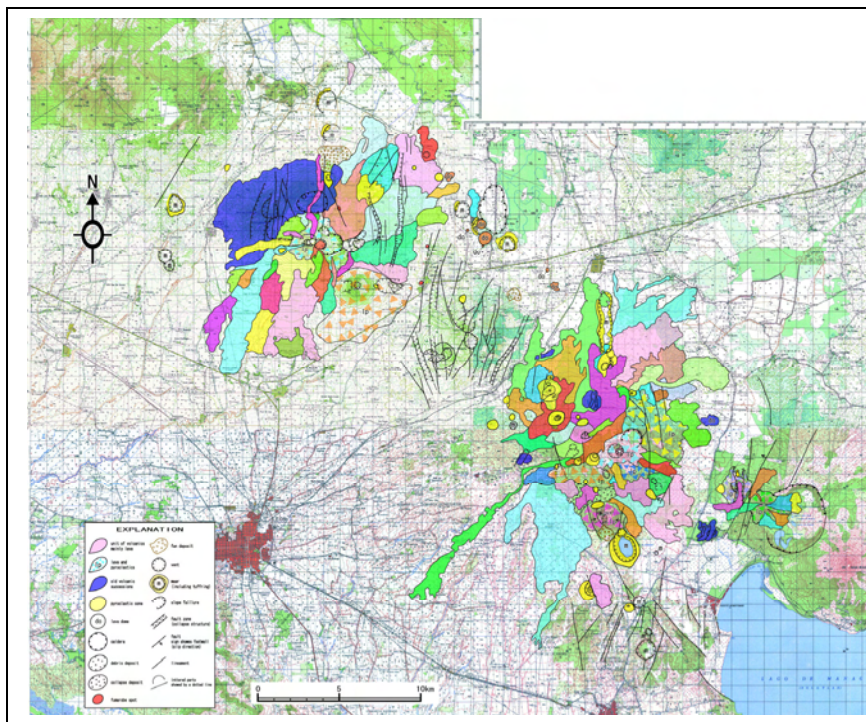


Figura 8-20 Mapa geológico del Área de Complejo Volcánico Telica – El Hoyo

## 8-2-6 Simulación de amenazas volcánicas

### (1) Especificaciones de la simulación existente

Los programas que el INETER utiliza para la simulación del volcán son los siguientes:

Flujo de lava, flujo piroclástico: "Flow3D" modelo desarrollado por la Universidad de Buffalo;

Caída de cenizas: Bomba volcánica; modelo desarrollado por la UNAM;

Lahar: "LAHARZ" modelo desarrollado por USGS.

La plataforma de estos programas es UNIX. Sin embargo, los recursos de hardware y software utilizados en INETER son de diferente plataforma, por lo que INETER no ha alcanzado un nivel autosuficiente en el manejo de todos los procesos de trabajo requeridos para la elaboración del mapa de amenazas. En vista de lo cual, en el presente Estudio, no se hace referencia a los conceptos de la simulación.

### (2) Fundamento teórico del análisis numérico

Con el fin de realizar la simulación de los fenómenos volcánicos, se consultaron las siguientes literaturas.

#### 1) Flujo de lava

K. Ishihara, et al (1990) Numerical Simulation of Lava Flows on Some Volcanoes in Japan, J. H. Fink(Ed), Lava Flows and Domes, Springer—Verlag

El modelo de flujo de Bingham describe el flujo de lava en este documento.

#### 2) Flujo piroclástico

Modelo de cono de energía

Sheridan, M. F. (1979) Emplacement of pyroclastic flows: A review, Geol. Sc. Am. Special Paper 180, p.125-136

#### 3) Bomba (ejecta)

M. Iguchi and K. Kamo(1984)On the range of block and lapilli ejected by the volcanic explosions, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., 27 B-1, p.15-27 (en japonés)

Documento sobre el cálculo de dispersión balística con efectos del viento.

