



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576
FAX: (505) 222-4629
www.cne.gob.ni

**PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO DE
NICARAGUA**

Volumen VIII

EVALUACIÓN DEL AREA DE MANAGUA - CHILTEPE

Parte A: Texto, Tablas y Figuras

OCTUBRE DE 2001



CONTENIDO

ILUSTRACIONES	5
RESUMEN EJECUTIVO	8
1. DESCRIPCION DEL AREA	17
1.1 LOCALIZACIÓN	17
1.2 EXTENSIÓN DEL ÁREA	18
1.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS	18
2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE	21
2.1 CONCESIONES	21
2.2 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN	21
2.2.1 <i>Estudios Existentes</i>	21
2.2.2 <i>Estudios del Plan Maestro-2000</i>	24
2.3 PERFORACIÓN DE EXPLORACIÓN Y DE DESARROLLO	28
2.4 PRODUCCIÓN	29
2.5 ESTADO ACTUAL	29
3. ASPECTO GEOLÓGICOS, VULCANOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS	30
3.1 MARCO GEOLÓGICO	30
3.1.1 <i>Marco Geológico Regional</i>	30
3.1.2 <i>Marco Geológico Local</i>	40
3.2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA	43
3.2.1 <i>El Volcán Apoyeque</i>	43
3.2.2 <i>El Alineamiento de Nejapa</i>	54
3.3 HIDROLOGÍA	57
3.4 RIESGOS GEOLÓGICOS	60
3.4.1 <i>Riesgo Sísmico</i>	60
3.4.2 <i>Riesgo Volcánico</i>	61
3.4.3 <i>Riesgo de Derrumbe</i>	62
3.4.4 <i>Riesgo de Inundaciones y Aluviones</i>	63
4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL	65
4.1 MANIFESTACIONES TERMALES	65
4.1.1 <i>Tipo, Localización y Extensión</i>	66
4.1.2 <i>Quimismo y Geotermometría</i>	71
4.2 INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS	73
4.2.1 <i>Tipo</i>	73



4.2.2	Cobertura.....	75
4.2.3	Resultados.....	75
4.3	RESULTADOS DE POZOS GEOTÉRMICOS	81
5.	NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO	87
5.1	LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE CALOR	87
5.2	ZONAS DE ASCENSO.....	87
5.3	DIRECCIÓN DE MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS	88
5.4	TEMPERATURA.....	90
5.5	QUÍMICA DEL FLUIDO	91
6.	ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS	92
6.1	PENÍNSULA DE CHILTEPE	92
6.1.1	Definición de Parámetros.....	92
6.1.2	Cálculo de Reservas.....	94
6.1.3	Comentarios.....	95
6.2	COMPLEJO VOLCÁNICO DE NEJAPA (ZONA DE MANAGUA).....	95
6.2.1	Definición de Parámetros.....	95
6.2.2	Cálculo de Reservas.....	97
6.2.3	Comentarios.....	98
7.	ASPECTOS AMBIENTALES.....	99
7.1	INFORMACIÓN EXISTENTE.....	99
7.2	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	100
7.2.1	Aspectos Socioeconómicos.....	100
7.2.2	Aspectos Abióticos	104
7.2.3	Aspectos Bióticos.....	109
7.3	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	111
7.3.1	Situación Ambiental General.....	111
7.3.2	Aspectos //Ambientales y Desarrollo Geotérmico	111
8.	ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS.....	115
8.1	ACCESO	115
8.2	USO DE LA TIERRA	116
8.3	DISPONIBILIDAD DE SITIOS PARA PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN	116
8.4	DISPONIBILIDAD DE AGUA	118
8.5	FACTIBILIDAD DE REALIZAR TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y DESARROLLO	119
9.	OPCIONES PARA INVESTIGACION Y DESARROLLO.....	121
10.	REFERENCIAS.....	125



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576
FAX: (505) 222-4629
www.cne.gob.ni

T A B L A S	133
F I G U R A S	158



ILUSTRACIONES

Tablas

- VIII-2.1 Principales Estudios Existentes sobre el Área Managua-Chiltepe
- VIII-4.1 Datos de Temperatura y de Gradiente Térmico en Pozos Someros de la Península de Chiltepe
- VIII-6.1 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 2), Área de Chiltepe
- VIII-6.2 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3), Área de Managua-Chiltepe
- VIII-7.1 Población de la Zona de Chiltepe
- VIII-7.2 Características Químicas de los Cuerpos Hídricos Superficiales
- VIII-7.3 Datos Estadístico del Viento en las Estaciones Meteorológica Más Cercana al Área Managua-Chiltepe
- VIII-7.4 Lista de Especies de Flora para el Área Protegida de Península de Chiltepe
- VIII-7.5 Lista de Especies Animales para el Área Protegida de Península de Chiltepe
- VIII-7.6 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Managua-Chiltepe (Península de Chiltepe)
- VIII-9.1 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área de Managua-Chiltepe (Península de Chiltepe)

Figuras

- VIII-1.1 Mapa de ubicación, Managua-Chiltepe, Nicaragua
- VIII-1.2 Imagen Landast, Managua-Chiltepe, Nicaragua
- VIII-3.1 Esquema tectónico de la región Centroamericana y del Caribe (Weinberg, 1992)



- VIII-3.2 Provincias fisiográficas de Nicaragua (McBirney *et al.*, 1965)
- VIII-3.3 Estratigrafía y evolución tectónica de la parte occidental de Nicaragua
- VIII-3.4 Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)
- VIII-3.5 Esquema estratigráfica y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)
- VIII-3.6 Esquema estructural de la porción central de la Depresión Nicaragüense (Weinberg, 1992)
- VIII-3.7 Esquema estructural de la región de Managua (van Wyk de Vries, 1993)
- VIII-3.8 Esquema general del escudo volcánico Las Sierras-Chiltepe (van Wyk de Vries, 1993)
- VIII-3.9 Bosquejo general de la Falla de Mateare (van Wyk de Vries, 1993)
- VIII-3.10 Esquema geológico del área Managua-Chiltepe, Nicaragua
- VIII-3.11 Estratigrafía de la secuencia de Managua (Hradecky, 1997)
- VIII-4.1.1 Manifestaciones termales y temperatura de acuífero freático, Managua-Chiltepe, Nicaragua
- VIII-4.1.2 Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de campo, Managua-Chiltepe, Nicaragua
- VIII-4.1.3 Mapa hidroquímico de síntesis, Managua-Chiltepe, Nicaragua
- VIII-4.2.1 Mapa de ubicación de sondeos MT-AMT/RVT y de conductancia eléctrica, Managua-Chiltepe, Nicaragua (Electrodynne Surveys, 1980)
- VIII-4.2.2 Mapa de ubicación de sondeos y perfiles magnetotelúricos de Managua-Chiltepe, Nicaragua



- VIII-4.2.3 Mapa de isovalores de conductancia total a la profundidad de 1,000 m de sondeos magnetotéluricos por inversión lisa en 1D, Managua-Chiltepe, Nicaragua (GeothermEx, 2000)
- VIII-4.2.4 Mapa de isovalores de resistividad a la profundidad de 300 m de sondeos magnetotéluricos por inversión lisa en 1D, Managua-Chiltepe, Nicaragua (GeothermEx, 2000)
- VIII-4.2.5 Sección de resistividad a lo largo de perfil CH-2 de sondeos magnetotéluricos por inversión lisa en 2D, Managua – Chiltepe, Nicaragua (GeothermEx, 2000)
- VIII-4.2.6 Sección de resistividad a lo largo de perfil CH-3 de sondeos magnetotéluricos por inversión lisa en 2D, Managua – Chiltepe, Nicaragua (GeothermEx, 2000)
- VIII-4.2.7 Mapa de la elevación del techo de la capa conductora de sondeos magnetotéluricos por inversión en 1D, Managua – Chiltepe, Nicaragua (GeothermEx, 2000)
- VIII-4.3.1 Mapa de gradiente térmico por encima del acuífero freático, Managua – Chiltepe, Nicaragua
- VIII-5.1 Modelo geotérmico conceptual, Managua – Chiltepe, Nicaragua
- VIII-6.1 Histograma de capacidad energética, Managua – Chiltepe
- VIII-6.2 Probabilidad acumulativa de capacidad energética, Managua - Chiltepe
- VIII-6.3 Calculo de reservas, zona de Chiltepe
- VIII-7.1 Reservas naturales y áreas protegidas vigentes, Managua – Chiltepe, Nicaragua
- VIII-7.2 Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), Managua – Chiltepe, Nicaragua
- VIII-8.1 Elementos infraestructura, Managua – Chiltepe, Nicaragua



RESUMEN EJECUTIVO

El área Managua – Chiltepe abarca toda la zona volcánica que incluye la Península de Chiltepe y la faja volcánica que se extiende al Sur, generalmente conocida como el “Alineamiento de Nejapa”. A los fines del presente estudio se tomó en consideración todo el sector con vulcanismo reciente, que cubre un área de aproximadamente 160km².

El centro de la península volcánica de Chiltepe se ubica a solo 10 km al NO de Managua, mientras que el Alineamiento de Nejapa corre por el margen occidental de la ciudad de Managua. Otros centros habitados importantes que se encuentran en el área son Ciudad Sandino, Bello Amanecer, Los Brasiles y Mateare. Todo el sector meridional del área está densamente poblado y presenta varias instalaciones industriales. En la Península de Chiltepe, por el contrario, la población es muy reducida y limitada a los moradores de las varias haciendas agrícolas que se encuentran dispersas en las planicies alrededor del Volcán Apoyeque. En las laderas volcánicas de la Península de Chiltepe la vegetación original ha sido intensamente afectada por la intervención humana, de tal manera que la cobertura boscosa ha sido drásticamente reducida.

Hasta el presente, no se han solicitado concesiones para la exploración o explotación de recursos geotérmicos en el área de Managua – Chiltepe, y las investigaciones geotérmicas efectuadas hasta la fecha han sido esencialmente de tipo geocientífico, sin involucrar ningún trabajo de perforación. Sin embargo, la presencia de manifestaciones termales y el conocimiento de las condiciones geológicas y geofísicas locales, particularmente en la Península de Chiltepe, permiten definir un cuadro suficientemente atractivo para continuar con estudios adicionales que contribuyan al proceso de exploración y desarrollo.

El área está ubicada en una zona con importantes rasgos tectónicos, donde el eje de la Cordillera Volcánica cuaternaria cambia de rumbo y presenta un desplazamiento lateral, marcado por un alineamiento de pequeños conos y cráteres volcánicos (Alineamiento de Nejapa). En la



extremidad septentrional de este alineamiento y rodeado por el Lago de Managua se ubica el edificio volcánico de Chiltepe (Volcán Apoyeque, 518 m s.n.m.), que constituye el núcleo de la Península de Chiltepe.

El volcanismo en la Península de Chiltepe ha tenido una larga y continua historia de erupciones explosivas, asociadas con la emisión de grandes volúmenes de productos andesíticos y dacíticos, lo que indica la existencia de cámaras magmáticas localizadas a niveles someros. Las estimaciones del volumen de magma eyectando en las últimas tres erupciones explosivas del Volcán Apoyeque son consistentes con la presencia de una cámara magmática de moderadas dimensiones, pero posiblemente caracterizada por una alimentación constante de magma desde zona más profundas.

La formación de varios domos centrales en la estructura del Volcán Apoyeque ocurrió en los últimos 25,000 años y la última erupción explosiva ocurrió hace 6,590 años. Luego se produjo el colapso de las dos calderas de Apoyeque y Jiloá, respectivamente ubicada en la cumbre y en la ladera SE del edificio volcánico. Ambas calderas tienen un diámetro de aproximaciones 2.5km, y están ocupadas por una laguna, alineadas en el sentido NO-SE, paralelamente al eje de la cordillera volcánica cuaternaria. La caldera de Jiloá está ubicada en correspondencia con la intersección del edificio de Apoyeque y el Alineamiento de Nejapa. Finalmente, un cono de escorias ubicado inmediatamente al S de la Laguna de Jiloá ha sido datado en 4,100 años.

La Lagunas de Apoyeque y Jiloá tiene el nivel prácticamente igual al del Lago de Managua, lo cual indica una interconexión del nivel freático regional que es por lo tanto la principal fuente de alimentación de estas lagunas. Sin embargo, ambas lagunas tiene un nivel elevado de cloruros (1,700 a 2,400 ppm), el cual resulta probablemente de un aporte histórico de aguas geotérmicas. Esto no permite, sin embargo, establecer la existencia en la actualidad de puntos de descarga activos, como pueden ser manantiales subacuáticos. En toda el área se extiende un amplio



acuífero somero que está contenido en los depósitos piroclásticos y aluviales recientes, los cuales son altamente permeables. La profundidad del agua subterránea varía desde pocos metros hasta 80-100 m, dependiendo de la elevación y de la posición topográfica. Este acuífero es ampliamente explotado para aprovechamiento hídrico.

La manifestación termal más importante del área es una zona de moderada actividad fumarólica con una temperatura que ha sido reportada entre 98° y 104°C, ubicada en la orilla N de la Laguna de Jiloá. Estas fumarolas se encuentran actualmente inundadas por el crecimiento del nivel de la laguna ocurrido después del Huracán Mitch, en 1998, por lo cual actualmente se observan solamente las emisiones gaseosas en el agua. Otras manifestaciones termales que se observan en el área son:

- Suelos calientes con temperatura de hasta 40°C en la orilla E de la Laguna de Jiloá;
- Suelos calientes con temperatura de hasta 86°C en la orilla NE de la Laguna de Apoyeque;
- Emisiones gaseosas intermitentes en Laguna de Apoyeque;
- Aguas subterráneas en el flanco O y SO del Volcán Apoyeque con temperatura de hasta 39°C y composición química anómala, probablemente causada por mezcla con dióxido de carbono libre o asociado con vapor;
- Aguas subterráneas al N y NNO de Laguna de Apoyeque, con temperatura de hasta 42.3°C que se correlacionan con incrementos de Cl (hasta 582 mg/l) y de la alcalinidad;
- Pozos dispersos en la parte NE de la península con anomalías de temperatura y de Cl; y
- Aguas subterráneas al SE de la Laguna de Jiloá con temperatura de hasta 45.4 y concentración de Cl de hasta 790 mg/l.

La relación entre la temperatura y los cloruros en las aguas de estas zonas admite la presencia de un componente original con temperatura mayor de 80°C a ,2500 mg/l de Cl. La temperatura a



profundidad puede ser más elevada, pero los cationes y la sílice en las diferentes aguas subterráneas se han re-equilibrado en las condiciones ambientales someras. Los geotermómetros aplicados a una muestra de gas obtenida de las fumarolas de Jiloá, sugieren una temperatura de equilibrio geoquímico mayor de 200°C, lo cual se considera representa un valor mínimo para el sistema geotérmico profundo. Se considera probable que existan temperaturas mucha más elevadas.

En el ámbito del presente estudio se obtuvieron datos magnetoteléuticos (MT) en un área de 70 km² en la Península de Chiltepe. Los resultados evidencian una capa resistiva que va desde la superficie hasta el nivel del mar, la cual corresponde a las rocas del edificio volcánico de Apoyeque. Debajo de ésta se encuentran amplias zonas conductivas de espesor variable (de 200^a 1,500 m) y con resistividad variable entre 2 y 12 ohm-m, las cuales yacen a su vez sobre un cuerpo más resistivo (20 a 200 ohm-m). Debajo de la Laguna de Jiloá y más al N existe un horizonte conductivo delgado y elevado, particularmente bien definido en el sector de la Laguna de Jiloá e inmediatamente al N, el cual tiene una alta probabilidad de haber sido originado por actividad geotérmica. El horizonte conductivo subyacente hasta 1,500 m de profundidad podría indicar la presencia de fluidos hidrotermales o de procesos de alteración asociados. El área de principales interés para investigaciones ulteriores es un sector ubicado al E de la Laguna de Apoyeque, que presentan baja resistividad (menos de seis – ocho ohm-m) a 300 m de profundidad.

Las anomalías químicas y las temperaturas de los pozos someros de la Península de Chiltepe evidencian con bastante claridad que existe una anomalía térmica que cruza todo el edificio volcánico de Apoyeque en sentido SE-NO, debajo del cual ocurren procesos de subida de fluidos geotérmicos desde zonas profundas hacia la superficie. Se puede estimar que existe un gradiente somero elevado, mayor de 50°C/100 m, en un área de por lo menos 20 km².



Todos los fenómenos arriba descritos ocurren en correspondencia con la intersección entre el sistema de fallas N-S y el Alineamiento de Nejapa, además de otro importante sistema tectónico con rumbo NO-SE. Es posible que esta intersección estructural genere una zona de fracturas que favorece la subida de fluidos geotérmicos profundos hacia la superficie. Es muy probable que las aguas de Jiloá y Apoyeque y del acuífero freático, particularmente en los sectores NO y SE de la península, estén afectadas por la misma fuente de contaminación, la cual consistiría en un flujo de agua geotérmica de tipo Na-Cl (sodio-cloruro), con aproximadamente 2,500 mg/l de Cl y un pH alrededor de neutro, que se desplaza lateralmente desde una zona de subida ubicada debajo del sector NE de las Laguna de Jiloá y Apoyeque. No hay evidencia de que exista una superación importante de vapor.

En cuanto a los riesgos naturales, el área está sujeta principalmente a la posibilidad de eventos sísmicos, erupciones volcánicas, inestabilidad de las laderas volcánicas e inundaciones. La península ha sido, también en tiempos muy recientes, un sector caracterizado por eventos sísmicos de moderada y baja intensidad, aparentemente concentrado debajo del edificio volcánico. El principal riesgo volcánico deriva de posibles erupciones explosivas. La mayoría de las laderas del Volcán son suaves y poco inclinadas así que no representan un gran riesgo de derrumbes. Los sectores NO y SE de la península presentan elevaciones de pocos metros superiores al nivel medio del Lago de Managua (39 m s.n.m.) y por lo tanto están sujetos a inundaciones. No existen cursos de aguas superficiales en el área y cuando suceden precipitaciones fuertes, se activa una fuerte escorrentía superficial, lo cual genera fenómenos importantes de erosión con el consiguiente transporte de material clástico.

Las reservas energéticas del posible sistema geotérmico ubicado en la Península de Chiltepe, asociado con las calderas de Apoyeque y Jiloá, se han estimado con reservas de Categoría 2, de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. El valor promedio de la distribución probabilística de reservas es de aproximadamente 113 MW para un plazo de 30 años,



con una desviación estándar de 58 MW. El 10° percentil de la distribución es aproximadamente de 50 MW; en otras palabras, sobre la base de las premisas anteriormente mencionadas, existe un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables exceden este valor.

El valor mediano (50 percentil) de la capacidad es de 101 MW, aproximadamente, y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es alrededor de 17 MW/km².

Estos cálculos indican que probablemente, asociado con el sistema geotérmico de Chiltepe, exista una cantidad importante de calor, con potencial para soportar un desarrollo geotérmico comercial importante. La presencia de estas reservas energéticas no necesariamente implica que estas puedan ser recuperadas económicamente para la producción geotermoeléctrica. Será necesario realizar la perforación y prueba de pozos de producción, para demostrar que existe suficiente permeabilidad en el yacimiento para permitir la extracción económica del calor.

Las reservas potenciales asociadas con cada uno de los complejos volcánicos del área (la Península de Chiltepe y el Alineamiento de Nejapa) se han estimado como reservas de Categoría 3. El cálculo de las reservas se ha realizado por separado para cada complejo volcánico. Sumando para cada volcán las reservas potenciales asociadas con un complejo magmático, se obtienen las siguientes estimaciones medias de las reservas totales (basadas en el valor medio de la distribución probabilística): Península de Chiltepe 244 MW; Alineamiento de Nejapa 93 MW.

Como en todas las áreas a las que se les ha asignado la Categoría 3 para el cálculo de las reservas de energía, los resultados presentados arriba son una representación estadística del potencia en el área y no prueban concluyentemente que se presente un recurso geotérmico comercialmente explotable. La presencia de tal recurso depende de la existencia de un volumen suficiente de roca permeable que permita la convección de los fluidos. Además, las reservas estimadas para el Alineamiento de Nejapa deben considerarse especulativas, por la naturaleza muy dispersa de la



actividad volcánica en esta zona. Las reservas de Categoría 2 llevan un mayor nivel de certeza que aquellas de Categoría 3, tanto en la precisión de los cálculos, como en la localización inferida del recurso geotérmico. Sin embargo, por ser parte de las reservas asociadas con el calor del sistema magmático de la Península de Chiltepe, no aumentan el nivel de reservas calculado de la Categoría 3.

La información recolectada durante las investigaciones el Plan Maestro permite evidenciar una serie de factores favorables y desfavorables con respecto a la realización de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en esta área y, en particular, en la Península de Chiltepe.

Los aspectos favorables son:

- cercanía a la ciudad de Managua, con ventajas correspondientes de tipo logístico;
- facilidad de acceso en la mayoría del área;
- buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país;
- línea de distribución eléctrica en todo el perímetro de la Península de Chiltepe;
- buena disponibilidad de agua para las operaciones de perforación;
- bajo potencial de conflictos de carácter social (baja densidad de población);
- limitados problemas o restricciones de disponibilidad de los terrenos;
- presencia de la subestación eléctrica “Los Brasiles” en Ciudad Sandino, nodo primario del sistema de transmisión eléctrica de Nicaragua (SIN);
- cercanía al principal mercado eléctrico nacional (Managua); y
- no se anticipan problemas ni costos importantes derivados de la atenuación adecuada de los potenciales impactos ambientales negativos.

Los aspectos desfavorables son:

- presencia de una Reserva Natural en el relieve del Volcán Apoyeque;



- presencia de un Centro Turístico popular a orillas E y S de la Laguna de Jiloá;
- presencia de bases militares (en áreas marginales); y
- riesgo volcánico y sísmico (de una magnitud que es común con la mayoría de las áreas geotérmicas localizadas en regiones volcánicas activas).

En conclusión, aunque existan localmente algunos puntos sensibles, no se reconocen problemas de tipo logístico, infraestructural o socioeconómico que impongan limitaciones importantes a la viabilidad de un proyecto de exploración y desarrollo geotérmico en la Península de Chiltepe.

El nivel de conocimiento que existe sobre el área Managua – Chiltepe permite considerar completa la etapa de estudios de pre-factibilidad. Hay una buena probabilidad de que exista un recurso geotérmico comercialmente explotable y que las reservas de energía recuperables calculadas sean suficientes para un desarrollo inicia de 20 MW o mayor. Por lo tanto, la zona de la Península de Chiltepe es una de las dos áreas seleccionadas para desarrollar especificaciones detalladas de los estudios para la etapa de factibilidad (Anejo J del Volumen I). Las actividades principales requeridas para alcanzar el nivel de factibilidad son:

- Actividades exploratorias adicionales conducentes a refinar el modelo conceptual y mejorar la posibilidad de éxito de la perforación: interpretación geológica detallada de áreas seleccionadas, gravimetría con densidad de estaciones entre moderada y alta, muestreo de las fumarolas sumergidas por debajo de la Laguna de Jiloá y, de ser posible, conducir otras investigaciones de tipo geofísico.
- Perforación de pozos exploratorios de diámetro reducido hasta 1,000 – 1,500 m de profundidad. Costo aproximado: \$2,100,000.
- Administración, análisis y síntesis de los resultados para afinar la localización de los sitios para la perforación de pozos de producción de diámetro convencional.
- Localización, perforación y prueba de pozos de diámetro convencional. Costo aproximado: \$4,600,000 (dos pozos de producción, uno de inyección, pruebas, evaluación, administración e informes).



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576
FAX: (505) 222-4629
www.cne.gob.ni

El presupuesto total estimado del estudio de factibilidad es aproximadamente \$7,900.000 durante un periodo de dos años y tres meses.

Dependiendo del estado de la legislación, las condiciones económicas, las limitaciones de tiempo y otros factores, el ejecutor del programa podría decidir llevar directamente a cabo la perforación de pozos de diámetro convencional, evitando la fase de perforar pozos de diámetro reducido. Esto disminuiría la inversión total en el caso de tener éxito, pero incrementaría el riesgo de pérdidas financieras.



1. DESCRIPCION DEL AREA

1.1 Localización

Con el término Managua-Chiltepe se hace general referencia a la zona volcánica ubicada inmediatamente al Oeste y Nor-Oeste de la ciudad de Managua, la cual incluye la Península de Chiltepe y la faja volcánica que se extiende al Sur de la misma, generalmente conocida como “Alineamiento de Nejapa”.

El centro de la península volcánica de Chiltepe, representado por la caldera y Laguna de Apoyeque, se ubica a tan solo 10 km al NO de Managua, mientras que el “Alineamiento de Nejapa” (Cráter de Nejapa, Cráter de Asososca, Cerro Motastepe, otros cráteres de explosión y colapso menores y conos piroclásticos) corre al margen occidental de la ciudad misma (ver **Figura VIII-1.1**).

Otros centros habitados importantes que se encuentran en el área son (ver **Figura VIII-1.1**):

- Ciudad Sandino y Bello Amanecer, que constituyen la extremidad occidental de Managua y se encuentran separados de la misma por el Alineamiento de Nejapa; y
- Los Brasiles y Mateare, ubicados en la planicie al SO del Volcán Apoyeque.

La Península de Chiltepe pertenece administrativamente al Municipio de Mateare, Departamento de Managua, mientras que el sector al Sur del poblado de Los Brasiles, incluyendo Ciudad Sandino y toda la zona periférica occidental de la ciudad capital pertenece a los Municipios de Managua y Ciudad Sandino.



1.2 Extensión del Área

No existen todavía estudios de suficiente detalle como para delimitar con precisión el área, o las áreas, que contienen recursos geotérmicos de interés comercial en Managua-Chiltepe.

A los fines del presente estudio se tomó en consideración todo el sector con vulcanismo reciente que incluye los centros volcánicos de la Península de Chiltepe y del “Alineamiento de Nejapa”. La superficie de este sector, lo cual incluye toda la Península de Chiltepe al NE de la carretera que une Ciudad Sandino a Mateare y una franja de aproximadamente 5 km de ancho y unos 10 km de largo que incluye el “Alineamiento de Nejapa”, resulta ser de aproximadamente 160 km² (ver **Figura VIII-1.1**). El área de la **Figura VIII-1.1** se encuentra en las hojas topográficas de INETER 1:50000 de Mateare (2952-IV) y de Managua (2952-III).

1.3 Características Fisiográficas

El área se ubica al interior de la Depresión Nicaragüense y en correspondencia de la Cordillera Volcánica Cuaternaria. La Depresión Nicaragüense es un amplio valle que cruza todo Nicaragua en sentido NO-SE, desde el Golfo de Fonseca hasta el borde con Costa Rica. Los rasgos fisiográficos generales del área, como se puede apreciar en las **Figuras VIII-1.1 y VII-1.2**, se caracterizan por una morfología suave con presencia de varios edificios y depresiones volcánicas recientes.

