

7 BASE DE DATOS SIG SOBRE INFRAESTRUCTURAS PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES

7-1 Preparación y Organización

Considerando el propósito del Estudio, todos los procedimientos y los procesos a seguir fueron definidos y refinados a través de varias reuniones sostenidas con el personal de contraparte (INETER). Finalmente se incluyeron las siguientes infraestructuras para la creación de la base de datos SIG:

- Municipalidades
- Estaciones de bomberos
- Cruz Roja
- Hospitales
- Escuelas
- Estaciones de policía
- Caminos
- Gasolineras
- Pozos
- Puentes

A continuación se esquematiza la metodología general adoptada en el Estudio.

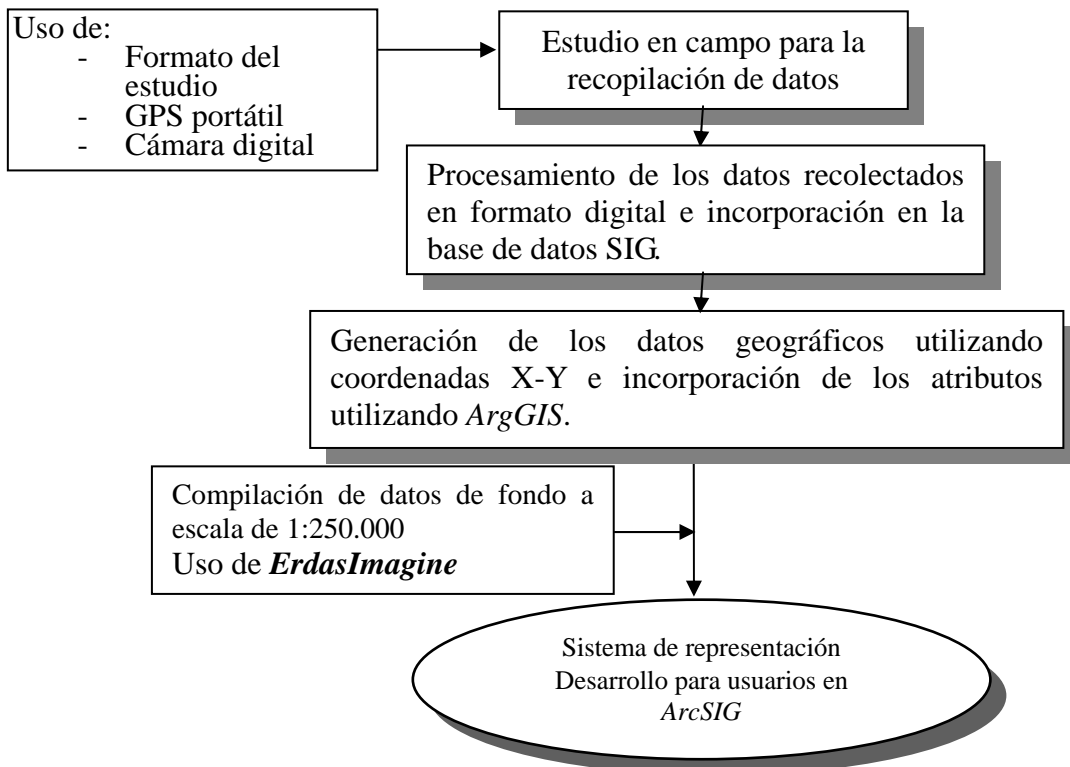


Figura 7-1 Flujo de trabajo para la creación de la base de datos SIG de las infraestructuras de mitigación de desastres

Como se indica en el diagrama de flujo, el estudio de campo fue ejecutado primeramente para recopilar la información y con el fin de mantener la consistencia entre varios tipos de los datos

recogidos. Finalmente se definió el formato específico para cada tipo de infraestructuras.

Con el fin de recopilar los datos, se organizaron dos equipos de trabajo, cada uno integrado por dos técnicos de INETER para recopilar la información. El trabajo fue supervisado por los expertos japoneses. Después de unas semanas de iniciar el trabajo, se realizaron algunas correcciones en la hoja de instrucción de recopilación de datos. Por ejemplo, la idea inicial antes de iniciar el trabajo en campo había sido recoger los datos de todas las escuelas. Sin embargo, en el campo se encontró que algunas escuelas sólo tenían pocas aulas, demasiado pequeñas para acomodar un número importante de refugiados en el caso de desastre. Muchas de las escuelas eran muy pequeñas, por lo que se concluyó que la ejecución de la idea inicialmente propuesta era sólo perder el tiempo. Considerando esta situación, el Equipo se limitó en recoger los datos de aquellas escuelas que tenían más de diez aulas. Del mismo modo, la recopilación de los datos sobre los puentes se limitó a aquellos puentes de más de diez (10) metros de longitud. La medición del ancho de los caminos se realizó sólo en un punto (en el centro de la ubicación). El trabajo fue llevado a cabo cubriendo la totalidad del área del estudio en la región del Pacífico, que sumaba aproximadamente 20.000 km².

Grandes esfuerzos se invirtieron para recoger mayor número de información posible sobre cada infraestructura. El Equipo utilizó el GPS portátil para registrar la ubicación (coordenadas) de las infraestructuras y tomó fotografías con cámara digital.

Los datos recogidos fueron transferidos en el formato digital utilizando Microsoft Excel, y luego fueron ingresados a la base de datos SIG. Finalmente, todas las informaciones fueron plasmadas en su conjunto sobre el fondo de datos topográficos raster de escala 1/250.000 con el fin de archivar el sistema de fácil lectura y representación mediante el uso del programa ArcGIS Versión 9.0. El sistema es capaz de representar toda la información al hacer click sobre el objeto planimétrico incluyendo las coordenadas X e Y. Además, si el dato contiene nuevo objeto incorporado en forma de imagen (fotografía), el sistema es capaz de representar también dicha imagen.

7-2 Estudio en Campo para la Recopilación de Datos

El estudio en campo para la recopilación de los datos para la “creación de la base de datos SIG sobre las Infraestructuras para la Mitigación de Desastres” fue llevado a cabo en el segundo y tercer año, durante el trabajo en Nicaragua. Las principales informaciones recopiladas por el Equipo de Estudio son las siguientes. .

Cuadro 7-1 Principales datos recopilados durante el estudio en campo

Tipos	Infraestructuras	Principales atributos
Infraestructuras núcleo para la mitigación de desastres	Municipalidad	Nombre de la persona responsable, teléfono, cantidad de los vehículos de emergencia y de otros vehículos, y salvaguardas.
	Estaciones de bomberos	Nombre de la persona responsable y teléfono, cantidad de ingenieros bomberos y ambulancias
	Cruz Roja	Nombre de la persona responsable y teléfono, cantidad de las ambulancias, personal de rescate y vehículos especiales.
	Escuelas	Cantidad de aulas, área de la escuela, cantidad de pozos dentro de un radio de 1 km.
	Hospitales	Cantidad de camas disponibles, médicos y enfermeras, cantidad de las ambulancias, secciones médicos disponibles.

Tipos	Infraestructuras	Principales atributos
	Estaciones de policía	Nombre del oficial jefe y teléfono, cantidad de policías, patrullas y otros vehículos.
Infraestructuras relacionadas con la mitigación de desastres	Caminos	Cantidad de carriles, tipo de superficie, entidad administradora, velocidad de conducción, período de mantenimiento.
	Gasolineras	Nombre del dueño y teléfono, tipo de combustibles disponibles y otros servicios.
	Pozos	Tipo de construcción, condición, capacidad y calidad de agua
	Puentes	Tipo de construcción, ancho, largo y capacidad.

El personal realizó el trabajo en campo comenzando desde el departamento de Chinandega y terminando en el departamento de Rivas. En cada sitio, los miembros fueron anotando las coordenadas geográficas utilizando el receptor GPS, tomaron fotografías y llenaron el formato. En algunos casos, se utilizaron las cintas métricas para la medición.



Foto 7-1 El personal técnico registrando las coordenadas X, Y con el uso de GPS



Foto 7-2 Dos técnicos midiendo la longitud de un puente

La información fue tomada directamente desde los directores y las personas responsables. Si la persona responsable no estaba disponible, los miembros esperaron o solicitaron citas en otro momento para recopilar la información. Pese a estos esfuerzos, no ha sido posible obtener algunas de las informaciones requeridas durante el período del proyecto, quedando en blanco algunos formatos de aquellos ítems. Se espera que esta información sea obtenida en el futuro.

Adicionalmente, dado que la cantidad de los datos recopilados era grande, se utilizó una computadora tipo "laptop" en el campo con el fin de bajar los datos recopilados desde GPS y de las cámaras digitales. Este trabajo permitió minimizar la pérdida de la información recopilada.


Cuerpo de Bomberos				
Nombre del Área / Mapa 1:50 000		Chinandega		
Nombre del Municipio/Ciudad		El Viejo		
Localización	Latitud	12	39	41 1,399,696.29
	Longitud	87	10	2 481,841.90
Nombre de la Estación		Cuerpo de Bomberos Voluntarios El Viejo		
Tipo		Principal *	Estación	
Número de Teléfono		8935438		
Nombre del Oficial Jefe		Cmde. Dionisio José López Rubí		
Número de Vehículos de Emergencia		1		
Número de Ambulancias		1 (Mal estado)		
Número de Bomberos		47		
Número de otros Vehículos Especiales		1 (Mal estado)		
Número de Cisternas		2 (1 En mal estado)		
Número de Foto-1 Visión Completa *				
Número de Foto-2 Visión Cercana *				
Remarks				
				

Figura 7-2 Ejemplo del formato preparado para la Estación de Bomberos

7-3 Procesamiento de los Datos Recopilados

Una vez cumplidos todos los ítems de trabajo de recopilación de datos en el campo, estos fueron procesados en la oficina de INETER. Los datos recopilados fueron ingresados y guardados en formato de archivo Excel. Los datos digitales fueron utilizados frecuentemente para la verificación y corrección de los datos sobre los formatos archivados en el estudio de campo. El formato será de gran utilidad como referencia para el futuro.