#### 4) Caída de tefra (caída de cenizas)

T. Suzuki (1983)A Theoretical Model for Dispersion of Tephra ,in D., Shimozuru and Yokoyam, I., ed. Arc Volcanism: Physics and tectonics: Tokyo, Terra Scientific Publishing Company,

#### 5) Lahar

Se utilizó el programa de modelo empírico y técnicas cartográficas digitales, LAHARZ, descritos por Schilling, S.P. (1998).

Schilling, S.P.(1998) LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. U.S. Geological Survey Open-File Report 98-638, p.80.

Iverson, R. M., et al (1998) Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. Geol. Soc. Am. Bull. v.110, no.8, p.972-984

### (3) Desarrollo de los modelos de la simulación

#### 1) Flujo de lava

Se realizó la simulación con base en un programa de fuente abierta proporcionada por Ishihara y et al. (1990).

a. Las propiedades físicas del flujo de lava fueron asumidas con base en las

literaturas disponibles y los datos recogidos durante el reconocimiento en campo.

- b. El índice de eyección fue asumido en  $100\text{-}200\text{ m}^3/\text{s}$  con base en las figuras elaboradas a partir de la información del Volcán Kilauea y otros.
- c. La magnitud máxima y la distribución del flujo de lava (escorrentía total) fue adoptada del flujo representativo de lavas de los volcanes Telica y El Hoyo, respectivamente (véase la Figura 8-21). Este ejemplo representativo sirve para calibrar el flujo de lava.
- d. La erupción de lava fue asumido a partir de las áreas de distribución de la posible boquilla estimadas con base en los resultados de la interpretación de fotografías aéreas y el reconocimiento en campo.
- e. La dimensión de malla de cálculo fue determinada en 100 m tomando en cuenta la precisión del mapa topográfico existente a escala 1/50,000.

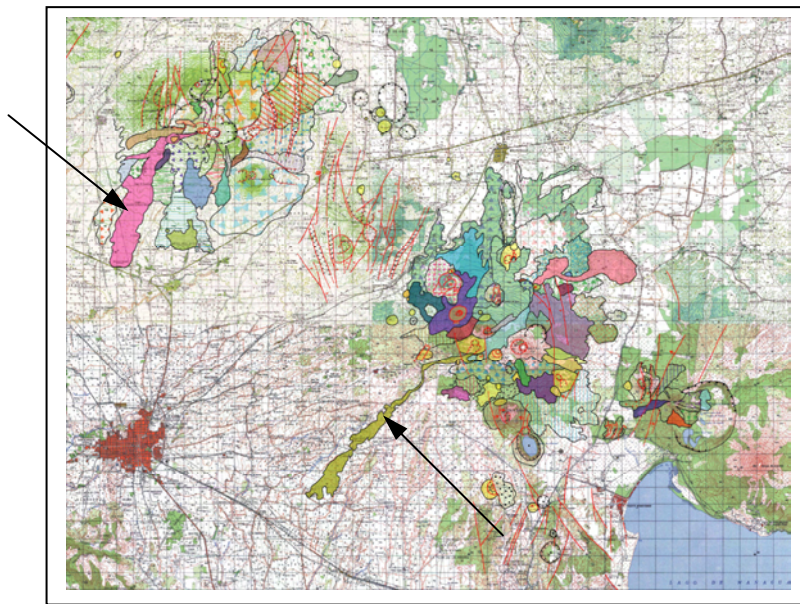


Figura 8-21 Distribución del flujo de lava para el Modelo

#### Flujo piroclástico

Para la simulación se utilizó el modelo de cono de energía.

- a. El ángulo de inclinación de la Línea de Energía,  $\phi$ , desde la cumbre fue de 5.3 grados, según los resultados del reconocimiento en campo. Para la simulación se adoptaron cinco grados.
- b. La altitud de la columna de humo fue definida en 10,000 m o menos, dado que se asumió un formato de erupción de actividad estromboliana o subpliniana. La columna de humo fue asumida como un ítem común para la caída y el flujo piroclástico.
- c. Se asumió que el flujo piroclástico ocurre en el centro del tope donde el grado de amenazas es el más alto debido al flujo piroclástico.
- d. No fue necesario realizar la calibración dado que el área de influencia fue asumida a partir de la línea de energía, con base en los resultados del reconocimiento en campo.