En la Península de Chiltepe se encuentra el principal edificio volcánico presente en el área, el cual es generalmente conocido como Volcán Apoyeque. Este es un edificio compuesto, con morfología general de escudo, que se eleva desde el Lago de Managua (39 m s.n.m.) hasta la altura máxima de 518 m s.n.m. de los Cerros Cuapes, domos parcialmente erosionadas que componen la porción más elevada del volcán. El Lago de Managua rodea el edificio volcánico en sus lados NO, NE y SE, mientras que en su lado SO la ladera volcánica termina en una



planicie que se extiende hasta la base de las Sierras de Mateare, las cuales representan los residuos de un amplio edificio volcánico más antiguo abruptamente cortado por la Falla de Mateare (ver las Figuras VIII-1.2 y VIII-3.10).

El Volcán Apoyeque ha sido caracterizado por erupciones altamente explosivas y sus episodios más recientes generaron las dos amplias calderas de Apoyeque y Jiloá, respectivamente ubicadas en la cumbre y en la ladera SE del edificio volcánico. Ambas calderas tienen un diámetro de aproximadamente 2.5 km y son ocupadas por una laguna. Las erupciones explosivas del Volcán Apoyeque cubrieron con capas de pómez y cenizas los sectores aledaños, incluyendo a la ciudad capital Managua, y contribuyeron a la formación de morfologías suavemente onduladas en toda el área.

A pesar de que el Volcán Apoyeque sea el edificio principal, el nombre de la Península de Chiltepe deriva de un pequeño y característico cono volcánico, conocido como Volcán Chiltepe (228 m s.n.m.), ubicado en su extremidad oriental y aislado del edificio principal de Apoyeque.

El “Alineamiento de Nejapa” se compone por una serie de conos piroclásticos asociados con varios cráteres y depresiones volcánicas. La elevación máxima corresponde al Cerro Motastepe (360 m s.n.m.), un característico cono piroclástico ubicado en la orilla oriental de la ciudad de Managua. Todas estas manifestaciones volcánicas son marcadamente concentradas en una franja con orientación N-S que, a partir de la orilla meridional de la Laguna de Jiloá (en la Península de Chiltepe), se extiende hacia el S por unos 15 km.

En el sector septentrional del “Alineamiento de Nejapa” se reconoce esencialmente una secuencia de conos piroclásticos, variadamente erosionados y cortados por fallas. Más al Sur, se encuentra una zona que incluye cuatro depresiones volcánicas principales, originadas por coalescencia de diferentes cráteres circulares y ovals que, de Sur a Norte, se conocen como: Valle de Ticomo, Cráter de Nejapa, Cráter de Asosca, y Zona Refinería - Valle Dorado. Dos



de estas depresiones (Asososca y Nejapa) son ocupadas por lagunas. A ambos lados de este alineamiento de cráteres también se observan pequeños conos piroclásticos y lávicos, el principal de los cuales es el Cerro Motastepe.

Todo el sector meridional del área Managua-Chiltepe, que incluye Ciudad Sandino y la porción occidental de Managua, está densamente poblado y presenta varias instalaciones industriales. Otros poblados de cierta extensión, como Los Brasiles y Mateare, se ubican a lo largo de la Carretera Nacional No. 28, que corre al límite SO del área y constituye la principal vía de acceso. En la Península de Chiltepe, por lo contrario, la población es muy reducida y limitada a los habitantes de varias haciendas agrícolas dispersas en las planicies alrededor del Volcán Apoyeque. Solamente en su sector meridional, en la zona de Jiloá y de la Comarca Alfonso González, existe cierta concentración de población, un centro turístico y algunas bases militares.

Buena parte de la planicie al S del Volcán Apoyeque y alrededor de la Península de Chiltepe está ocupada por grandes haciendas ganaderas y agrícolas. En las laderas volcánicas, la vegetación originaria ha sido intensamente afectada por la intervención humana, de tal manera que la cobertura boscosa actual se encuentra drásticamente reducida. Las principales causas de este fenómeno han sido la extracción de leña, la cual tiene mucha demanda en la cercana zona de Managua, y la deforestación por fines agrícolas.

El clima general del área es de tipo tropical seco (FUNDENIC-SOS, 1999), con precipitaciones medias anuales alrededor de los 1100 mm (INITER). Las precipitaciones son esencialmente concentradas en la estación lluviosa, la cual abarca el período entre mayo y octubre y es frecuentemente irregular. La temperatura media anual es de 27-27.5 °C. (INITER 1997a).



2. EXPLORACIÓN Y DESARROLLO GEOTÉRMICO EXISTENTE

2.1 Concesiones

En el área Managua-Chiltepe nunca han sido solicitadas concesiones para la exploración o explotación de recursos geotérmicos y tampoco han sido solicitados permisos de reconocimiento geotérmico.

2.2 Trabajos de Exploración

2.2.1 *Estudios Existentes*

El área Managua-Chiltepe ha sido objeto de evaluación general durante todos los estudios efectuados en los últimos 30 años sobre los recursos geotérmicos de Nicaragua, pero nunca ha sido objeto de investigaciones específicas que hayan permitido definir la ubicación y las características de los posibles recursos geotérmicos existentes en la zona.

Los principales estudios existentes acerca del área Managua-Chiltepe se resumen en la Tabla VIII-2.1, y se comentan brevemente a continuación.

McBirney, 1955

Este autor efectuó un estudio general sobre el vulcanismo reciente en el sector occidental de Managua, con particular atención sobre el origen de las depresiones y cráteres presentes en el “Alineamiento de Nejapa”, que definió “Nejapa Pits”. El estudio incluye también un enfoque geológico general de la región de Managua y algunas observaciones acerca de la presencia de manifestaciones termales e indicios de termalidad en las lagunas volcánicas de Jiloá, Apoyequé y Nejapa.

Texas Instruments, Inc., 1970



A finales de los años '60 el Gobierno de Nicaragua encargó a la compañía Texas Instruments la ejecución de un estudio sobre el potencial geotérmico del País, el cual terminó con la producción de un informe con título "Proyecto de Recursos Geotérmicos, Etapa Uno". Este fue el primer estudio de evaluación general de los recursos geotérmicos de Nicaragua y, con respecto al área bajo examen, se concentró esencialmente sobre la zona termal de Jiloá-Apoyeque, en la Península de Chiltepe.

Los trabajos efectuados en esta área fueron estudios básicos de reconocimiento geológico e hidrogeoquímico. El trabajo geológico, presentado en un informe específico, elaborado por J. B. Thigpen, fue particularmente dedicado a la identificación y descripción de las manifestaciones termales existentes alrededor de las lagunas de Apoyeque y Jiloá. Las investigaciones hidrogeoquímicas, realizadas por R. Bennett, se limitaron a las aguas de las lagunas de Apoyeque, Jiloá y Nejapa, y a una muestra de las fumarolas presentes en la orilla septentrional de la Laguna de Jiloá.

Los resultados permitieron reconocer indicios geoquímicos de altas temperaturas en el subsuelo y las conclusiones del estudio subrayaron el interés en seguir con la exploración en el área, a pesar de la limitada presencia de manifestaciones superficiales.

IECO-LAHMEYER, 1980

A finales de los años '70, esta compañía realizó para el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) un amplio estudio denominado "Plan Maestro de Desarrollo Eléctrico 1977-2000, Nicaragua", el cual tiene una sección específicamente dedicada a la evaluación de los recursos geotérmicos. Durante este estudio se llevaron a cabo investigaciones geológicas, geofísicas e hidrogeoquímicas a lo largo de toda la cordillera volcánica cuaternaria.



Después de una primera evaluación general, IECO-lahmeyer seleccionó el área de la Península de Chiltepe para realizar un muestreo geoquímico e investigaciones geoelectricas. Los estudios geofísicos (realizados por la contratista Electrodyne Surveys), tuvieron el objetivo de detectar anomalías eléctricas de baja resistividad, que pudiesen asociarse con un posible recurso geotérmico, pero el programa de exploración no pudo ser completado, debido a la falta de permiso para acceder a terrenos privados en el área. El estudio geoquímico (realizado por GeothermEx, Inc.) fue basado sobre el muestreo y análisis químico de las fumarolas y aguas de la Laguna de Jiloá, y de algunos pozos someros existentes alrededor de la península y en la zona más al S y SE. Los resultados de estos estudios confirmaron la posible existencia de un recurso geotérmico en el subsuelo del área.

OLADE, 1981

A principios de los años '80 la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) promocionó la ejecución de nuevas investigaciones geotérmicas en Nicaragua, las cuales fueron llevadas a cabo por la compañía Geotérmica Italiana srl. En 1981 fue completado un nuevo estudio de "Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua", basado sobre los resultados de investigaciones vulcanológicas, hidrogeológicas, geofísicas e hidrogeoquímicas.

Las conclusiones del estudio de OLADE subrayan el interés geotérmico de la Península de Chiltepe debido a la presencia de una actividad volcánica muy reciente alimentada por cámaras magmáticas de grandes dimensiones, las cuales son consideradas fuente de una importante anomalía térmica en el subsuelo. Los resultados del estudio hidrogeoquímico sugieren la existencia, en el área de Chiltepe y en toda la región de Managua, de un extenso recurso hidrotermal con temperaturas no superiores a los 120°C, el cual podría, sin embargo, derivar de la re-equilibración a niveles someros de fluidos geotérmicos más profundos y más calientes.



2.2.2 Estudios del Plan Maestro-2000

Sobre la base de la información existente p, el área Managua-Chiltepe ha sido considerada, entre las áreas no concesionadas ni en proceso de concesión, como una de las más interesantes. Por lo tanto, en el ámbito del presente estudio, ha sido seleccionada para la realización de exploraciones adicionales, con la inclusión de investigaciones geoelectricas.

Después de una evaluación general de la información geotérmica y científica existente, se consideró concentrar los estudios adicionales de geofísica e hidrogeoquímica en la Península de Chiltepe, por presentar ésta rasgos vulcanológicos y manifestaciones termales muy prometedoras. La zona del “Alineamiento de Nejapa”, por lo contrario, ha sido objeto de un estudio más limitado, debido a la presencia de un vulcanismo fisural de origen profundo (poco favorable a la instauración de importantes anomalías térmicas en el subsuelo), a la falta de manifestaciones termales y a la presencia de zonas intensamente pobladas o industrializadas, que hubiera, de toda forma, restringido la ejecución de estudios geofísicos adicionales.

Los estudios que se han llevado a cabo en el ámbito del presente Proyecto se describen a continuación.

Geología-Vulcanología

El trabajo geológico ha sido principalmente dedicado a la identificación y caracterización de las estructuras presentes en el área y al estudio de los centros volcánicos y otros rasgos relacionados con el vulcanismo reciente.

Se efectuó una recopilación y revisión crítica de toda la información geológica, estructural, vulcanológica y petrológica existente en la literatura, para luego proceder a un estudio fotogeológico complementario basado sobre fotografías aéreas (serie de INETER, 1996, escala 1:40,000) e imágenes de satélite (Landsat 5, 6 de Enero de 1987). El trabajo de gabinete fue



luego completado con chequeos de campo, dirigidos a la verificación de los principales aspectos geológicos y estructurales, antes de pasar a la elaboración de un mapa geológico de síntesis.

Durante el trabajo de campo se recolectaron también muestras litológicas para la realización de estudios petrográficos y para la ejecución de dataciones absolutas de eventos o unidades vulcanológicas de importancia relevante. Se recolectaron en total 16 muestras de lavas y pómez, 8 de las cuales han sido sometidas a análisis petrográficos. Tres muestras particularmente significativas han sido analizadas con el método de la termo-luminiscencia (TL) con el objetivo de establecer la edad de la reciente erupción explosiva que generó la caldera de Apoyeque.

Los resultados de todos estos estudios se presentan en las Secciones 3.1 y 3.2 y en el Anexo B del presente informe.

Hidrología – Hidrogeoquímica

Se recolectó y organizó en forma de base de datos toda la información geoquímica procedente de los estudios anteriores, para luego seleccionar los sectores de mayor interés para la ejecución de investigaciones y muestreos adicionales. Al mismo tiempo se recolectó también la información disponible sobre la hidrología y la hidrogeología del área, con el fin de obtener un marco de referencia general para la interpretación de los datos hidrogeoquímicos.

El trabajo adicional de campo fue concentrado en la Península de Chiltepe, donde los estudios anteriores habían evidenciado la existencia de algunas manifestaciones termales y de pozos con aguas caracterizadas por moderadas anomalías térmicas y/o composición química anómala, indicativa de una posible contaminación del acuífero somero por parte de fluidos geotérmicos. Se visitaron todas las manifestaciones termales conocidas en el área y se exploraron los sectores internos de las calderas de Jiloá y Apoyeque, con el fin de identificar otras posibles manifestaciones termales. Desafortunadamente, el crecido nivel de las lagunas sumergió a todas



de las fumarolas y la mayoría de las zonas con suelos calientes presentes en Jiloá y Apoyeque, limitando sensiblemente la apreciación de los fenómenos termales e impidiendo la recolección de muestras de aguas y de gases para análisis de laboratorio.

Alrededor de la península se visitaron casi todos los pozos existentes para riego y aprovechamiento hídrico, obteniendo información acerca de su profundidad total, profundidad del nivel de agua y temperatura del agua. En total se visitaron 36 pozos, 30 de los cuales han resultado accesibles para efectuar mediciones, y en 15 de ellos se recolectaron muestras de agua para análisis de laboratorio, que consistieron en:

- determinación de aniones y cationes en la totalidad de las muestras;
- determinación de isótopos estables (D, ^{18}O) en 7 muestras; y
- determinación de Tritio en 5 muestras.

Se recolectaron también muestras representativas de las lagunas de Apoyeque y Jiloá y del Lago de Managua, para la determinación de su contenido de cationes y aniones.

Los resultados del estudio geoquímico se presentan en la Sección 4.1.2 y en el Anexo A del presente informe.

Geofísica

La información geofísica existente resultó ser muy limitada y, esencialmente, representada por datos gravimétricos regionales y por los escasos resultados de los sondeos geoelectricos realizados por IECO-lahmeyer (1980). Se programó por lo tanto una investigación geoelectrica adicional, basada sobre la ejecución de sondeos MT en toda el área de la Península de Chiltepe.

El trabajo geofísico de campo fue realizado por la contratista Geosystem srl, de Milano, Italia, subcontratada por GeothermEx de acuerdo a licitación, conforme a especificaciones y bajo la dirección de GeothermEx. La investigación geofísica ha sido enfocada en la determinación de



las condiciones electro-estratigráficas hasta profundidades de por lo menos 2,000-2,500 m, y en la identificación de anomalías de resistividad en el subsuelo que puedan relacionarse con la existencia de recursos geotérmicos. Se efectuaron en total 46 sondeos magnetotelúricos (MT), distribuidos en un área de aproximadamente 95 km². En los sitios de sondeo MT afectados por significativos efectos de “static shift”, se complementó el estudio con la ejecución de sondeos electromagnéticos TDEM. Los datos obtenidos han sido procesados utilizando modelos de tipo 1-D y 2-D y luego presentados en forma de mapas y secciones de resistividad.

Los datos del levantamiento geofísico son reportados en el Anexo C del presente informe, mientras que en la Sección 4.2 se presenta su interpretación y discusión.

Síntesis de la Información

Una vez completado el análisis de toda la información geocientífica existente e integrado los resultados de las nuevas investigaciones efectuadas en el ámbito del Plan Maestro, se procedió a elaborar un modelo conceptual del recurso, tratando de definir todas las principales componentes del posible sistema o sistemas geotérmicos existentes en el área. En particular se trató de definir los siguientes aspectos: localización y naturaleza de la fuente de calor, localización y posible dinámica del sistema hidrotermal (flujos ascendentes, flujos laterales, etc.), temperatura y características químicas de fluido geotérmico, profundidad y extensión del recurso. Al final, basándose sobre el modelo conceptual obtenido, se procedió a elaborar una estimación del potencial energético y a definir las posibilidades y los requerimientos para el desarrollo comercial.

Estudios Ambientales

Paralelamente a las investigaciones de carácter geocientífico se recopiló una serie de informaciones sobre el medio ambiente, con el objetivo de establecer un marco de referencia



ambiental y para identificar eventuales situaciones conflictivas que pudieran surgir al momento de desarrollar un recurso geotérmico en el área.

Los estudios ambientales han sido principalmente basados sobre información existente, con el complemento de observaciones adicionales que han sido efectuadas durante los trabajos de campo del Plan Maestro. Los aspectos analizados en este estudio incluyeron: aspectos socio-económicos (población; sitios culturales, turísticos y científicos; áreas protegidas) aspectos abióticos (topografía; hidrología y aspectos físico químicos de los cuerpos hídricos; clima) aspectos bióticos (flora, fauna).

Análisis de Aspectos Infraestructurales y Logísticos

Se completó el estudio con un análisis de la situación logística general y de las condiciones infraestructurales del área. Los datos correspondientes han sido en parte obtenidos de información existente y luego han sido ampliamente verificados y completados con observaciones adicionales, efectuadas durante las investigaciones de campo (geológicas e hidrogeoquímicas) del Plan Maestro. Se puso particular atención en la identificación y evaluación de todos los aspectos que pueden afectar o favorecer el desarrollo de actividades geotérmicas como son: accesibilidad y condiciones de los caminos, uso de la tierra, disponibilidad de sitios para la perforación y la construcción, disponibilidad de agua, infraestructura eléctrica, y eventuales otros aspectos que pueden afectar positivamente o negativamente el desarrollo de un proyecto geotérmico.

2.3 Perforación de Exploración y de Desarrollo

Las investigaciones geotérmicas efectuadas hasta la fecha han sido esencialmente de tipo geocientífico, sin involucrar ningún trabajo de perforación.



Existen sin embargo en el área, y sobretodo en la Península de Chiltepe, varios pozos perforados o excavados hasta profundidades de algunas decenas de metros (hasta un máximo de 80 m), para fines de aprovechamiento hídrico o de riego. En varios casos estos pozos han encontrado agua con temperatura anómala, alcanzando localmente, en las cercanías de la Laguna de Jiloá y en el sector NO de la península, valores en el rango de los 40-45°C. Los datos proporcionados por estos pozos son de cierta utilidad para los fines de la exploración geotérmica y son analizados con mayor detalle en el Capítulo 4, que trata de los indicios de actividad termal (Sección 4.3).

2.4 Producción

En el área no existe ningún desarrollo geotérmico y, hasta la fecha, no han sido perforados pozos que hayan alcanzado el recurso geotérmico, por lo tanto no se reporta ningún tipo de producción.

2.5 Estado Actual

Como ya mencionado en la Sección anterior, en el área Managua-Chiltepe no se reporta ningún tipo de actividad relacionada con el desarrollo o la explotación de recursos geotérmicos.

El nivel de información disponible y el conocimiento de las condiciones geológicas locales, particularmente en la Península de Chiltepe, permite, sin embargo, definir un cuadro suficientemente atractivo para continuar con nuevas etapas en el proceso de exploración y desarrollo.

Las opciones y recomendaciones para llevar a cabo ulteriores actividades de exploración y desarrollo geotérmico en esta área son discutidas en el Capítulo 9 del presente Volumen.



3. ASPECTO GEOLÓGICOS, VULCANOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

3.1 Marco Geológico

3.1.1 *Marco Geológico Regional*

Aspectos Generales

El área Managua-Chiltepe se ubica en el sector SO de Nicaragua, en la parte meridional del Bloque Chortis, que es una unidad de corteza principalmente continental perteneciente a la Placa Caribe. Más precisamente, el área se ubica al interior de la Depresión Nicaragüense, la cual es una amplia zona subsidente desarrollada paralelamente a la costa del Pacífico y a la Fosa Mesoamericana (ver **Figura VIII-3.1**)

Al interior de la Depresión Nicaragüense, en proximidad de su margen SO, se encuentra la Cordillera Volcánica Cuaternaria, que es un segmento del Arco Volcánico Centroamericano, y presenta una importante actividad en el área bajo examen.

La Depresión está flanqueada hacia el SO por la planicie y los relieves costeros del Pacífico y hacia el NE por el Altiplano del Interior, donde afloran formaciones volcánicas y sedimentarias del Terciario (ver **Figura VIII-3.2**).

La Zona Costera del Pacífico presenta una secuencia continua de sedimentos neríticos, en mayoría volcano-clásticos, que se depositaron entre el tardo Cretácico y el Mioceno Superior. Esta secuencia incluye las Formaciones Brito, Rivas, Masachapa y El Fraile. Estas formaciones se presentan plegadas según ejes NO-SE, erosionadas y sucesivamente recubiertas en discordancia por rocas carbonáticas y sedimentos clásticos del Plioceno (Formación El Salto) y por las vulcanitas plio-cuaternarias de la Formación Las Sierras. En el sector NO de la Zona Costera del Pacífico afloran también delgadas capas ignimbríticas y secuencias de lavas



conocidas como Grupo Tamarindo, el cual es heterópico con la Formación El Fraile y es correlacionado con las porciones inferiores del Grupo Coyoil, el cual aflora más ampliamente en el Altiplano del Interior (McBirney y Williams, 1965; Weyl, 1980; Weinberg, 1992).

El Altiplano del Interior se constituye principalmente por rocas volcánicas del Grupo Matagalpa (Oligoceno) y del Grupo Coyoil (Mio-Plioceno). El Grupo Matagalpa se compone por flujos piroclásticos, principalmente ignimbríticas, con asociadas lavas de diferente composición y rocas volcano-sedimentarias. El Grupo Coyoil, separado del subyacente Matagalpa por una discordancia angular, es a su vez subdividido en inferior y superior. La porción inferior se compone por lavas, principalmente andesíticas, aglomerados volcánicos y capas ignimbríticas, con intercalaciones piroclásticas, de areniscas y de sedimentos marinos. La porción superior tiene intercalaciones de lavas basálticas y dacíticas, aglomerados volcánicos, productos piroclásticos e ignimbríticas soldadas.

Evolución Geológica y Tectónica

La historia geológica y tectónica de la región occidental de Nicaragua ha sido estrictamente relacionada con la evolución geodinámica del margen continental pacífico, caracterizado por la subducción de la placa oceánica de Cocos debajo de la placa continental del Caribe. Weinberg (1992) identificó tres diferentes fases de deformación que han acompañado la evolución geológica de la región pacífica de Nicaragua:

- Fase Miocénica: En el Mioceno Superior - Plioceno Inferior, el régimen tectónico fue dominado por fenómenos de compresión con esfuerzos principales NE-SO, normales a la Fosa Centroamericana. Estos originaron deformaciones de escala regional según ejes NO-SE. Los efectos de esta fase tectónica son principalmente visibles en de la Zona Costera del Pacífico donde afectan con amplios pliegues a las formaciones sedimentarias pre-Pliocénicas, pero han sido reconocidos también en el Altiplano del Interior, en forma



de una discordancia angular que separa el Grupo Matagalpa desde el sobreyacente Grupo Coyol.

- Fase del Plioceno - Pleistoceno Inferior: A partir del Plioceno ocurrieron marcados cambios en el régimen general de esfuerzos tectónicos, que resultaron en la formación de estructuras de extensión con rumbo NE-SO, acompañadas por una migración del volcanismo desde el Altiplano del Interior hacia el Pacífico. Estos fenómenos sugieren un incremento del ángulo de subducción de la placa de Coco y una reducción de la velocidad de convergencia entre las placas de Coco y Caribe, posiblemente a raíz del desplazamiento hacia el NE del Bloque de Chortis. Las deformaciones de esta fase son principalmente fallas normales, como aquellas que originaron la Depresión Nicaragüense, interpretada por Weinberg como un semi-graben limitado en su lado sur-oriental por fallas NO-SE inclinadas al NE.
- Fase del Pleistoceno Superior – Holoceno: A partir del Pleistoceno Superior, hasta la actualidad, se instauró un nuevo régimen de esfuerzos tectónicos en la región, caracterizado por una componente principal de compresión N-S, la cual genera fallas de corrimiento lateral NE-SO y NO-SE y fallas normales de rumbo N-S. Las estructuras más evidentes son depresiones tectónicas de tipo “pull-apart”, la más importante de las cuales se ubica en correspondencia de la ciudad capital y es conocida como “Graben de Managua”.

Un esquema general que sintetiza la evolución geológica y tectónica de Nicaragua Occidental se presenta en la **Figura VIII-3.3**.

La Depresión Nicaragüense

La Depresión Nicaragüense es una de las estructuras morfológico-tectónicas que forman parte de la Zona Marginal Pacífica de Centro América y representa un amplio sector de tierras bajas, que se extienden con rumbo NO-SE por todo Nicaragua, desde el Golfo de Fonseca hasta



desaparecer en la Planicie Costera del Atlántico de Costa Rica. Su extensión excede los 500 km, con un ancho promedio de 50 km y una elevación variable entre los 35 y los 50 m s.n.m. (Weyl, 1980).

Desde el punto de vista tectónico regional, la Depresión Nicaragüense resulta separada desde el Océano Pacífico por la continuación NO del bloque levantado correspondiente a los complejos ofiolíticos de Nicoya y Santa Elena, en Costa Rica. En la zona al S de Managua, dicha separación es ulteriormente resaltada por la estructura volcánica de Las Sierras, la cual creció sobre el bloque levantado alcanzando elevaciones de 900 m s.n.m.. Más al NO, en las zonas de León y Chinandega, la transición entre la Depresión y la Planicie Costera del Pacífico ocurre sin grandes accidentes morfológicos y con escasos afloramientos de rocas terciarias (van Wyk de Vries, 1993).

Los resultados de un estudio geofísico a través de la Depresión Nicaragüense (Elming *et al.*, 1997) evidencian un gradual aumento de espesor de la corteza desplazándose desde la costa del Pacífico hacia el E y una sustancial diferencia en la composición litosférica al NE y SO de la Depresión Nicaragüense, con una corteza de tipo continental debajo del Altiplano del Interior y una situación geotectónica de tipo “accreted terrain” (terreno aumentado por yuxtaposición) en la Zona Pacífica. La Depresión Nicaragüense escondería por lo tanto el contacto entre dos importantes unidades de la corteza. Los mismos estudios geofísicos han evidenciado en correspondencia de la Depresión un adelgazamiento de la corteza, asociado con la presencia de una zona conductiva anómala, la cual ha sido interpretada como una capa de material derretido o un conjunto de cámaras magmáticas, ubicada al tope de una protuberancia de la litosfera inferior, a 20 km de profundidad.

La Depresión Nicaragüense está parcialmente ocupada por los lagos de Managua y Nicaragua e incluye una cadena volcánica cuaternaria que se extiende en sentido NO-SE desde el Volcán



Cosigüina hasta el Volcán Maderas, en la Isla de Ometepe (Lago de Nicaragua). En su interior se encuentran amplias extensiones de sedimentos fluviales y lacustres y de depósitos volcánicos cuaternarios que recubren formaciones volcánicas y sedimentarias del Terciario. En la Depresión, las formaciones terciarias afloran sólo localmente, en algunas islas del sector SE del Lago de Nicaragua (Solentiname, Puerto Díaz) y en el sector NO de la Depresión. Las rocas terciarias son, por lo contrario, bien representadas en las regiones adyacentes a la Depresión, donde han sido reconocidas secuencias que abarcan desde el Plioceno hasta el Cretácico Tardío. Un esquema general de la estratigrafía regional se presenta en la **Figura VIII-3.4**.

