

### 8-1-6 Desarrollo del Software de simulacro

En la Figura 8-15 se presenta el diagrama de flujo de la simulación de amenazas sísmicas.

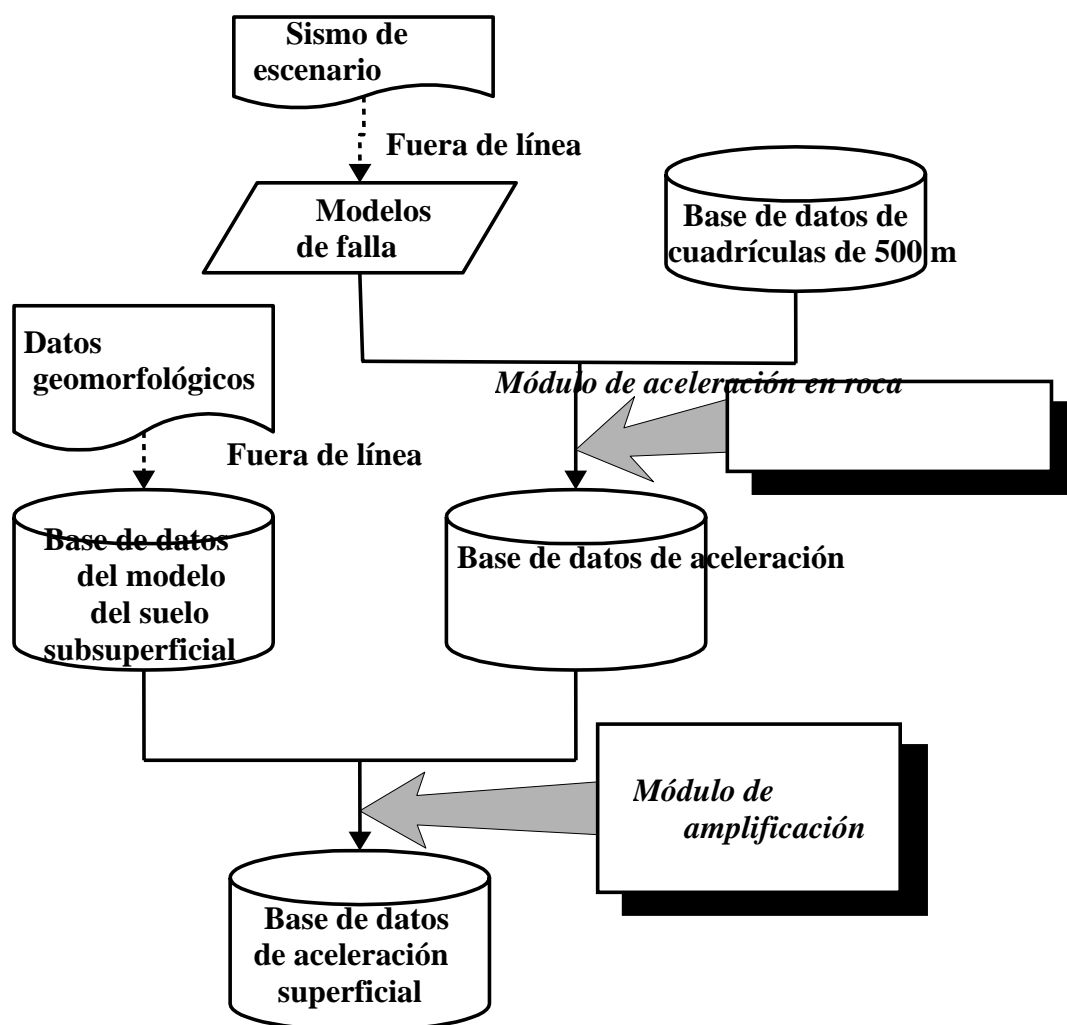


Figura 8-15 Diagrama de flujo de la simulación de amenazas sísmicas

En este diagrama, el “Módulo de Aceleración en roca” y el “Módulo de Amplificación” constituyen el software de simulación. El primero sirve para calcular la atenuación, mientras que el segundo sirve para calcular la amplificación del suelo superficial.

Como se describió en el Informe de Progreso 1, se utilizaron las siguientes fórmulas para estimar la atenuación.