#### Caída de tefra (caída de cenizas)

Se realizó la simulación con base al modelo de T. Suzuki (1083).

- a. En el modelo se utilizó la erupción del Cerro Negro ocurrida en 1995, realizando la calibración con base en la distribución de la caída de tefra durante la erupción del Cerro Negro en 1995.



- b. Se incorporaron la cantidad total de los materiales desprendidos por la erupción y la granulometría de las partículas con base en el análisis encontrado en los documentos referenciales sobre la erupción del Cerro Negro ocurrida en 1995.
- c. En cuanto a los datos meteorológicos de la capa superior, no existen datos de observación en León. Por lo tanto, se utilizaron los datos de Managua procesados estadísticamente, proporcionados por la contraparte.
- d. Se asumió una erupción en la cumbre de la montaña que tiene efectos en grandes áreas.
- e. La altitud de la columna de humo fue determinada en 10,000 m o menos dado que se asumió un formato de erupción de actividad estromboliana o subpliniana.

**Cuadro 8-6 Velocidad media de viento en la altitud de 10000m o menos**

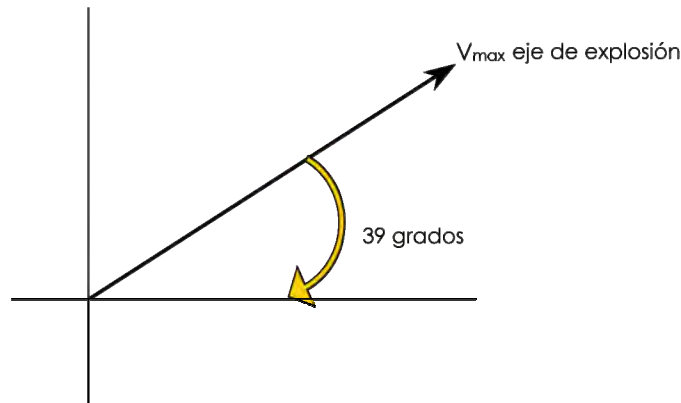
Altitud	Agosto	Octubre	Abril
0 - 100	1,0	1,0	1,0
100 - 500	5,0	5,0	5,0
500 - 800	10,0	5,0	10,0
800 - 1500	12,0	6,0	10,0
1500 - 3000	12,0	4,0	5,0
3000 - 6000	10,0	4,0	5,0
6000 - 7500	5,0	4,0	5,0
7500 - 10000	5,0	4,0	5,0
10000 -	5,0	4,0	5,0

Unidad: m/s

2) Bomba volcánica

La simulación fue realizada con base en el modelo de Iguchi Kamo (1984).

- a. Las áreas propensas a daños de erupción fueron definidas como posibles erupciones que puedan afectar grandes extensiones.
- b. La dimensión de las bombas volcánicas objeto es de 10 cm o más que no se ven afectadas por la corriente de convección en la columna, etc.
- c. En el cálculo balístico, se asumió que el eje principal estará inclinado previamente para la preparación del mapa de amenazas en el momento de la explosión volcánica (véase la Figura 8-22). Es decir, el eje principal al momento de ocurrir la explosión no es perpendicular, sino que tiene un ángulo de 39 grados desde la superficie del suelo. Cuando esto es el caso, la distancia del movimiento balístico es 1.69 veces más larga que en el caso de que el eje sea perpendicular. Para la preparación del mapa de amenazas, se asumió que el eje principal tendrá inclinación en todas las direcciones.
- d. No se realizó la calibración debido a la falta de literatura que sirva de referencia.



**Figura 8-22 Diagrama de eje de explosión (Caso de distancia más larga)**

### 3) Lahar

Se realizó la simulación de acuerdo con el estudio de amenazas de USGS para el Volcán Telica (R.M. Iverson, et al., 1998).