Durante el período Cretácico Superior - Terciario, la zona actualmente ocupada por la Depresión Nicaragüense ha sido sede de la transición entre el ambiente principalmente volcánico que caracteriza el Altiplano del Interior y la Cuenca Sedimentaria del Pacífico, también conocida como “Cuenca Sandino”, la cual tiene características de una cuenca de tipo avan-arco (“fore-arc”). Se supone que la transición sea de tipo heterópico con interdigitaciones de productos volcánicos y sedimentarios y con graduales cambios laterales de facies, como por otro lado se puede observar en el sector NO de Nicaragua, donde la transición entre el ambiente marino y continental está representada por las Formaciones Tamarindo y El Fraile (van Wyk de Vries, 1990, 1993).

No existen muchas informaciones directas acerca de la estratigrafía al interior de la Depresión. Datos geofísicos (Elming y Rasmussen, 1997) evidencian la presencia de un basamento resistivo y con elevada densidad alrededor de los 2 km de profundidad, cubierto por formaciones conductivas que constituyen el relleno de la Depresión. Los únicos datos de observación directa disponibles derivan de las perforaciones efectuadas en los campos geotérmicos de Momotombo y de San Jacinto-Tizate, en la porción NO de la Depresión. En ambos campos, debajo de la secuencia aluvial/lacustre y volcánica cuaternaria, que alcanza espesores de hasta 500-600 m, se



reconocieron espesas secuencias de vulcanitas pliocénicas, con abundantes intercalaciones de material volcánico retrabajado y sedimentos continentales.

Estudios realizados en el campo geotérmico de Momotombo sobre la composición estratigráfica y estructural del subsuelo (DAL-ELC-ENEL, 1995; DAL, 1997) han identificado el patrón de correlaciones estratigráficas regionales para la porción central de la depresión Nicaragüense presentado en la **Figura VIII-3.5**. A profundidades de aproximadamente 1,700 m se identificó el basamento de la Depresión, es decir las formaciones que se depositaron antes de que dicha depresión empezara a hundirse, las cuales están cubiertas por formaciones que se depositaron rellenando la Depresión misma durante su hundimiento. Las rocas al tope del basamento de la Depresión han sido correlacionadas sobre base litológica con el nivel estratigráfico regional Grupo Tamarindo - Grupo Coyol Inferior y, por lo tanto, son consideradas pertenecer al Mioceno Superior. Informaciones análogas derivan de la perforación en el campo geotérmico de San Jacinto-Tizate, donde formaciones volcánicas y sedimentarias atribuidas al Mioceno han sido encontradas a partir de los 1,700 m de profundidad (DAL, 1995; Ostapenko *et al.*, 1998). Resulta así que la Depresión Nicaragüense es una fosa subsidente que se activó en el Plioceno, lo que confirma los resultados obtenidos por otros autores (McBirney y Williams, 1965; Cruden, 1989; Weinberg, 1992) sobre la base de relaciones estratigráficas y estructurales regionales.

Diferentes autores interpretaron la Depresión Nicaragüense como un graben delimitado por sistemas de fallas normales (McBirney y Williams, 1965; Weyl, 1980), o por un originario sistema de fallas normales que en tiempos recientes ha evolucionado a un sistema de fallas con movimiento lateral derecho (Cruden, 1989). Otros autores (Weinberg, 1992) han interpretado la Depresión como un semi-graben delimitado en su margen SO por un sistema de fallas normales, entre las cuales la Falla de Mateare sería el elemento más significativo. A raíz de un análisis global de la situación geológica y estructural regional, van Wyk de Vries (1993) observó, sin embargo, que la Depresión Nicaragüense puede ser sencillamente un sector subsidente,



comprendido entre el Altiplano del Interior y la costa del Pacífico, sin tener una estricta relación genética con una estructura tectónica tipo graben. En este contexto, su formación puede atribuirse al resultado de ajustes isostáticos sucesivos a la deposición de las espesas formaciones volcánicas terciarias en el Altiplano del Interior.

La Cordillera Volcánica Cuaternaria

La cordillera volcánica cuaternaria, que se desarrolla al interior de la Depresión Nicaragüense, es parte del Arco Volcánico Centroamericano, originado por los procesos de subducción de la Placa de Cocos a lo largo de la Fosa Centroamericana.

Dicha cordillera se compone por un total de unos 40 edificios, los cuales en su mayoría aparecen agrupados a constituir complejos volcánicos que representan unidades morfológicas distintas y generalmente separadas entre sí por sectores con ausencia, o presencia muy reducida, de actividad volcánica. La causa de estas agrupaciones no ha sido todavía determinada, pero es probable que dependa de condiciones estructurales profundas, que originaron una génesis no uniforme y diferentes modalidades de subida de los magmas.

Entre los diferentes complejos volcánicos, van Wyk de Vries (1993) identificó la presencia de tres tipos fundamentales:

- Escudos-volcánicos, los cuales son generalmente ubicados en proximidad de zonas de fallamiento transversales a la cordillera volcánica y están ellos mismos cruzados por importantes fallas. Estos incluyen varios conos y cráteres, a menudo esparcidos en un radio de unos 5-15 km desde el centro principal. Su elevación es generalmente modesta (menor de 1,050 m s.n.m.) y sus laderas son suavemente inclinadas (15-20°). Se componen principalmente por lavas en forma de amplias y delgadas coladas que se



extienden hasta distancias de 15 km desde el centro del complejo, mientras que los productos piroclásticos son esencialmente limitados a las zonas alrededor de los cráteres.

- Estrato-volcanes, normalmente alejados de importantes zonas de falla y limitadamente afectados por fallamientos de origen tectónico. Las deformaciones de estos edificios son, en su mayoría, atribuibles a fenómenos de inestabilidad gravitacional. Presentan en general un edificio principal y pocos conos secundarios. Su elevación es mayor que los escudos-volcánicos, alcanzando hasta los 1,700 m s.n.m. Estos volcanes presentan en general una parte superior del cono principalmente compuesta por depósitos piroclásticos y caracterizada por inclinaciones de hasta 30°, y una parte inferior con abanicos de coladas lávicas, depósitos de escombros y de lahar intercalados con delgadas capas de piroclastos.
- Complejos ácidos, relacionados con la evolución de cámaras magmáticas intra-crustales que generan magmas muy diferenciados y erupciones fuertemente explosivas. Se presentan en forma de amplios escudos compuestos por productos piroclásticos (pómez e ignimbritas) y subordinadamente lávicos, de composición variable entre basáltica y dacítica. En estos edificios es frecuente la presencia de amplias calderas.

Stoiber y Carr (1973) y Burbach *et al.* (1984) subdividieron el Arco Volcánico Centroamericano en siete diferentes segmentos caracterizados por variaciones en el rumbo del eje volcánico. Cada segmento corresponde también a variaciones en la subyacente zona de subducción, la cual sería subdividida en porciones casi independientes, con diferente inclinación y orientación.

Nicaragua abarca dos diferentes tramos de esta segmentación: uno definido Nicaragua Occidental, que se extiende por aproximadamente 175 km desde el Golfo de Fonseca hasta el Volcán Momotombito, en el Lago de Managua, y el otro, definido Nicaragua Oriental, que se extiende por 215 km desde la zona de Managua hasta el Volcán Maderas, en el Lago Nicaragua.



La zona de contacto entre estos dos segmentos se caracteriza por una importante estructura tectónica de rumbo N-S, transversal al eje volcánico, y asociada con volcanismo fisural explosivo. En correspondencia de esta zona de contacto, que coincide con el área Managua-Chiltepe, se observa también un desplazamiento lateral del eje volcánico de unos 15-20 km.

El segmento de Nicaragua Occidental, con respecto a lo observado en los segmentos adyacentes de El Salvador y Guatemala, se caracteriza por una mayor profundidad de la zona sísmica relacionada con el subyacente plano de subducción. Esto ha sido interpretado como debido a una mayor inclinación del plano de subducción el cual, debajo de Nicaragua Occidental, tendría un ángulo de 65° , contra los 55° del segmento salvadoreño y los 40° de los segmentos guatemaltecos. En el segmento de Nicaragua Oriental la inclinación del plano de subducción aumenta ulteriormente alcanzando los 75° . Según Carr (1984), los segmentos Nicaragüenses parecen además coincidir con una corteza de unos 30 km de espesor (20 km según estudios geofísicos más recientes de Elming *et al.*, 1997), que representa el valor mínimo en América Central donde se observa un espesor de unos 38 km debajo del arco de Costa Rica y de más de 40 km bajo el arco guatemalteco.

El magmatismo cuaternario de Nicaragua ha sido estudiado por diferentes autores (McBirney *et al.*, 1965; Carr, 1984; Walker *et al.*, 1990; Carr *et al.*, 1990; y van Wyk de Vries, 1993, entre otros) a los cuales se hace principalmente referencia. Los magmas tienen composición variable entre basáltica y dacítica y se colocan en la transición entre los campos tholeítico y calcoalcalino. Los productos andesítico-basálticos y basálticos son marcadamente más abundantes que los términos más fraccionados.

Los magmas cuaternarios de Nicaragua parecen generados por fusión parcial de un manto con composición muy similar a aquel que produce los basaltos oceánicos, modificado por efectos de interacción con la corteza y con porciones de sedimentos marinos involucrados en la subducción



(Walker *et al.*, 1990). La influencia de sedimentos marinos pelágicos en el magma está también reflejada por el contenido de ^{10}Be , que es entre los más altos registrados en márgenes convergentes.

Otro rasgo peculiar de los magmas Nicaragienses, es la coexistencia de basaltos con alto y bajo contenido de titanio lo que ha sido interpretado por Walker (1990) como indicio de cierta heterogeneidad en la cuña del manto (es decir, la porción del manto que queda comprendida, en forma de cuña, entre el tope de la placa oceánica en subducción y la base de la litosfera continental). Los basaltos con bajo contenido de Ti se generarían en porciones de manto marcadamente afectadas por el proceso de subducción (con “contaminación” por efecto de sedimentos pelágicos), mientras que los basaltos con alto contenido de Ti derivarían de porciones no “contaminadas” por el proceso de subducción. Carr *et al.* (1990) han ulteriormente interpretado los basaltos con alto contenido de Ti como generados por la fusión de porciones del manto que incluyen venas enriquecidas que se formaron durante anteriores procesos magmáticos, en condiciones de retro-arco. Reagan *et al.* (1994), observan por otro lado que a la luz de estudios sobre isótopos de U y Be, las lavas con elevado contenido de Ti derivarían de porciones de manto residual después de la extracción de magmas con bajo contenido de Ti. Desde el punto de vista tectónico y estructural general, van Wyk de Vries (1993) observa que los magmas con elevado contenido de Ti llegan a tener una clara expresión en la superficie solamente donde logran atravesar la corteza sin encontrar otros tipos de magma.

Según van Wyk de Vries (1993), las lavas del vulcanismo cuaternario presentan algunas diferencias también en función del tipo de edificio volcánico:

- Las lavas que componen los estrato-volcanes son generalmente enriquecidos en Al_2O_3 , tienen bajo contenido en MgO y presentan secuencias de diferenciación de tipo calco-



alcalino. En general las andesitas y andesitas basálticas de los estrato-volcanes tienen también un contenido de K_2O más elevado que las mismas lavas en los edificios a escudo.

- En los edificios a escudo las lavas tienden a tener bajo contenido de Al_2O_3 , los basaltos son enriquecidos en MgO y las secuencias de diferenciación presentan características de tendencia tholeítica.

Todo esto evidencia que los productos de los volcanes a escudo tienden a tener una composición primitiva lo que demuestra una derivación directa desde el manto con limitados procesos de diferenciación, mientras que los productos de los estrato-volcanes, inclusive los basaltos, han experimentado cierta evolución durante su subida.

La química de los elementos menores y en trazas y los datos isotópicos indican que el magma originario es análogo en los dos casos, por lo tanto las diferencias se deben a procesos que ocurren en la corteza y que van Wyk de Vries (1993) atribuye a las diferentes situaciones estructurales que caracterizan los escudos-volcánicos y los estrato-volcanes. Las importantes estructuras tectónicas que ocurren en correspondencia de los escudos-volcánicos facilitarían la subida del magma desde su zona profunda de origen hacia la superficie, limitando el desarrollo de procesos de diferenciación, mientras que la corteza menos deformada que se encuentra debajo de los estrato-volcanes representaría condiciones más dificultosas para la subida de los magmas, causando un mayor tiempo de residencia de los mismos en la corteza, con procesos de diferenciación y metasomatismo asociados.

3.1.2 Marco Geológico Local

El área Managua - Chiltepe se ubica en la porción central de la Depresión Nicaragüense, en proximidad de su margen SO, y en un sector de particular importancia tectónica, donde el eje de la cordillera volcánica cuaternaria cambia de rumbo y presenta un desplazamiento lateral de unos



15-20 km (ver **Figura VIII-3.6**). Este importante rasgo tectónico y vulcanológico es la expresión superficial de significativos cambios en la zona de subducción, como más ampliamente descrito en la sección anterior del presente informe.

La cordillera volcánica cuaternaria se interrumpe en correspondencia de la Península de Chiltepe y recupera su continuidad unos 40 km más al SO, en correspondencia del Volcán Masaya, al otro lado de una amplia estructura hundida, con rumbo aproximadamente NS, conocida como Graben de Managua. La principal expresión volcánica en esta zona de discontinuidad es un alineamiento de pequeños conos y cráteres, conocido como Alineamiento de Nejapa (Walker, 1984), que se extiende a lo largo del borde occidental del Graben de Managua. Otros conos volcánicos menores se observan esparcidos a lo largo del margen oriental del Graben de Managua (sistema de falla de Cofradía) y al interior del graben mismo, donde existe, aislado al centro de Managua, el pequeño cráter de Tiscapa (ver las **Figuras VIII-1.1, VIII-3.10**).

El área Managua-Chiltepe incluye así el edificio volcánico del Volcán Apoyeque y el Alineamiento de Nejapa, los cuales son estructuras volcánicas muy recientes, pero ocupa también la porción NO del amplio escudo ignimbrítico de Las Sierras, de edad plio-pleistocénica. Este se desarrolla alrededor de una serie de estructuras caldéricas concéntricas que circundan el actual Volcán Masaya, cubriendo toda la región central de la Depresión Nicaragüense y un amplio sector de los relieves costeros del pacífico (ver **Figura VIII-3.8**). La porción NO de este escudo parece sin embargo ser genéticamente independiente del grupo de calderas de Masaya y más bien derivada de otro centro de emisión originariamente ubicado en la zona de Chiltepe (van Wyk de Vries, 1993; ver **Figura VIII-3.8**).

La morfología general del escudo de Las Sierras o Las Sierras - Chiltepe (como definido por van Wyk de Vries, 1993) ha sido variamente modificada por la erosión y deformada por el efecto de estructuras tectónicas recientes, como el Graben de Managua, que se desarrolla en su sector



centro-septentrional y la Falla de Mateare, que corta abruptamente el originario edificio volcánico en la zona inmediatamente al SO de la Península de Chiltepe (ver **Figura VIII-3.9**)

El Graben de Managua y la Falla de Mateare son entre los elementos neotectónicos más evidentes de toda la región occidental de Nicaragua y, como se puede observar en las Figuras **VIII-3.8** y **VIII-3.9**, se desarrollan en un contexto estructural bastante complicado, caracterizado por la presencia de estructuras con movimiento lateral izquierdo de rumbo NE-SO, fallas tensionales de rumbo N-S y fallas de rumbo NO-SE, paralelas al eje principal de la cordillera volcánica. La mayoría de los autores consideran el Graben de Managua como la estructura hundida comprendida entre el Alineamiento de Nejapa al occidente y el sistema de fallas de Cofradía al oriente. Martínez Bermúdez (1993) presenta sin embargo una interpretación diferente en la cual considera la Falla de Mateare como borde occidental del Graben de Managua, al Sur del graben, con una estructura de tipo “pressure ridge”, la cual puede ser consistente con el campo de esfuerzos tectónicos regionales pero esta interpretación no está soportada por el autor a través de observaciones de campo, fotogeológicas o sismológicas. El Alineamiento de Nejapa cubre con sus productos volcánicos muy recientes la mayoría de las evidencias de las fallas tensionales que lo acompañan, pero se observa que a sus dos lados se extienden zonas planas o con débil inclinación hacia el Norte, que presentan una diferencia de nivel de unos 50-100 m, la cual confirma la existencia de un significativo desplazamiento vertical en correspondencia del eje volcánico.

La Falla de Mateare, con rumbo general NNO-SSE, ha sido interpretada por muchos autores como la más clara expresión del borde SO de la Depresión Nicaragüense. McBirney *et al.* (1965) la consideraron ser un elemento tectónico continuo, extendido desde Mateare por 50 km hacia el SE. Autores sucesivos (Schwartz *et al.*, 1975) redujeron su extensión a unos 30 km, donde su escarpa es bien evidente y presenta elevaciones variables entre los 100 y los 300 m. En los estudios más recientes (Martínez Bermúdez, 1993; van Wyk de Vries, 1993; Hradecky, 1997)



existe conformidad en trazarla como un elemento de rumbo NNO-SSE prácticamente continuo entre Mateare y la zona de El Crucero, al tope de las Sierras de Managua, donde converge con la prolongación meridional del Alineamiento de Nejapa. En su extremidad NO van Wyk de Vries interpreta una continuación de la falla a lo largo de la orilla del Lago de Managua con rumbo ONO-ESE (ver **Figura VIII-3.9**). Observaciones efectuadas en el ámbito del presente estudio, basadas sobre la morfología de la escarpa de la falla en su sector septentrional, parecen indicar que esta falla no sea un lineamiento continuo de rumbo NNO-SSE, sino el resultado de la combinación de diferentes segmentos NS y NO-SE. Esto permitiría interpretarla como un elemento de la misma estructura tensional que genera el Graben de Managua, en acuerdo con lo propuesto por Martínez Bermúdez (1993).

Al interior del Graben de Managua, como se puede observar en la **Figura VIII-3.7**, han sido identificadas varias fallas con rumbo NE-SO, las cuales han sido responsables de los recientes terremotos de Managua (1931, 1968, 1972), caracterizándose por movimientos laterales izquierdos (Brown *et al.*, 1973; Ward *et al.*, 1974). Estas parecen ser parte de un sistema de mayor extensión que cruza todo el Lago de Managua hasta alcanzar otra falla del mismo rumbo que define la orilla SE de la Península de Punta Huete. La presencia de actividad tectónica generada por estructuras análogas debajo del lago en la zona entre Punta Huete y Managua ha sido documentada por la distribución del enjambre de sismos secundarios después del terremoto de Managua de 1972 (Ward *et al.*, 1974).

3.2 Actividad Volcánica

3.2.1 *El Volcán Apoyeque*

El principal edificio volcánico que se encuentra en el área de estudio es el Volcán Apoyeque, que constituye el núcleo de la Península de Chiltepe. Es un edificio compuesto, con morfología general de escudo y con una elevación máxima de 518 m s.n.m.



El Volcán Apoyeque se desarrolla en el bloque hundido al NE de la Falla de Mateare, donde van Wyk de Vries (1993) especuló la presencia del originario centro de emisión que generó la porción NO del escudo volcánico Las Sierras - Chiltepe. Hradecky (1997) hasta presenta en sus mapas un supuesto límite de una amplia caldera, que define “Apoyeque embrional”, la cual circunda el actual edificio de Apoyeque. Durante los estudios del presente proyecto, en la zona al E de Mateare, se identificaron evidencias morfológicas posiblemente atribuibles a una porción del escudo Las Sierras-Chiltepe hundida por la Falla de Mateare, pero no se reconocieron evidencias convincentes de que esta porción más antigua del edificio sea parte de una caldera (ver **Figura VIII-3.10**, un síntesis elaborado por GeothermEx a base de información existente y los estudios del Plan Maestro). Es sin embargo posible que el Volcán Apoyeque, análogamente al Volcán Masaya, ubicado al interior del mismo escudo volcánico de Las Sierras - Chiltepe, haya crecido al interior de alguna estructura caldérica más antigua.

El Volcán Apoyeque ha sido caracterizado por erupciones altamente explosivas y sus episodios más recientes generaron las dos amplias calderas de Apoyeque y Jiloá, respectivamente ubicadas en la cumbre y en la ladera SE del edificio volcánico. Ambas calderas tienen un diámetro de aproximadamente 2.5 km, son ocupadas por una laguna y se alinean en sentido NO-SE, paralelamente al eje de la cordillera volcánica cuaternaria. La caldera de Jiloá se encuentra ubicada en correspondencia de la intersección del edificio de Apoyeque con el Alineamiento de Nejapa.

Como se puede observar en las **Figuras VIII-1.2 y VIII-3.10**, el edificio de Apoyeque está constituido por un cono principal, truncado por la caldera de Apoyeque y por unos domos lávicos que ocupan el sector NE del edificio. En la base de la ladera NE existen también dos conos piroclásticos menores (el Volcán Chiltepe y otro sin nombre al Sur de El Tamagás), que aparentemente constituyen la expresión más septentrional del alineamiento de Nejapa. Todo el edificio volcánico, incluyendo a los domos y conos menores, está cubierto por espesores



variables, desde pocos metros hasta unos 15-20 m, de pómez, productos cineríticos y depósitos de lahares, por lo tanto es en general difícil observar la composición de las varias porciones del edificio.

La morfología general del Volcán Apoyeque se caracteriza en todo su sector meridional por laderas suavemente inclinadas con transición gradual hacia la planicie aledaña. En su sector septentrional la morfología es por lo contrario más abrupta, las laderas son más empinadas y erosionadas, el contacto con la planicie aledaña es brusco y resaltan marcadas incisiones controladas por lineamientos tectónicos de rumbo NS, NE-SO, y NO-SE (ver las Figuras VIII-1.2 y VIII-3.10). Todo esto resalta la existencia de una porción más antigua del edificio volcánico, que definimos “Pre-Apoyeque”, la cual aflora principalmente al NE de un lineamiento estructural NO-SE, que corre al margen de la caldera de Apoyeque, y parcialmente en la porción inferior de la ladera NO. La porción más reciente del edificio de Apoyeque, que conforma su ladera meridional, creció por lo tanto encima de un edificio más viejo, el cual posiblemente terminó su evolución con la formación de una caldera, como se puede intuir analizando las relaciones geométricas generales entre los dos conos.

Los domos de los Cerros Cuapes crecieron sobre la porción más antigua del edificio volcánico, y presentan una morfología más suave y poco erosionada que los caracteriza por lo tanto como estructuras recientes, relacionadas con el ciclo volcánico que generó el cono de Apoyeque (ver Figuras. VIII-1.2 y VIII-3.10).

El sector más interesante del Volcán Apoyeque es sin embargo la ladera SE, la cual es abruptamente cortada por la caldera de Jiloá y presenta rasgos morfológicos completamente distintos del resto del edificio. En la zona inmediatamente al SO de los domos de los Cerros Cuapes se observa un amplio valle, alargado en sentido NO-SE, con morfología muy irregular y ondulada. Este valle está limitado al NE por una abrupta escarpa que corta toda la estructura de



los domos y al SO por otra escarpa que incide la ladera del volcán y que es visible solamente por un pequeño tramo cerca del borde de la caldera de Apoyeque porque su continuación ladera abajo ha sido cortada por el hundimiento de la caldera de Jiloá. En la base del edificio volcánico este valle termina en un amplio abanico con morfología irregular, localmente de tipo “hummocky”.

Toda la estructura está cubierta por depósitos piroclásticos recientes y amplias porciones de la misma han sido sucesivamente involucradas en los colapsos caldéricos de Jiloá y de Apoyeque. El conjunto de rasgos morfológicos residuos permite de toda forma interpretarla como originada por el derrumbe de un amplio sector de la ladera del volcán, ocurrido antes de la formación de las calderas de Apoyeque y Jiloá. Esta interpretación está soportada por observaciones de campo en la parte septentrional de la pared interna de la caldera de Jiloá y en algunos cauces de la zona, donde se reconoció un extenso depósito caótico de grandes bloques de lava dacítica (muy similar a aquella que conforma los domos) cubierta por las capas de pómez y cenizas de las últimas erupciones explosivas del volcán. Este colapso de un amplio sector del volcán puede haber sido inclusive relacionado con los procesos iniciales de la erupción explosiva de Apoyeque.

La composición del edificio volcánico de Apoyeque es bien expuesta en las paredes internas de la caldera de Apoyeque, que se elevan por 300-400 m sobre el nivel de la laguna, sin embargo no existen estudios muy detallados sobre esta porción del volcán en cuanto la mayoría de los autores (McBirney, 1955; Bice, 1985; Hradecky, 1988) se concentraron en el estudio de los productos de explosión que cubren las laderas externas del volcán y amplios sectores aledaños. La limitada accesibilidad del área dificulta además el trabajo de levantamiento geológico.

Hradecky (1986) reconoció una secuencia principalmente compuestas por productos piroclásticos (tobas de lapilli acompañadas por capas de pómez) con intercalaciones de capas lávicas. En particular este autor reconoció siete diferentes capas lávicas uniformemente



distribuidas a lo largo de toda la secuencia y con composición variable entre dacítica y andesítico-basáltica. Informaciones análogas han sido obtenidas durante los trabajos de campo del presente estudio, pero se considera que esta secuencia necesite de un estudio mucho más detallado, sobre todo en lo que se refiere a la caracterización y ubicación estratigráfica de los varios tipos de productos piroclásticos, los cuales pueden dar importantes informaciones acerca de la evolución del edificio volcánico. La secuencia estratigráfica al interior de la caldera aparece además diferente en la pared septentrional, que intercepta una porción del edificio Pre-Apoyeque (ver **Figura VIII-3.10**).

Productos piroclásticos originados por erupciones explosivas del Volcán Apoyeque han sido reconocidos por Bice (1985) en la Secuencia de Managua, intercalados con otros productos piroclásticos recientes derivados del Volcán Masaya, del Volcán de Apoyo y de los varios edificios del Alineamiento de Nejapa (ver **Figura VIII-3.11**). Este autor identificó en particular tres diferentes capas de pómez dacítica cuya derivación desde erupciones ocurridas en la Península de Chiltepe ha sido demostrada a través de distribución de isopacas y correlaciones estadísticas de datos mineralógicos y químicos. Estas capas han sido definidas e interpretadas como sigue:

- **Pómez de Jiloá:** Se trata, en Managua, de una delgada capa compuesta por una porción inferior de fragmentos de pómez asociados con ceniza, y una porción superior de toba pisolítica muy fina. Las características de esta capa son muy similares a aquellas de los depósitos que cubren todo el borde de la Caldera de Jiloá. La edad de la Pómez de Jiloá ha sido determinada por Bice (1985) en 6,590 años, aplicando el método del radiocarbono sobre un fragmento de material vegetal carbonizado procedente de la base de la secuencia piroclástica en el borde de la caldera de Jiloá. La edad muy reciente de este producto está ulteriormente confirmada por el hecho que en el Barrio Acahualinca de



Managua, a la base de la Pómez de Jiloá han sido descubiertas unas huellas humanas fósiles.