7-3-1 Transferencia de los Datos al Formato de Base de Datos

Con el uso del programa de Microsoft Excel, los datos de tabla fueron transferidos al formato de la base de datos con la extensión “.DBF” que compatible con el formato utilizado en ArcGIS. En este proceso, las coordenadas geográficas (latitud y longitud) fueron convertidas en las coordenadas UTM (Northing y Easting) con los parámetros de la zona UTM 16, Esferoide WGS84, y la unidad de longitud fue convertida en metros. Asimismo, en la tabla de formato “.DBF”, la pista a las fotografías fue ingresada en una columna aparte que es utilizada como enlace a cada establecimiento en representación. En general, cada sitio tiene dos fotografías, una de vista general (Fotografía del sitio), y otra cubriendo el área circundante o una vista cercana del establecimiento (fotografía cercana). Algunos nombres de los ítems en los archivos de la base de datos que resultaban ser muy largos para ingresar en el formato de la base de datos SIG, fueron abreviados. Para este propósito, fue necesario crear un diccionario de datos con palabras claves de los ítems utilizados en ArcGIS y los nombres reales de cada ítem.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	UNIQ_NUM	CODIGO	MAPA_50K	DEPARTAMEN	MUNICIPIO	ESTE	NORTE	PERSON_NUM	TELEFO_NUM
2	1	ALD15_101	Tonalá	Chinandega	Puerto Morazán	485231	1411620	25	883-8996
3	2	ALD15_101	Chinandega	Chinandega	El Viejo	481895	1399703	115	344-2219, 23
4	3	ALD15_101	Chinandega	Chinandega	Chinandega	485954	1396203	520	341-3016
5	4	ALD15_101	Chinandega	Chinandega	El Realejo	482050	1386516		887-6122, 88
6	5	ALD15_101	Chinandega	Chinandega	Chichigalpa	497091	1389854	118	343-2416, 34
7	6	ALD15_101	Nagarote	León	Nagarote	547046	1356011	150	313-2244
8	7	ALD15_101	Nindirí	Masaya	Tisma	606909	1335710	18	552-8721
9	8	ALD15_101	Nindirí	Managua	Ticuantepe	586593	1329163	62	279-7012
10	9	ALD15_101	Nindirí	Masaya	Nindirí	595885	1327114	96	522-4911
11	10	ALD15_101	Granada	Granada	Granada	613911	1318940	373	552-2147
12	11	ALD15_101	Nandaime	Granada	Nandaime	603108	1299776		
13	12	ALD15_101	Rivas	Rivas	Rivas	627570	1264859	137	563-3571, 56
14	13	ALD15_101	Rivas	Rivas	San Jorge	630775	1266500	16	563-4611
15	14	ALD15_101	Rivas	Rivas	Buennos Aires	629167	1268183	16	563-3336

Figura 7-3 Parte del archivo del formato de base de datos (DBF) de la Alcaldía

7-3-2 Ingreso de los datos a la base de los datos SIG

Con el uso de los archivos DBF arriba mencionados, se crearon los datos puntuales geográficos, y se agregaron los atributos utilizando el programa ArcGIS como se muestra en la Figura 7-4). El sistema de proyección de los datos de SIG fue el mismo mencionado anteriormente.

FID	Shape*	UNIQ_NUM	CODIGO	MAPA_50K	DEPARTAMEN	MUNICIPIO	ESTACI...
10	Point	11	ALD15_037	Nindirí	Managua	Managua	DGB-Zona Industrial Carretera Norte
11	Point	12	ALD15_037	Nindirí	Managua	Managua	Cndte. Cesar Amador Molina
12	Point	13	ALD15_037	Nindirí	Managua	Managua	DGB-Districto 5
13	Point	14	ALD15_037	Covinto	Chinandega	Covinto	Covinto/Mingob
14	Point	15	ALD15_037	Mateare	Managua	Ciudad Sandino	Ciudad Sandino/Mingob
15	Point	16	ALD15_037	Masaya	Masaya	Masaya	Masaya/Benem ío
16	Point	17	ALD15_037	Masaya	Jinotepe	Jinotepe	Armengol Mart nez Santos/Benem ío
17	Point	18	ALD15_037	Managua	Managua	Managua	Estaci n No. 7/Mingob

Figura 7-4 Datos geográficos del Departamento de Bomberos con Atributos Anexados

7-3-3 Compilación de los Datos de Fondo

Se utilizaron como datos de fondo los datos raster topográfico digital existentes de escala 1/250.000. Se necesitaron cinco hojas cartográficas para cubrir la totalidad del Área del Proyecto como está representado con líneas divisorias color violeta en la Figura 7-5.

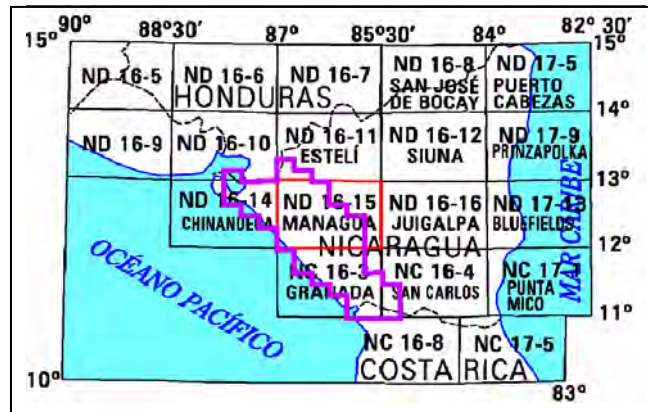


Figura 7-5 Hojas del mapa topográfico cubriendo la totalidad del Área del Estudio

Como el primer paso, los datos digitales raster en el formato DGN fueron convertidos en PDF con el uso del programa MicroStation/J y luego en el formato TIFF con el uso de Adobe Acrobat. Posteriormente, se realizaron la georectificación, creación de mosaico (mosaicking) de todas las imágenes de las hojas cartográficas en una sola, clipping, y finalmente la conversión en el formato Geo-TIFF con el uso del programa Erdas Imagine Versión 8.7.

Como se muestra en la Figura 7-6, los datos topográficos digitales raster cubriendo la totalidad del Área del Estudio fueron archivados con tamaño de píxel de 25 m. Durante la georectificación, el error general de RMS (*Root Mean Square*) se mantuvo en menos de 0,01 de un píxel (quiere decir, menos de 0,25 m para el tamaño de píxel de 25 m).

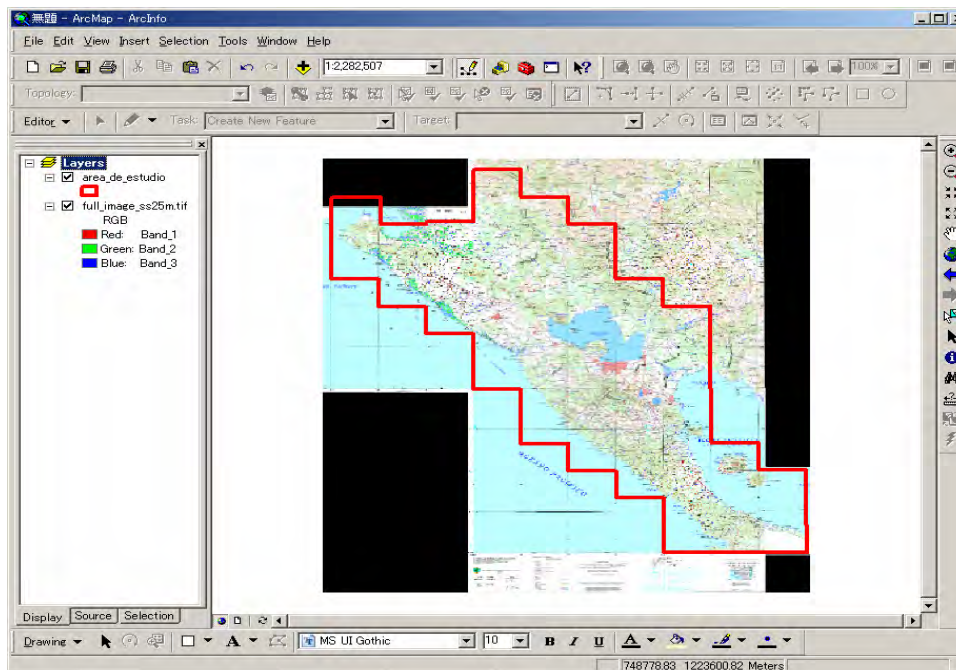


Figura 7-6 Datos topográficos raster de fondo (1/250.000) cubriendo la totalidad del Área del Estudio

7-3-4 Representación de los datos puntuales y los datos de fondo en ArcMap

Como el paso final, todos los estratos de datos de infraestructuras (puntos), los Datos Topográficos Digitales Raster y la línea divisoria del Área del Estudio fueron representados en conjunto en ArcMap de ArcGIS. Los datos puntuales fueron asignados con la simbología de tamaño y color adecuado, y de la misma manera, se verificó el enlace con las fotografías. Luego, con el uso de la Extensión de Map Publisher de ArcGIS,

todos los datos representados fueron convertidos en PMF (Portable Map Format). El formato PMF es compatible con ArcReader de ArcGIS como se indicó en la Figura 7-7. La Figura de izquierda muestra la representación de todo el Área del Estudio y la figura de abajo a la derecha muestra los datos alrededor de la Ciudad de León.

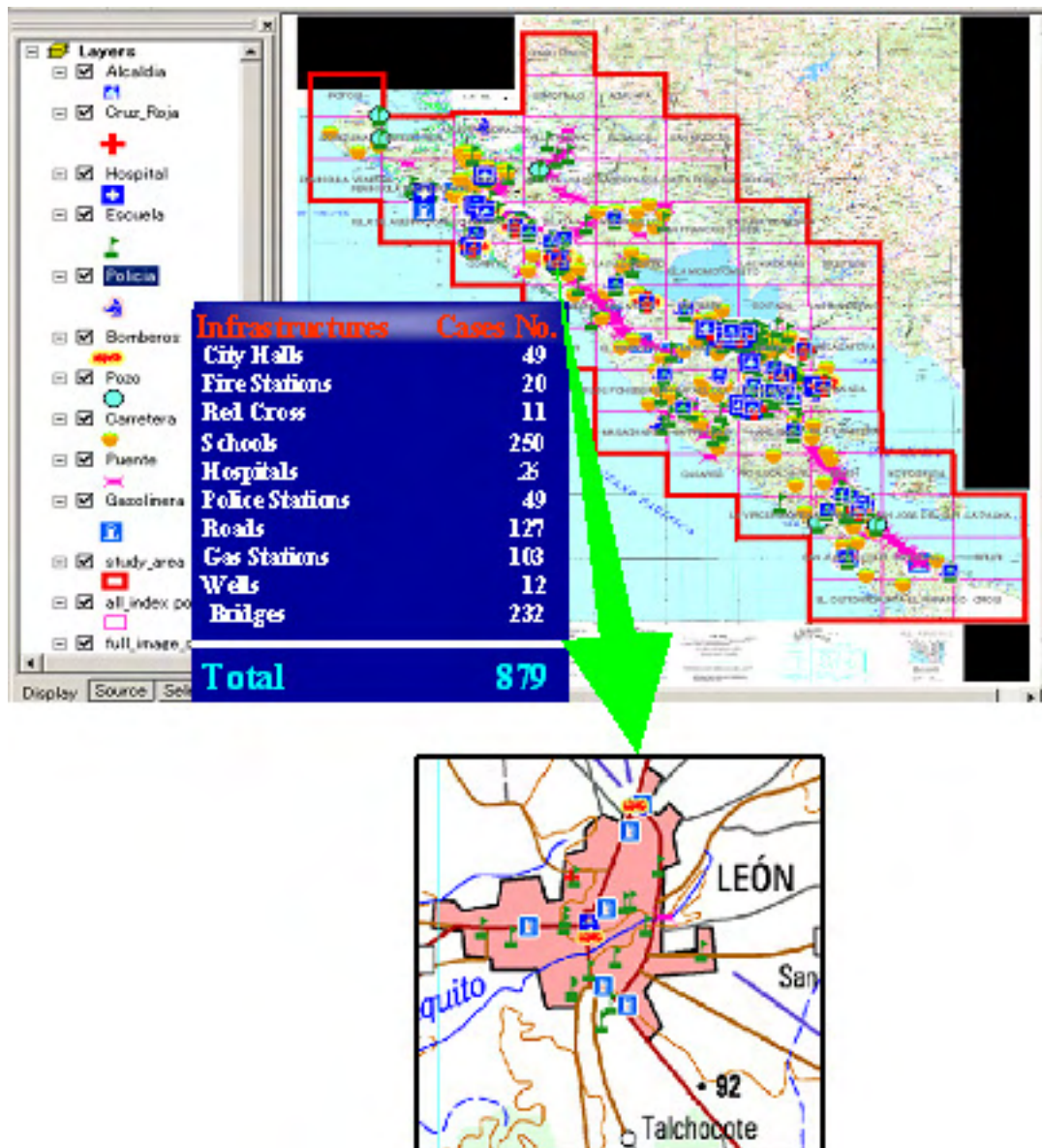


Figura 7-7 Base de Datos SIG sobre las Infraestructuras para la Mitigación de Desastre

El sistema arriba presentado puede representar toda la información al hacer click en el centro del símbolo. De la misma manera, aparece la fotografía (imagen) atribuida al utilizar el botón de *Hyperlink* o el botón de información y al hacer click sobre el ítem de la fotografía que se quiere ver.