- a. Se asumió que la generación de lahar tiene la siguiente evolución: colapso del edificio volcánico; movimiento masivo de debris; avalancha de debris; erosión y arrastre de masa asociada al movimiento; y lahar.
- b. El área de influencia se definió de acuerdo con la regla empírica (*rule de thumb*) (R. M. Iverson, et al., 1998).
- c. Con los datos del pasado y las condiciones geomorfológicas, el Equipo de Estudio supuso que el punto inicial del lahar tiene, en general, una inclinación de 8 a 10 grados en el suelo del barranco.
- d. La magnitud máxima de lahar se definió en  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$  con base en las experiencias del lahar ocurrido en el Volcán Casita provocado por el Huracán Mitch en 1998. En el simulacro, además de la escala máxima, se examinaron también las escalas de  $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,  $0.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , y  $0.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ .
- e. No se realizó la calibración debido a la falta de datos o informaciones que sirvan de referencia.

### (4) Desarrollo del programa de simulacro

El programa de simulacro fue desarrollado con base en el programa existente de simulacro disponible. El programa fue diseñado a manera de transferir los resultados de cálculo al programa SIG.

#### 1) Precondición

Fenómenos volcánicos objeto de la simulación: flujo de lava, flujo piroclástico, material piroclástico descendente (cenizas volcánicas), bomba volcánica, lahar.

Requisitos básicos: En lugar de tener un sólo sistema integrado, se requiere tener programas de cálculo independiente para cada tipo de amenazas y determinar individualmente cada uno de ellos, puesto que existen varios casos. Por ejemplo, el cálculo del flujo de lava y del material piroclástico descendente toma tiempo; la bomba volcánica requiere tomar en cuenta los detalles topográficos, etc.

Precisión geográfica: Mapa topográfico de 1/50,000

#### 2) Ambiente de ejecución

##### (a) Flujo de lava

Modelo de accidentes geográficos: Malla de elevaciones de 100 m

Tiempo del cálculo: Medio a largo (30 minutos - aproximadamente 6 horas)

Fuente del programa: FORTRAN

Desarrollo del sistema: Visual FORTRAN

Ejecución: Ejecutar el archivo ejecutable desde Windows.

Output: Archivo ESRI ASC cuadrículas

##### (b) Flujo piroclástico

Modelo de accidentes geográficos: Malla de elevaciones de 100 m

Tiempo del cálculo: Corto a medio (varios minutos - aproximadamente 30 minutos)

Fuente del programa: FORTRAN

Desarrollo del sistema: Visual FORTRAN

Ejecución: Ejecutar el archivo ejecutable desde Windows.

Output: Archivo ESRI ASC cuadrículas

##### (c) Bomba volcánica

Modelo topográfico: ESRI TIN o Malla de elevaciones de 10 m

Tiempo del cálculo: Interior (aproximadamente 30 minutos)

Fuente del programa: Avenue o FORTRAN

Desarrollo del sistema: ArcView o Visual FORTRAN

Ejecución: Ejecutar un script desde ArcView. O Ejecutar el archivo desde Windows.

Output: Shape file o Archivo ESRI ASC cuadrículas

(d) Caída de tefra

Modelo de accidentes geográficos: (no requerido)

Tiempo del cálculo: Depende principalmente del número de clasificación granulométrica, y el número de clasificación de altitudes. Generalmente es largo (de varias horas a 10 horas).

Fuente del programa: FORTRAN

Desarrollo del sistema: Visual FORTRAN

Ejecución: Ejecutar el archivo ejecutable desde Windows.

Output: Archivo ESRI ASC cuadrículas

(e) Lahar

Modelo de accidentes geográficos: Altitud de cuadrículas de 100 m

Tiempo del cálculo: Medio (aproximadamente 30 minutos)

Fuente del programa: FORTRAN

Desarrollo del sistema: Visual FORTRAN

Ejecución: Ejecutar el archivo ejecutable desde Windows.

Output: Archivo ESRI ASC cuadrículas

(5) Requerimiento del sistema

A continuación se describen los requerimientos del sistema para la simulación. Para el sistema, el Equipo de Estudio instaló los programas Visual Fortran y Visual C<sup>++</sup>.Net (con una licencia cada uno) en un PC de la Dirección General de Geofísica.