En el caso de un sismo por falla activa o de origen volcánico, se aplica la siguiente fórmula (Joyner y Boore (1981)).

$$\log(A) = -1.02 + 0.249M - \log \sqrt{D^2 + 7.3^2} - 0.00255 \sqrt{D^2 + 7.3^2}$$

$A$  : aceleración (g)

$M$  : magnitud momento

$D$  : distancia horizontal más cercana a la proyección superficial del plano de ruptura (km)

En caso de sismos probabilísticos no se aplica la fórmula de atenuación. La aceleración para el cálculo de la amplificación se fija igualmente como 138 gals para todas las cuadrículas.

Como se determinó en la construcción del modelo del suelo, se aplicó la amplificación del suelo superficial recomendada por NEHRP según se muestra en el Cuadro 8-5.

Cuadro 8-5 Amplificación del suelo superficial

Clases	Aceleración de respuesta máxima espectral sísmica considerada en la cartografía				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s=0.50$	$S_s=0.75$	$S_s=1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	a	a	a	a	a

Nota) Utilizar una línea recta de interpolación para los valores inmediatos de  $S_s$ .

a: Debe llevarse a cabo una investigación geotécnica específica del sitio y el análisis de respuesta dinámica del sitio.

### 8-1-7 Preparación del mapa de amenaza sísmica

#### (1) Usuarios enfocados

El producto (*output*) del mapa de amenazas consiste principalmente en la aceleración máxima del suelo (PGA). Esta unidad de vibración física del suelo es, por lo general, utilizada en el código sísmico para el diseño de estructuras y cálculo de daños/riesgos de edificios e infraestructuras. Por lo tanto, se ha asumido que los usuarios finales del mapa de amenazas sísmicas serían los científicos, investigadores e ingenieros que trabajan en el diseño de edificios, construcción, planificación urbana y gestión de desastres.

#### (2) Tamaños del mapa

El mapa de amenaza sísmica será distribuido a los posibles usuarios finales. Sin embargo, este mapa no será utilizado en los trabajos de elaboración del código sísmico, planificación urbana ni en el plan de gestión de desastres. Con el fin de realizar estos trabajos, se requiere contar con información más detallada, incluyendo la ubicación de los edificios, recursos de prevención de desastres, mapa de uso del suelo, mapa existente de planificación urbana, entre otros. Por lo tanto, la utilidad del mapa consiste principalmente en informar a los usuarios finales la disponibilidad de un mapa de distribución de PGA en la base de datos SIG de INETER, para que ellos puedan acceder a la base de datos y obtener la información que requieran.

Desde este punto de vista, la escala del mapa no necesariamente debe ser grande. El tamaño de los mapas a elaborarse fue definido en 17×22 pulgadas. Por lo tanto, la escala de los mapas será de aproximadamente 1/100,000.

### (3) Contenido del Mapa de Amenazas

Con base en el análisis de los posibles usuarios finales, se discutió y se decidió con la contraparte que el mapa de amenazas a elaborarse contendrá la siguiente información.

- Distribución de la aceleración máxima del suelo (PGA)
- Parámetros de la fuente sísmica
- Fórmula de atenuación adoptada
- Significado de PGA en términos de la intensidad sísmica.

No es fácil que los usuarios finales comprendan el verdadero significado de PGA, excepto los ingenieros de diseño sísmico. Por lo tanto, se decidió incluir en el mapa una descripción de PGA en términos de la intensidad sísmica (MMI). La escala de la intensidad sísmica (MMI) se basa en la percepción humana de la sacudida y daños ocurridos durante un sismo. La relación de la intensidad sísmica y los parámetros físicos de las ondas sísmicas, tales como la aceleración, velocidad e intensidad espectral, fue analizada por muchos investigadores. De entre ellos, se decidió adoptar las consideraciones de Trifunac y Brady (1975). En la Figura 8-16 se muestra la relación entre PGA y MMI.