8 PROCEDIMIENTOS DE PREPARACIÓN DE MAPAS DE AMENAZAS

8-1 Amenaza Sísmica

8-1-1 Proceso Básico de la Preparación de Mapas de Amenaza Sísmica

Las amenazas sísmicas naturales incluyen múltiples fenómenos como son los movimientos sísmicos del suelo, ruptura superficial, fallas en taludes, deslizamiento y licuefacción. La amenaza potencial de estos fenómenos constituye el objeto de la preparación de mapas de amenazas. Entre estos fenómenos, la preparación de mapas de los movimientos sísmicos del suelo es uno de los aspectos fundamentales de la investigación de amenazas sísmicas. En primer lugar, los movimientos del suelo se relacionan directamente con las fuerzas sísmicas que actúan sobre las estructuras, y por lo tanto, la zonificación sísmica para los movimientos del suelo proporciona un indicador inicial de riesgo de suma importancia. En segundo lugar, los movimientos del suelo se relacionan directamente con las fallas, incluyendo las fallas en taludes, licuefacción, que pueden agravar los daños a las estructuras. La zonificación de los movimientos del suelo es, por lo tanto, una parte esencial de la información necesaria para evaluar la naturaleza de las amenazas geotécnicas.

Los movimientos sísmicos del suelo son afectados por varios factores, tales como la fuente, propagación de ondas y efectos locales. Por lo tanto, la investigación sobre los movimientos del suelo depende de los siguientes factores.

- a) Sismicidad regional;
- b) atenuación de la intensidad del movimiento del suelo; y,
- c) efectos locales del sitio sobre el movimiento del suelo.

En la Figura 8-1 se presenta el flujo básico del análisis y parámetros claves del cálculo de movimientos del suelo.

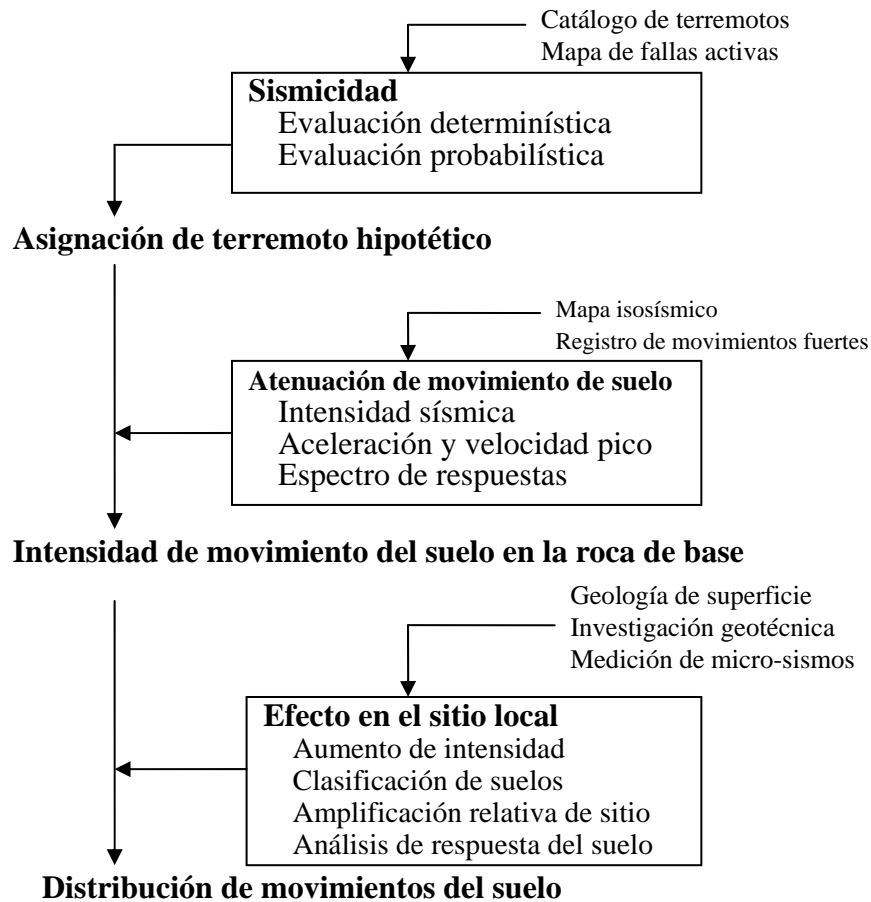


Figura 8-1 Flujo fundamental del análisis para el cálculo de movimientos del suelo

Fuente: Manual TC4

8-1-2 Estudio sobre la Sismicidad Regional

(1) Historia de desastres sísmicos

El Cuadro 8-1 muestra los principales sismos observados recientemente en el Área de Managua. Después de que esta ciudad fue designada como capital de Nicaragua, la región fue azotada por los desastres sísmicos en ocho ocasiones.

Cuadro 8-1 Principales Sismos en el Área de Managua

Año	Mes	Día	Hora(GMT)	Lat	Lon	M	Prof.	Intensidad	Notas
1853									Managua se convierte en la capital de Nicaragua.
1885	10	11	21:30 Local					VII	Se sintieron fuertes movimientos en Managua. Daños menores. 6 víctimas.
1898	4	29	22:30 Local	12,4	86,9			VII-VIII	Se sintieron los movimientos en todo el país. ¿Dos eventos?
1916	2	27	20:20:48	12,0	90,0	7,3	Poco profundo	IV	
1926	11	5	7:55:38	12,3	85,8	7,2	135 km	VII-VIII	Algunas víctimas en Managua. Casi la mitad de las viviendas fue afectada.

1931	3	31	16:02:21	13,2	85,7	5,5	Poco profundo	VIII	2000 muertos, y varios miles de lesionados. 35,000 quedaron sin casa. \$30 millones de pérdidas
1958	11	14	15:22:08	12,4	86,4	?	7 km	V-VI	
1968	1	4	10:03:57	12,1	86,3	4,6	5 km	VIII	Daños moderados en Managua. 300 viviendas en Centroamérica quedaron inhabitables.
1972	12	23	6:29:42	12,4	86,1	6,2	5 km	VIII-IX	Destrucción en 80 % en el centro y 60 % en el área periférica de la ciudad. Entre 8000 y 9000 muertos. Pérdida material alcanzó US\$ un billión.

Grases J. 1990. Terremotos Destructivos del Caribe 1502-1990, UNESCO-Red Latinoamericana y del Caribe de Centros de Ingeniería Sísmica

(2) Ambiente tectónico de la región

La sismicidad de Nicaragua es causada principalmente por la subducción de la Placa Cocos debajo del Caribe. El sismo máximo observado ocurrido por la subducción fue de 8.0. La sismicidad y la tectónica general de Nicaragua son de una típica zona Benioff buzando hacia el interior desde la fosa (*trench*). Existen actividades sísmicas poco profundas evidentes asociadas con la zona volcánica, donde han ocurrido sismos destructivos. La Depresión de Nicaragua (Graben) en las tierras bajas, paralela a la línea costera incluye la mayor parte de los centros volcánicos del país. Esta tierra baja es una cuenca cubierta con depósitos delgados de sedimentos del suelo aluvial y volcánico. Existen tres lugares con formación de volcánicos alineados. La más interesante para el estudio está cerca del offset de Managua. Dentro y cerca del límite de Graben, se observan varios sistemas de fallas. A lo largo de los bordes de la depresión, se observan falla de echado (*dip-slip*). Las fallas más destacadas son del azimut NE y también son conocidas las fallas de rumbo NO, NS y EO. El terremoto de Managua de 1972 ocurrió sobre la Falla Tiscapa de azimut NE que fue un desgarre con movimiento lateral izquierdo. Cerca de Managua existen varias fallas paralelas de azimut NE y el terremoto de 1931 también ocurrió en una de estas fallas cerca de donde ocurrió el terremoto de 1972. En la Figura 8-2 se muestra el mapa de la región alrededor de Managua y el ambiente tectónico en Nicaragua.

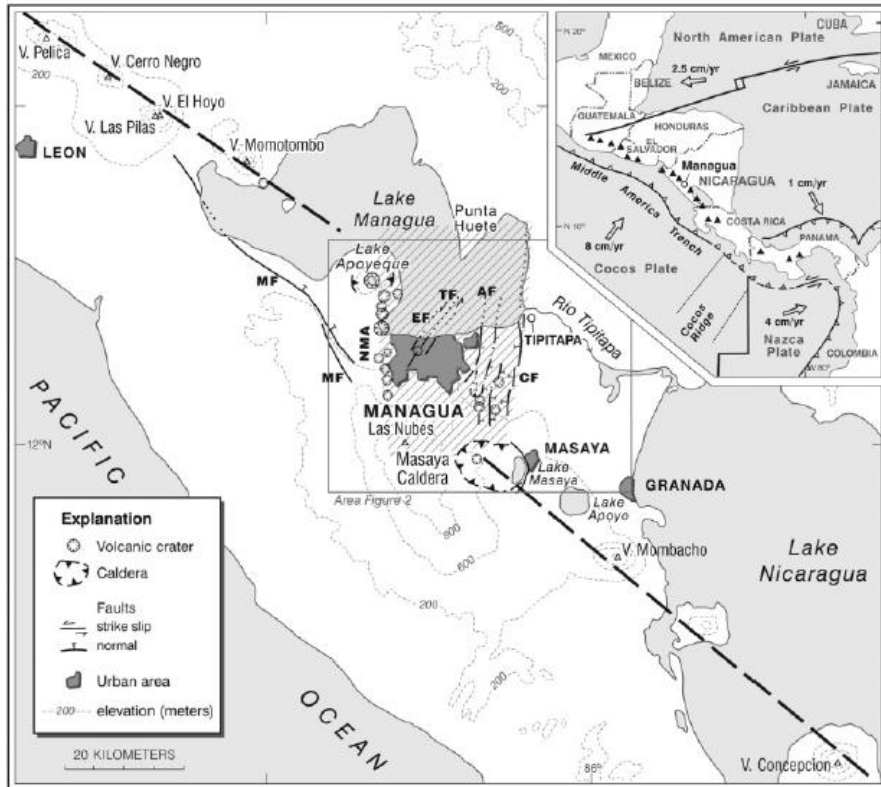


Figura 8-2 Mapa de la Región de Managua y sus Alrededores y el Ambiente Tectónico en Nicaragua

Fuente: Cowan, et. al., (2002)

(3) Fallas activas en área de Managua

En el Área de Managua donde existen abundantes evidencias de fallas recientes, existe un graben (Gruaben de Managua) de 15 km en forma discontinua con azimut de la cadena volcánica desde la caldera de Apoyeque hasta la caldera de Masaya, al sudeste del área metropolitana. El graben de Managua y su desgarramiento y falla oblicuo-normal muestran evidencias de extensión suave este-oeste y desgarramiento sinistral a lo largo de una tendencia norte y nordeste. La falla de Tiscapa con rumbo NNE-SSO y las tres fallas paralelas adyacentes presentaron un pequeño desplazamiento sinistral y normal durante el terremoto ocurrido el 23 de diciembre de 1972 de M6.2. Asimismo ocurrieron movimientos horizontales del rango entre 2 y 38 cm con rumbo ESE. En 1931, un terremoto de M6.0 rompió la falla de Estadio, 1.5 km al oeste de la falla de Tiscapa, con un deslizamiento máximo normal observado de 10 cm y un componente no determinado de desgarramiento. El margen oeste del graben de Managua se define por los conos de escoria y calderas que se extienden hacia el sur desde la caldera de Apoyeque Caldera a lo largo de una tendencia conocida como alineamiento de Nejapa-Miraflores-Apoyeque. Las zonas de falla de Asososca-Achualinca y San Judas forman escarpes con vista al este en este borde del graben, y se reportan desplazamientos de Holoceno en algunas localidades. Al margen este del graben de Managua y el Lago Managua están definidos por la falla de Cofradía, que forma un escarpe prominente que se extiende en rumbo sur hacia la caldera de Masaya. En la Figura 8-3 se presenta un mapa de fallas activas cerca de Managua y en el Cuadro 8-2 se resumen sus características.