1) Visual FORTRAN

Proveedor del programa: Intel

Nombre del producto: Windows Version Intel Corp. Visual Fortran Compiler 8.1 professional edition

Sitio Web: <http://www.xlsoft.com/jp/products/intel/compilers/iftnwin.html>

2) Visual C<sup>++</sup>.Net

Proveedor del programa: Microsoft

Nombre del producto: Visual C<sup>++</sup>.Net 2002

Sitio Web: <http://msdn.microsoft.com/>

3) Arc View

Proveedor del programa: ESRI

Nombre del producto: ArcView, 3D Analyst

Sitio Web: <http://www.esri.com/products/arcview3/index.shtml>

(6) Valores predeterminados del sistema

Se definieron los valores predeterminados del sistema. Los valores fueron los parámetros recomendados para la simulación de amenazas en el Área del Estudio, así como los recomendados por las literaturas disponibles, que constituyeron la base del sistema. Para los efectos de la operación, véase en el apartado 2-2 Volcán en el Manual 2, Elaboración de Mapas de Amenazas. Los valores predeterminados fueron definidos para las áreas del Complejo Volcánico Telica-El Hoyo, mientras que para otros volcanes u otros tipos de roca, se hizo necesario definir nuevos parámetros. En la Figura 8-23 se muestra un ejemplo de los valores predeterminados de la caída de tefra.

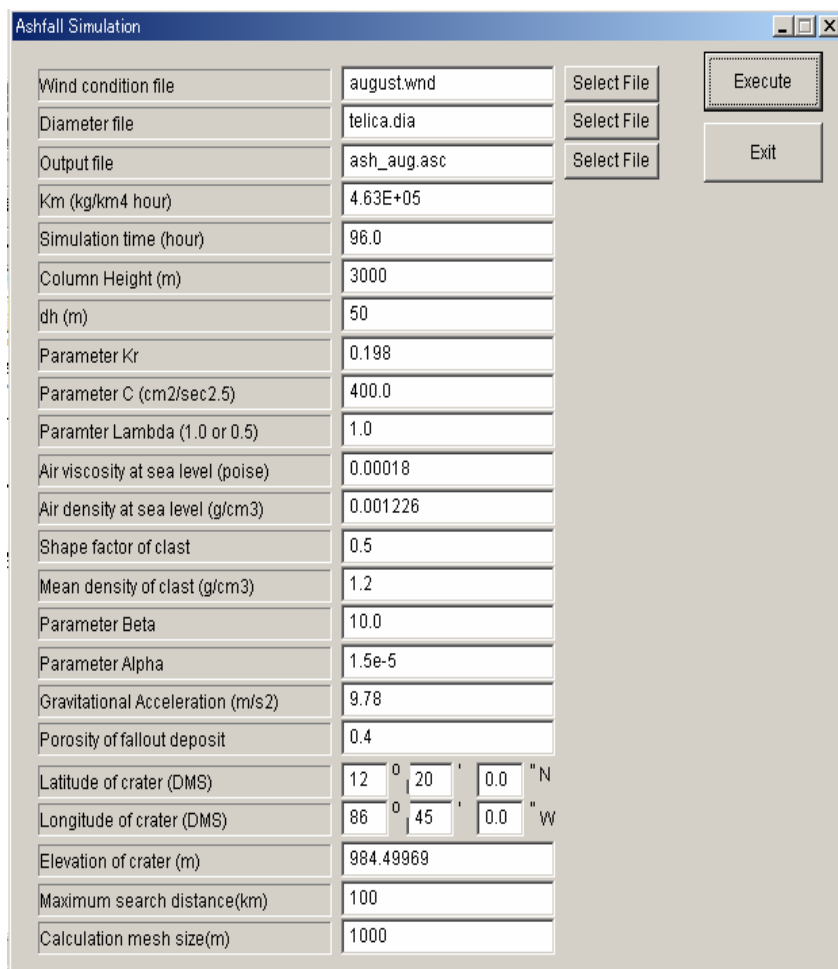


Figura 8-23 Ejemplo de los valores predeterminados de la simulación de caída de tefra