- Apoyeque Superior: Este es un nivel bien evidente en toda la zona de Managua, donde presenta espesores generalmente superiores al metro. Se trata de un depósito de pómez de caída, sin estructuras internas y con una débil gradación inversa. Los fragmentos de pómez son en general angulosos y aparecen asociados con menores fragmentos de lavas máficas. Su edad ha sido estimada por Bice (1985) alrededor de los 16,000-20,000 años, basándose sobre la edad conocida de la subyacente Pómez de Apoyo (21,000 años) y sobre las características del paleosuelo que separa estos dos niveles. El autor, basándose sobre la analogía con algunos depósitos de pómez existentes en la ladera del Volcán Apoyeque, atribuye este depósito a una erupción ocurrida en correspondencia de la caldera de Apoyeque, pero observa que los datos disponibles permiten definir con certeza solamente su derivación desde la Península de Chiltepe.
- Apoyeque Inferior es un delgado nivel de fragmentos de pómez asociados con material cinerítico, que aflora en algunos puntos de Managua inmediatamente debajo de la Pómez de Apoyo. Su edad no es bien definida pero Bice (1985), considerando las características del paleosuelo que separa esta unidad de la sobreyacente Pómez de Apoyo (21,000 años) estima una edad de 22,000-26,000 años. Análogamente al caso de la Apoyeque Superior el autor subraya que esta pómez deriva con mucha probabilidad de la Península de Chiltepe pero que no está claro cual fue exactamente su centro de emisión.

Hradecky (1997) condujo un ulterior estudio sobre la estratigrafía de los depósitos piroclásticos recientes en la región de Managua y elaboró una columna estratigráfica de mayor detalle, pero básicamente confirmó la interpretación de Bice (1985) acerca de los depósitos de pómez procedentes de la Península de Chiltepe. La única diferencia es que este autor propone una



denominación diferente, ya introducida en un anterior estudio sobre el volcán Apoyeque (Hradecky *et al.*, 1988), basada en las características genéticas de estos depósitos, en la cual la “Pómez de Jiloá” resulta definida “Pómez de Flujo”, la “Apoyeque Superior” corresponde a la “Pómez de Caída Principal (PCP)” y la “Apoyeque Inferior” corresponde a la “Pómez Agotada de Finos (PAF)” (ver **Figura VIII-3.11**). Los productos piroclásticos que cubren las laderas del Volcán Apoyeque han sido estudiados por Hradecky *et al.* (1988), quienes reconstruyeron una secuencia compuesta por diferentes tipos de depósitos piroclásticos, que en su conjunto presentan fuertes analogías con las capas de pómez identificadas por Bice (1985) en la Secuencia de Managua. Obviamente en Chiltepe la secuencia es más complicada y heterogénea, pero se identifican tres eventos eruptivos principales como descrito a continuación:

- La porción inferior de la secuencia piroclástica que cubre el edificio volcánico se compone en su mayoría por una espesa capa de fragmentos gruesos y angulosos de pómez dacítica, con abundantes fragmentos líticos, y con limitada presencia de fracción fina, que los autores definieron “Pómez Agotada de Finos” (PAF). En la base de este depósito se encuentra un delgado nivel de ceniza oscura y un nivel de pómez de grano fino. Localmente los autores han identificado también delgados niveles de lava andesítica asociados con la PAF. Al tope del depósito se desarrolla un suelo fósil. Esta unidad ha sido reconocida principalmente en las faldas occidentales y septentrionales del volcán
- Arriba de la PAF, sigue otra espesa capa de pómez de caída pliniana, definida “Pómez de Caída Principal” (PCP), la cual aflora en una amplia área alrededor del volcán, cubriendo toda la zona de Managua, Mateare, Los Brasiles y las Sierras de Mateare hasta la Carretera Vieja a León. Este depósito se compone por una acumulación de fragmentos angulosos de pómez dacítica, con asociados líticos andesíticos, dacíticos y basálticos. A



menudo presenta gradación inversa. Localmente, en la base de este depósito existen pequeños flujos de andesita o una capa de toba lítica blanca. Al tope se observa una superficie erosional o, en muy pocos puntos, un suelo fósil.

- La porción superior se compone por una secuencia heterogénea de flujos piroclásticos con asociados niveles de pómez, depósitos de surge, lahares y una espesa capa terminal de tobas pisolíticas, que los autores definieron de “caída co-ignimbrítica”. En su conjunto se trata de los productos de una erupción freatomagmática que aparecen principalmente en la ladera meridional del edificio volcánico, mientras que en las porciones septentrionales la PCP está solamente cubierta por delgadas capas de ceniza y tobas finas.

Estos tres eventos principales se correlacionan con las capas distales identificadas y datadas en la Secuencia de Managua por Bice (1985). Por lo tanto, resulta que el Volcán Apoyeque ha tenido por lo menos tres erupciones altamente explosivas de carácter variable entre pliniano y freatomagmático en los últimos 25-30 mil años.

Durante el trabajo de campo realizado en el ámbito del Plan Maestro no se pudo entrar en detalles vulcanológicos y sedimentológicos, pero se identificaron los tres eventos eruptivos descritos por los autores anteriores y se recolectaron algunas muestras significativas para efectuar dataciones absolutas de las varias fases de actividad del volcán, cuyos resultados se presentan en el Anexo B.

En general se observó que la distribución de los productos pomáceos que cubren las laderas del edificio, presenta ciertas relaciones con la composición morfo-estructural del volcán:

- La PAF parece encontrarse esencialmente sobre la porción más vieja del edificio, definida Pre-Apoyeque en este informe.



- La PCP presenta efectivamente una extensión regional y, en la zona del volcán, parece haberse acumulado principalmente en su ladera SO, sobre las porciones más recientes del cono de Apoyeque, probablemente por efecto del viento durante la erupción. Es por lo tanto evidente que esta pómez derive de una erupción que ocurrió en el cono de Apoyeque, antes del hundimiento de la caldera homónima. Esta unidad parece no cubrir los domos de los Cerros Cuapes, los cuales serían por lo tanto de formación posterior.
- La Pómez de Flujo y depósitos asociados, cubren esencialmente el sector SE del edificio y parece principalmente canalizada al interior de la cárcava del derrumbe que afectó la ladera del volcán, lo que parece confirmar la existencia de una relación entre el colapso de un sector del edificio volcánico y su última erupción. Estos depósitos aparecen abruptamente cortados por los hundimientos de las calderas de Apoyeque y de Jiloá, lo que indica que ambas calderas se hundieron después de esta erupción. Los depósitos presentes en el borde SE de la caldera de Apoyeque son depósitos de lahares y flujos piroclásticos que evidentemente se originaron en un sector más elevado del edificio volcánico, por lo tanto es muy improbable que esta erupción haya ocurrido en correspondencia de la caldera de Jiloá, como fue sugerido por Bice (1985). Resulta así bastante claro que la caldera de Apoyeque se hundió al final de una serie de por lo menos dos erupciones explosivas, mientras queda por aclararse el origen de la caldera de Jiloá, la cual no parece haber sido sede de una erupción volcánica. Una posible explicación puede ser la de un colapso paralelo a aquel de Apoyeque, originado por motivos de debilidad estructural en correspondencia del cruce entre el Alineamiento de Nejapa y el eje volcánico cuaternario. La morfología de las dos calderas no presenta, por otro lado, rasgos sustanciales que puedan indicar una edad muy diferente.



- Un limitado sector de la ladera Sur del Volcán Apoyeque, inmediatamente al O de la caldera de Jiloá, no presenta ningún tipo de pómez ni ceniza en afloramiento y aparece cubierto por normales depósitos detríticos de ladera. La razón no está bien clara, porque en las porciones adyacentes de la misma ladera aparecen ampliamente los depósitos de PCP y los flujos piroclásticos, pero es posible que alguna barrera en la morfología originaria del volcán haya impedido la deposición de flujos piroclásticos en ese sector.

Los datos obtenidos por Bice (1985) en la secuencia de Managua constituyen una importante referencia para la datación de los eventos eruptivos ocurridos durante la última fase de actividad del Volcán Apoyeque. Las dataciones absolutas efectuadas en el ámbito del presente estudio, con el método de la termo-luminiscencia, (ver Anexo B del presente informe) dieron los siguientes resultados:

- Una muestra de lava basalto-andesítica (CH-9a) perteneciente a una pequeña colada emitida durante la fase terminal del cono de escorias ubicado inmediatamente al S de la Laguna de Jiloá, el cual es la única estructura en la zona que se formó sucesivamente a la última erupción de Apoyeque, resultó tener una edad de 4,100 años, en consistente acuerdo con los datos de Bice que indican una edad de 6,590 años para la última erupción de Apoyeque.
- Una muestra de pómez (CH-15) procedente de la ladera septentrional del edificio de Apoyeque, y considerada pertenecer a la formación PAF, proporcionó una edad de 7,300 años. Este dato no concuerda con las estimaciones de Bice, que sugieren una edad de 22,000-26,000 años para el correspondiente de esta formación pomácea en la Secuencia de Managua. El valor de edad obtenido se considera por lo tanto de difícil interpretación sin el soporte de ulteriores datos sobre la misma formación, los cuales requieren investigaciones mucho más detalladas.



Todas estas observaciones permiten reconstruir la siguiente evolución del vulcanismo en la Península de Chiltepe:

- Posible existencia de un viejo foco volcánico (posiblemente una vieja caldera) relacionado con el magmatismo plio-pleistocénico de Las Sierras, sucesivamente hundido por la Falla de Mateare y localizado debajo del actual edificio volcánico de Chiltepe (van Wyk de Vries, 1993)
- Formación del edificio Pre-Apoyeque, el cual, posiblemente, culminó con la formación de una caldera y tuvo una sucesiva fase de calma, durante la cual el edificio estuvo hundiéndose por efecto de la Falla de Mateare y descomponiéndose por el efecto de fallas locales menores. La edad de este edificio puede ser solamente estimada considerando sus aspectos morfológicos y se opina que sea mayor de 100,000 años.
- Una reactivación de la actividad formó sucesivamente el nuevo cono de Apoyeque, el cual cubrió parcialmente el edificio anterior con depósitos piroclásticos y coladas de lava. Esta fase culminó con una serie de erupciones fuertemente explosivas y con la formación de los domos de los Cerros Cuapes, en los últimos 25,000 años aproximadamente. La última erupción, de tipo freatomagmático, ocurrió hace 6,590 años y fue aparentemente precedida por el derrumbe de una porción de la ladera volcánica oriental.
- Al final colapsaron las dos calderas de Apoyeque y Jiloá, como resultado de la grande extracción de magma y de debilidades estructurales existentes en el punto de intersección entre el Alineamiento de Nejapa y lineamientos tectónicos NO-SE en correspondencia del eje volcánico principal.



Todo esto indica que el volcanismo en la Península de Chiltepe ha tenido una larga y continua historia de erupciones explosivas, asociadas con emisión de grandes volúmenes de productos andesíticos y dacíticos, que abarca por lo menos todo el Cuaternario. Esto indica también la persistencia de cámaras magmáticas a niveles someros donde el originario magma basáltico se diferenció hasta generar términos dacíticos muy ricos en gases.

3.2.2 *El Alineamiento de Nejapa*

Con este nombre, introducido por Walker (1984), se hace referencia a la actividad volcánica que desde la caldera de Jiloá se extiende hacia el Sur por unos 15 km, a lo largo de una franja controlada por un sistema de fallas con orientación NS. Se trata en su conjunto de manifestaciones volcánicas menores que han generado una serie de conos piroclásticos, asociados con pocas emisiones lávicas y con cráteres de explosión y de colapso.

La continuidad del alineamiento es parcialmente interrumpida por una marcada ensenada del Lago de Managua, donde algunos autores (McBirney, 1955; OLADE, 1981) han inferido la presencia de una vieja estructura caldérica erosionada y sumergida (Caldera de San Carlos, ver la [Figura VIII-3.10](#)).

La morfología general de los edificios del “Alineamiento de Nejapa” es asimétrica. La ladera occidental desciende suavemente hacia la planicie aledaña, mientras que la ladera oriental es en general abruptamente cortada por escarpas morfológicas y erosivas, especialmente en el sector septentrional del alineamiento, en consecuencia de las fallas tensionales (bordes del Graben de Managua) que lo acompañan.

En el sector septentrional del “Alineamiento de Nejapa”, al S de la Laguna de Jiloá y un poco al O de la zona de la supuesta caldera de San Carlos, se reconoce esencialmente una secuencia de conos piroclásticos, variamente erosionados y cortados por fallas de rumbo N-S (Cerro Talpetate,



Cerro Partido, Cerro Bella Vista y Cerro San Carlos). El Volcán Chiltepe ubicado en la extremidad oriental de la Península de Chiltepe presenta también una composición muy similar y se considera perteneciente al mismo sistema volcánico. Otro cono parcialmente erosionado, ubicado en la base NE del Volcán Apoyeque, en la prolongación septentrional del Alineamiento de Nejapa, es posiblemente parte del mismo sistema, pero no se conoce su composición, debido a la capa de pómez y cenizas que cubre sus laderas.

Se observa además que la misma caldera de Jiloá, en su sector SE, presenta un borde con varios lóbulos semicirculares, los cuales parecen indicar que su colapso haya sido controlado por alguna estructura volcánica pre-existente. Lo mismo se observa en la orilla del Lago de Managua al Sur de Jiloá, donde existen algunas estructuras circulares que parecen reflejar la existencia de viejos cráteres sumergidos (posiblemente parte de la supuesta caldera de San Carlos). Es por otro lado probable que la ensenada del Lago de Managua, que corta ampliamente el Alineamiento de Nejapa, esconda estructuras cratéricas asociadas con los conos piroclásticos, análogamente a cuanto se observa en la porción meridional del Alineamiento de Nejapa.

En la zona de la supuesta caldera de San Carlos se observan, a lo largo de la orilla del lago de Managua, paredes compuestas por tobas líticas y de lapili, con algunas intercalaciones de pequeños niveles de pómez análogos a los presentes en el Volcán Apoyeque y no se observa ninguna evidencia de la estructura caldérica mencionada por algunos autores (McBirney, 1955; OLADE, 1981). El borde ligeramente curvo que aparece entre el Cerro Partido y el Cerro San Carlos es un rasgo erosional, parcialmente controlado por fallas N-S, que corta abruptamente la ladera oriental de una serie de conos piroclásticos coalescentes.

Más al Sur, se encuentra una zona de cráteres y depresiones volcánicas coalescentes, alineadas en sentido NS a constituir una franja de aproximadamente 10 km de longitud. Se reconocen en esta zona cuatro depresiones volcánicas principales, algunas monogenéticas y otras originadas



por coalescencia de diferentes cráteres circulares y ovales, que, de Sur a Norte se conocen como: Valle de Ticomo, Cráter de Nejapa, Cráter de Asososca, y Zona Refinería - Valle Dorado (ve la **Figura VIII-3.10**). Dos de estas depresiones (Asososca y Nejapa) son ocupadas por lagunas. A ambos lados de este alineamiento de cráteres también se observan pequeños conos piroclásticos y lávicos, el principal de los cuales es el Cerro Motastepe.

McBirney (1955) estudió la formación de los “Cráteres de Nejapa” y llegó a la conclusión aceptada también por todos los autores sucesivos, de que se trata de estructuras de colapso relacionadas con la depresión del nivel de la lava en el sistema de alimentación fisural, después de la emisión de modestas coladas lávicas y de productos piroclásticos. El hundimiento ha sido acompañado por procesos de degasificación violenta que han producido modestos depósitos de material lítico heterogéneo en el borde de los cráteres.

La edad de la actividad volcánica a lo largo del Alineamiento de Nejapa es muy reciente, como demostrado por las morfologías bien conservadas y limitadamente erosionadas de la mayoría de los edificios. Hradecky (1997) considera que todos los edificios se formaron en los últimos 100,000 años. En la zona de Miraflores aflora, debajo de los depósitos piroclásticos, un pequeño cuerpo lávico dacítico con apariencia de domo, que ha sido datado por OLADE (1981) en 400,000 años.

Muchos de los edificios, especialmente en el sector septentrional del alineamiento, son cubiertos por la capa de pómez producida por el Volcán Apoyeque hace 6590 años (Bice, 1985), por lo tanto son de edad anterior. En las paredes y en algunas canteras presentes en la zona entre Miraflores y la Refinería, se observan los niveles de pómez producidos por el Volcán Apoyeque en el período entre los 26,000 y los 16,000 años aproximadamente (Bice, 1985) intercalados al interior de la secuencia piroclástica del Alineamiento de Nejapa, indicando una actividad de estos edificios en el mismo período. El cono de escorias ubicado inmediatamente al Sur de la



Laguna de Jiloá es por lo contrario evidentemente sucesivo a la última erupción de Apoyeque y una muestra procedente de una limitada colada lávica emitida al final de su actividad proporcionó una edad de 4,100 años (ver Anexo B del presente Volumen).

El magmatismo del Alineamiento de Nejapa es típicamente de tipo fisural y de procedencia profunda, con productos basálticos muy primitivos (Walker, 1985). Esto implica la ausencia de importantes acumulaciones de magma a niveles crustales y no es muy favorable para la generación de importantes anomalías térmicas que puedan originar sistemas geotérmicos.

3.3 Hidrología

Los principales cuerpos hídricos superficiales presentes en el área son el Lago de Managua, las lagunas de Apoyeque y Jiloá, en Chiltepe, y las lagunas de Asososca y Nejapa en el “Alineamiento de Nejapa”. No existen cursos de agua permanentes en toda la zona.

El Lago de Managua es el segundo cuerpo hídrico más importante de Nicaragua (después del Lago de Nicaragua). Tiene una superficie de 1,040 km² y una cuenca hidrográfica de 4,800 km². La profundidad máxima, con referencia a su nivel promedio de 39 m s.n.m., es de 28 m, pero la mayoría de la cuenca lacustre tiene profundidad menor, entre los 5 y 10 m. El lago es alimentado por algunos ríos y por los acuíferos freáticos que lo rodean, ya que este actúa como zona de descarga regional para el flujo subterráneo en todas las direcciones (Krásný *et al.*, 1998). Sus principales fuentes de alimentación superficial son el Río Sinecapa y el Río Viejo, que desembocan en su sector septentrional. Otros ríos, que desembocan en su costa septentrional son el Río Pacora y el Río Las Maderas, pero estos tienden a secarse en el verano. No existen ríos permanentes en todo el sector meridional del lago.

La descarga natural superficial del Lago de Managua es hacia el Lago de Nicaragua, a través del Río Tipitapa. El desagüe por el río es, sin embargo, irregular y ocurre solamente después de



precipitaciones extremadamente copiosas, como en el reciente caso del Huracán Mitch, en 1998. La anterior descarga superficial a través del Río Tipitapa ocurrió en 1955. El flujo subterráneo es otra componente de descarga del lago, que ocurre principalmente a lo largo del Río Tipitapa en cuanto este coincide con el eje de descarga del acuífero regional (Krásný *et al.*, 1998). Resulta por lo tanto que el Lago de Managua tiende a caracterizarse como una cuenca cerrada, con un balance hidrológico muy delicado y con una elevada componente de evaporación. A raíz de todo esto, el lago presenta significativas variaciones de nivel, dependiendo de las condiciones climáticas y de la ocurrencia de precipitaciones anómalas. En los últimos 70 años (INETER, 1998; Krásný *et al.*, 1998) el nivel fluctuó generalmente entre los 36 y los 39 m s.n.m., registrándose esporádicos eventos con subidas hasta los 43-44 m s.n.m., como ocurrió en 1998-1999 a raíz del Huracán Mitch y del sucesivo invierno caracterizado por copiosas lluvias.

Las Lagunas de Apoyeque y Jiloá, en la Península de Chiltepe, son cuencas típicamente cerradas, incluidas en calderas volcánicas y alimentadas superficialmente solo por las precipitaciones directas sobre la superficie de las lagunas y por el corrimiento superficial al interior de los cráteres respectivos. Ambas lagunas tienen un nivel prácticamente igual y análogo a aquel del Lago de Managua, lo que indica una interconexión a nivel del acuífero freático regional que es por lo tanto la principal fuente de alimentación de estas lagunas. La composición química de las aguas indica además la presencia de un significativo aporte de aguas geotérmicas profundas en estos cuerpos hídricos, como discutido más en detalle en la Sección 4.1.2 y en el Anexo A del presente Volumen.

La Laguna de Asososca ocupa un profundo cráter con un diámetro de aproximadamente 1 km y no tiene ninguna alimentación superficial significativa. El nivel de la Laguna (36.5 m s.n.m.) es unos 80-100 m inferior al borde del cráter y la profundidad máxima de la laguna es de 91 m. Este cuerpo hídrico representa la intersección de la oquedad volcánica con el acuífero freático, y por lo tanto puede considerarse como un pozo de enormes dimensiones excavado por la



naturaleza. Debido a su ubicación y características peculiares esta ha sido utilizada desde 1914 como fuente de aprovechamiento hídrico de la ciudad de Managua.

La Laguna de Nejapa, ubicada poco más de 1 km al Sur de la Laguna de Asososca, ocupa parcialmente el fondo de un cráter alargado de 2 km de largo y 1 km de ancho aproximadamente. Su nivel es de 42.5 m s.n.m y su profundidad es de pocos metros. Tiene limitados aportes superficiales y no parece tener significativas relaciones con el acuífero freático. Su alimentación es prácticamente limitada al corrimiento superficial de las aguas de lluvia al interior del cráter y un pequeño cauce de drenaje local que entra a la laguna procedente del sector inmediatamente al Este. Su extensión y nivel son por lo tanto muy susceptibles a variaciones en función de las condiciones climáticas generales. De hecho, este cuerpo hídrico había casi desaparecido durante los años 90, luego recuperó a consecuencia del Huracán Mitch en 1998. La presencia de aguas con elevada salinidad en esta laguna, además de ser relacionada con los intensos fenómenos de evaporación, ha llevado algunos autores (McBirney, 1955) a suponer también un aporte de aguas geotérmicas profundas en esta laguna.

Por lo que se refiere a las aguas subterráneas, en toda el área se extiende un amplio acuífero en los depósitos piroclásticos y aluvionales recientes y altamente permeables. La profundidad del agua subterránea varía desde pocos metros hasta los 80-100 m, dependiendo de la elevación y de la posición topográfica. En la Península de Chiltepe y en toda la región de Managua este acuífero es ampliamente explotado para aprovechamiento hídrico. En la zona de Chiltepe las aguas subterráneas presentan a menudo una moderada anomalía de temperatura, con valores que alcanzan localmente los 45°C, y una salinidad moderadamente elevada.



3.4 Riesgos Geológicos

El área Managua - Chiltepe está principalmente sujeta a riesgos naturales de tipo sísmico y volcánico. Existen además subordinados riesgos relacionados con inestabilidad de las laderas volcánicas y con inundaciones.

No existen muchos estudios sobre los riesgos naturales en el área. INETER (1995) elaboró un mapa general de amenaza volcánica de Nicaragua, el cual clasifica a grandes rasgos los riesgos existente a lo largo de la Cordillera Volcánica Cuaternaria. Hradecky *et al.* (1988), en el ámbito de un estudio sobre la evolución geológica del Volcán Apoyeque, definieron también los riesgos relacionados con la actividad de este volcán. Sucesivamente, el mismo Hradecky (1997) analizó en forma más general los riesgos naturales en toda la región de Managua, incluyendo a la Península de Chiltepe y al Alineamiento Volcánico de Nejapa. Estudios sobre el riesgo sísmico en la ciudad de Managua fueron también efectuados inmediatamente después del terremoto de 1972, que destruyó amplios sectores de la capital (Brown *et al.*, 1973)

A continuación se reporta una síntesis de las principales clases de riesgos naturales existentes en el área, basada sobre los estudios existentes y sobre observaciones adicionales efectuadas durante los estudios del Plan Maestro.

3.4.1 *Riesgo Sísmico*

Desde el punto de vista sísmico existe el riesgo general relacionado con la situación geodinámica de margen continental convergente y con la existencia de una zona de subducción activa a lo largo de la Fosa Centroamericana, ubicada unos 150 km aguas afuera de la costa pacífica de Nicaragua. El campo regional de esfuerzos tectónicos está caracterizado por un esfuerzo principal de compresión en sentido N-S, el cual está activando un sistema de fracturación que incluye fallas de tipo "strike slip" con rumbo NE-SO y NO-SE, y fallas normales de rumbo N-S (Weinberg, 1992). Los movimientos tectónicos en correspondencia de los sistemas estructurales



arriba mencionados han generando sismos, en varios casos muy intensos y destructivos, a lo largo de toda la historia reciente de Nicaragua, afectando principalmente la región de la Depresión Nicaragüense (ver Wheelock *et al.*, 2000).

Como ya evidenciado en la anterior Sección 3.1.2, el área bajo examen está caracterizada por la presencia de la Falla de Mateare y del Graben de Managua, las cuales son estructuras tectónicas muy recientes y de grandes dimensiones. De hecho, la zona de Managua es muy conocida por los sismos que en 1931 (magnitud 5.6 Richter) y en 1972 (magnitud 5.6 Richter Mb, magnitud de la onda superficial 6.2 M s.n.m.; Brown *et al.*, INETER, 2000) destruyeron la ciudad, y por muchos otros sismos, menos catastróficos, que afectaron el área en tiempos históricos (ver Wheelock, 2000). La actividad sísmica reciente en Managua ha sido principalmente causada por fallas de rumbo NE-SO que cruzan en varios puntos el centro urbano (Brown *et al.*, 1973).

La zona de la Península de Chiltepe resulta también ser un sector particularmente activo, en el cual se han registrado a menudo crisis sísmicas de moderada y baja intensidad en los últimos años, aparentemente concentradas debajo del edificio volcánico de Apoyeque (Wheelock, 2000).

3.4.2 Riesgo Volcánico

El Volcán Apoyeque ha tenido una repetida actividad explosiva en los últimos 25,000 años aproximadamente. Su última erupción, de tipo freatomagmático, ocurrió hace 6,590 años (Bice, 1985). La actividad de los varios centros del Alineamiento de Nejapa es también muy reciente y el cono de escorias ubicado inmediatamente al S de la Laguna de Jiloá ha sido datado en el ámbito del presente estudio en 4,100 años. Aunque todos estos volcanes sean actualmente inactivos, en términos geológicos no pueden considerarse apagados y, por lo tanto, se pueden esperar nuevas reactivaciones en el futuro.



Considerando la evolución vulcanológica general y los antecedentes históricos de estos volcanes, parece que el principal riesgo derive de posibles erupciones explosivas en el Volcán Apoyeque, con caídas de pómez y emisión de flujos piroclásticos. Según Hradecky (1988) las más recientes erupciones del Volcán Apoyeque cubrieron con capas de pómez de espesor superior al metro áreas de hasta 425 km² alrededor del Volcán, incluyendo amplios sectores de la ciudad de Managua, Ciudad Sandino y los poblados de Los Brasiles y Mateare. Los flujos piroclásticos generados por la erupción más reciente afectaron principalmente la ladera oriental del Volcán, donde alcanzan espesores de varios metros. Los productos de esta erupción cubrieron un área de aproximadamente 90 km² alcanzando una distancia media de 6 km desde el centro de emisión (Hradecky,1988). Esta última erupción fue también acompañada por el colapso de un sector de la ladera oriental del Volcán Apoyeque, incluyendo una parte de los domos de los Cerros Cuapes, el cual cubrió con un amplio abanico de material detrítico toda la base de la ladera volcánica, donde ahora se encuentra la Laguna de Jiloá.