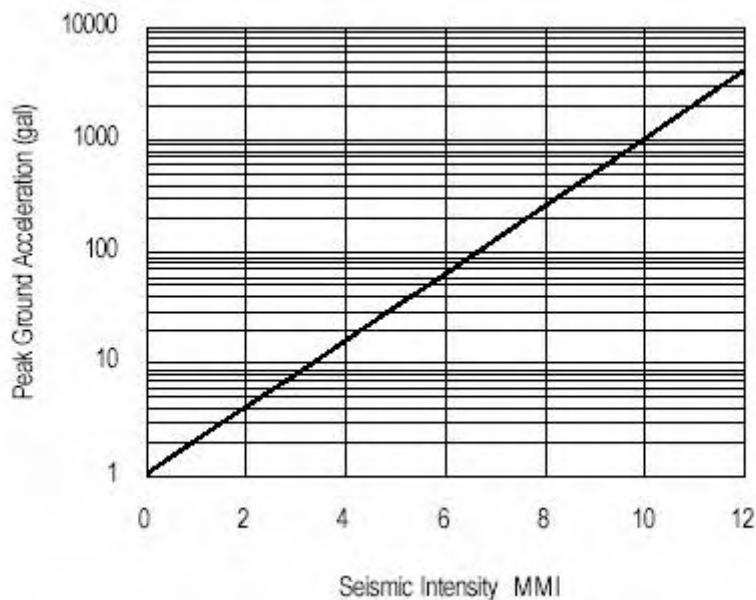


Figura 8-16 Relación entre aceleración máxima del suelo (PGA) y la intensidad sísmica (MMI)

Fuente: Trifunac y Brady (1975)

### (4) Ejemplo del Mapa de Amenazas

En la Figura 8-17 se presenta un ejemplo del mapa de amenaza sísmica en el caso de la Falla Cofradía.