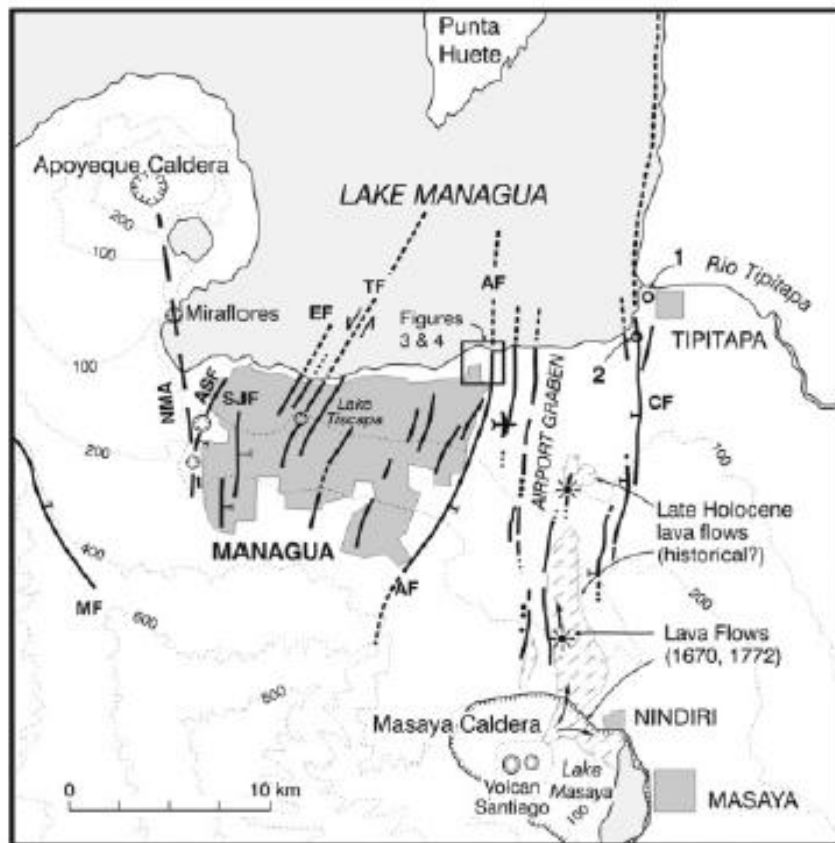


Figura 8-3 Mapa de fallas activas en el Área del Estudio

Fuente: Cowan, et. al., (2002)

Cuadro 8-2 Detalles de las Fallas Activas

Cód	Zona de falla	Azimut y longitud proyectada	Máximo individual reportado	Desplazamiento			Edad del movimiento mas reciente (kyr - 10 ³ yr)	Comentarios	Ref.*
				Alto máx de escarpe	Sensación observada de movimiento	Tasas de deslizamiento (mm/año)			
MF	Mateare	N50° O, ±318° 35km a máx. 70km	Se desconoce	- 200 m	Gran componente hacia el nordeste	Se desconoce	Probablemente < 20 kyr	NE - con vistas al escarpe topográfico en depósitos de ignimbrita de Pleistoceno superior No Holoceno informado de fallas y sísmicamente inactivo desde 1975 o más largo	1, 4, 8
NMA	Alineamiento Nejapa - Miraflores - Apoyeque	N10° O, ±5° - 20 km	-1 m normal	- 80 m	Hacia el este	Se desconoce	Probablemente < 10 kyr	Escarpes en forma de arco asociados con cráteres volcánicos definiendo el margen oeste del Graben de Managua.	2, 3, 8
ASF	Asososca - Acahualinca	N30° E, ±10° 5 km	-3 m normal	20m	Principalmente hacia el este, varios escarpes caen hacia el oeste	Se desconoce	< 10 kyr	Escarpes de forma de arco con vista al este y oeste que intersecta NMA hacia el sur.	2, 3, 8
SJF	San Judas	N-S, ±5° 5 km al máx. 10 km	1 m normal	15m	Hacia el este	Se desconoce	Probablemente < 5 kyr	Escarpe de forma de arco con vista al este que desplaza el suelo de Holoceno. Pequeñas grietas durante sismos de 1972.	2, 3, 8
EF	Estadio	N30° E, ±5° 2 km sobre tierra a máx. 10 km debajo del Lago Managua	0.5 m normal	- 1 m normal	Falla de desgarre lateral izquierda y cae hacia el este	Se desconoce	31 de marzo 1931	Ruptura superficial a lo largo de una sección de 2 km de la falla en 1931. Pequeñas grietas durante los sismos de 1972.	1, 5, 8
TF	Tiscapa	N24° E, ±7° 10 km a máx. 20 km hasta el Lago Managua	3.5 m normal	20 m normal	Falla de desgarre lateral izquierda y cae hacia el este	Probablemente 0-5	23 de diciembre de 1972	Pequeña expresión geomórfica en la anterior área urbana, pero depósito de lateral izquierda de varios metros sobre el muro de nordeste de la Laguna de Tiscapa. Más hacia SO, un escarpe con vista al este de 20 m de altura.	1, 2, 8
AF	Aeropuerto	N3° E, ±	0.5-1 m	10-12m	Falla de	Probablemente	A.D.	Traza superficial	6, 8

		6° - 15 km más la extensión debajo del Lago Managua	normal	normal	desgarre hacia el este puede ser importante	0-5	1650-1810	ligeramente convexa hacia el este y una falla subvertical. El escarpe tiene una altura máxima de entre 10-12 m, al oeste del Aeropuerto.	
Cf	Cofradia	N4° E, ± 13° -40km	0.5-1 m normal	- 15 m	Hacia el oeste	Probablemente 0-5	< 5kyr basado sobre depósitos del lago cerca de Tipitapa	Escarpe prominente que se extiende al sur hacia la caldera de Masaya y se asocia con numerosos nacimientos de aguas termales	7, 8

Fuente: Cowan, et. al., (2002)

(4) Mejoramiento del Catálogo Sísmico

Se recopilaron y se analizaron los siguientes catálogos sísmicos:

- Catálogo de sismos históricos de INETER (1505 - 1992; en adelante referido como “Catálogo A”)
- Catálogo de metodología instrumental de sismos de INETER (1993 - 2001; en adelante referido como “Catálogo B”)
- INETER Boletines Sismológicos (1995 - 2003/09/309)
- Catálogo compuesto de sismos de ANSS desde 1898 hasta la fecha
- NEIC/USGS
- NEIC/USGS(PDE), desde 1979 hasta la fecha
- Grandes sismos del mundo (2150B.C. - 1994 A.D.)
- México, Centroamérica, Caribe (1900 - 1979)
- Catálogo CMT de la Universidad de Harvard

Dado que de estos catálogos, a) y b) son los más completos se seleccionaron como material base para el presente Estudio los Catálogos A y B. Los demás catálogos arriba mencionados fueron utilizados para estimar los desastres sísmicos históricos que azotaron el Área del Estudio de Managua en combinación con las curvas de atenuación de movimientos del suelo. A continuación se describen las correcciones y modificaciones realizadas con base en los Catálogos A y B.

- Se corrigieron la ubicación y las magnitudes de los sismos destructivos ocurridos entre el período 1520-1973 del Catálogo A utilizando el Catálogo de Leeds (1974).
- Los Terremotos Instrumentales ocurridos desde 1995 hasta la fecha del Catálogo B fueron reemplazados por Boletines Sismológicos publicados por INETER.
- Los sismos considerados que tienen un error de ubicación de epicentro de más de 5 km fueron excluidos de la lista de sismos ocurridos desde 1995 hasta la fecha.
- Los eventos volcánicos fueron separados excluyendo los eventos dentro de un radio específico desde la ubicación de volcán histórico y profundidades menores de 7 km.
- Se excluyeron de la lista de sismos, los precursores del evento principal de magnitud intermedia a grande (Mmix de más de 6.0 y profundidades menores de 60), así como los eventos considerados como réplicas.

En la Figura 8-4 se presenta el procedimiento de la corrección y modificación de los catálogos.

En la Figura 8-5 se muestra la **distribución hipocentral de sismos en el nuevo catálogo.**