La actividad de los centros volcánicos del Alineamiento de Nejapa parece ser menos catastrófica, aunque pueda implicar procesos explosivos de tipo freático, con formación de conos piroclásticos, o de tipo estromboliano, con formación de conos de escorias y limitadas coladas lávicas. Los productos correspondientes se extienden hasta 2-3 km desde el eje volcánico principal. Es importante observar que la actividad en esta zona ha sido a menudo acompañada por colapsos que han generado profundos cráteres.

3.4.3 Riesgo de Derrumbe

Por lo que se refiere a procesos de inestabilidad de las laderas, se observa que la mayoría de las laderas del Volcán Apoyeque son suaves y poco inclinadas así que no representan un gran riesgo de derrumbes. Se mencionó anteriormente la existencia de un derrumbe en el sector oriental del Volcán Apoyeque, pero esto parece relacionado con la última erupción explosiva del Volcán y por lo tanto es parte del riesgo volcánico.



Al interior de las calderas de Jiloá y de Apoyeque, y también a lo largo del Alineamiento de Nejapa, existen paredes muy escarpadas constituidas por intercalaciones de material lávico y depósitos piroclásticos a veces poco consolidados. Estas constituyen indudablemente situaciones de elevado riesgo de derrumbe, especialmente en concomitancia con fuertes sismos o con precipitaciones elevadas.

3.4.4 Riesgo de Inundaciones y Aluviones

Amplios sectores de la planicie alrededor del Volcán Apoyeque, en parte colindantes con el lago de Managua, presentan elevaciones de pocos metros superiores al nivel medio del lago (39 m s.n.m) y por lo tanto son sujetos a fenómenos de inundación. Los registros de los últimos 70 años (INETER, 1998), indican que el nivel del lago presentó en varias ocasiones crecimientos de nivel relacionados con fenómenos meteorológicos excepcionales y se registraron subidas hasta los 43-44 m s.n.m., como ocurrió también en 1998-1999 a raíz del Huracán Mitch y del sucesivo invierno de copiosas lluvias. Este fenómeno provocó la inundación de amplias zonas, sobretodo en el sector NO y SE de la Península de Chiltepe, con significativos daños a las actividades agrícolas y ganaderas.

Como ya evidenciado en la anterior Sección 3.3, en toda el área no existen cursos de agua superficiales y el drenaje ocurre principalmente en el acuífero freático. En ocasión de fuertes precipitaciones, como generalmente ocurre durante el periodo de huracanes y tempestades tropicales que afectan a Nicaragua durante la estación invernal, se activa también un fuerte corrimiento de agua en superficie, el cual genera significativos fenómenos de erosión y consiguiente transporte de material clástico desde las laderas volcánicas hacia las planicies adyacentes. Las limitadas dimensiones y elevación del Volcán Apoyeque no implican la presencia de grandes cuencas hidrográficas, pero es común que las corrientes de agua, al llegar



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576
FAX: (505) 222-4629
www.cne.gob.ni

en las porciones inferiores de las laderas y en las planicies adyacentes, desborden de los limitados cauces inundando y depositando arena y lodo, con consecuencias drásticas sobre las actividades agrícolas y los asentamientos humanos. No se conoce de recientes fenómenos de este tipo en la Península de Chiltepe, pero muchos de los depósitos que se observan en las planicies alrededor del volcán atestiguan la ocurrencia de flujos de lodo y aludes en el pasado.



4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL

4.1 Manifestaciones Termales

En el área Managua - Chiltepe no existen muchas manifestaciones termales y, por este motivo, a pesar de la interesante situación estructural y vulcanológica, el área ha recibido una limitada atención durante las investigaciones geotérmicas anteriores.

Las únicas manifestaciones termales naturales se ubican en la Península de Chiltepe, en las orillas de las lagunas de Apoyeque y Jiloá, a elevaciones de 40-45 m s.n.m. No se conoce ningún tipo de manifestación termal a elevaciones superiores en el edificio volcánico de Apoyeque. McBirney (1955) observó indicios de manifestaciones termales también en la Laguna de Nejapa, ubicada en la extremidad meridional del “Alineamiento de Nejapa”, pero ningún autor sucesivo confirmó su existencia. El Estudio Plan Maestro no atentó una confirmación nueva porque estas manifestaciones fueron débiles (ver por abajo en la sección 4.1.1), el nivel de la Lago de Nejapa es actualmente elevado (después del Huracán Mitch), y no hay otras manifestaciones en esta zona.

Existe además amplia evidencia de actividad termal en numerosos pozos someros alrededor y en las laderas del Volcán Apoyeque, en los cuales han sido medidas temperaturas del agua de hasta 45.5°C. Informaciones más detalladas al respecto son reportadas en la Sección 4.3 del presente Volumen, mientras que en la Sección 4.1.2 y en el Anexo A se describen los aspectos hidrogeoquímicos correspondientes.

Las manifestaciones presentes en Jiloá y Apoyeque han sido ampliamente inundadas por el crecimiento de nivel de las lagunas ocurrido después del Huracán Mitch en 1998, y actualmente



siguen casi completamente cubiertas por el agua. Durante las investigaciones del presente estudio no se pudo por lo tanto obtener mucha información acerca de estas manifestaciones.

4.1.1 Tipo, Localización y Extensión

Las diferentes manifestaciones termales presentes en el área parecen tener variaciones de temperatura e intensidad en el tiempo y, en algunos casos, hasta pueden desaparecer sus expresiones superficiales. Esto sugiere que las manifestaciones termales del área son muy susceptibles a variaciones temporales relacionadas con factores climáticos, geológicos o accidentales. Por otro lado, cabe observar que todas las manifestaciones ocurren muy cerca de la orilla de las lagunas, por lo tanto están sujetas a fenómenos de interacción con las aguas de las mismas (dilución, enfriamiento, condensación, difusión) y con sus variaciones de nivel en el tiempo.

La ubicación exacta y las características de todas las manifestaciones termales observadas durante las investigaciones del Plan Maestro, o reportadas por estudios anteriores y ahora sin evidencia superficial, se resumen en las **Figuras VIII-4.1.1 y VIII-4.1.2**, y se describen a continuación.

Manifestaciones Observadas Durante las Investigaciones del Plan Maestro

1. Fumarolas de Jiloá (UTM 1352B 573.5E, 40 m s.n.m.)

La manifestación termal más importante de toda el área se ubica en la orilla septentrional de la Laguna de Jiloá, en correspondencia de un pequeño abanico de bloques lávicos y material aluvial suelto, donde existe una zona de alteración hidrotermal y una moderada actividad fumarólica.

Durante la visita efectuada al sitio en el ámbito del presente estudio (en abril del 2000), se encontró esta área termal completamente sumergida. En la laguna, en dos diferentes zonas a



poca distancia de la orilla se observaron emisiones gaseosas desde el fondo. En una zona, ubicada a 5-8 m de la orilla, a la profundidad de 1-1.5 m, se identificó un grupo de por lo menos veinte diferentes puntos de emisión de gas desde el fondo, cinco de los cuales con intenso burbujeo. Unos 100 m más al Oeste, en aguas más bajas, se identificó otro grupo de emisiones de gas de menor intensidad, asociadas con sedimentos calientes.

Thigpen (Texas Instruments, 1970) describió en esta zona dos áreas fumarólicas con una superficie total de 1,200 m², con emisión de vapor a 100°C y con ligero olor a azufre. Este autor observó la presencia de sublimados de azufre y otros minerales de color blanco y amarillo en correspondencia de las fumarolas, y alteración hidrotermal de intensidad variable en un área más amplia, extendida a lo largo de la orilla de la laguna. En la laguna, en proximidad del área termal, el autor observó burbujeo de gas, indicando la presencia de emisiones subacuáticas.

Autores sucesivos (IECO-Lahmeyer, 1980) confirmaron las condiciones y la actividad de esta manifestación termal, reportando una temperatura de las fumarolas de 98°C, ligeramente inferior a la medida por Thigpen en 1970. Los autores del presente informe (GeothermEx), en diferentes períodos entre 1992 y 1998, antes de que la zona fumarólica fuera ampliamente inundada por la laguna, registraron temperaturas de las fumarolas variables entre los 98°C y los 104°C (datos inéditos en los archivos de GeothermEx).

Aunque el área afectada por alteración y deposición hidrotermal aparece bastante reducida (estimada en 1.5 hectáreas, es decir 15,000 metros cuadrados, antes de que creciera el nivel de la laguna), se observa que buena parte del abanico aluvial y un sector de la pared de la caldera de Jiloá inmediatamente al Norte del área termal (unas 13 hectáreas en total) presenta anomalías en el crecimiento de la vegetación que pueden relacionarse con elevada temperatura y/o presencia de gases termales en el suelo.



2. Laguna de Jiloá, orilla oriental (UTM 1350.5N 575E, 40 m s.n.m.)

Durante las investigaciones de campo del Plan Maestro, a lo largo de la costa inmediatamente al Este del Centro Turístico de Jiloá, por una extensión de unos 500 m, se observó la presencia esporádica de eflorescencias blancas en la arena, y se midieron temperaturas entre los 35° y los 40°C a profundidades de 10-15 cm. Durante una sucesiva visita al mismo sitio, a distancia de pocos días e inmediatamente después de un día de lluvia, no se detectó ninguna eflorescencia y la temperatura en la arena había bajado a niveles entre los 32° y los 34°C. Esto parece indicar que se trata de manifestaciones efímeras, sujetas a repentinas variaciones en función de las condiciones ambientales superficiales.

3. Laguna de Apoyeque, orilla NE (UTM 1354N 572E, 40 m s.n.m.)

Durante las inspecciones de campo del Plan Maestro, se observaron limitadas manifestaciones termales a lo largo de la orilla NE de la laguna de Apoyeque, con la presencia esporádica de sublimados blancos y amarillentos en la arena y debajo de bloques detríticos. En algunos puntos se observaron también porciones de depósitos detríticos cementados por deposiciones hidrotermales de color blanco. La temperatura en correspondencia de estas expresiones termales, medida a 10-15 cm de profundidad en la arena, resultó ser variable entre los 40° y los 68°C. A menudo, en correspondencia de las zonas calientes, se observaron también burbujes intermitentes en el agua de la laguna.

La presencia de manifestaciones termales en el sector NE de la laguna de Apoyeque había sido anteriormente mencionada por Thigpen (Texas Instruments, 1970), sin reportar informaciones al respecto, y luego por Hradecky (1988), el cual reportó la presencia de “manifestaciones fumarólicas” con “temperaturas de 86°C en el suelo y 69°C en el agua”.



GeothermEx en 1998, antes de que el Huracán Mitch originara un sensible incremento de nivel de la laguna, observaron la existencia de débiles manifestaciones termales (suelos calientes, sublimados, locales emisiones de vapor y burbujeo intermitente en el agua) a lo largo de toda la orilla NE de la laguna, por un tramo de 1.2 km de largo. La temperatura máxima registrada en ese entonces fue de 60°C (datos sin publicar de en los archivos de GeothermEx).

Manifestaciones Reportadas en Estudios Anteriores

1. Laguna de Jiloá, orilla meridional (UTM 1354N 574E, m s.n.m.)

En la orilla meridional de la Laguna de Jiloá, en una “barranco” localizada en la extremidad occidental del Centro Turístico, Thigpen (Texas Instruments, 1970) reportó la presencia de emergencias de agua tibia, asociadas con escasos depósitos eflorescentes y temperaturas de 41°C a 10 cm de profundidad en el fondo arenoso del cauce.

Esta manifestación no ha sido reportada por ningún autor sucesivo y durante las investigaciones del presente estudio se encontró el único cauce que desemboca en la orilla Sur de la laguna ampliamente inundado. El único indicio que se encontró sobre la existencia de cierta termalidad en ese sector, es un pozo con agua caliente ubicado a orillas del cauce en la extremidad occidental del Centro Turístico (supuestamente la misma “barranca” reportada por Thigpen). Se trata de un pozo excavado, con profundidad de aproximadamente 7 m, el cual, según sus dueños, tiene agua caliente. Actualmente el pozo está parcialmente aterrado y abandonado, pero se pudo apreciar un marcado flujo de aire tibio procedente del fondo.

2. Laguna de Apoyeque, orilla meridional (UTM 1353.4 572.5E, 40 m s.n.m.)

Thigpen (Texas Instruments, 1970) reportó dos manantiales de agua tibia, respectivamente con 36°C y 37°C, y con caudales de 5 y 1 gal/min, ubicados en la orilla oriental de la Laguna de Apoyeque. Ningún otro autor volvió a reportar la existencia de estas manifestaciones y las



mismas no fueron encontradas por los autores del presente informe, ni en 1998 (antes del Huracán Mitch), ni durante las investigaciones de campo del Plan Maestro.

3. Laguna de Apoyeque, otras observaciones

Thigpen (Texas Instruments, 1970) observó que la temperatura media del agua de esta laguna es de 32°C, lo que, junto con su elevada salinidad, indicaría la presencia de una alimentación por aguas termales. McBirney (1955) reporta que las aguas de la Laguna de Apoyeque han sido ocasionalmente vistas con movimientos atribuibles a la presencia de actividad subacuática (pero presentar detalles). Cazadores que frecuentan a menudo el interior de la caldera de Apoyeque (consultados por los autores del presente informe) han también descrito esporádicos “burbujeos” generalizados en las aguas de la laguna, los cuales generan un fuerte olor de azufre que se puede percibir hasta en el borde de la caldera.

4. Laguna de Nejapa (UTM, 1339.7N 574.0N, 40 m s.n.m.).

Como ya mencionado anteriormente, McBirney (1955) en su publicación sobre el origen de los cráteres de Nejapa, reportó la presencia de algunos indicios de actividad termal en la Laguna de Nejapa. En particular este autor reportó olor de sulfuro de hidrógeno y observó la presencia de temperaturas anómalas (hasta 41°C) y trazas de depósitos fumarólicos en algunos puntos de la laguna. Todo esto, junto con la salinidad muy elevada del agua, llevó a McBirney a suponer que dicha laguna está parcialmente alimentada por fluidos termales de procedencia profunda. Sucesivamente, ninguno de los autores que han analizado los aspectos hidrológicos y vulcanológicos del área, han vuelto a reportar indicios de termalismo en la Laguna de Nejapa. Durante los estudios de Plan Maestro se encontró la laguna con un nivel de agua elevado y no se pudo detectar ningún indicio de actividad termal en el área.



4.1.2 *Quimismo y Geotermometría*

En el Anexo A se presentan y discuten en detalle los aspectos hidrogeoquímicos del área Managua - Chiltepe, de los cuales resulta que en la Península de Chiltepe se pueden diferenciar cuatro regiones hidrogeoquímicas distintas, como indicado en la **Figura VIII-4.1.3**. Los datos considerados para la subdivisión de estas regiones incluyen no solamente las manifestaciones termales superficiales descritas en la anterior Sección 4.1.1, sino también aguas subterráneas recolectadas en numerosos pozos alrededor de la península, incluyendo aquellos descritos en la sucesiva Sección 4.3.

La Región 1 incluye el núcleo de la península en la zona de las lagunas de Jiloá y Apoyeque y, en particular, una faja orientada NO-SE que corre a lo largo del alineamiento definido por las orillas NE de ambas lagunas. En esta región se encuentran todas las fumarolas y zonas con suelos calientes descritas en la sección anterior, las cuales indican la presencia de una o más zonas de subida de vapor y, posiblemente, también de agua caliente con elevado contenido de Cl (cloruro). El elevado contenido de Cl en ambas lagunas de Jiloá y Apoyeque (1,700 hasta 2,400 ppm) resulta probablemente de un aporte histórico de aguas geotérmicas, pero esto no permite establecer la existencia de puntos de descarga, como pueden ser manantiales subacuáticos, también en la actualidad. Algunos autores han reportado temperaturas del agua de las lagunas de hasta 37°C, pero estas pueden también ser relacionadas con calentamiento por procesos atmosféricos. La Laguna de Apoyeque presenta un contenido de sílice y una alcalinidad mucho más elevada que en la Laguna de Jiloá. El más alto contenido en sílice sugiere, pero no comprueba, una influencia geotérmica más activa o más reciente. La diferencia en alcalinidad puede tener varias causas y es interesante notar que el Lago de Managua tiene también alcalinidad más elevada que la Laguna de Jiloá.

La Región 2 ocupa el flanco occidental y sur-occidental del Volcán Apoyeque. En esta zona se encuentran aguas subterráneas de tipo HCO₃-cationes mixtos (nota: en este informe la HCO₃



siempre indica alcalinidad total en forma de bicarbonato), las cuales son más características de los relieves ubicados al SO que de la propia zona de Chiltepe. Estas muestran anomalías de temperatura (hasta 39°C) y de Cl débiles y anomalías relativamente más fuertes de alcalinidad. El calentamiento y el crecimiento de la alcalinidad en estas aguas es probablemente causado por alguna combinación de conducción térmica desde abajo y mezcla con dióxido de carbono libre o asociado con vapor.

La Región 3 es el área ubicada al N y NNO de la Laguna de Apoyeque. Aquí se encuentran aguas subterráneas con una composición de tipo Na (sodio)+K (potasio)-aniones mixtos. Estas aguas presentan una temperatura anómala (hasta 42.3°C) que se correlaciona con un incremento de Cl (hasta 582 mg/l) y de alcalinidad (hasta 478 mg/l en forma de HCO₃). Existe una bien definida relación de mezcla entre aguas más frías, con bajo contenido de Cl, B (boro), Na, K y alcalinidad, y aguas más calientes, con más elevado contenido Cl, B, Na, K, y alcalinidad. El agua de la Laguna de Apoyeque demuestra también una composición mezclada con los mismos componentes, pero con temperatura menor.

La Región 4 es el área a lo largo de la orilla SE de la Laguna de Jiloá. Las aguas subterráneas en esta zona presentan características análogas y casi las mismas relaciones de mezcla y de calentamiento de la Región 3. En esta zona se registraron temperaturas en el acuífero freático de hasta 45.5°C, y contenidos de Cl de hasta 790 mg/l, con cierta tendencia hacia una relación B/Cl que es característica de la Laguna de Jiloá. (La relación B/Cl puede indicar que aguas cloruradas con distintos niveles de Cl son parte del mismo sistema de mezclas con el mismo componente original de Cl elevado, porque, con pocas excepciones, el B y el Cl no participan en reacciones químicas con las rocas.) Otros indicios químicos e isotópicos sugieren también que el acuífero freático en esta zona está sujeto a procesos de mezcla con aguas de la laguna que han sido calentadas.



Además de las cuatro regiones arriba descritas, existen también algunos pozos dispersos en la parte NE de la península que presentan una cierta anomalía de temperatura y de Cl, la cual sugiere la presencia de débiles efectos de mezcla con fluidos geotérmicos como en las Regiones 3 y 4.

La relación temperatura - Cl en las aguas de las Regiones 3 y 4 admite la presencia de un componente original (“end-member”) con temperatura mayor de 80°C a 2,500 mg/l de Cl. La temperatura en profundidad puede ser mucho más elevada, pero los cationes y la sílice en las diferentes aguas subterráneas se han re-equilibrado en las condiciones ambientales someras y, por lo tanto, no permiten estimaciones de las temperaturas de origen en profundidad.

Los geotermómetros aplicados a una sola muestra de gas del año 1978 (tomada por GeothermEx) las fumarolas de la orilla septentrional de la Laguna de Jiloá, sugieren una temperatura de equilibrio geoquímico mayor de 200°C.

4.2 Investigaciones Geofísicas

4.2.1 *Tipo*

Los primeros estudios geofísicos sobre el área Managua - Chiltepe fueron realizados por Electrodyne Surveys en el ámbito del “Plan Maestro del Desarrollo Eléctrico 1977-2000, Nicaragua” (IECO - lahmeyer 1980). El estudio fue parte de una investigación de reconocimiento regional sobre un área de 3,000 km² y, con respecto al área bajo examen, comprendió 10 estaciones de medición localizadas en la Península de Chiltepe y en el sector al O del Alineamiento de Nejapa. Sucesivamente, hasta los estudios efectuados en el ámbito del presente proyecto, no hubo ulteriores investigaciones geofísicas dedicadas a la exploración geotérmica en el área.



La investigación de Electrodyne Surveys fue basada sobre los métodos MT/AMT escalar y telúrico de tipo “vector roving” (RVT). En comparación con los estándares actuales, la mayoría de las metodologías, instrumentaciones y técnicas de interpretación utilizadas a finales de los años 1970 se consideran primitivas. Los datos fueron registrados solamente en tres frecuencias, utilizando registradores analógicos y magnetómetros de tipo “fluxgate”. El método RVT, además no es confiable, porque no permite reconocer efectos de “static shift” y efectos bidimensionales y tridimensionales. Hoy en día, los datos MT y AMT, de amplia banda y con cinco componentes tensoriales, son registrados por medio de instrumentos muy sensibles, se utiliza el método de la referencia magnética remota para reducir los disturbios, el tensor impedancia es calculado, se utilizan métodos eléctricos adicionales para corregir los efectos de “static shift”, y se pueden emplear modelados en dos y tres dimensiones (2D y 3D).

En el ámbito del presente estudio la compañía Geosystem realizó un levantamiento detallado en la Península de Chiltepe, utilizando los métodos MT y electromagnético TDEM. El trabajo de campo fue efectuado en abril del 2000. La instrumentación utilizada fue entre la más moderna actualmente disponible, incluyendo al sistema de adquisición Metronix ADU-06 MT para registrar datos tensoriales completos (2 componentes de campo eléctrico E y 3 componentes de campo magnético H). La profundidad mínima de exploración ha sido de 2.5 km y el rango de frecuencias registradas por el sistema MT fue entre 0.003 y 300 Hz aproximadamente.

Para optimizar los resultados, se utilizó una estación de referencia remota y se aplicaron sofisticados procesos de tratamiento de los datos, para corregir disturbios, irregularidades y anomalías de registración. Geosystem efectuó también mediciones TDEM en estaciones MT seleccionadas, para corregir los efectos de “static shift” cuando estos aparecieron ser importantes, lo que ocurrió generalmente en zonas con topografía abrupta. Los datos TDEM han sido adquiridos utilizando equipos transmisores-recipientes Sirotem-3S. Informaciones adicionales



acerca del tipo de equipos utilizados por Geosystem se encuentran en el Anexo C del presente volumen.

4.2.2 Cobertura

Las investigaciones de Electrodyne Surveys (IECO – Lahmeyer 1980) cubrieron la Península de Chiltepe y el sector inmediatamente al SO, como ilustrado en la **Figura VIII-4.2.1**.

La investigación efectuada como parte del Estudio Plan Maestro fue enfocada en la porción central y oriental de la península, en las áreas alrededor de la caldera de Apoyeque y de la Laguna de Jiloá. Se cubrió así una gran parte de la Península de Chiltepe con 46 estaciones MT, cuya densidad se aproxima, en algunos sectores, a una estación por km², como se puede observar en la **Figura VIII-4.2.2**. El área total investigada es de aproximadamente 70 km², con exclusión de una estación externa (CH14) ubicada cerca del margen septentrional de la península.

Las estaciones fueron concentradas alrededor de la caldera de Apoyeque y de la caldera de Jiloá (cuyo colapso ocurrió hace aproximadamente 6,500 años), porque estas estructuras sugieren la posibilidad de que existan una cámara magmática y un sistema geotérmico debajo de la península. La distribución de las estaciones MT fue seleccionada tomando en cuenta el modelo conceptual preliminar del área, tratando de maximizar la posibilidad de que zonas con resistividad eléctrica anómala, relacionadas con actividad geotérmica, pudieran ser identificadas y delineadas. Los sondeos TDEM fueron realizados en correspondencia de 16 estaciones MT donde se consideró necesario obtener datos para la corrección de efectos de “static shift”.

4.2.3 Resultados

Probablemente por ser los primeros del estudio, los sondeos de Electrodyne Surveys (IECO – Lahmeyer , 1980) encontraron dificultades de ejecución. En base a la información disponible parece que sólo en 7 sitios fueron registrados buenos datos MT/AMT a la frecuencia



más baja utilizada (0.045 Hz), y sólo en 3 sitios fueron obtenidos datos útiles a la frecuencia más alta utilizada (26 Hz). Estos sitios resultaron espaciados entre 2.5 y 5.5 km. Los resultados reportados por Electrodyne Surveys se presentan en la **Figura VIII-4.2.1**, la cual incluye la ubicación de los sondeos y las conductancias estimadas para cada sitio. Se observa, sin embargo, que los métodos utilizados por Electrodyne Surveys para calcular la conductividad aparente son de tipo cualitativo, por lo tanto los resultados se consideran de significado limitado.

En el ámbito del presente estudio se obtuvieron datos MT de 5 componentes en 46 estaciones de medición distribuidas en un área de 70 km², cuya ubicación está reportada en la **Figura VIII-4.2.2**. Dos estaciones originalmente planificadas (CH05 y CH06, no reportadas en la figura) no fueron accesibles debido a restricciones militares en el área de estudio. En varias estaciones la presencia de disturbios provocados por antenas de radio-transmisión afectó la calidad de la señal y, en dos estaciones en particular (CH02 y CH04) se registraron datos inutilizables. Los datos utilizables han sido por lo tanto obtenidos en 44 estaciones.

Además del trabajo de campo, el contratista geofísico efectuó el procesamiento de los datos, el modelado, y la preparación de todas las gráficas correspondientes. En el Anexo C del presente volumen se presentan los datos completos y los resultados del levantamiento de Geosystem, en forma de mapas, secciones, y texto con análisis y discusión de los datos. En particular, el Anexo C incluye:

- mapas de conductancia total a tres diferentes profundidades;
- mapas de resistividad a profundidad somera y a tres diferentes niveles más profundos;
- un mapa de elevación del tope del conductivo;
- un mapa que presenta las elipses de impedancia con relativo “tipper strike” y dirección de inducción;
- cuatro perfiles de modelos de inversión 1-D; y



- tres perfiles de modelos de inversión 2-D.

Varias de estas figuras son también incluidas en este capítulo para ilustrar la discusión de los resultados.

Los resultados de las inversiones de tipo 1-D (modelos columnares) correspondientes a varias estaciones han sido proyectados para construir secciones transversales a lo largo de los perfiles CH-1, CH-4, CH-5 y CH-6, alcanzando profundidades de -3,500 m s.n.m. (aunque los datos no son confiables a profundidades mayores de -1,500 m s.n.m.) En términos generales estos perfiles evidencian un nivel resistivo que se extiende desde la superficie hasta aproximadamente el nivel del mar y representa las rocas del edificio volcánico de Apoyeque. Debajo de este nivel resistivo se encuentran amplias zonas conductoras de espesor variable (aproximadamente entre 200 y 1,500 m) y con baja resistividad (aproximadamente 2 a 12 ohm-m), las cuales yacen a su vez sobre un cuerpo más resistivo (resistividad entre 20 y 200 ohm-m).