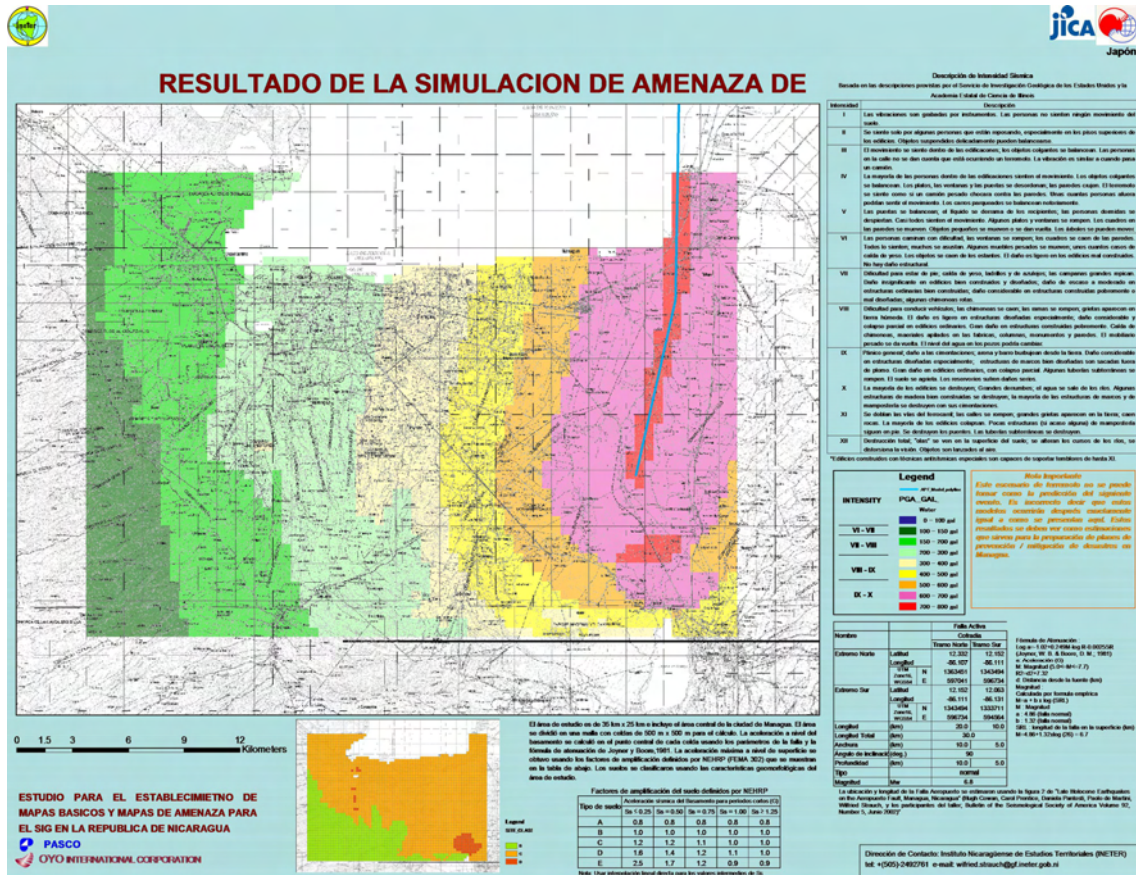


Figura 8-17 Ejemplo del mapa de amenaza sísmica (Falla Cofradía)

Adicionalmente al mapa presentada en la Figura 8-17, se realizó el mapeo de cuatro escenarios imprimiendo 500 copias cada una, sumando en total 2,500 hojas.

**Bibliografía**

Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version) (1999), Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE

Shah, H., et. al, (1975), A Study of Seismic Risk for Nicaragua, Part I, The John A. Blume Earthquake Research Center, Department of Civil Engineering, Stanford University.

Brown, Jr., R.D., Ward, P. L., Plafker, G., (1973), Geologic and Seismologic Aspects of the Managua, Nicaragua, Earthquake of December 23, 1972, Geologic Survey Professional Paper 838.

Schmoll, H., Krushensky, R., Dobrovolny, E. (1975), Geologic Considerations for Redevelopment Planning of Managua, Nicaragua, Following the 1972 Earthquake, Geologic Survey Professional Paper 914.

Hernandez, Z., Atakan, K., Havskov, J. (1994), Seismicity and Tectonics near Managua, Nicaragua, Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway.

Bermudez, W. M., Blandon, E. N. (1992), Geological Framework of Earthquake Occurrence in Nicaragua, Central America, Journal of the Geological Society of Japan, Vol. 98, No.2, P. 165-176.

Cowan, H., et. al. (2002), Late Holocene Earthquakes on the Aeropuerto Fault, Managua,

Nicaragua, Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 92, No. 5, pp. 1694-1707

Cowan, H., et. al. (2000), Map and Database of Quaternary Faults in the Vicinity of Managua, Nicaragua, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.

Kaye M. Shedlock and James G. Tanner, Seismic Hazard Map of the Western Hemisphere, External Project Mexico-C.America-Caribbean-America (PAIGH-IDRC)

Donald, L., Wells, Kevin, J., Coppersmith, (1994), New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, Bulletin of the Seismological Survey of America, Vol. 84, pp.974-1002.

Donald, L., Wells, Kevin, J., Coppersmith, (1994), New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, Bulletin of the Seismological Survey of America, Vol. 84, pp.974-1002.

NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions (FEMA 302), (1997), Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Douglas, J., (2001), A Comprehensive Worldwide Summary of Strong-Motion Attenuation Relationship for Peak Ground Acceleration and Spectral Ordinates (1969 to 2000), Engineering Seismology and Earthquake Engineering Report No. 01-1, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Civil Engineering Department, London

## 8-2 Volcán

### 8-2-1 Áreas Objeto

El área cubierta por el estudio de amenazas volcánicas es el complejo volcánico Telica-El Hoyo de 1,300m<sup>2</sup>.