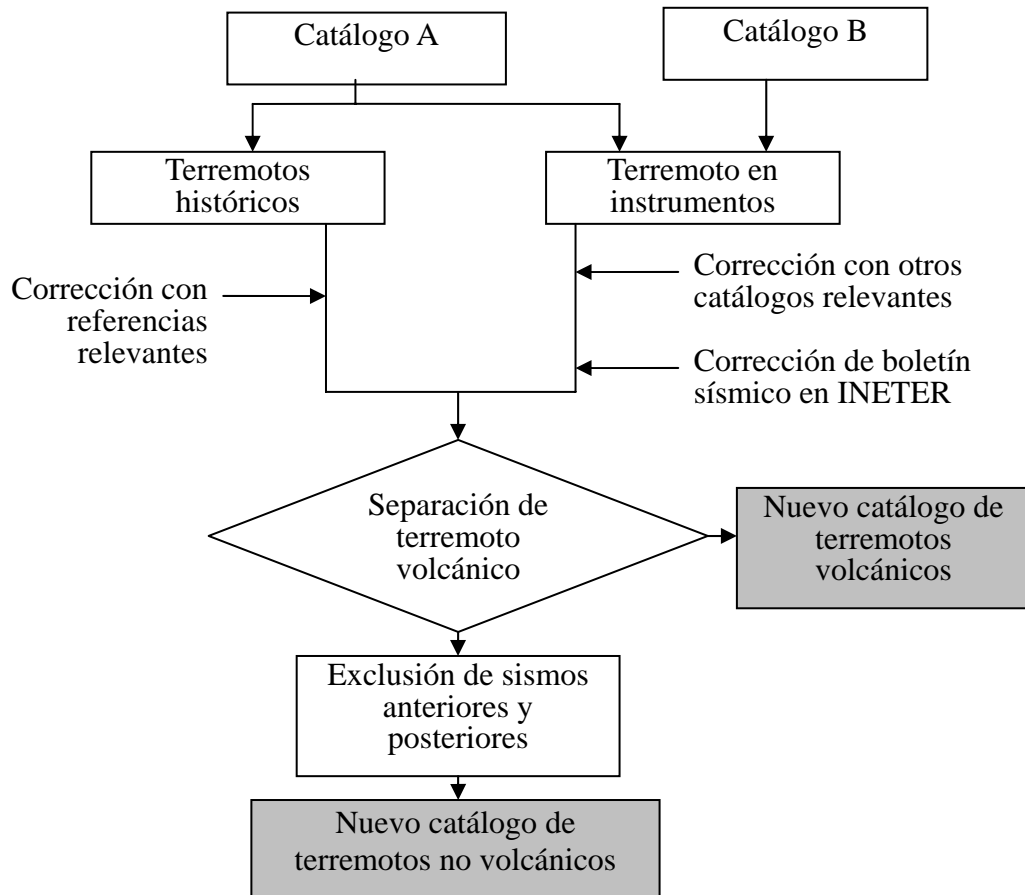


Figura 8-4 Procedimientos de la Corrección del Catálogo Sísmico

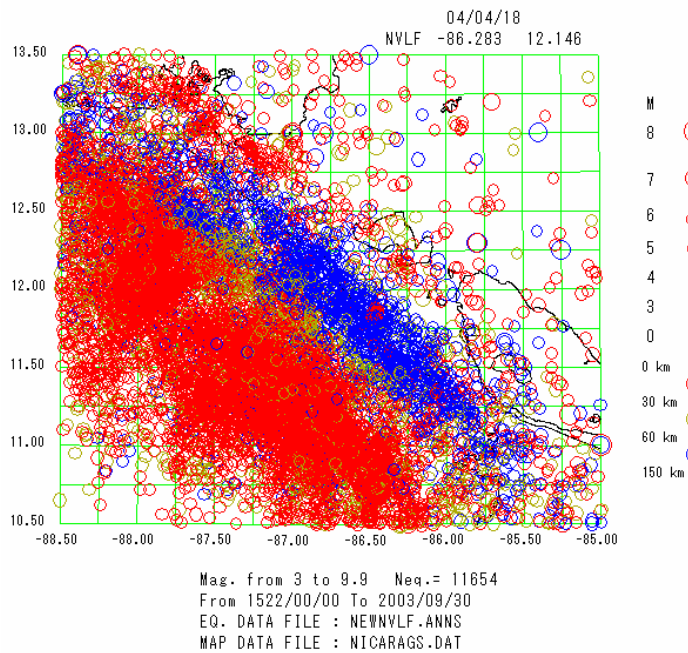


Figura 8-5 Distribución Hipocentral de Sismos en el Nuevo Catálogo

8-1-3 Determinación del Escenario Sísmico

Con base en los estudios y discusiones arriba descritas con los expertos de contraparte, se decidió adoptar el proceso determinístico para la simulación del movimiento sísmico causado por las fallas activas y volcanes. También se adoptó la base probabilística para el período de retorno de 100 años. Los siguientes tres (3) tipos de sismos fueron analizados y finalmente se estimaron y determinaron cinco escenarios sísmicos.

(1) Sismos por fallas activas

Las fallas Estadio y Tiscapa han tenido movimientos recientemente. Se crearon los modelos de la siguientes dos fallas que están al este de la Ciudad de Managua.

- Falla Aeropuerto

- Falla de Cofradía

De la Figura 8-3 elaborada por USGS, se asume que la traza superficial de las fallas consiste de dos líneas rectas cada una. No fue posible observar la extensión norte de estas dos fallas en la costa norte del Lago Managua, por lo que el extremo norte de estas dos fallas probablemente esté en el Lago. Desde el punto de vista del escenario sísmico, hemos asumido que los extremos norte de estas dos fallas se extienden a la costa norte del Lago Managua. Las magnitudes de estos escenarios fueron determinadas mediante la fórmula empírica de Donald L. Wells et. al (1994).

(2) Sismos volcánicos

Se desarrollaron los modelos de terremotos más grandes ocurridos alrededor de los siguientes volcanes activos. Con el uso del nuevo catálogo de sismos volcánicos, se encontró que la magnitud de los sismos volcánicos superiores a 5.5 se reduce 0.5 ó 1.0 después del análisis del Dr. Katayama.

- Apoyeque M = 6,0 (año 1852)

- Masaya M = 6,0 (año 1772)

En la Figura 8-6 se presenta la ubicación de los modelos de escenario sísmico de las fallas activas y volcanes. Los parámetros de estos escenarios fueron resumidos en el Cuadro 8-3.

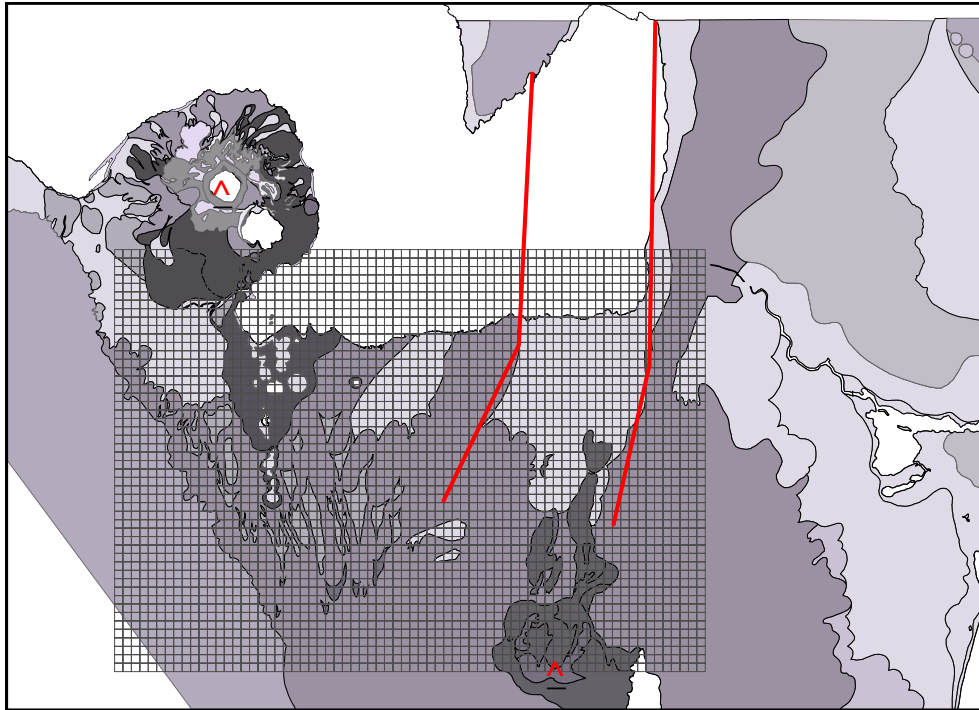


Figura 8-6 Ubicación del Modelo de Falla y del Modelo Volcánico

Cuadro 8-3 Parámetro de los Escenarios Sísmicos

Nombres		Fallas activas				Volcánicas	
		Aeropuerto		Cofradia		Apoyeque	Masaya
		Línea norte	Línea sur	Línea norte	Línea sur		
Extremo norte	Latitud	12,300	12,156	12,332	12,152	12.242 -86.342	11.984 -86.161
	Longitud	-86,175	-86,183	-86,107	-86,111	1353401	1324923
	UTM N E	1359877	1343917	1363451	1343494	571566	591341
	Zona 16, WGS84	589675	588856	597041	596734		
Extremo sur	Latitud	12 -86	12 -86	12 -86	12 -86		
	Longitud	1343917	1334844	1343494	1333711		
	UTM N E	588856	584720	596734	594564		
	Zona 16, WGS84						
Longitud	(km)	16,0	10,0	20,0	10,0	0	0
Longitud total	(km)	26,0		30,0		0	0
Anchura	(km)	8,0	5,0	10,0	5,0	0	0
Áng.buzamiento	(grado)	90		90		0	0
Profundidad	(km)	8,0	5,0	10,0	5,0	0	0
Tipo		Oblicuo - normal		Normal		Fuente puntual	Fuente puntual
Magnitud	Mw	6,7		6,8		6,0	6,0

1) (3) Aceleración en roca (método probabilístico)

Se realizó el análisis para establecer el sismo escenario probabilístico de la Ciudad de Managua. Para este estudio, se utilizó y analizó el nuevo catálogo sísmico mejorado. El estudio fue enfocado a los sismos ocurridos en la parte continental y en la línea costera frontal de Nicaragua con profundidades de foco que varían entre 0 y 90 km y magnitudes superiores a 3,5, excluyendo aquellos sismos de origen volcánico y fallas activas conocidas.

Con el fin de obtener la aceleración en roca base en la Ciudad de Managua, se aplicaron los siguientes procedimientos.

(a) Análisis del valor-B

Del análisis, se obtuvo un valor estándar general de aproximadamente 1,0 en el caso de excluirse los eventos con una magnitud del momento de menos de 4,5. Por lo tanto, para el análisis probabilístico, se eliminaron los eventos de $M_w < 4,5$.

(b) Generación de la curva de amenaza que predice la relación entre la probabilidad y los eventos causados a un nivel particular de PGA

Los eventos que se asume provocan los sismos potenciales asociados con las fallas causantes existentes en el Área del Estudio, fueron ya considerados en el apartado precedente (a). Por lo tanto, estos sismos históricos considerados como asociados claramente con los sistemas de fallas activas existentes dentro del Área del Estudio incluyendo el sismo principal y los sismos posteriores del Terremoto de Managua de 1972, han sido excluidos de la generación de curva de amenazas. De la curva de amenazas que se muestra en la Figura 8-7, se dedujo que la aceleración máxima con un período de retorno de 100 años es de 110 gals.

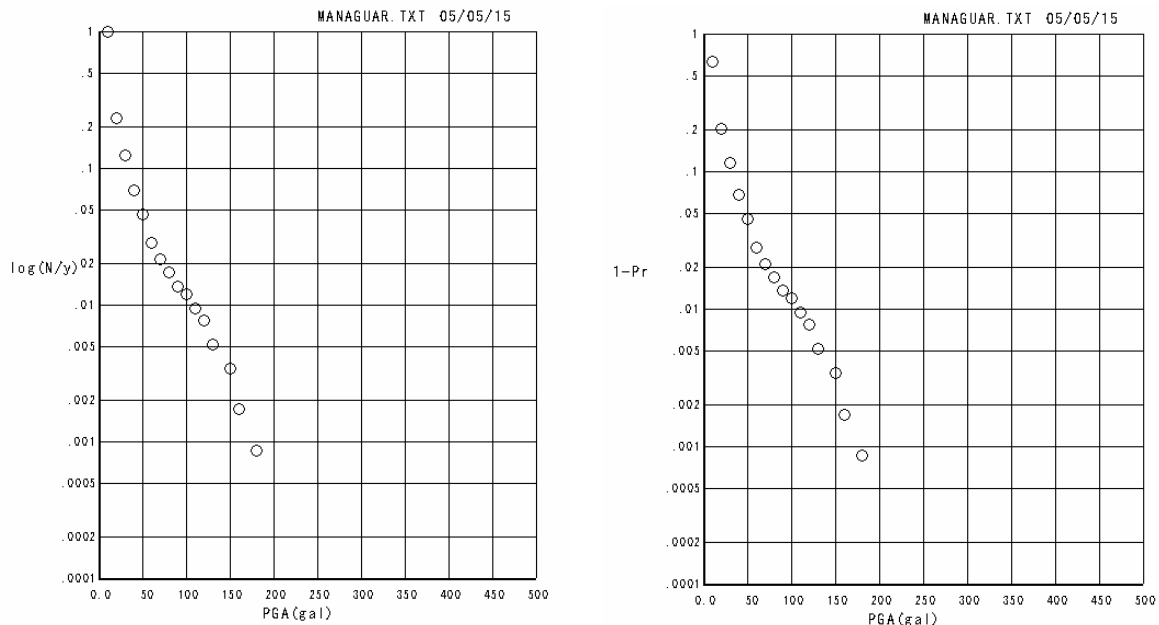


Figura 8-7 Curva de amenaza del Área de la Ciudad de Managua

(c) Generación de aceleración máxima probabilística sobre basamento

La serie de tiempo probabilística del suelo fue generado utilizando la relación magnitud-frecuencia de los eventos correspondientes con la curva de amenazas arriba mencionada y otras variables aleatorias descritas en la literatura de Katayama y otros (2001) para los movimientos de la roca madre.