En la zona al Oeste de la caldera de Apoyeque el conductor aparece como una capa aproximadamente horizontal con resistividad de unos 5 ohm-m y un espesor de aproximadamente 1 km. Esta se extiende en las planicies alrededor del edificio volcánico hacia el Norte, Oeste, Sur y, probablemente, también al Este, aunque existen pocos datos en la zona al oriente del edificio volcánico. Al Este de la caldera de Apoyeque aparece un conductor más delgado y a un nivel más elevado. La estructura eléctrica presentada por los modelos 1-D debajo del tope de un conductor está sujeta a errores considerables cuando los datos indican la presencia de estructuras de tipo 2-D (o 3-D) a profundidades mayores, lo que ha sido el caso de todas las estaciones en el área estudiada. Sin embargo, se considera que los modelos 1-D proporcionen estimaciones aceptables del espesor del conductor.

En la **Figura VIII-4.2.3** se presenta un mapa de conductancia total a profundidad de 1,000 m, el cual evidencia la distribución en el área del conductor arriba mencionado. La conductancia



total es la integral, relativa a un intervalo de profundidad establecido, del recíproco de la resistividad. Este mapa muestra que los márgenes N, O y S del edificio volcánico y el área que flanquea al O la caldera de Apoyeque, son zonas relativamente más conductivas (menos resistivas) que la mayoría del área debajo del volcán. El mismo mapa muestra también un alto de conductividad en el área de la Laguna de Jiloá

La **Figura VIII-4.2.4** es un mapa de resistividad a la profundidad de 300 m, el cual muestra la ubicación del conductivo somero al Este de la caldera de Apoyeque. Se observan anomalías pronunciadas (< 4.6 ohm-m) en el área de la Laguna de Jiloá y, más al Norte, cerca de los Cerros Cuapes. Estas dos anomalías de muy baja resistividad son incluidas en una única zona con resistividad ligeramente más alta.

La **Figura VIII-4.2.5** presenta los resultados de la inversión 2D de los datos a lo largo del perfil CH-2. Se observa que los modelos 2D probablemente no son confiables debajo de la elevación -1,500 m s.n.m., debido a la presencia de efectos 3D observados en los datos de impedancia. En su extremo occidental la sección presenta un espeso conductivo entre las estaciones CH43 y CH17, aunque la forma circular de la anomalía es un artefacto de la inversión. Al Este de la caldera de Apoyeque se observa un conductivo delgado con tope aproximadamente a -200 m s.n.m., espesor entre 0 y 300 m y resistividad mínima alrededor de los 6 ohm-m, el cual resulta posicionado unos centenares de metros más alto que el conductivo presente más al Oeste. Entre estos dos conductivos existe una zona, de aproximadamente 2 km de ancho, con resistividades más elevadas (> 20 ohm-m).

El perfil CH-3 de inversión 2D (**Figura VIII-4.2.6**) muestra una estructura similar a aquella obtenida por la inversión 2D a lo largo del perfil CH-2. La forma y la resistividad extremadamente baja (inferior a 1 ohm-m) del conductivo al Oeste de la estación CH44 son sin embargo no confiables, debido a falta de datos de control en esa zona y más al Oeste. En este



perfil el conductivo al Este de la caldera de Apoyeque (entre las estaciones CH48 y CH01) está a un nivel más elevado, es más espeso y alcanza resistividades menores (debajo de los 4.6 ohm-m) que en el perfil CH2. Entre las estaciones CH48 y CH01 el conductivo delgado se encuentra debajo de la zona fumarólica en la orilla N de la Laguna de Jiloá. Más al Este, entre CH01 y CH08, parece que el conductivo delgado se fusione con el equivalente local del conductivo grueso espeso observado en la zona occidental. El conductivo grueso de la zona occidental está separado desde el conductivo delgado por una zona más resistiva, con un ancho de 1.5 km, ubicada debajo de la caldera de Apoyeque.

Las inversiones de tipo 1D localizan el conductivo delgado a una elevación aproximadamente 300 m arriba de lo que resulta de las inversiones 2D. Sin embargo, ambos tipos de inversiones indican que el conductivo delgado se ubica a un nivel algunos centenares de metros más elevado que el conductivo espeso. La **Figura VIII-4.2.7** presenta un mapa de elevación del tope del conductivo (definido como zona con resistividad menor de 10 ohm-m) basado sobre los resultados de las inversiones de tipo 1D. Al Norte de la Laguna de Jiloá, el mapa muestra un área alargada en sentido NS donde el tope del conductivo está arriba del nivel del mar, alcanzando la elevación máxima de 150 m s.n.m. en la zona de la estación CH24. La **Figura VIII-4.2.4** muestra la distribución de la resistividad al interior del conductivo a la profundidad de 300 m, y evidencia la presencia de una fuerte anomalía (< 3 ohm-m) debajo de la orilla septentrional de la laguna de Jiloá, la cual se extiende hacia el N, en proximidad de los Cerros Cuapes.

Es oportuno tratar de interpretar el significado geotérmico de los conductivos arriba descritos. La cuestión fundamental a ser analizada es la relación entre el conductivo espeso y el conductivo delgado; es decir, si estos dos conductivos tienen orígenes similares o diferentes. Es muy probable que tengan causas distintas, debido a las diferencias de distribución, elevación, separación horizontal y espesor entre ellos.



El conductivo delgado tiene una extensión geográfica mucho más limitada y una elevación más elevada que el conductivo espeso. Además coincide con el área fumarólica en la orilla septentrional de la Laguna de Jiloá y se extiende más al N, en proximidad de los Cerros Cuapes, alcanzando la elevación de 150 m s.n.m. Esto sugiere que sus porciones más elevadas se encuentren en rocas del edificio volcánico de Apoyeque y no en las secuencias volcano-sedimentarias subyacentes. Es por lo tanto razonable pensar que el conductivo delgado pueda haber sido originado por los mismos procesos hidrotermales que tienen expresión superficial en las fumarolas de Jiloá. A elevaciones inferiores a la superficie del lago este conductivo puede deberse a la presencia de fluidos geotérmicos o alteración arcillosa, mientras que a elevaciones superiores puede representar solamente alteración arcillosa. Una alternativa a este modelo es que el conductivo delgado pueda representar una porción levantada por falla del mismo material que compone el conductivo espeso, pero esto es improbable.

Por lo contrario, no se considera probable que el conductivo de mayor espesor sea de origen hidrotermal, porque no está asociado con ninguna manifestación geotérmica conocida y porque su extensión es muy amplia. La explicación más sencilla del origen del conductivo de mayor espesor es que represente una zona conductiva en las rocas sedimentarias que circundan, y supuestamente subyacen, al edificio volcánico de Apoyeque. Esta capa conductiva puede estar ubicada al interior de la Formación Las Sierras, El Salto u otra más antigua, y puede tener baja resistividad por la presencia de arcillas o de fluidos salinos intersticiales en sedimentos clásticos de elevada porosidad. El problema con esta hipótesis es que el conductivo de mayor espesor no parece extenderse debajo de las partes centrales de la estructura volcánica, donde se esperaría encontrar la misma secuencia sedimentaria presente en los alrededores. Una posible explicación puede ser que el conductivo grueso en un tiempo existió también donde ahora no aparece, quizás como resultado de alguna intrusión masiva y/o alteración durante la actividad del Volcán Apoyeque.



Es importante observar que debajo de la Laguna de Jiloá (área que incluye las estaciones CH01 y CH08 y un sector más al N), se encuentra un conductivo grueso de limitada extensión geográfica (ver Figuras VIII-4.2.3 y VIII-4.2.6). Este conductivo se encuentra a profundidades entre 500 y 1500 m, debajo del conductivo delgado descrito anteriormente, y tiene resistividades en el rango 7-10 ohm-m. Este se considera ubicado al interior de las rocas sedimentarias que subyacen el edificio volcánico, y su baja resistividad puede ser causada por la presencia de fluidos o alteraciones hidrotermales, asociados con las manifestaciones superficiales de la Laguna de Jiloá. En la visión más optimista, este conductivo puede representar un reservorio geotérmico somero; alternativamente podría representar solamente rocas sedimentarias conductivas.

En conclusión, el conductivo delgado y elevado, que se ubica debajo de la Laguna de Jiloá y más al Norte, tiene una alta probabilidad de originarse por actividad geotérmica. El subyacente conductivo que se extiende hasta 1500 m de profundidad, podría indicar la presencia de fluidos hidrotermales o de procesos de alteración asociados. El área de interés que resulta de estas anomalías geoelectricas es probablemente mejor indicada por el mapa de resistividad a profundidad de 300 m (Figura VIII-4.2.4). El bajo de resistividad incluido en la línea de 6.8 ohm-m al Este de Apoyeque parece ser un área razonable para ulteriores investigaciones.

4.3 Resultados de Pozos Geotérmicos

Como ya mencionado en la sección 2.3 del presente informe, en el área de Managua-Chiltepe no existen pozos que hayan sido perforados con finalidades de exploración o explotación geotérmica.



En la Península de Chiltepe existen, sin embargo, varios pozos someros perforados para fines de aprovechamiento hídrico o de riego, algunos de los cuales han encontrado agua con temperatura de hasta 45°C.

La mayoría de los pozos alrededor de la Península de Chiltepe fueron visitados durante los estudios del Plan Maestro, para recolectar muestras de agua y para obtener informaciones de tipo hidrológico y geotérmico (ver detalles in el Anexo A). La información que se pudo recolectar fue, sin embargo, limitada, ya que no existen informes con datos de perforación y, muchas veces, los pozos mismos no son accesibles (por ser tapados, con equipos en el cabezal y/o con una bomba que ocupa el diámetro entero a profundidad) para medir su profundidad total y la profundidad del nivel de agua. En la mayoría de los casos, el dato más significativo que se pudo recolectar ha sido la temperatura del agua, junto con valores aproximados de profundidades proporcionados por la gente local. Solo en algunos puntos se midió con cierta precisión la profundidad del nivel de agua en el pozo. Todos los datos de temperatura y profundidad de pozos someros, obtenidos durante el presente estudio, son reportados en la Tabla VIII-4.1 y los datos de temperatura son reportados en la **Figura VIII-4.1.1**. La temperatura del agua existente en la mayoría de los pozos de la península de Chiltepe, cuando se compara con los valores generales del acuífero somero regional, que difícilmente superan los 30°C (Krásný *et al.*, 1998), aparece definitivamente anómala. Esto refleja la presencia de alguna fuente de calor que genera una anomalía térmica a niveles muy someros en el área.

La temperatura del agua medida en los pozos someros puede dar una idea general acerca de la extensión, forma e intensidad de dicha anomalía térmica, pero se trata de una información muy aproximada, que puede estar sensiblemente influenciada por la variable profundidad de los pozos y de la variable profundidad del nivel freático. Por otro lado, los datos disponibles no son suficientemente precisos como para permitir elaboraciones detalladas de la situación térmica en el subsuelo. Se consideró, sin embargo, oportuno tratar de optimizar la información disponible



efectuando un cálculo aproximado del gradiente térmico conductivo arriba del nivel freático, con el fin de obtener una representación más confiable del termalismo en el subsuelo.

El procedimiento aplicado y las limitaciones implícitas en este tipo de elaboración se describen a continuación:

- La profundidad de los pozos presentes en el área es variable en función de la elevación del sitio (de la cual depende la profundidad del nivel freático), y del método de perforación utilizado (los pozos excavados terminan por lo general pocos metros debajo del nivel de agua, mientras que los pozos perforados se extienden por hasta algunas decenas de metros debajo del nivel freático). A partir de los pozos en los cuales se pudo medir con cierta precisión la profundidad del nivel freático, se reconstruyó una relación general entre profundidad del nivel freático y elevación, la cual ha resultado ser aproximadamente lineal. Luego, sobre la base de estos datos y de consideraciones hidrogeológicas generales, se estimó la profundidad del agua para los pozos sin información o, se comprobaron los datos proporcionados por la gente local.
- A partir de los valores medidos de la temperatura del agua y de la profundidad del nivel freático (medido o estimado con el método arriba mencionado), asumiendo una temperatura en superficie de 27.5 °C, correspondiente a la temperatura media anual (ver Capítulo 7.2.2), se calculó luego el gradiente térmico conductivo existente entre la superficie del terreno y la superficie del nivel freático. Este cálculo incluye ciertas aproximaciones y puede ser afectado por las diferencias que existen entre pozos excavados, en los cuales la temperatura medida del agua corresponde con buena aproximación a aquella de la superficie freática, y pozos perforados, que penetran por algunas decenas de metros en el acuífero y por lo tanto el agua producida por el pozo puede representar condiciones térmicas más profundas, diferentes a aquellas existentes en



la superficie freática. Para minimizar este tipo de errores se evaluaron individualmente todos los datos, y se descartaron aquellos que pudiesen ser causa de importantes desviaciones en la interpretación final.

- En general se pudo comprobar que, aún con los márgenes de incertidumbre que en muchos casos existen acerca de la profundidad, el posible error del gradiente calculado es limitado y no afecta sensiblemente a la forma y distribución de la anomalía térmica.

Los resultados obtenidos a través de este proceso de elaboración de los datos se presentan en la Tabla VIII-4.1. En la **Figura VIII-4.3.1** se reportan los mismos datos en forma de líneas de iso-gradiente, las cuales permiten efectuar las siguientes consideraciones:

- La distribución general del gradiente térmico somero (aunque cubra parcialmente el área por falta de pozos en la porción central de la península) define bastante claramente una anomalía térmica que cruza el edificio volcánico de Apoyeque en sentido SE-NO. Esta anomalía incluye todas las manifestaciones termales presentes en superficie, las cuales están también alineadas en sentido SE-NO, y coincide con importantes lineamientos estructurales con el mismo rumbo (ver Sección 3.1.2).
- Los gradientes térmicos más elevados se registran en la zona inmediatamente al SE de la Laguna de Jiloá. El núcleo de la anomalía parece extenderse más al SE, debajo del Lago de Managua, reduciendo su intensidad, y más al NO, debajo de la misma Laguna de Jiloá, donde las isolíneas de gradiente quedan abiertas hacia la zona de fumarolas en la orilla septentrional de la laguna. En la zona inmediatamente al SE de la Laguna de Jiloá existen gradientes térmicos someros muy elevados (superiores a los 80°C/100 m) y, en tierra firme, se puede estimar un área de por lo menos 3.5-4 km² con gradiente superior a los 50°C/100 m.



- Hacia el SO, el gradiente térmico se reduce hasta alcanzar valores inferiores a los $10^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ a unos 3 km desde el eje NO-SE de la anomalía. En la zona central de la ladera SO del Volcán Apoyeque (zona de Santa Catalina) se observa en la **Figura VIII-4.3.1** una flexión de las isolíneas de gradiente hacia el exterior de la anomalía, lo cual podría estar relacionado con algún flujo lateral de fluidos calientes a niveles someros. La densidad y calidad de los datos en esa zona es, sin embargo, limitada y no permite corroborar plenamente esta hipótesis.
- Hacia el NE siempre se aprecia una reducción del gradiente térmico, pero la situación parece más compleja y valores de $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ se alcanzan a unos 4.5 km desde el eje de la anomalía sólo en la zona al NE de la Caldera de Apoyeque. En la zona de El Tamagás se observa la presencia de una marcada irregularidad en la forma de la anomalía, la cual sugiere la presencia de un flujo caliente que se desplaza desde el centro de la anomalía hacia el exterior.
- Hacia el NO, en las planicies de la zona de Corpus Christi, la extremidad de la anomalía, se presenta con gradientes definitivamente menores de aquellos presentes en el extremo opuesto (zona de Jiloá), pero siempre se alcanzan valores del orden de los $40^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Con la información disponible, en la **Figura VIII-4.3.1** no ha sido posible delinear completamente la distribución de las isolíneas de gradiente en esta zona, pero se observan indicios de un control en sentido NE-SO, perpendicular al eje principal de la anomalía, el cual podría relacionarse con una barrera estructural.

En conclusión, tratando de interpretar y correlacionar los datos de los dos extremos de la anomalía térmica, y considerando las manifestaciones de Apoyeque y Jiloá como indicio de que la anomalía tiene continuidad y mantiene cierta intensidad a través de todo el edificio volcánico,



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576
FAX: (505) 222-4629
www.cne.gob.ni

se puede estimar que existe un gradiente somero elevado, mayor de 50°C/100 m, sobre una extensión de por lo menos 20 km².



5. NATURALEZA DEL RECURSO GEOTÉRMICO

5.1 Localización de la Fuente de Calor

Por debajo de la Península de Chiltepe existe indudablemente una importante fuente de calor representada por el sistema magmático que ha generado las repetidas fases de actividad del Volcán Apoyeque. Los productos de composición variable entre andesítica y dacítica que han caracterizado la actividad del Volcán Apoyeque, son un claro indicio de residencia prolongada del magma a niveles crustales relativamente someros, donde se realizan importantes procesos de fraccionamiento y separación de gases, antes de alcanzar la superficie con erupciones explosivas.

Desafortunadamente no existen estudios petrológicos específicos sobre los aspectos termo-barométricos de los magmas de Chiltepe, así que no hay información acerca de la profundidad y temperatura de la cámara magmática que se ubica debajo del Volcán Apoyeque. Los únicos datos de cierto interés son las estimaciones efectuadas por Bice (1985) sobre el volumen de magma implicado en las últimas tres erupciones explosivas del Volcán Apoyeque, el cual varía, por erupción entre 0.4 y 2 km³ aproximadamente y, en total fue de unos 3 km³. Estos valores son indicativos de una cámara magmática de moderadas dimensiones, pero posiblemente caracterizada por una alimentación constante de magma desde zonas más profundas.

5.2 Zonas de Ascenso

Los resultados de los estudios hidrogeoquímicos y de las manifestaciones termales (ampliamente presentados y discutidos en las Secciones 4.1 y 4.3 y en el Anexo A del presente Volumen) evidencian la existencia de un sector, el cual ha sido definido Región 1 en la **Figura VIII-4.1.3**, debajo del cual ocurren procesos de subida de fluidos geotérmicos desde zonas profundas hacia la superficie. Este sector se extiende en forma de una faja con rumbo NO-SE a



lo largo de las orillas NE de las lagunas de Apoyeque y de Jiloá, y posiblemente está controlado por lineamientos tectónicos con el mismo rumbo.

El fluido geotérmico que sube debajo de la zona arriba mencionada, al alcanzar niveles someros entra en ebullición separando vapor que alimenta las fumarolas de Jiloá y las varias zonas con suelos calientes presentes a lo largo de las orillas NE de la laguna de Apoyeque.

Los estudios geofísicos (presentados y discutidos en la Sección 4.2 y en el Anexo C del presente Volumen) evidencian la presencia de importantes procesos de alteración hidrotermal que generan una delgada capa con resistividad muy baja, ubicada en la misma zona a pocos centenares de metros de profundidad. Esta capa, que es particularmente bien definida en el sector de la Laguna de Jiloá e inmediatamente al N, constituye una evidencia adicional de la subida de fluidos geotérmicos hasta niveles relativamente someros en esta zona.

Se observa en fin que todos los fenómenos arriba descritos ocurren en correspondencia de la intersección entre el sistema de fallas N-S del Alineamiento de Nejapa (borde occidental del Graben de Managua) y otro importante sistema tectónico de rumbo NO-SE, representado por una importante falla que corre entre la Laguna de Jiloá y los Cerros Cuapes y por otros lineamientos inferiores menores, entre los cuales se encuentran los que probablemente controlan las orillas marcadamente rectilíneas de las Lagunas de Jiloá y Apoyeque (ver **Figura VIII-3.10**).

Es posible que esta intersección estructural genere una zona de fracturación que permite la subida de fluidos geotérmicos profundos hacia la superficie.

5.3 Dirección de Movimiento de los Fluidos

Los estudios hidrogeoquímicos han evidenciado la presencia de dos zonas, ubicadas respectivamente en los sectores NO y SE de la Península de Chiltepe (Regiones 3 y 4 de la **Figura VIII-4.1.3**), en las cuales han sido identificados procesos de mezcla entre las aguas del



acuífero freático y aguas más salinas, de derivación geotérmica (ver Sección 4.1.2 y Anexo A del presente Volumen).

Estos procesos de mezcla pueden originarse por descarga subterránea de las lagunas de Apoyeque y Jiloá (que tienen aguas con salinidad relativamente elevada) hacia los acuíferos freáticos colindantes y asumiendo que este proceso sea acompañado por fenómenos de calentamiento del acuífero freático por mezcla con vapor o por conducción; o, alternativamente, pueden ser sencillamente el resultado de la interacción entre las aguas del acuífero freático y algún flujo de fluidos geotérmicos procedente de la zona de subida descrita en la sección anterior.

Se observa, sin embargo, que el nivel de la superficie de las lagunas es prácticamente la misma del nivel de la superficie del Lago de Managua, por lo tanto es improbable que exista un fuerte gradiente hidráulico entre las lagunas y los acuíferos freáticos alrededor de la península, así que el flujo sub-superficial desde las lagunas hacia el exterior es probablemente reducido a una débil difusión. Por otro lado, se observa que la mezcla de vapor en las aguas subterráneas tiende a causar una anomalía de alcalinidad, pero las aguas freáticas en el sector NO de la península y el agua de la Laguna de Apoyeque presentan una normal relación de mezcla entre Cl y alcalinidad y las aguas freáticas no muestran tendencia hacia alcalinidades más elevadas de las encontradas en la Laguna de Apoyeque (ver Anexo A, Sección A.3.1 y, en particular la **Figura VIII-A.3.1.1**)

Parece muy probable que en el sector NO de la península (Región 3) el componente de mezcla en el acuífero freático no sea representado por las aguas de las lagunas volcánicas, sino que sea agua geotérmica de origen más profundo. Los datos del sector SE (Región 4), en particular los datos isotópicos, sugieren que en esta zona los procesos de mezcla incluyen también agua de la Laguna de Jiloá, acompañada por fenómenos de calentamiento.

Es muy probable que las aguas de Jiloá y Apoyeque y las aguas del acuífero freático en los sectores NO y SE de la Península de Chiltepe sean afectadas por la misma fuente de



contaminación térmica, que consistiría en un flujo de agua geotérmica que se desplaza lateralmente desde la zona de subida ubicada debajo del sector NE de las lagunas de Jiloá y Apoyeque. En el sector NE de la península, la presencia de aguas con una cierta anomalía de temperatura y de Cl, que parece derivar de efectos de mezcla con fluidos geotérmicos, puede también interpretarse como indicio de un flujo de agua geotérmica desde la zona de ascenso hacia esa dirección, aunque aparentemente de intensidad menor.

En la **Figura VIII-5.1** se presenta un esquema conceptual general que resume la posible dinámica del sistema hidrotermal en el subsuelo de la Península de Chiltepe. Como ya mencionado en la Sección 5.2 es interesante observar que la zona de subida de fluidos geotérmico puede estar controlada por un importante cruce estructural entre una serie de fallas N-S y NO-SE, ubicado en la zona inmediatamente al N de la Laguna de Jiloá. En este contexto es razonable suponer que los flujos laterales identificados sobre base geoquímica hacia el SE y hacia el NO pueden ser principalmente controlados por el sistema tectónico NO-SE. La presencia de aguas con una relación B/Cl relativamente más elevada en la Laguna de Jiloá y en la zona inmediatamente al SE puede ser indicativa de una mayor cercanía a la zona de subida, con influencia de los procesos de separación de vapor asociados. El flujo, aparentemente más reducido, hacia el sector NE de la península puede, por el contrario, ser controlado por el desarrollado sistema de fallas N-S que se observa en la ladera septentrional del Volcán Apoyeque, al N de los Cerros Cuapes (ver **Figura VIII-3.10**), o por otra influencia todavía no identificada.

5.4 Temperatura

La temperatura del sistema geotérmico profundo que alimenta la zona de ascenso a de fluido y los flujos laterales someros descritos en la secciones anteriores, es de difícil determinación, debido a la presencia de amplios procesos de re-equilibración de las aguas a niveles someros que impiden la aplicación de los geotermómetros de cationes y de sílice para estimar la temperatura de equilibrio del fluido originario.



La geotermometría de gases presenta también limitaciones, ya que se tienen a disposición solamente los datos de una muestra de 1978 (IECO – Lahmeyer, 1980) procedente de las fumarolas de la orilla septentrional de la Laguna de Jiloá. La aplicación de los geotermómetros a esta muestra indica una temperatura de equilibrio de por lo menos 200°C, la cual se considera representar un valor mínimo para el sistema geotérmico en profundidad. Temperaturas mucho más elevadas son consideradas muy probables.

5.5 Química del Fluido

Los datos hidrogeoquímicos indican que el sistema geotérmico existente en el subsuelo de la Península de Chiltepe está probablemente constituido por un típico fluido de tipo Na-Cl, con aproximadamente 2,500 mg/l de Cl y un pH cercano a neutro. No hay evidencias de procesos significativos de separación de vapor.

La presencia de una actividad volcánica muy reciente en el Volcán Apoyeque podría implicar también la presencia de porciones del sistema caracterizadas por fluidos ácidos, pero todas las aguas y las manifestaciones termales conocidas en la zona no presentan características químicas o tipos de alteración que indiquen alguna relación con sistemas hidrotermales de este tipo.



6. ESTIMACIÓN DE RESERVAS ENERGÉTICAS

El área Managua-Chiltepe comprende dos zonas de características y niveles de investigación claramente distintos: la Península de Chiltepe y el complejo volcánico del Alineamiento de Nejapa en la vecindad de Managua. En forma separada se han realizado las estimaciones de las reservas de energía recuperable para las dos zonas tomando en cuenta las diferencias entre ellas.

En la Península de Chiltepe hay suficiente información disponible para estimar con cierta confianza la localización y características aproximadas de un sistema geotérmico asociado con las calderas jóvenes de Apoyeque y Jiloá. Sin embargo, no existen evidencias directas de pozos geotérmicos profundos que permitan determinar con confianza la extensión, el espesor y la temperatura del sistema. Por lo tanto, las reservas de esta zona se han estimado usando el método volumétrico probabilístico de Categoría 2, descrito en el Anexo B del Volumen I.

La zona del Alineamiento de Nejapa no ha sido investigada extensamente y de manera suficiente para demostrar la presencia de un sistema geotérmico importante. Por esta razón, la estimación de las reservas potenciales ha sido realizada usando la metodología de Categoría 3, descrita en el Anexo B del Volumen I, con base en las características de la actividad volcánica joven de la zona.

6.1 Península de Chiltepe

6.1.1 *Definición de Parámetros*

Los posibles rangos de los parámetros críticos requeridos para el cálculo volumétrico de las reservas en la Península de Chiltepe, se han estimado en base al modelo conceptual del sistema geotérmico presentado en el Capítulo 5. Las bases para estimar estos parámetros se describen a continuación. A ciertos parámetros que son comunes para todas las áreas de estudio del Plan Maestro o también que son inciertos en su estimación específica, se les han asignado los valores



típicos o estándares descritos en el Volumen 1, Anexo B. Estos incluyen: la capacidad de calor volumétrico de la roca del yacimiento, la porosidad de la roca, la vida de la planta eléctrica, el factor de capacidad de la planta, el factor de utilización y la temperatura de reinyección (o de salida). Todos los parámetros usados en el cálculo de las reservas en la Península de Chiltepe se resumen en la Tabla VIII-6.2.