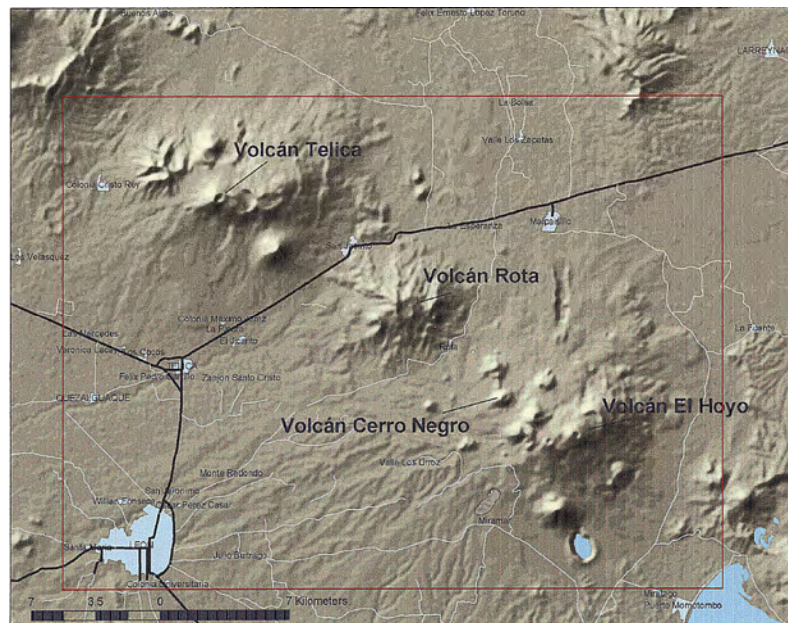


Figura 8-18 Mapa guía del área del estudio volcánico

### 8-2-2 Fenómeno Objeto del Estudio

Los fenómenos de amenazas volcánicas a estudiar son: 1) flujo de lava; 2) flujo

piroclástico; 3) bomba (ejecta); 4) caída de tefra (caída de cenizas); y 5) lahar.

### 8-2-3 Recogida y Análisis de Fuentes Existentes sobre la Geología Volcánica

#### (1) Perfil

Se recogieron los documentos de investigación existentes en INETER, informes académicos e información de los sitios WEB, para examinar las amenazas volcánicas. A continuación se presenta la bibliografía básica útil para la preparación del mapa de amenazas volcánicas.

- 1) Martha Navarro (2002) Fichas de los Volcanes de Nicaragua, INETER
- 2) Martha Navarro (1994) Peligro Volcánico ” Volcán Telica” , INETER
- 3) Gardner, C. A., et al. (2004) Hazard Assessment for Volcán Telica, Nicaragua, USGS, Open File Report 2004-1046
- 4) Havlicek, P., et al.(2000) Estudio geológico y reconocimiento del la amenaza Geológica en el área de León, La Paz Centro y Malpaisillo, Nicaragua, Servicio Geológico Checo (CGU) en cooperación con INETER
- 5) Brittain, E. H. et al.(1998) 1995 eruptions of Cerro Negro volcano, Nicaragua, and risk assessment for future eruptions., Geol. Sc. Am. Bull, v.110, no.10, p.1231-1241

#### (2) Análisis bibliográfico

##### 1) Generalidades

- a. No se ha determinado la estratigrafía del estrato que constituye el volcán objeto.
- b. No existen los datos sobre las fechas, y por lo tanto, no existen los datos de series de tiempo.
- c. Se disponen de un limitado número de datos de actividades volcánicas de 1850 y los años subsiguientes.
- d. Casi no se disponen de datos escritos que describan cada fenómeno volcánico (litofacies, estrato).
- e. No se disponen de datos básicos escritos que describan cada uno de los estratos.
- f. INETER dispone de mapas de amenazas sobre algunos volcanes, pero la institución no ha podido completar todos los procedimientos de preparación.

##### 2) Flujo de lava

No existen documentos fundamentales sobre cada flujo de lava. Las literaturas 2) y 4) pueden ser una referencia útil sobre la distribución de flujo de lava. Por otro lado, han sido publicados los valores de análisis de rocas del Volcán Telica y Cerro Negro, aunque su número es limitado.

##### 3) Flujo piroclástico

Existen varias literaturas que sugieren que no se disponen de datos históricos (e.g. Gardner, C. A., et al., 2004). La literatura básica 4) presenta una distribución extensiva del depósito de flujo piroclástico, pero no se dispone de una descripción detallada.

##### 4) Bomba (ejecta)

No existen datos referenciales sobre las bombas (ejecta).

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

El documento básico 5) puede ser útil puesto que describe y analiza detalladamente las características físicas de la erupción del Cerro Negro en 1995.

Si bien es cierto que existen literaturas sobre la distribución actual de la caída de tefra de las erupciones ocurridas en los años 1968, 1992 y 1995, no se dispone de una publicación sobre los detalles de los materiales de erupción ni del depósito.