A partir de la serie de tiempo generada, se definió la aceleración máxima esperada en la roca base del centro de la ciudad de Managua como el promedio de las aceleraciones máximas con desviación estándar. De esta manera, la aceleración máxima probabilística en la roca madre fue calculada en 110 gals con una desviación estándar de 28 gals.

8-1-4 Selección de la Fórmula de Atenuación

Se probaron algunas leyes de atenuación empíricas de aceleraciones máximas del suelo

con el fin de verificar si es probable explicar los desastres históricos y la intensidad de los movimientos del suelo registrados en la Ciudad de Managua. Se seleccionaron las leyes de atenuación utilizadas en el pasado para las amenazas sísmicas de Managua, y las leyes más comunes y consideradas como apropiadas para las características de la fuente sísmica en y alrededor de Nicaragua incluyendo la Ciudad de Managua.

Así, se seleccionaron los siguientes tres tipos de leyes de atenuación y los procedimientos de aplicación:

1) Sheridan y Turner (GSHAP 1999)

Esta ley de atenuación fue utilizada en el análisis de amenazas sísmicas de Centroamérica y de la Ciudad de Managua, cuyos resultados aparecen en el Sitio Web del INETER. Esta ley de atenuación consta de dos diferentes fórmulas empíricas: la primera es la que fue extraída del documento técnico de Joyner y Boore(1981), la cual fue aplicada a los eventos ocurridos en las placas de corteza continental, y la segunda es considerada como la fórmula elaborada por los autores, la cual se aplicó a los eventos ocurridos en la zona de interface entre la placa de subducción y la placa de corteza continental, así como a los eventos dentro de la placa de subducción (sismos profundos de hasta 250 km de profundidad).

2) Campbell (1989)

Esta fórmula fue elaborada con el fin de aplicarse a los sismos de pequeña a mediana magnitud de muy poca profundidad definidos localmente como magnitud ML, y por lo tanto, es considerada como un candidato muy apropiado de ley de atenuación para aquellos sismos de origen volcánico que normalmente ocurren cerca de la superficie del suelo y de pequeña magnitud, tales como los sismos detectados en Managua. Esta ley asume la fuente puntual mediante la determinación de la fuente-distancia.

3) Fórmula Combinada de Joyner y Boore (1981) y Young et al (1997)

Ésta es una nueva fórmula desarrollada siguiendo los procedimientos que se describen a continuación donde se combina la fórmula propuesta por Sherdan y Turner (GSHAP 1999). Sin embargo, la primera y la segunda ley de atenuación fueron reemplazadas por aquellas dadas por Joyner y Boore (1981) y Young et al (1997), que pueden ser extraídas de los documentos técnicos para conocer más detalladamente la metodología y los datos utilizados. En particular, la última ley empírica ha sido elaborada utilizando algunos registros obtenidos de los sismos ocurridos en Centro y Sudamérica. La regla de aplicación de esta ley de atenuación es similar a la ley previa dada por Sherdan y Turner (GSHAP 1999).

Utilizando estas leyes, se determinaron la aceleración máxima esperada y las intensidades MM en Managua según los sismos históricos extraídos del Catálogo de Sismos Importantes editado por ANSS (Advanced Seismic Sistema; USGS). Luego se calcularon y se compararon con los registros de desastres reportados. Los procedimientos detallados y los resultados del estudio se presentan en el apartado 2-1 Sismos en el Manual 2 Elaboración de Mapas de Amenazas. Se calculó la máxima aceleración de los eventos no volcánicos y volcánicos, respectivamente, mediante el uso de estas leyes candidatas. Finalmente, se llegó a la conclusión de que la nueva ley combinada de Joyner-Boore y Young es la más apropiada y aplicable a las aceleraciones registradas de los eventos tanto volcánicos como no volcánicos. La ecuación se expresa de la siguiente manera:

Para los eventos cuya profundidad focal es menor que 15 km,

$$\text{Log } A = -1,02 + ,249 M_w - \log \sqrt{(D^2+7,3^2)} - 0,00255\sqrt{(D^2+7,3^2)}$$

y para los eventos cuya profundidad focal es mayor que 15 km,

$$A = 0,2418 + 1,313M_w - 2.552\ln(R_1+1,7818e^{.554M_w}) + ,00607FD + ,3846Z_T$$

Donde, D: distancia horizontal a la proyección en superficie de la falla (km)

$$Z_T = 0 \quad \text{para eventos de interfaz}$$

$$Z_T = 1 \quad \text{para eventos entreplanos (intra-slab)}$$

$$RD = 0,5 * \sqrt{10}^{(M_w - 4)}$$

$$\text{si } RD > 37; RD = 37$$

$$R_1 = \sqrt{D^2 + FD^2}$$

$$\text{si } R < RD; \quad R_1 = RD$$

$$\text{si } RD \geq R; \quad R_1 = R - RD$$

Aquí, la regla de conversión de magnitudes utilizada para obtener la Magnitud Momento M_w es la siguiente.

$$\text{De } ML \text{ a } M_s: M_s = (0,8ML - 0,01 ML^2 - 0,8) / 0,63$$

$$\text{De } Mb \text{ a } M_s: M_s = 1,74Mb - 3,95$$

De M_s a M_w : si $M_s \leq 6,6$, entonces

$$M_w = 2/3M_s + 2,43,$$

y si $M_s > 6,6$, entonces $M_w = M_s$

Si se desconoce el tipo de M , se asume M como M_s .

$$\log a = -1,02 + 0,249 M - \log R - 0,00255 R$$

Donde,

a : aceleración máxima del suelo (G)

M : magnitud momento

$$R^2 = d^2 + 7,3^2$$

d : distancia horizontal a la proyección en superficie de la falla (km)

8-1-5 Modelo del Suelo para la Amplificación Subsuperficial

(1) Topografía del Área del Estudio

La mayor parte de la Ciudad de Managua se extiende sobre una ladera suave con inclinación hacia el norte. Varios cauces de agua que drenan en dirección norte desembocan en el Lago Managua. Todos estos cursos son pequeños con una profundidad máxima de valle de menos de 20 m en la ciudad. En la parte sur del Área de Estudio, es común encontrar quebradas profundas en el área de loma al oeste de la caldera de Masaya. La superficie ligeramente inclinada hacia el norte de la Ciudad de Managua es interrumpida en varios lugares por lomas bajas, cuya mayoría es evidentemente de origen volcánico reciente. Tiscapa en el centro de la ciudad, una loma cerca de la Laguna de Asososca al oeste, y las fosas de Nejapa al sudeste de Managua constituyen algunos ejemplos de ellos. La superficie presenta una inclinación hacia la caldera de Masaya y otros centros volcánicos.

La parte sur del Área de Estudio presenta una topografía acentuada que se extiende desde la zona montañosa de Mateare que muestra un alineamiento relativamente evidente de la falla Mateare con rumbo NO - SE. La ciudad de El Crucero se localiza donde se cruzan las montañas de Mateare y las montañas de Managua, y presenta una topografía de lomas relativamente accidentada con una elevación aproximada de 900 m.s.n.m. El estrecho de montañas de Managua que se extiende hacia el este desde la ciudad de El Crucero también muestra un claro lineamiento y desaparece en el Graben de Managua cerca de Masaya. Las crestas al este de las montañas de Managua son muy estrechas y accidentadas. En la Figura 8-8 se presenta el mapa topográfico existente de Área del Estudio.

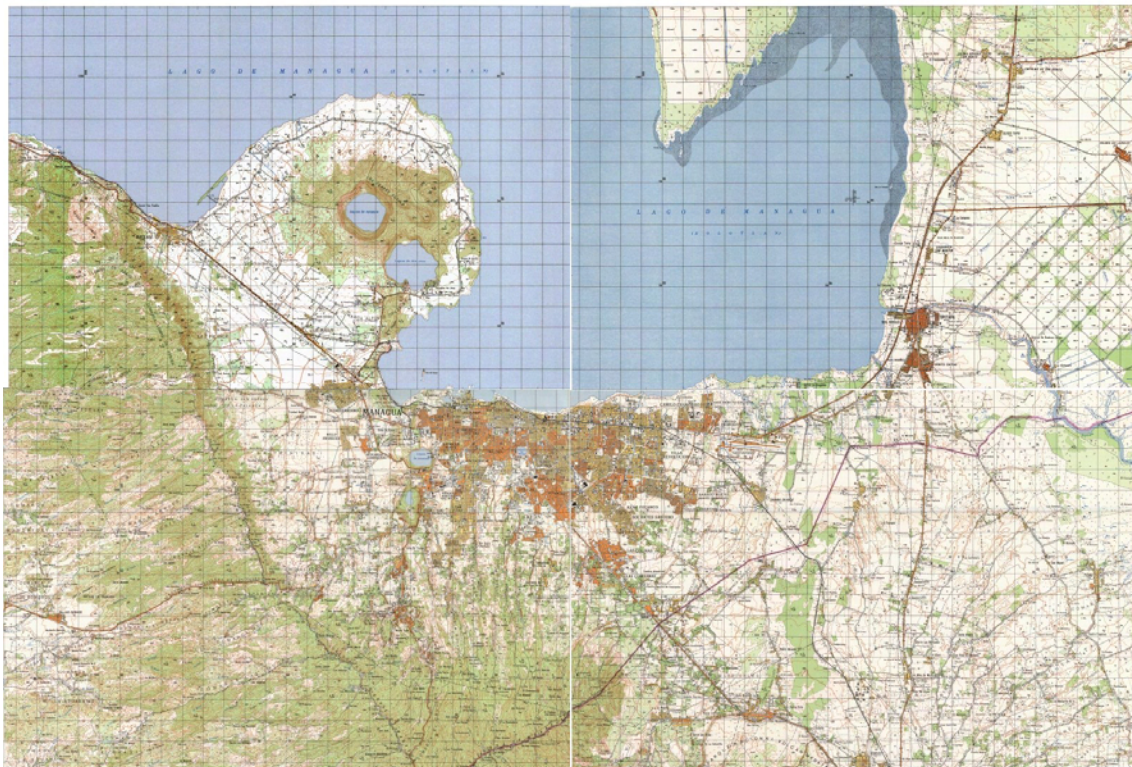


Figura 8-8 Mapa Topográfico del Área del Estudio

Fuente: INETER

(2) Geología de la región de Managua

El material geológico en Managua y sus alrededores forman depósitos de origen de varios centros volcánicos. Se identificaron cuatro centros volcánicos que forman el material acumulado que aflora en la región, los cuales son: 1) Masaya, 2) Apoyeque, 3) Asososca, Tiscapa, Nejapa-Ticomio y conos asociados, y 4) Talpetas y Miraflores. Hasta la fecha se han realizado varias investigaciones para identificar el origen y la relación cronológica de estos depósitos volcánicos.