Extensión del Yacimiento

Existen evidencias de que fluidos de alta temperatura ascienden en un yacimiento geotérmico en la vecindad de las lagunas de Apoyeque y de Jiloá (ver **Figura VIII-5.1**). Por lo menos, este yacimiento potencial parece tener una longitud mínima de aproximadamente 2 km y no menos de 1 km de ancho. Por lo tanto, el área mínima del yacimiento se estima que es de 2 km² (Tabla VIII-6.1). Existe una buena probabilidad de que el yacimiento sea más extenso, considerando las características conocidas del sistema y de aquellos sistemas similares que han sido explotados en otras partes. Para la estimación de las reservas se ha considerado como una área más probable el doble del área mínima, esto es 6 km². Tomando en cuenta la posibilidad de que el yacimiento pudiese ser aún más extenso, el área máxima se ha estimado en 12 km². Esta es aún una estimación razonablemente conservadora, considerando la distribución de las manifestaciones termales y otras indicaciones de la actividad, y la posible extensión de zonas de flujo lateral (**Figura VIII-5.1**).

Espesor del Yacimiento

No hay una evidencia directa con la cual se pueda estimar el espesor del yacimiento geotérmico del cual pueda recuperarse calor; por lo tanto, se ha seleccionado una distribución probabilística rectangular que cubra un rango bastante amplio del espesor. Se ha considerado un espesor mínimo de 1,000 m, ya que es inusual que en un sistema de alta temperatura en rocas volcánicas de este tipo tenga un intervalo menor que éste. La recuperación de calor de un intervalo más



grueso es posible. Aún si la producción del fluido se obtiene de una zona limitada, el calor deberá ser recuperado de un intervalo vertical mayor conforme el sistema es explotado. Por lo tanto, se han considerado los 3,000 m como el límite superior de la distribución probabilística del espesor del yacimiento en el sistema.

Temperatura Promedio del Yacimiento

Para la temperatura promedio del yacimiento se ha considerado una distribución probabilística rectangular, con un límite inferior de 200°C y un límite superior de 250°C. Este rango se basa en la evidencia de la geotermometría química, indicada en el Capítulo 4, la cual provee una evidencia consistente para la presencia de fluidos de alta temperatura en el sistema geotérmico.

6.1.2 Cálculo de Reservas

La distribución probabilística de las reservas de energía recuperables en el sistema de Chiltepe se calculó usando los parámetros descritos anteriormente y la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. La distribución calculada se resume en la Tabla VIII-6.1 y se muestra gráficamente en las **Figuras VIII-6.1 y VIII-6.2**.

El valor medio de la distribución probabilística es aproximadamente de 112.9 MW, con una desviación estándar de 57.6 MW. El 10º percentil de la distribución es aproximadamente 50 MW; en otras palabras, hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor, con base a las hipótesis usadas. El valor medio de la capacidad en MW es aproximadamente 100.8 MW, y el valor medio de la energía recuperable por unidad de área es aproximadamente de 16.1 MW/km².



6.1.3 Comentarios

El método probabilístico de la estimación volumétrica indica que una cantidad significativa de calor, con potencial para soportar un desarrollo geotérmico importante, probablemente está asociado con el sistema geotérmico de Chiltepe. Desde este punto de vista, la Península de Chiltepe representa un objetivo atractivo para la investigación y desarrollo adicionales.

Como se indicó con mayor detalle en el Anexo B del Volumen I, la presencia de reservas energéticas calculadas con el método volumétrico no asegura que las reservas puedan ser recuperadas económicamente para la producción geotermoeléctrica. La confirmación del potencial recurso en el área de Chiltepe, como en cualquier otra área, deberá requerir la perforación y prueba de pozos de producción, para demostrar que existe la suficiente permeabilidad en el yacimiento que permita la extracción económica del calor en este lugar.

La metodología de Categoría 3 descrita en el Anexo B del Volumen I se usó para hacer un cálculo separado de las reservas potenciales en la Península de Chiltepe. Este cálculo (ver la Tabla VIII-6.2 y la **Figura VIII-6.3**), basado en una estimación del volumen del magma y de la roca intrusiva asociada con el complejo volcánico, indicó un nivel de reservas similar al calculado usando el método de Categoría 2. Por lo tanto, es probable que las reservas de Categoría 2 sean una representación razonable del potencial en la Península de Chiltepe. Puesto que el cálculo de Categoría 3 no indica un exceso de reservas, todas las reservas de la zona de Chiltepe se consideraron de Categoría 2 dentro del Estudio Plan Maestro.

6.2 Complejo Volcánico de Nejapa (Zona de Managua)

6.2.1 *Definición de Parámetros*

Como se indicó en el Capítulo 3, el Alineamiento de Nejapa se caracteriza por la actividad volcánica que es predominantemente fisural, con poca o nula evidencia directa de una



acumulación centralizada de magma o de rocas intrusivas en una parte específica de la zona. No existe duda de que algunas rocas intrusivas han sido emplazadas conjuntamente con la actividad eruptiva de la zona, pero se han realizado estimaciones bastante conservadoras para evitar una sobrestimación de la magnitud potencial de la fuente de calor asociada con el alineamiento.

Volumen de la Cámara Magmática

El volumen de la cámara magmática/complejo intrusivo asociado con el Alineamiento de Nejapa se ha estimado con base en las características de la formación de cráteres a lo largo de la zona. La estimación basada en el volumen de los productos de erupción deberá ser difícil, y probablemente engañosa, por la ausencia de un edificio volcánico centralizado.

El más grande de los cráteres a lo largo del alineamiento, la Laguna de Asososca, representa un volumen de colapso de aproximadamente 0.28 km^3 , según sus dimensiones. Una estimación conservadora del colapso total representado por los cráteres del alineamiento, es aproximadamente tres veces este volumen. Como se indicó en el Anexo B del Volumen I, el volumen del colapso puede ser que represente alrededor del 10% al 20% del volumen total del magma acumulado en el subsuelo. Por lo tanto, el volumen total del complejo magmático/intrusivo del Alineamiento de Nejapa se ha estimado que es alrededor de 4.2 a 8.5 km^3 . Esto está basado probablemente en una subestimación del volumen eruptado asociado con el alineamiento, pero se compensa por lo disperso más que por la naturaleza centralizada de la inyección del magma dentro de esta zona.

Profundidad de la Cámara Magmática

No existe información directa con la cual estimar con confianza la profundidad del emplazamiento del magma debajo del Alineamiento de Nejapa. Por lo tanto, se ha hecho una estimación conservadora en base a la hipótesis que el magma y la roca intrusiva se ha acumulado cerca del nivel de sustentación hidráulica neutral, que se especula esté alrededor de 4 a 5 km de



profundidad. Un rango un poco más amplio, de 3 a 7 km, se ha asumido para la profundidad, para tomar en cuenta inciertos potenciales, incluyendo la posibilidad de intrusiones someras.

Edad de Emplazamiento

La edad del Alineamiento de Nejapa no está bien definida con la información disponible. Hay alguna evidencia de la estratigrafía volcánica local que la mayoría de los depósitos eruptivos del alineamiento son de por lo menos 20,000 años de antigüedad (ver Capítulo 3). Hradecky (1997) infiere una edad máxima de 100,000 años para la actividad del alineamiento. En la ausencia de información adicional, se ha asumido dentro de estos límites amplios el rango potencial de edades del magma emplazado.

Temperatura del Magma

Se ha asumido el rango de 900° a 1,100° C para las temperaturas originales del magma emplazado en el Alineamiento de Nejapa. Este es el mismo rango asumido para otras áreas en las cuales se ha aplicado la misma metodología, en ausencia de información adicional con la cual se puedan estimar las temperaturas del magma.

6.2.2 Cálculo de Reservas

Las reservas potenciales de energía recuperable asociadas con el Alineamiento de Nejapa se han estimado en base a los parámetros descritos anteriormente, y en la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I. Los resultados de esta estimación se resumen en la Tabla II-6.2 y se muestran gráficamente en la **Figura II-6.4**.

El cálculo del calor magmático disponible indica un valor medio para las reservas potenciales de aproximadamente 3.7 MW/km² cerca del centro del complejo, decreciendo a menos de 1 W/km² a una distancia de 4 a 5 km. Como se indica en la **Figura II-6.4** la desviación estándar o el rango de incertidumbre es considerable, como es de esperarse, tomando en cuenta



las incertidumbres en las estimaciones de los parámetros críticos. Sumando las reservas potenciales sobre el área en la vecindad del alineamiento, el total estimado es de aproximadamente 93 MW.

6.2.3 Comentarios

Debe hacerse notar que, como en todas las áreas a las que se les ha asignado la Categoría 3 para el cálculo de las reservas de energía, los resultados presentados arriba son una representación estadística del potencial en el área y no prueban concluyentemente que se presente un recurso geotérmico comercialmente explotable. La presencia de tal recurso depende de la existencia de un volumen suficiente de roca permeable que permita la convección del fluido, y el desarrollo de un yacimiento explotable deberá ser demostrado necesariamente con exploración adicional y, finalmente, con la perforación profunda para confirmar la presencia del recurso.

Además, la naturaleza del vulcanismo a lo largo del Alineamiento de Nejapa es diferente que en la mayoría de los centros de actividad volcánica considerados como parte del Estudio Plan Maestro. Más significativamente, es el que esté disperso a lo largo de una zona bastante estrecha, sin el desarrollo de un edificio volcánico importante. No existe un precedente en Centro América sobre el descubrimiento de un recurso geotérmico comercialmente explotable asociado con este tipo de vulcanismo. Por lo tanto, las reservas estimadas mostradas en la Tabla VIII-6.2, deben considerarse que tienen un alto grado de incertidumbre.



7. ASPECTOS AMBIENTALES

7.1 Información Existente

A pesar de la existencia de zonas de Reserva Natural y de un importante Centro Turístico a orillas de la Laguna de Jiloá, no existen muchos estudios sobre los aspectos ambientales del área bajo examen. La investigación más reciente, que enfrenta este tema de manera sistemática, aunque preliminar, es un estudio llevado a cabo por FUNDENIC-SOS (1999) en el ámbito del proyecto de evaluación y redefinición del sistema de áreas protegidas de Nicaragua, al cual se hace por lo tanto ampliamente referencia en este informe.

Por lo que se refiere a las condiciones climáticas, se observa que las estaciones meteorológicas del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) están en su mayoría localizadas en las principales ciudades y centros poblados, por lo tanto no existen datos específicos en las áreas de los volcanes. En el caso del área Managua-Chiltepe, la estación meteorológica más cercana se ubica unos 20 km al ESE, en el Aeropuerto de Managua, cuyos registros son por lo tanto tomados como referencia climatológica principal. Informaciones adicionales se obtuvieron de los mapas regionales de parámetros climáticos publicados por INETER, los principales de los cuales son: el Mapa de Precipitación Media Anual y el Mapa de Temperatura Media Anual (INETER, 1997).

La situación socioeconómica en general ha sido descrita tomando como referencia los resultados del último Censo Nacional, efectuado en 1995. Estos datos han sido obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

Información complementaria sobre las condiciones ambientales en el área ha sido recolectada por el personal (geólogos, geoquímicos y geofísicos) que trabajaron en el campo durante la ejecución de los estudios del Plan Maestro.



7.2 Características Ambientales

7.2.1 *Aspectos Socioeconómicos*

Población

La Península de Chiltepe pertenece administrativamente al Municipio de Mateare, Departamento de Managua mientras que el sector al Sur del poblado de Los Brasiles, incluyendo Ciudad Sandino y toda la zona periférica occidental de la ciudad capital pertenece a los Municipios de Managua y de Ciudad Sandino (este último ha sido separado muy recientemente del municipio de Managua).

En correspondencia del último Censo Nacional (INEC, 1995), la ciudad capital tenía una población de 898,640 habitantes y se estima que actualmente supere el millón de habitantes. En 1995, el sector de Ciudad Sandino, administrativamente conocido como Distrito I de Managua (ahora Municipio independiente), tenía 56,129 habitantes, mientras que el Distrito II, que incluye la mayoría del sector de Managua colindante con el “Alineamiento de Nejapa”, tenía 118,130 habitantes.

La ciudad de Mateare, cabecera municipal, ubicada en la extremidad occidental de la Península de Chiltepe, tiene 8,481 habitantes. En toda la Península de Chiltepe no existen importantes centros poblados, si se excluyen las localidades Alfonso González (o Los González) y Los Brasiles, ubicadas en su sector meridional. Según los datos del último Censo Nacional (INEC, 1995), en el área rural de Chiltepe viven 2,995 habitantes, 1,219 de los cuales están concentrados en los centros de Los González y Los Brasiles - San Francisco.

La distribución de la población en la zona de Chiltepe, subdividida por comarcas, localidades y por rango de edades, se presenta en la Tabla VIII-7.1.



Todo el municipio de Mateare tiene una población de 17,804 habitantes y una población rural de 6,387 habitantes, correspondiente al 35.9 % del total. Según datos de la Organización Internacional para las Migraciones (OIM), la población “económicamente activa” a nivel municipal es de 5,868 habitantes, correspondiente al 33%. Resulta por lo tanto evidente que la zona rural de este municipio y, en particular la Península de Chiltepe, es poco poblada. Además, debido a la cercanía de la ciudad capital y a la presencia de algunas actividades industriales, incluyendo a una Zona Franca, en la zona de Los Brasiles y Ciudad Sandino, la población activa en el sector agropecuario es bastante reducida, siendo solamente el 16% del total de población “económicamente activa” (OIM, 1999).

Uso de la Tierra

El uso de la tierra es principalmente de tipo agrícola en toda la planicie alrededor del Volcán Apoyeque, y de tipo residencial e industrial en el sector comprendido entre Managua y Ciudad Sandino. Los relieves volcánicos de la Península de Chiltepe y del Alineamiento de Nejapa son principalmente áreas en estado natural, aunque el bosque originario haya sido en muchos lugares profundamente destruido por la intervención humana.

No se encontraron datos específicos sobre la clasificación y distribución general del uso de la tierra en el área, con exclusión de algunos datos reportados por FUNDENIC-SOS (1999), limitados a la Reserva Natural de Chiltepe y de su propuesta zona de amortiguamiento. Los datos más significativos se resumen a continuación.

La Reserva Natural, que se extiende a elevaciones superiores a los 200 m s.n.m., y por lo tanto representa la mayoría del relieve del Volcán Apoyeque, tiene una extensión de 2,620 km², un 23% (6.62 km²) de la cual corresponden a las lagunas de Jiloá y Apoyeque. El 71% de la superficie de la Reserva corresponde a zonas con vegetación natural (bosque latifoliado, vegetación arbustiva y plantaciones forestales), mientras que el 6% está ocupado por pastos y



malezas. En las planicies alrededor del Volcán Apoyeque, los centros poblados (Bosques de Jiloá y Comarca Los Gonzáles) ocupan una superficie total de 75 ha, mientras que aproximadamente un 60% de la superficie está ocupado por zonas agrícolas activas y un 25% por vegetación arbustiva que corresponde en general a zonas agrícolas abandonadas. En la zona al SO y NE de la Laguna de Jiloá existen también tres diferentes bases militares del Ejército de Nicaragua, cuya efectiva extensión y área de influencia no han sido investigadas.

Sitios de Interés Cultural y Arqueológico

En la Península de Chiltepe, no se conoce la existencia de sitios arqueológicos, sin embargo algunos pobladores de haciendas situadas en su sector NO, durante las investigaciones de campo de este proyecto, enseñaron algunos objetos arqueológicos de edad pre-colombiana, que sostienen haber encontrado en la zona.

En las paredes internas del cráter de Asososca ha sido reportada la existencia de algunos petroglifos (Incer, 1975). En las cercanías de la pequeña Laguna de Acahualinca, al margen NO de Managua existe un sitio, manejado por el Instituto Nicaragüense de Cultura, donde han sido descubiertas y valorizadas a fines culturales y turísticos unas capas volcánicas con huellas humanas prehistóricas. Otros hallazgos arqueológicos son conocidos en varios puntos de la ciudad de Managua y alrededores.

Centros Turísticos

El sector meridional de la Laguna de Jiloá está ocupado por un amplio complejo turístico, muy popular y concurrido entre los habitantes de Managua. Después de las fuertes lluvias del huracán Mitch en 1998, el nivel de la laguna de Jiloá ha crecido sensiblemente, inundando amplios sectores de este centro turístico y reduciendo sensiblemente su actividad.



El Centro Turístico de Jiloá está regulado por el Ministerio de Turismo e incluye balnearios, restaurantes, centros recreativos y complejos residenciales.

Áreas Protegidas

En la Península de Chiltepe, el Decreto 1320-83, instituye como “Reserva Natural” todo el macizo de los Cerros Cuapes, a elevaciones superiores a los 200 m s.n.m., y la Laguna de Apoyeque. El sucesivo Decreto 42-91 establece además como “Áreas Protegidas” todas las lagunas existentes en la zona Managua - Chiltepe, es decir: la Laguna de Jiloá, la Laguna de Asososca, la Laguna de Nejapa y la Laguna de Tiscapa. Esta última está ubicada en el centro de la capital y es también objeto del Decreto No. 6-96, que la declara “Parque Histórico Nacional”, incluyendo a la loma homónima.

La Reserva Natural de Chiltepe, cuyo centro se ubica a tan sólo unos 10 km desde el margen occidental de la ciudad de Managua y está rodeada por otros importantes centros habitados como son Ciudad Sandino, Los Brasiles y Mateare, está sufriendo una fuerte presión provocada por el desarrollo de actividades ganaderas intensivas en la planicie adyacente, la intensa extracción de leña, y la presencia de actividades turísticas no adecuadamente controladas en la zona de Jiloá.

El reciente estudio de FUNDENIC-SOS (1999) reporta sin embargo que la Reserva Natural contiene todavía un 89% de superficie con un nivel reducido de intervención y presenta un interesante potencial de recuperación del ecosistema. La propuesta actualmente en fase de evaluación (FUNDENIC-SOS, 1999), es la de mantener esta área protegida al nivel de Reserva Natural, definiendo una amplia franja de amortiguamiento en su alrededor (ver Figuras VIII-7.1 y VIII-7.2) y, al mismo tiempo, hace la recomendación de estudiar la posibilidad de convertir esta área en un “Parque Natural Municipal”.

La Laguna de Asososca es utilizada para aprovechamiento del sistema de agua potable de Managua y por lo tanto, además de ser un área ambientalmente protegida, goza de una



protección especial por parte de la empresa aguadora ENACAL. El acceso al cráter y a la laguna es prohibido al público por razones de higiene y seguridad.

En el área protegida del cráter de Nejapa existen unas instalaciones de recepción de señales satelitarias operadas por la empresa ENITEL, la cual restringe el acceso del área al público por razones de seguridad.

Las áreas protegidas de Asososca y Nejapa son propuestas en el estudio de evaluación técnica realizado por el MARENA (FUNDENIC-SOS, 1999) para ser re-clasificadas en la categoría de Parques Ecológicos Municipales. Al mismo tiempo se formuló la propuesta de establecer una amplia área de amortiguamiento que incluya estas lagunas y la mayoría de las lomas y cerros volcánicos presentes en la misma zona.

Los límites legales actuales de las áreas protegidas existentes en el área Managua-Chiltepe y sus propuestas modificaciones se reportan en las **Figuras VIII-7.1 y VIII-7.2**.

7.2.2 Aspectos Abióticos

Topografía

Los rasgos topográficos generales del área, se caracterizan por morfologías suaves con presencia de varios edificios y depresiones volcánicas recientes.

La topografía de la Península de Chiltepe está dominada por el complejo volcánico de Apoyeque el cual incluye las dos lagunas de Apoyeque y Jiloá. El cráter de la Laguna de Apoyeque presenta paredes muy abruptas y escarpadas en todos los sectores que desde el borde, a una elevación de aproximadamente 350-400 m s.n.m., bajan hasta los 40 m s.n.m. de la laguna. El cráter de la Laguna de Jiloá presenta también laderas muy escarpadas, pero solamente en su sector N y O; al SE el borde del cráter es muy poco marcado y prácticamente se reduce a una



loma suave con algunas decenas de metros de elevación que separa la Laguna desde las planicies colindantes con el lago de Managua.

La elevación máxima en la península es de 518 m s.n.m., y corresponde a los Cerros Cuapes, que se ubican al lado NE del cráter de Apoyeque. A elevaciones superiores a los 100-150 m el relieve del Volcán Apoyeque es bastante accidentado las laderas son empinadas y profundamente erosionadas en muchos lugares. A elevaciones inferiores a los 100 m s.n.m., el complejo volcánico está circundado por una planicie suave con débil inclinación hacia el Lago de Managua y hacia el SO.

Hidrología

Los principales cuerpos hídricos superficiales presentes en el área son el Lago de Managua, las lagunas de Apoyeque y Jiloá, en la Península de Chiltepe, y las lagunas de Asososca y Nejapa en el “Alineamiento de Nejapa”. No existen cursos de agua permanentes en toda la zona.

El Lago de Managua es el segundo cuerpo hídrico más importante de Nicaragua (después del Lago de Nicaragua) y es alimentado por algunos ríos y por los acuíferos freáticos que lo rodean ya que este actúa como zona de descarga regional para el flujo subterráneo en todas las direcciones (Krásný *et al.*, 1998). Este lago tiende a caracterizarse como una cuenca cerrada, con un balance hidrológico muy delicado y con una elevada componente de evaporación, por lo tanto presenta significativas variaciones de nivel, en función de las condiciones climáticas y de la ocurrencia de precipitaciones anómalas. En los últimos 70 años (INETER, 1998; Krásný *et al.*, 1998) el nivel del Lago de Managua fluctuó generalmente entre los 36 y los 39 m s.n.m., registrándose esporádicos eventos con subidas hasta los 43-44 m s.n.m., como ocurrió en 1998-1999 a raíz del Huracán Mitch y del sucesivo invierno caracterizado por copiosas lluvias



Las Lagunas de Apoyeque y Jiloá son cuencas típicamente cerradas, incluidas en calderas volcánicas y alimentadas superficialmente solo por precipitaciones directas sobre la superficie de las lagunas y por el corrimiento superficial al interior de los cráteres respectivos. Ambas lagunas tienen un nivel prácticamente igual y análogo a aquel del Lago de Managua.

La Laguna de Asosca ocupa un profundo cráter con un diámetro de aproximadamente un km y no tiene ninguna alimentación superficial significativa. El nivel de la Laguna (36.5 m s.n.m.) es unos 80-100 m inferior al borde del cráter y la profundidad máxima de la laguna es de 91 m. Este cuerpo hídrico representa la intersección de la oquedad volcánica con el acuífero freático, y por lo tanto puede considerarse como un pozo de enormes dimensiones excavado por la naturaleza. Debido a su ubicación y características peculiares esta ha sido utilizada desde 1914 como fuente de aprovechamiento hídrico de la ciudad de Managua.

La Laguna de Nejapa ocupa parcialmente el fondo de un cráter alargado de 2 km de largo y un km de ancho aproximadamente. Su profundidad es de pocos metros. Su alimentación es prácticamente limitada al corrimiento superficial de las aguas de lluvia al interior del cráter y a un pequeño cauce de drenaje local que entra a la laguna procedente del sector inmediatamente al Este. Su extensión y nivel son por lo tanto muy susceptibles a variaciones en función de las condiciones climáticas generales. De hecho, este cuerpo hídrico había casi desaparecido durante los años 90, luego recuperó a consecuencia del Huracán Mitch en 1998.

Por lo que se refiere a las aguas subterráneas, en toda el área se extiende un amplio acuífero en los depósitos piroclásticos y aluvionales recientes y altamente permeables. La profundidad del agua subterránea varía desde pocos metros hasta los 80-100 m, dependiendo de la elevación y de la posición topográfica. En la Península de Chiltepe y en toda la región de Managua este acuífero es ampliamente explotado para aprovechamiento hídrico.

Características Físico-Químicas y Bacteriológicas de Cuerpos de Agua



La Tabla VIII-7.2 reporta unos datos obtenidos de Krásný *et al.* (1998), que caracterizan la composición química de los varios cuerpos hídricos superficiales mencionados en la sección anterior. Datos y discusiones más completas sobre la química de las aguas superficiales y subterráneas se encuentran en la Sección 4.2.1 y en el Anexo A del presente Volumen.

Se puede observar que, con excepción de la Laguna de Asososca, todas las lagunas volcánicas existentes en el área presentan un agua de tipo clorurado-sódico, lo que indica la presencia de cierta contaminación por fluidos geotérmicos de procedencia profunda. Las aguas del Lago de Managua y de la Laguna de Asososca son, por lo contrario, de tipo bicarbonatado-sódico, consistente con circulación somera en zonas de descarga (Krásný *et al.* 1998).

Las aguas subterráneas del acuífero freático, según Krásný *et al.* (1998), varían entre los tipos bicarbonatado-sódico y bicarbonatado-cálcico en toda la zona de Managua y en la parte meridional y sur-occidental de la Península de Chiltepe, lo que es característico de aguas meteóricas de circulación subterránea somera. En todo el sector NE de la Península de Chiltepe aparecen por lo contrario aguas cloruradas sódicas o cloruradas sódico-cálcicas, las cuales se encuentran también en las Lagunas de Apoyeque y Jiloá (ver Tabla VIII-7.2), y derivan de la mezcla de las aguas bicarbonatadas someras con fluidos clorurados de origen profundo. En esta zona las aguas subterráneas presentan a menudo también una moderada anomalía de temperatura, con valores que alcanzan localmente los 45°C.

Los datos reportados en la Tabla VIII-7.2 para el Lago de Managua corresponden a diferentes puntos distribuidos alrededor de la Península de Chiltepe. Es interesante observar que el agua presenta variaciones desde el tipo bicarbonatado-sódico al tipo bicarbonatado-clorurado-sódico, lo que sugiere locales y débiles aportes de aguas de procedencia profunda.



No existe mucha información sobre los aspectos bacteriológicos de las aguas de los lagos. El Lago de Managua, especialmente en la zona de capital, donde recibe descargas de aguas negras y efluentes varios procedentes de la ciudad, es muy contaminado. Su agua no es absolutamente apta para el consumo humano ni tampoco para uso como balneario. En esta zona, además de la contaminación bacteriológica, existe también una significativa contaminación de tipo químico derivada de procesos industriales y mal manejo de desechos contaminantes.

La Laguna de Jiloá presenta cargas bacteriológicas, principalmente derivadas de una pobre regulación de los efluentes domésticos en la zona del Centro Turístico. La Laguna de Asosca es mantenida bajo estricto control por parte de ENACAL que la usa como fuente de aprovechamiento hídrico. No se encontraron informaciones acerca de las lagunas de Apoyeque y Nejapa.

Clima

FUNDENIC-SOS (1999) identificó en el área dos distintas zonas climáticas: Tropical seca y Sub-tropical seca.

La precipitación media anual en la Península de Chiltepe es de aproximadamente 1,100 mm, mientras que la temperatura media anual está en el rango 27-27.5°C. Mapas de isoyetas y de temperaturas medias anuales relativos a la región occidental de Nicaragua, las cuales evidencian la distribución y variación de estos parámetros en el área bajo examen y alrededores, son incluidas en el Volumen I, Anexo G del Plan Maestro.

Con respecto al viento, los parámetros registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Managua (coordenadas 590E, 1342N), para la cual existen datos promedios del período 1987-1999, indican que el viento sopla predominantemente desde el Este durante todo el año. Los meses más afectados por el viento son Enero, Febrero y Marzo. La velocidad media del viento



varía en el año entre 0.6 m/s (en Octubre) y 1.8 m/s (en Marzo). La velocidad máxima registrada en el período 1987-1999 es de 4.2 m/s (ver datos adicionales en [Tabla VIII-7.3](#)).