##### 6) Lahar

No existen datos sobre lahar. Cerca del Área del Estudio, ocurrió lahar de gran magnitud provocada por el Huracán Mitch en el Volcán Casita en 1998, sobre el cual USGS y otras instituciones publicaron documentos técnicos completos.

#### 7) Mapa de Amenazas

El mapa de amenazas ya ha sido elaborado y distribuido a las oficinas regionales de defensa civil y municipalidades. Sin embargo, su contenido está estructurado para los profesionales especializados. El mapa de amenazas volcánicas ha sido impreso en tamaño A0.

Volcán Concepción (Temas: flujo piroclástico, caída piroclástica, lahar, colapso del edificio volcánico)

Volcán Masaya (Temas: bomba volcánica y caída de cenizas según meses)

Mapa de Amenazas del área central y norte de Nicaragua (Temas: flujo de lava, lahar, colapso del edificio volcánico y caída piroclástica)

#### (3) Análisis bibliográfico sobre Mapeo de Amenazas:

Con el fin de obtener literaturas referenciales básicas para el simulacro de la caída de tefra, se analizaron la cantidad total y la distribución de diámetros de partículas de ejecta. Asimismo, se obtuvieron, se examinaron y se analizaron los datos meteorológicos de la capa superior en el aeropuerto de Managua. Los aspectos analizados fueron: 1) tendencias y características de la meteorología de la totalidad de la capa superior; 2) dirección de vientos; 3) datos meteorológicos a altitudes de 10,000 m o menos; y 4) análisis estadístico de las direcciones de viento a altitudes de 5,000 m o menos.

### **8-2-4 Interpretación de la Fotografías Aéreas de Volcanes**

Se realizó la interpretación geomorfológica en las áreas volcánicas utilizando fotografías aéreas a color tomadas por el Equipo de Estudio. El trabajo consistió de los siguientes dos pasos: 1) interpretación geomorfológica volcánica (distribución y características de accidentes topográficos de escala media a grande que incluye boquillas, flujo de lava, depósitos piroclásticos, sistema fisurado, colapso del suelo de gran magnitud) y 2) interpretación geomorfológica volcánica detallada (características geomorfológicas de flujo de lava, situación de corte de la masa volcánica, clasificación y división de la parte baja de lahar.

Los aspectos específicos de interpretación son los siguientes:

flujo de lava y su distribución detallada, cono piroclástico, maar, cráter, caldera, anillo de tobas, flujo piroclástico y su distribución detallada, domo de lava, domo de presión o cresta de presión;  
deslizamientos y la distribución de debris, área de depósito aluvial, área de depósito de lahar, erosión del flanco y su forma; y,  
fallas y su sentido, fallas estimadas, alineamiento.

La Figura 8-19 muestra los resultados de la interpretación de las fotografías aéreas de la totalidad del Área del Estudio utilizando el mapa topográfico de escala 1/50,000. Se puede ver claramente que las características del sistema de fracturas que se extiende en dirección norte a sur cruzando diagonalmente el frente volcánico noroeste – sudeste. También se puede ver la formación de una zona fracturada de gran magnitud con cráteres, margas y otros elementos generados alineados sobre el alineamiento León (indicado con la flecha roja). Estas son características de lavas basálticas de baja viscosidad expulsados por los respectivos volcanes de Telica y El Hoyo que llegan más de 10 km de distancia. En la cumbre de estos volcanes, se identifican cráteres actualmente activos aparte de la distribución de algunas calderas, las cuales son consideradas que se formaron durante la antigua fase activa. Es más, tales volcanes con erosión extensiva como el Cerro de Agüero al oeste del Complejo Volcánico Telica y Cerro Rota en la parte central son consideradas como una parte del complejo volcánico pre-Telica-El Hoyo.

En el lado nordeste de la cumbre del Volcán Telica, se localizan las montañas volcánicas formadas en la edad antigua, tales como el Cerro Los Portillos, el Cerro De Agüero y otros. Por otro lado, en el lado sudeste de la cumbre, se localiza el Volcán Santa Clara. El Volcán Telica presenta tres principales características geomorfológicas.