Por otro lado, desde el punto de vista de ingeniería, la geología del área es relativamente homogénea, y no presenta clara diferencia según su origen. La geología del área puede ser agrupada según sus características físicas. Se diferencian cinco categorías de materiales, las cuales son: 1) tefra suelta, 2) depósitos de flujo de lodo volcánico y flujo de cenizas, 3) roca volcánica dura, 4) aluvión, y 5) suelo residual y material superficial del suelo. En la Figura 8-9 se presenta el mapa geológico del Área de Managua preparado por INETER.

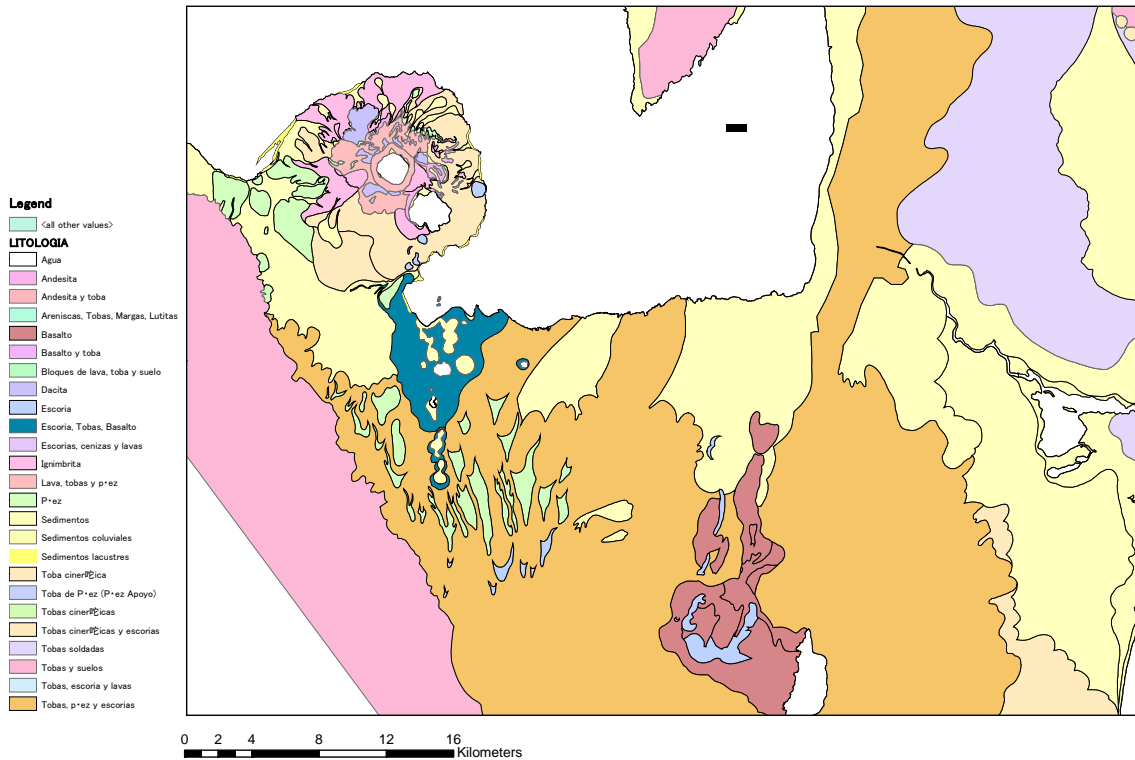


Figura 8-9 Mapa Geológico del Área del Estudio

Fuente: INETER

(3) Compilación de los datos geológicos disponibles

Los datos geológicos fueron compilados con base en los datos disponibles de 170 columnas estratigráficas. Casi todos estos datos corresponden a la zona céntrica de la ciudad de Managua, y no existe ningún dato con respecto a otras áreas. Por lo tanto, las características del suelo de otras áreas que no sea la ciudad de Managua fueron estimadas con base en los datos de ésta última.

Se prepararon cuatro perfiles geológicos en dirección Este-Oeste y tres perfiles en dirección Sur-Norte combinando los datos estratigráficos existentes sobre el mapa de geología superficial existente. En la Figura 8-10 se presenta la ubicación de estos perfiles. En la misma figura aparece también el sistema de cuadrícula descrito en el párrafo precedente, y la ubicación de las columnas estratigráficas existentes. En la Figura 8-11 se muestra los ejemplos de estos perfiles.

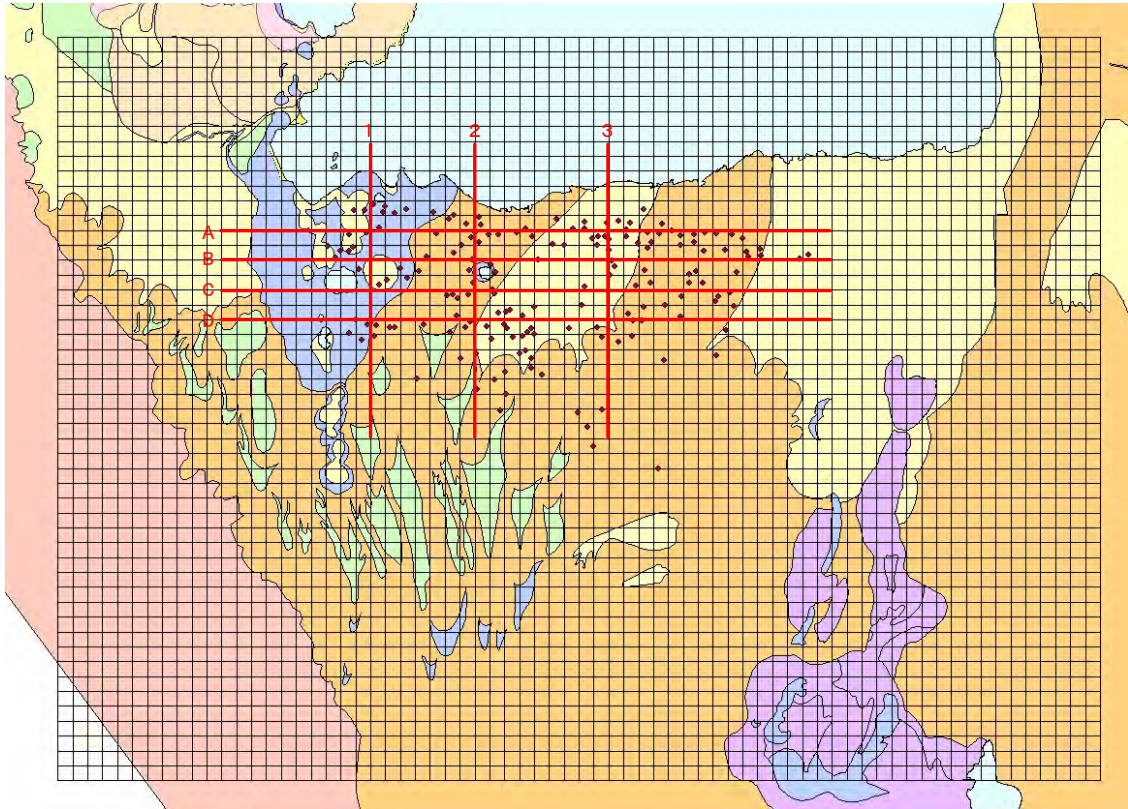


Figura 8-10 Ubicación de los perfiles geológicos

Perfil C

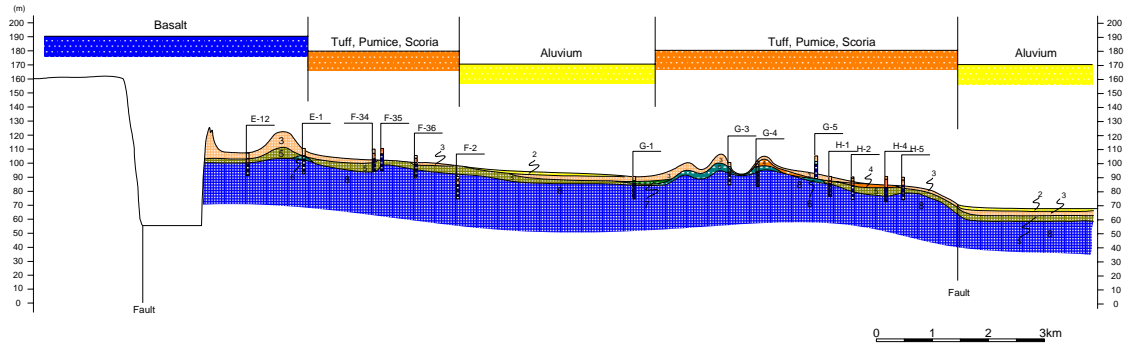


Figura 8-11 Ejemplo de los perfiles geológicos (Perfil C)

Perfil 2

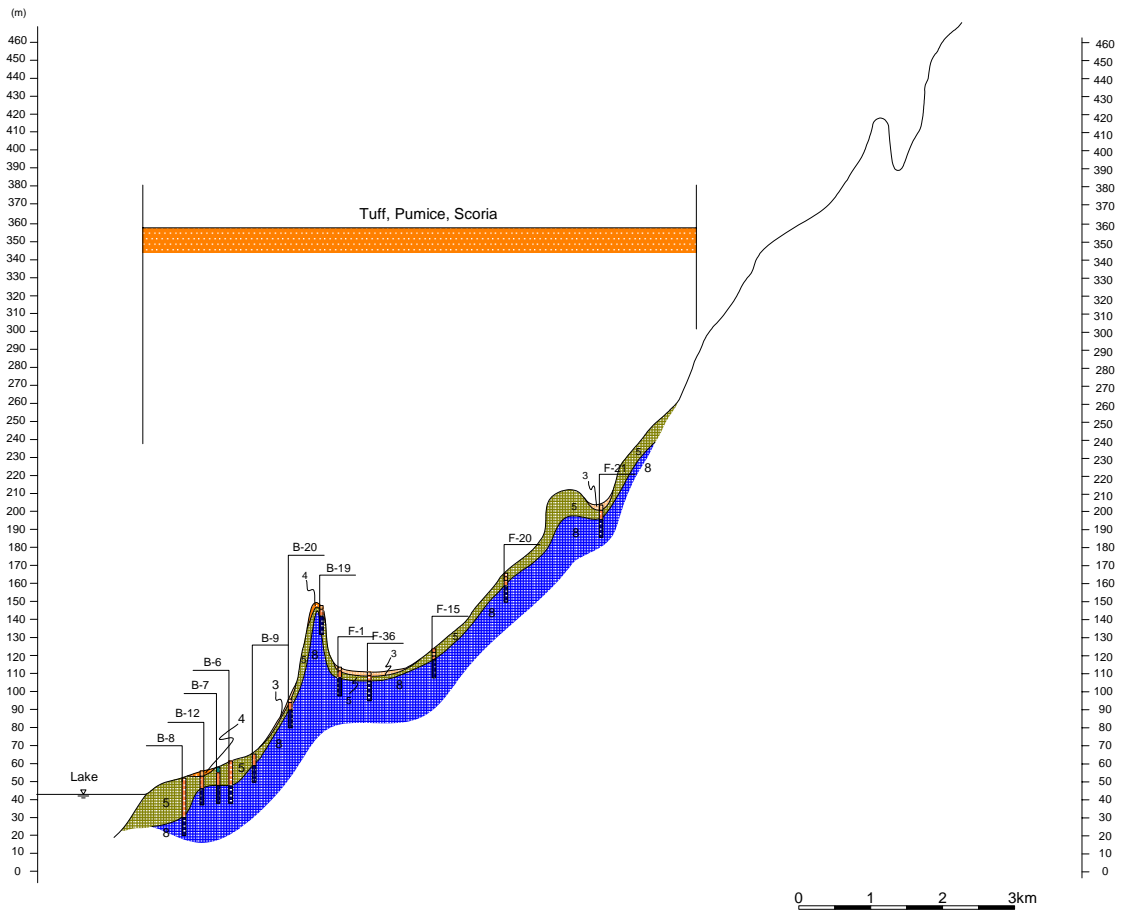


Figura 8-12 Ejemplo de los perfiles geológicos (Perfil 2)

(4) Clasificación del suelo

La clasificación del suelo es una información utilizada para determinar la amplificación del suelo superficial. Para este estudio, se clasificaron los tipos de terrenos según la velocidad media de cizalla que supera 30 m (AVS30). AVS30 es autorizado en “Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures,” (edición 1997, FEMA-302, 303; BSSC, 1997) por el Programa Nacional para la Reducción de Peligros de (NEHRP) de los EE.UU. En el Cuadro 8-4 se presenta la clasificación del tipo de suelos según NEHRP.