#### (7) Ejecución de la simulación

De la Figura 8-24 a la Figura 8-28 se muestran los ejemplos de los resultados de simulacro. La Figura 8-24 corresponde al caso del Volcán El Hoyo donde ocurrió un flujo de lava de gran magnitud. La dirección de flujo de lava cambió debido a las variaciones topográficas cerca del volcán y otros micro-relieves topográficos restringieron las direcciones del flujo y alteraron sus cursos.



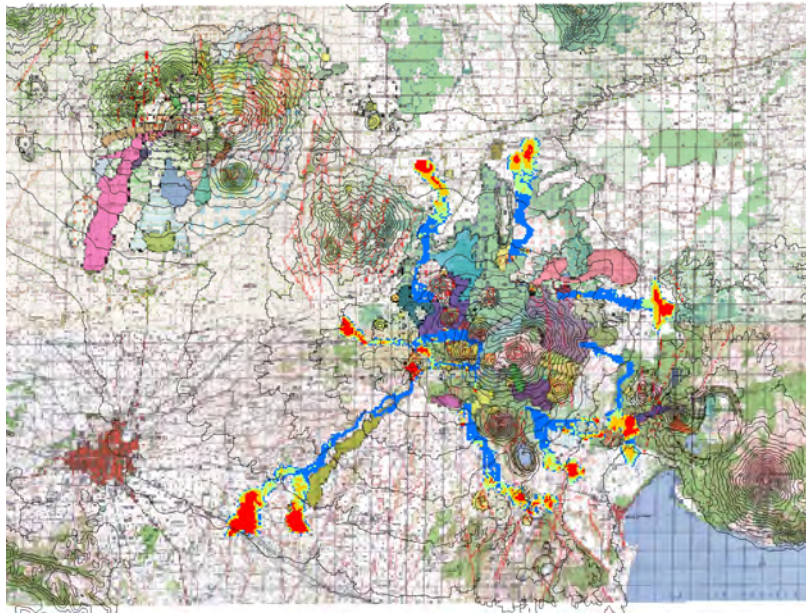


Figura 8-24 Ejemplo de los resultados de la simulación del flujo de lava de gran magnitud desde el Volcán El Hoyo

La diferencia de colores muestra el espesor del flujo de lavas.

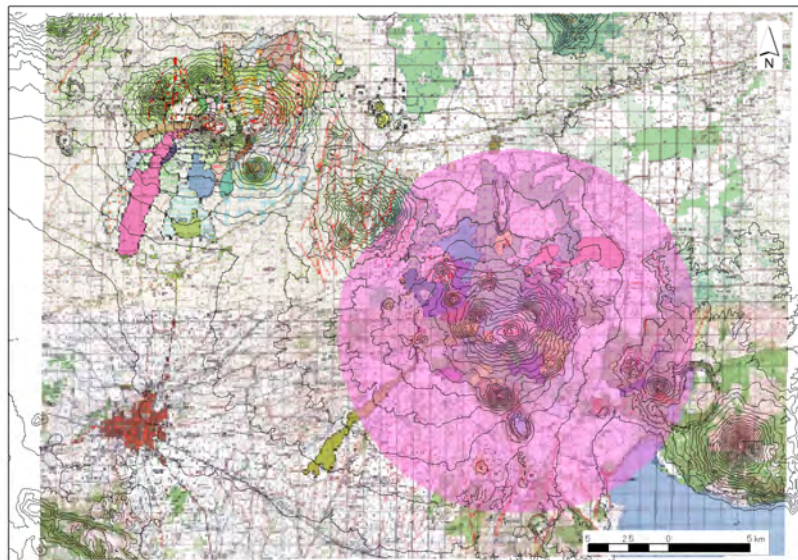


Figura 8-25 Ejemplo de la simulación del flujo piroclástico desde la cumbre del Volcán El Hoyo y el ángulo de la línea de energía