El flujo de lavas es el componente principal desde la cercanía de la cumbre del Volcán Telica hacia el sur a la ladera sudeste. Por otro lado, en la ladera del norte hacia oeste desde la cumbre del Volcán Telica, se identifica otra distribución de materiales piroclásticos además del flujo de lava. En el Volcán El Hoyo, se destacan las trazas de erupciones tales como varios conos que se hallan en grandes extensiones. Desde la cumbre hacia el área norte, se identifica el flujo de lavas de baja viscosidad de distintas magnitudes. Dada la complejidad de las condiciones del Cerro Negro, no ha sido posible incluir el flujo detallado de lavas en la figura. La flecha roja muestra una parte del alineamiento León que es un anillo continuo de tobas. La flecha verde apunta las áreas de un tipo de geomorfológica particular, que ha sido formado mediante flujos de basalto de blindaje (*shield*). Se deduce que su formación dio lugar durante la formación del Complejo Volcánico Pre El Hoyo.

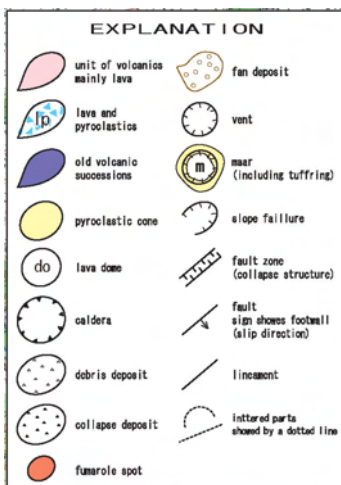
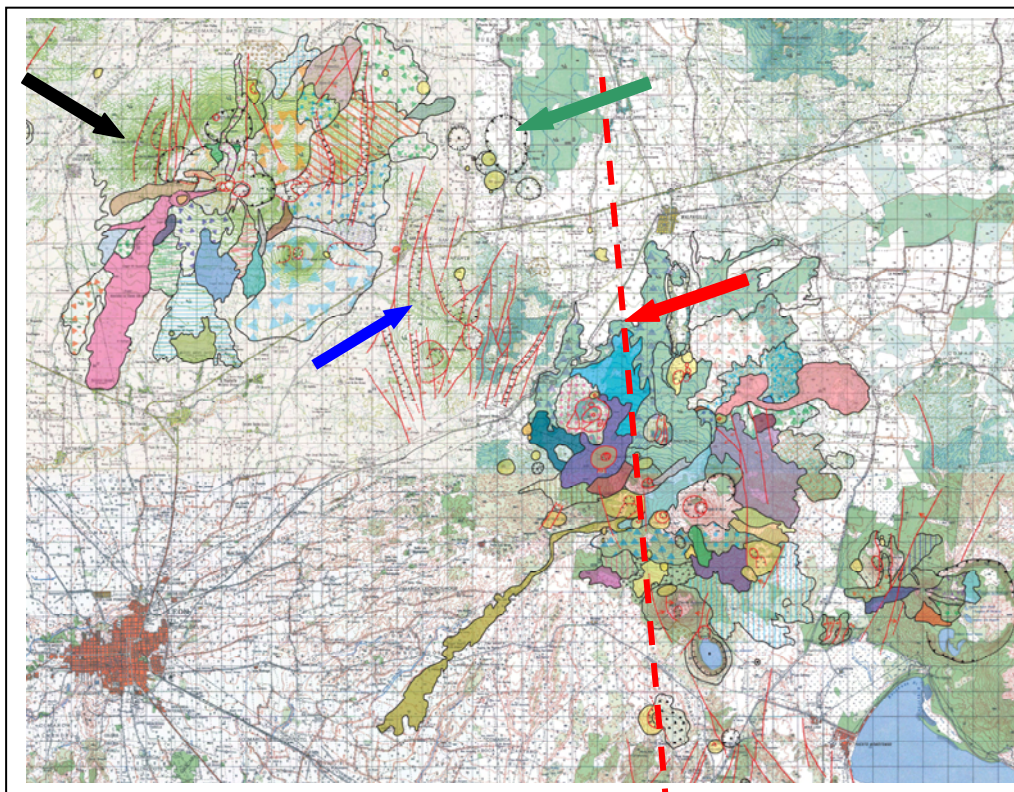


Figura 8-19 Interpretación de Fotografías Aéreas en el Área del Complejo Volcánico Telica-El Hoyo