Cuadro 8-4 Clasificación del suelo según NEHRP

Clase	Velocidad media de cizalla mayor que 30 m
A	>1500 m/seg
B	760 - 1500 m/seg
C	360 - 760 m/seg
D	180 - 360 m/seg
E	<180 m/seg

La distribución de AVS30 se compila dependiendo de cada tipo de geología superficial, cada tipo de suelo observado en las muestras estratigráficas y cada profundidad de distribución de la velocidad de cizalla. En la Figura 8-13 se muestra la distribución de AVS30 de las columnas estratigráficas en cada tipo de geología superficial.

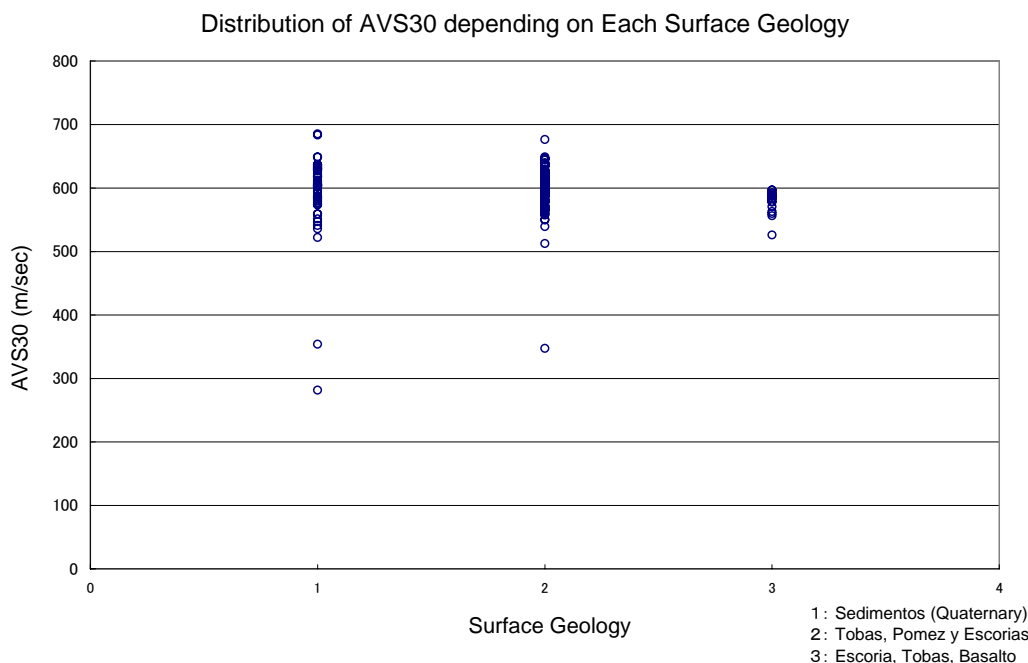


Figura 8-13 Distribución de AVS30 en cada tipo de geología superficial

El Estudio puso de manifiesto lo siguiente.

- De acuerdo con el análisis de los datos estratigráficos existentes, la distribución de la velocidad media de cizalla en cada una de las siete capas especificadas, no existen elementos distintivos excepto algunas localizaciones.
- De acuerdo con el análisis de los datos estratigráficos existentes, la distribución de la velocidad media de cizalla en cada una de las siete capas especificadas, no existen elementos distintivos excepto algunas localizaciones. (véase el Cuadro 8-4). Por lo tanto, AVS30 es irrelevante al tipo de geología superficial del Área de Estudio.
- Existen localmente algunas columnas estratigráficas con valores de la velocidad de cizalla de 300 m/seg (que corresponde a la clase D según la clasificación de NEHRP) en un cráter antiguo a 1 Km al norte de la Laguna de Asososca.
- La capa considerada como roca base se halla a una profundidad media de 10 m en casi todos los puntos de columnas estratigráficas. La capa de roca base en el punto estratigráfico que muestra $V_s=300$ m/seg se halla a una profundidad de más de 30 m. Por lo tanto, la velocidad de cizalla en este punto es más baja que en otros puntos.
- La sección transversal muestra un ángulo de inclinación que va aumentándose desde el Lago de Managua hacia el área montañosa. Sin embargo, la AVS30 no varía por el relieve topográfico.
- No se encontró relevancia entre la distribución de la geología superficial y estratigrafía geológica en los puntos de perforación existentes.

Por lo anterior, la construcción del modelo de suelo de acuerdo con la distribución de la geología superficial resultó ser un trabajo complejo. Por lo tanto, el tipo del suelo, la clasificación del tipo de suelo se basó en la información geográfica y no en la clasificación según NEHRP.

(5) Modelo de suelo

El suelo fue clasificado mediante las imágenes satelitales, en cinco tipos, a saber: Planicie baja, Planicie media, Área de lomas, Área Montañosa y Área de Cráter.

Casi todos los puntos de perforación existentes se localizan en el Área de lomas. La AVS30 de estos puntos de perforación varía entre 500 y 700 m/seg, que corresponde a la clase C (de $V_s=360$ a 760 m/seg) según la clasificación de NEHRP (véase la Tabla 6.1.2). Por lo tanto, el Área de lomas se define como la Clase C. Existen algunos puntos de perforación que muestran V_s de aproximadamente 300 m/seg. Esta V_s se clasifica en la Clase D (de $V_s=180$ a 360 m/seg) en la clasificación según NEHRP. Estos puntos se localizan en un cráter antiguo deducido según la información geográfica y geológica. Por lo tanto, el Área de Cráter se define como Clase D. Adicionalmente, el cráter antiguo en la parte norte de la Laguna de Masaya se fue hallado en las imágenes satelitales. Esta área está cubierta por materiales volcánicos incluyendo, tobas, pómez, y escoria sobre la superficie, diferente a otros cráteres antiguos que se hallan cubiertos por los sedimentos Cuaternarios. El cráter antiguo que aparece cerca de la Laguna de Masaya, aquí, se define como Clase D. Las características de los cráteres antiguos en la clasificación deberán ser analizadas con los especialistas e ingenieros locales.

En el Área montañosa, se considera que las rocas de basamento se hallan a pocas profundidades debido a que los sedimentos que cubren el Área Montañosa son poco profundos. Por lo tanto, el Área Montañosa se define como la Clase B (de 760 a 1500 m/seg).

Existen sólo dos puntos de perforación estratigráfica en la Planicie baja (D-6 y D-7). Los valores de AVS30 en ambos puntos de perforación están en 630 m/seg y 685 m/seg. Estos valores de V_s son similares a los valores hallados en otros puntos de perforación en el Área de lomas. Es así como la Planicie baja se define como Clase C.

En cuanto a la Planicie media, no existe ningún dato estratigráfico. Difícilmente se considera que la capa de sedimentos en esta área sea menos profunda que la del Área de lomas. Por lo tanto, la Planicie media se define como Clase C. En la Figura 8-14 se presenta el modelo de suelo en el Área de Estudio.

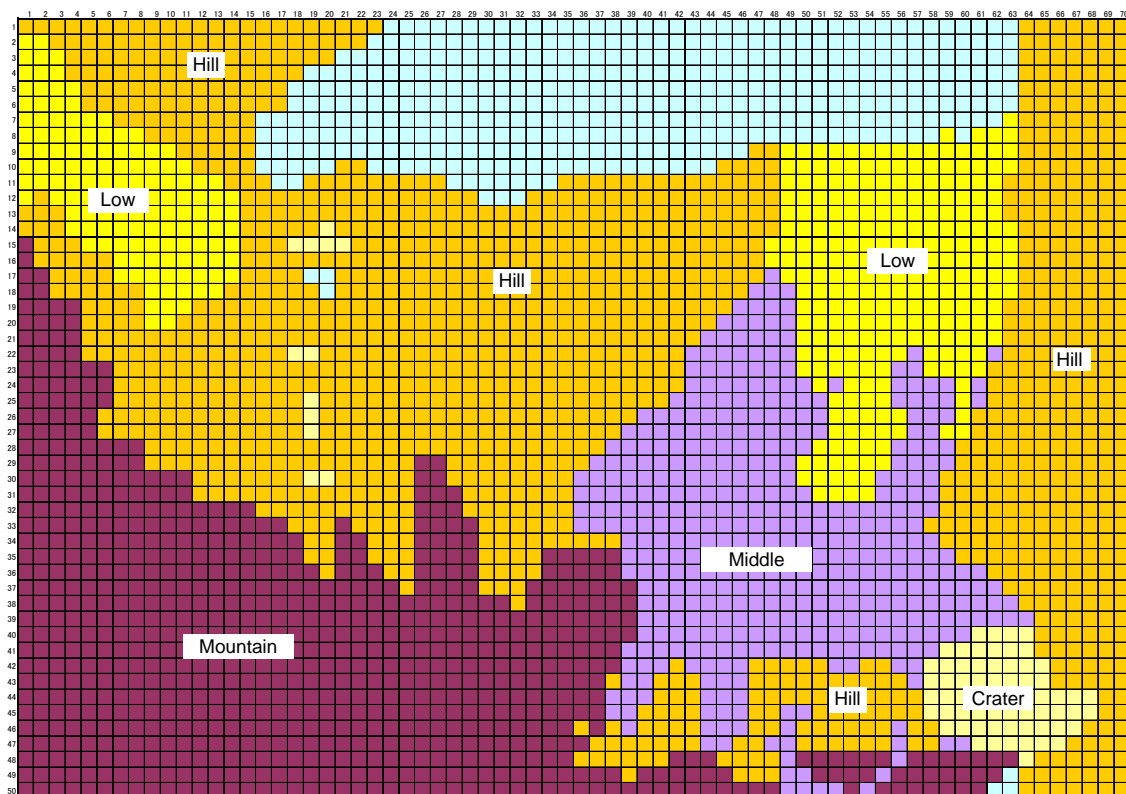


Figura 8-14 Modelo del suelo del Área de Estudio