7.2.3 Aspectos Bióticos

Flora

La vegetación de las laderas del Volcán Apoyeque y de los Cerros Cuapes ha sido intensamente explotada para la producción de leña y madera de construcción, proceso que ha generado un amplio desarrollo de matorrales residuales y bosques secundarios muy espaciados y empobrecidos en términos de diversidad vegetal. Las zonas menos afectadas por la degradación del bosque son las laderas orientales de los Cerros Cuapes y el interior del cráter de Apoyeque, debido a la relativa inaccesibilidad de estas áreas. Las planicies aledañas al Volcán Apoyeque han sido completamente deforestadas para fines agrícolas y para la siembra de pastos. En particular, toda la planicie al O y NO del Volcán Apoyeque ha sido ampliamente despallada en los últimos 40-50 años para dar lugar a actividades agroindustriales y ganaderas. En todo el alineamiento volcánico al Sur de la Península de Chiltepe, debido a su ubicación al margen de la ciudad de Managua, la vegetación natural de alto porte ha prácticamente desaparecido, con exclusión de algunos residuos de bosque en las laderas internas de los cráteres de Asososca y de Nejapa.

La vegetación presente en el área Managua-Chiltepe es del tipo latifoliado caducifolio, constituida por las típicas especies del bosque tropical seco, como se puede observar en la [Tabla VIII-7.4](#). Como ya mencionado anteriormente, las especies vegetales son actualmente reducidas: anteriormente se reportaba que la zona de Chiltepe era famosa por la abundancia del árbol guayacán (*Guaiacum sanctum*), el cual es ahora muy raro en estado natural. En la base NE de los Cerros Cuapes, se observa una loma caracterizada por la presencia de una vegetación xerofítica conformada por la cactácea popularmente conocida como cardón (*Cercus undatus*



Haworth), la cual llama la atención por su singularidad, ya que ese tipo de vegetación es muy poco común en toda la región.

Fauna

La fauna, análogamente a la vegetación, ha sido intensamente afectada por la intervención humana (ver Tabla VIII-7.5). Entre los mamíferos, FUNDENIC-SOS (1999) reporta solamente la presencia del cusuco (*Dasypus novemcinctus*), sin embargo la población del área reporta también la presencia de venados, conejos, mapaches y otras especies menores que viven principalmente al interior del cráter de Apoyeque, donde, a pesar de la dificultad de acceso, son sujetos a una caza indiscriminada.

Entre los reptiles FUNDENIC-SOS (1999) reporta la boa y el garrobo, y durante el trabajo de campo de Plan Maestro se encontraron también las especies popularmente conocidas como bejuquilla y castellana. Se observó además que el garrobo negro es particularmente abundante al interior de la caldera de Apoyeque.

Las aves son bastante abundantes a lo largo de todas las costas y en las lagunas de la Península de Chiltepe.

La Laguna de Jiloá aloja varias especies de peces de agua dulce y, según FUNDENIC-SOS (1999), han sido identificadas dos especies de guapotes, dos especies de mojarras, la guavina, la sardina, el picaculo, el pepesca, el chulín y hasta la anguila (*Synbranchus marmoratus*), la cual es una especie bastante rara. Además ha sido identificada una tortuga (*Pseudemys scripta*) y una especie de cangrejo (*Potamocarcinus sp.*). La fauna acuática de la Laguna de Apoyeque es por lo contrario desconocida, aunque sea reportada la presencia de algunas especies de peces.



7.3 Análisis de las Condiciones Ambientales

7.3.1 *Situación Ambiental General*

La zona Chiltepe - Managua se desarrolla al margen occidental la ciudad capital y, por consiguiente, ha sido afectada por significativas intervenciones humanas, como son: la abundante deforestación, la caza, los frecuentes incendios, y el amplio desarrollo de asentamientos marginales, actividades industriales, comerciales, ganaderas y agroindustriales. La misma Reserva Natural de Chiltepe y las Áreas Protegidas de las lagunas volcánicas existentes en el área, presentan un significativo (a veces drástico) estado de deterioro de las condiciones naturales, debido a la falta de una adecuada protección, control y manejo.

En toda la orilla oriental de la Península de Chiltepe y en la ensenada inmediatamente al NO de la ciudad de Managua, se observó una impresionante acumulación de basura en las playas (principalmente material plástico) acumulada por el viento y por las ondas del Lago de Managua, el cual recibe descargas descontroladas de basura en todo el sector de la ciudad capital. En la misma zona, y especialmente en el sector Miraflores - San Carlos, existen también varios basureros abusivos de desechos industriales y de construcción.

7.3.2 *Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico*

Como resulta de los estudios realizados sobre el área, el sector que presenta las mayores perspectivas para el desarrollo de un proyecto geotérmico en toda el área Managua-Chiltepe es la Península de Chiltepe (ver la Tabla VIII-7.6).

En la Península de Chiltepe, si se excluye el sector comprendido entre Ciudad Sandino, el poblado de Los Brasiles y la Laguna de Jiloá, donde existe cierta densidad de población (Comarca Alfonso González y Centro Recreativo de Jiloá), no existen comunidades densamente pobladas. En las planicies alrededor del Volcán Apoyeque, sin embargo se encuentran



diseminadas de haciendas ganaderas y agrícolas con actividades intensivas, cuyas propiedades se extienden ampliamente en las faldas del volcán. Se menciona además la presencia del Centro Turístico a orillas de la laguna de Jiloá y en necesario considerar que al SO y NE de la Laguna de Jiloá existen tres diferentes bases militares del Ejército de Nicaragua.

No se considera que el desarrollo de actividades geotérmicas en la Península de Chiltepe pueda tener importantes impactos negativos sobre la población local o requiera desplazamientos de población en el área. La actividad turística en Jiloá y la presencia de instalaciones militares en los alrededores, puede, sin embargo, crear limitaciones en el desarrollo de actividades geotérmicas en toda el sector SO de la Laguna de Jiloá.

La extensa presencia de actividades agrícolas y ganaderas representa también cierto potencial de generación de conflictos con las actividades locales. Cabe, sin embargo, observar que, durante la ejecución de los estudios del Plan Maestro (en particular durante las campañas de geofísica y de hidrogeoquímica), no se encontraron significativas oposiciones por parte de la población local y de los propietarios de terrenos.

Con respecto a los posibles impactos de actividades y obras geotérmicas sobre la flora y la fauna en el área, se considera que éstos sean mínimos en todas las zonas de planicie, las cuales son encuentran ampliamente deforestadas y cultivadas. En las laderas de los edificios volcánicos, donde existe todavía alguna zona boscosa, estos impactos pueden resultar más significativos y estar acompañados también por problemas de estabilidad y erosión del terreno, por lo tanto, será necesario evaluar detenidamente cada situación para aplicar las correspondientes medidas de mitigación y prevención.

Los cuerpos hídricos presentes en del área, con exclusión del Lago de Managua, se encuentran en estado natural y por lo tanto tienen un elevado valor ecológico y ambiental, que debe ser



adecuadamente protegido de cualquier proceso de contaminación. En algunos casos los cuerpos hídricos, ya sean superficiales como subterráneos, presentan una contaminación natural de origen geotérmico, la cual debería ser adecuadamente analizada y establecida como referencia antes del inicio de actividades de desarrollo geotérmico.

Un resumen de los impactos negativos, medidas de atenuación y el monitoreo ambiental de las etapas necesarias para completar la factibilidad se presenta en la Tabla VIII-7.6. La mayoría de las medidas de atenuación están basadas en la aplicación de todos los buenos diseños y buenas prácticas de ingeniería civil, hidráulica, de perforación y de yacimientos. Como consecuencias, no tienen una valoración económica aparte de los gastos normales para las obras de estas disciplinas. Los gastos estimados para estas obras en el área de Managua – Chiltepe se presentan en detalle en el Anexo J del Volumen I del Estudio Plan Maestro. Igualmente, los gastos típicos para la preparación de los Estudios de Impacto Ambiental que son necesarios para llegar a la factibilidad se presentan en detalle en el Anexos J del Volumen I del Estudio Plan Maestro. En cuanto a las obras únicas especiales de atenuación, el costo de reforestación (si es necesario) se estima en no más de \$5,000 y la construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos se estima en no más de \$5,000.

Un aspecto de particular importancia a ser considerado es la existencia de la Reserva Natural de Chiltepe, establecida por el Decreto 1320/83 y actualmente en fase de re-evaluación por parte del MARENA (FUNDENIC-SOS). El artículo 3 del decreto constitutivo de dicha reserva, está dirigido a la prevención de un mayor deterioro de las condiciones ecológicas y prohíbe la ejecución de varias actividades en la misma, incluyendo cualquier trabajo de ingeniería. Un análisis más completo de este problema se reporta en el Volumen 1, Anexo G, del Plan Maestro. El desarrollo de actividades geotérmicas en el sector del “Alineamiento de Nejapa”, enfrentaría seguramente problemas de orden social a varios niveles, dada su ubicación en correspondencia del margen occidental de la ciudad de Managua, incluyendo zonas residenciales, repartos



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576

FAX: (505) 222-4629

www.cne.gob.ni

comerciales, asentamientos marginales y el de Ciudad Sandino. Cabe sin embargo observar que en la misma zona existen instalaciones industriales y energéticas significativas, como son la Refinería, zonas con viejas industrias químicas abandonadas y otros parques industriales, canteras de arena, la subestación eléctrica de Los Brasiles (en Ciudad Sandino), la planta de termoeléctrica de Las Brisas. Por lo tanto, no se puede excluir que también una instalación geotérmica pueda lograr acomodarse con armonía en este contexto.



8. ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS

8.1 Acceso

El área Managua-Chiltepe, ubicada en el sector inmediatamente al Oeste de la ciudad capital, no presenta en general problemas de accesibilidad.

La Península de Chiltepe se extiende a orillas de la Carretera Nacional No. 28 (Carretera Nueva a León), la cual constituye el principal eje de comunicación vial entre Managua, las ciudades del occidente del país y los cercanos países de Honduras y El Salvador. La misma carretera sirve de comunicación con Corinto, el principal puerto comercial de Nicaragua. El Aeropuerto Internacional de Managua se ubica en la extremidad oriental de la ciudad, a solamente unos 20 km al Este del área de interés geotérmico. Además, en la misma zona de Chiltepe (Los Brasiles) existe un aeropuerto menor habilitado para pequeños aviones y helicópteros.

A partir de la Carretera Nacional No. 28, la cual cruza toda la planicie al SO del Volcán Apoyeque, diferentes caminos rurales penetran en la zona de Chiltepe. Un camino pavimentado que empieza en Ciudad Sandino lleva hasta el Centro Turístico de Jiloá, luego sigue, sin pavimento, recorriendo todo el perímetro de la península, hasta reconectarse con la Carretera Nacional No. 28 en correspondencia de Mateare. Varios caminos secundarios conectan este eje vial periférico de Chiltepe con las varias haciendas presentes en la planicie alrededor del Volcán Apoyeque.

Muy pocos caminos se adentran en el edificio volcánico, donde se reporta básicamente un viejo camino de tierra (ahora en muy mal estado) que sube por la ladera occidental del volcán hasta alcanzar el borde de la Caldera de Apoyeque, donde está instalada una antena de radiocomunicaciones. Este camino tiene dos diferentes posibilidades de acceso: una en correspondencia de la Hacienda Santa Catalina y otra en correspondencia de la Hacienda El



Rosario, pero ambos accesos son restringidos y controlados por los propietarios de los terrenos. Otras trochas se adentran en diferentes puntos de las laderas del edificio volcánico, pero sus condiciones las hacen difícilmente transitables con vehículos.

8.2 Uso de la Tierra

El uso de la tierra es principalmente de tipo agrícola en toda la planicie alrededor del Volcán Apoyeque, y de tipo residencial e industrial en el sector comprendido entre Managua y Ciudad Sandino. Los relieves volcánicos de la Península de Chiltepe y del Alineamiento de Nejapa son principalmente áreas en estado natural, aunque el bosque originario haya sido en muchos lugares profundamente destruido por la intervención humana.

Entre las actividades agrícolas prevalecen las actividades ganaderas (principalmente para producción de leche), en propiedades de grandes extensiones.

Ulteriores informaciones sobre el uso de la tierra en el área son reportadas en la Sección 7.2.1 del presente Volumen.

8.3 Disponibilidad de Sitios para Perforación y Construcción

Como resulta de las evaluaciones técnicas presentadas en este informe, las mayores perspectivas de desarrollo de un proyecto geotérmico en el área Managua - Chiltepe se dan en la Península de Chiltepe. Esta es una zona rural, con densidad de población muy baja y con una topografía caracterizada por amplias zonas de planicie que forman un relieve volcánico suave y poco accidentado. A nivel general se puede por lo tanto asumir que en esta zona no existan significativos problemas para la ubicación de perforaciones e instalaciones geotérmicas.

En sectores específicos del área podrán, sin embargo, encontrarse algunas restricciones debidas a los siguientes aspectos:



- La orilla meridional de la Laguna de Jiloá está ocupada por un complejo turístico muy popular y concurrido entre los habitantes de Managua. Esta estructura puede seguramente crear limitaciones locales en el desarrollo de actividades geotérmicas.
- En la Comarca Alfonso González y en el sector inmediatamente al Norte del Volcán Chiltepe existen tres diferentes bases militares del Ejército de Nicaragua, las cuales pueden ser fuente de locales problemas de disponibilidad de terreno.
- La porción más elevada del edificio volcánico de Apoyeque (Cerros Cuapes) y algunos limitados sectores de su ladera N y NO tienen morfología abrupta y declives empinados que pueden dificultar la ubicación de plataformas de perforación y, localmente, implicar importantes restricciones para actividades de desarrollo geotérmico.
- La porción interna de las calderas de Apoyeque y Jiloá está ocupada casi completamente por las respectivas lagunas y presenta paredes escarpadas, inestables e inaccesibles. Estas zonas son definitivamente inadecuadas para la realización de obras de perforación y construcción.
- La mayoría de los terrenos en el área son de propiedad privada, por lo tanto no se pueden excluir posibles conflictos con dueños de terrenos.

Tomando en consideración la distribución y extensión de las zonas problemáticas arriba reportadas, se considera, sin embargo, que las restricciones afectan áreas limitadas y, en el campo de la perforación, podrán fácilmente ser superadas con la aplicación de técnicas de perforación direccional.

Cabe en fin mencionar la existencia de la Reserva Natural de Chiltepe (a elevaciones superiores a los 200 m s.n.m.), la cual presenta significativos impactos generados por la intervención



humana y está actualmente en fase de re-definición por parte del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARENA). Las efectivas restricciones generadas por esta área protegida dependerán del criterio de protección que aplicará el MARENA con el proceso de redefinición y del conjunto de políticas ambientales y energéticas que implementará el Gobierno de Nicaragua. Informaciones adicionales acerca de este problema se encuentran en el Capítulo 7 del presente Volumen y en el Anexo G del Volumen I.

8.4 Disponibilidad de Agua

La presencia del Lago de Managua en todo el contorno de la Península de Chiltepe y de la Laguna de Jiloá en su sector meridional garantiza una amplia disponibilidad de agua en superficie y con relativa facilidad de acceso. La Laguna de Apoyeque es también un importante recurso hídrico, pero su utilización en sitios localizados fuera de la caldera es difícilmente factible, debido a la dificultad de acceso a la laguna y al desnivel (300-400 m) existente entre la laguna y el borde de la caldera.

Además de los cuerpos hídricos superficiales, existe en toda el área un amplio acuífero con buenas características de permeabilidad y transmisividad, a profundidades variables entre pocos metros, en las planicies próximas al lago, y 50-80 m, en las porciones intermedias de las laderas del Volcán Apoyeque. En este acuífero ya se han perforado muchos pozos, para uso doméstico y para riego, en las haciendas de la zona.

Independientemente de la disponibilidad de agua, pueden existir algunos problemas de utilización, relacionados con la calidad físico-química y bacteriológica del líquido. Las aguas del Lago de Managua y de la Laguna de Jiloá no son adecuadas para el consumo humano, debido a su elevada salinidad y/o contaminación bacteriológica. En el acuífero somero no se conocen significativos problemas de contaminación bacteriológica, pero existen localmente aguas con temperatura elevada (hasta 40-45°C) y con salinidad elevada.



Con respecto a la perforación geotérmica, la experiencia en el Campo de Momotombo sobre el uso del agua del Lago de Managua, indica que no existen problemas significativos para la confección de lodo a base de bentonita, pero su uso no es recomendable para la cementación de tuberías de ademe. El agua de la Laguna de Jiloá tiene una salinidad mucho más elevada que aquella del Lago de Managua, por lo tanto será conveniente evaluar adecuadamente sus características en función del uso requerido.

Mayores informaciones acerca de la calidad físico-química de las aguas superficiales y subterráneas en diferentes puntos de la Península de Chiltepe se encuentran en el Anexo A del presente informe.

8.5 Factibilidad de Realizar Trabajos de Exploración y Desarrollo

Las informaciones recolectadas durante las investigaciones del Plan Maestro permiten evidenciar una serie de factores favorables y desfavorables con respecto a la realización de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en esta área.

Los aspectos favorables se resumen como sigue:

- Cercanía a la ciudad de Managua, con todas las ventajas de tipo logístico que esto implica.
- Facilidad de acceso en la mayoría del área.
- Buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país.
- Línea de distribución eléctrica en todo el perímetro de la península de Chiltepe
- Buena disponibilidad de agua para las operaciones de perforación.
- Bajo potencial de conflictos de carácter social.
- Limitados problemas o restricciones de disponibilidad de terreno.
- Presencia de la subestación eléctrica “Los Brasiles” en Ciudad Sandino, la cual es un nudo primario del sistema de transmisión eléctrica de Nicaragua (SIN) (ver **Figura VIII-8.1**).



- Cercanía al mayor mercado eléctrico nacional (Managua).

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- Presencia de una Reserva Natural en el relieve del Volcán Apoyeque.
- Presencia de un Centro Turístico a orillas de la Laguna de Jiloá.
- Presencia de bases militares.
- Riesgo volcánico y sísmico (de magnitud común a la mayoría de las áreas geotérmicas en regiones volcánica activas).

La evaluación global de la situación permite apreciar que, aunque existan locales puntos sensibles, no se reconocen problemas de tipo logístico, infraestructural y socioeconómico que impongan significativas limitaciones a la viabilidad de un proyecto de exploración y desarrollo geotérmico en la Península de Chiltepe. Más bien, si el proyecto resultara exitoso desde el punto de vista técnico, existen importantes ventajas en su desarrollo, tales como:

- la cercanía a la red de transmisión principal, que facilita la conexión al sistema de comercialización de la energía; y
- la cercanía de Managua, que es el mayor polo de consumo eléctrico del país y en constante expansión.



9. OPCIONES PARA INVESTIGACION Y DESARROLLO

Dado el nivel de conocimiento existente del área Managua-Chiltepe, se considera que ha completado las investigaciones correspondientes a la etapa de prefactibilidad. Por lo tanto, deberá ser posible proceder con la perforación de uno o más pozos exploratorios profundos como la principal actividad de la siguiente etapa de desarrollo. Las condiciones logísticas e infraestructurales del área son favorables; la zona más prominente para el desarrollo (el área general de las lagunas de Apoyeque y de Jiloá) está muy cerca de la red de transmisión eléctrica y tiene buenos accesos por carretera.

Debido a estas características, la zona de la Península de Chiltepe del área Managua-Chiltepe es una de las dos áreas para las cuales se han desarrollado las especificaciones detalladas de las actividades en la etapa de factibilidad, que se presentan en Anexo J del Volumen I del Estudio Plan Maestro; en el mismo Anexo se presentan también los costos asociados con las actividades y un cronograma detallado. La Tabla VIII-9.1 es un resumen sencillo del Anexo J del Volumen I.

En base a los datos disponibles, el Alineamiento de Nejapa tiene un potencial menos importante para el desarrollo que la Península de Chiltepe y, por esto, no ha sido incluido en las opciones de desarrollo discutidas aquí.

Existe una buena probabilidad de que exista un recurso geotérmico comercialmente explotable, y las reservas de energía recuperable calculadas son suficientes para planear un proyecto basado en un desarrollo inicial de 20 MW o más. En tal escenario, podría ser factible proseguir directamente a la etapa de perforación de uno o más pozos profundos exploratorios con poco o ningún trabajo de apoyo adicional. Una propuesta más conservadora deberá ser el proceder inicialmente con la perforación de uno o más pozos exploratorios de pequeño diámetro, los cuales típicamente cuestan aproximadamente 1/3 a 1/2 el costo de los pozos de diámetro convencional, y pueden ser perforados con un equipo de perforación más pequeño. Esta



propuesta deberá proporcionar la confirmación del recurso, lo cual deberá justificar las inversiones adicionales en la planeación, gestión y trabajos civiles (camino y plataformas) requeridas para perforar pozos confirmatorios de diámetro convencional.

El programa de perforación profunda es el elemento esencial de las actividades en la etapa de factibilidad para el recurso geotérmico de Managua-Chiltepe. Sin embargo, algunas actividades exploratorias adicionales se deberán realizar previamente o simultáneamente con el inicio del programa de perforación para ayudar a mejorar el modelo conceptual del recurso y, potencialmente, mejorar el éxito de la perforación. Estas podrían incluir:

- La interpretación geológica detallada de áreas seleccionadas (apoyada con imágenes de satélite de alta resolución y fotografías aéreas);
- gravimetría dirigida sobre toda o la mayor parte de la Península de Chiltepe, con densidad de estaciones moderada a alta;
- muestreo de manantiales calientes sumergidas en la Laguna de Apoyeque (si fuese posible) y de fumarolas sumergidas actualmente por debajo de Laguna de Jiloá (si el nivel del lago bajase en el futuro, o atentar el diseño y la construcción de un dispositivo de muestreo mecánico adecuado que evite la contaminación de la muestra con agua del lago); y, posiblemente.
- otra investigación de tipo geofísico.

El costo de tales estudios complementarios podría ser del orden de los \$300,000.



El análisis completo y síntesis de los resultados de estas actividades y los resultados de la perforación de pozos de pequeño diámetro deberán llevar al refinamiento de los sitios para la perforación de los pozos de producción de diámetro convencional. Esta evaluación y las actividades administrativas asociadas para todas las actividades descritas arriba, podrían costar aproximadamente \$200,000. Si se perforan agujeros de pequeño diámetro profundos (1,000-1,500 m), el costo deberá ser aproximadamente de \$975,000 por pozo (incluyendo 10% de costo contingentes). Para un desarrollo preparado con una planta inicial con capacidad en el rango de 20 a 30 MW, un inversionista o el desarrollo del proyecto podría escoger perforar entre uno y tres agujeros. Asumiendo dos agujeros, el presupuesto total para la perforación, realizando los estudios adicionales y la evaluación de los resultados, podría esperarse que sea del orden de \$2,150,000.

Una opción para la perforación de pozos de diámetro pequeño deberá ser preferiblemente el uso de una perforadora de núcleos que el método de perforación rotatoria. Dependiendo de las condiciones de la perforación, esto podría reducir los costos de la misma, pero los pozos de pequeño diámetro resultantes probablemente no permitirán pruebas del flujo. Sin embargo, los pozos podrían ser probados con inyección y los datos del interior del pozo, incluyendo las mediciones de temperatura, podrían ser obtenidas. Por lo tanto, se puede esperar que una inversión en la perforación de pozos de pequeño diámetro deba demostrar, por lo menos, la temperatura y las características de la permeabilidad general del yacimiento, pero no necesariamente su productividad.

El siguiente paso deberá ser localizar y perforar pozos con diámetros convencionales a los que se les podrán ser probados, para demostrar la existencia de una producción comercial y la capacidad de inyección. El número de pozos requerido para demostrar la factibilidad deberá depender del tamaño del proyecto a considerar, pero se puede anticipar que, al menos, dos pozos de



producción y uno de inyección deberán ser programados necesariamente en esta etapa. Para completar el estudio de factibilidad, será necesario realizar pruebas de pozos apropiadas y un análisis técnico-económico del desarrollo planeado, incluyendo el diseño preliminar de una planta eléctrica y el sistema de transporte de fluido.

El costo de la perforación por pozo exploratorio dependerá fuertemente de la profundidad del recurso geotérmico (lo cual deberá limitar la profundidad requerida para cada pozo) y menos fuertemente de las condiciones geológicas y logísticas asociadas con la perforación.

Considerando las condiciones que prevalecen en Managua-Chiltepe, se han estimado en el Anexo J del Volumen un gasto total de \$4,570,00 para la perforación y pruebas de los pozos. Sumando los costos de programa de perforación de diámetro pequeño, los estudios adicionales, y el Estudio de Factibilidad final (Evaluación Técnico-Económico) el presupuesto estimado total es de unos \$7,870,00 para alcanzar el estudio de factibilidad (ver la Tabla VIII-9.1).

Dependiendo de las condiciones económicas prevalecientes y de las normas regulatorias, las limitaciones de tiempo y muchos otros factores, el ejecutar del programa de desarrollo puede escoger no perforar los pozos de diámetro pequeño y proceder directamente a la perforación de pozo de diámetro convencional. Esto deberá reducir los costos totales del desarrollo en caso de tener éxito, pero podría incrementar el riesgo de pérdidas financieras si las localizaciones iniciales de los pozos de diámetro convencional no resultan exitosas.



10. REFERENCIAS

- Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence Dating. Academic Press, London, 359 pp.
- Bice, D.C., 1985. Quaternary volcanic stratigraphy of Managua, Nicaragua; correlation and source assignment for multiple overlapping plinian deposits. Geological Society of America Bulletin, Vol. 96, No. 4, pp. 533-566.
- Brown, R.D., P.J. Ward y G. Plafker, 1973. Geologic and Seismologic Aspects of the Managua, Nicaragua Earthquakes of December 23, 1972. U.S. Geological Survey Professional Paper 838.
- Burbach, G.V., C. Frohlich, W.D. Pennington, y T. Matumoto, 1984. Seismicity and tectonics of the subducted Cocos Plate. Journal of Geophysical Research, Vol. 89, pp. 7719-7735.
- Carr, M.J., 1984. Symmetrical and segmented variation of physical and geochemical characteristics of the Central American volcanic front. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 20, No. 3-4, pp. 231-252.
- Carr, M.J., M.D. Feingenson, y E.A. Bennet, 1990. Incompatible element and isotopic evidence for tectonic control of source mixing and melt extraction along the Central American arc. Contributions in Mineralogy and Petrology, Vol. 105, pp. 369-380.
- Carr, M.J., M.D. Feingenson, y E.A. Bennet, 1990. Incompatible element and isotopic evidence for tectonic control of source mixing and melt extraction along the Central American arc. Contributions in Mineralogy and Petrology, Vol. 105, pp. 369-380.
- Cruden, A., 1989. The structure of south-western Nicaragua. A preliminary assessment. University of Upsala. Swedish Cooperation, INMINES/SAREC Project. ID-nr: URAP 89001, Date 1989-02-07 (Informe no publicado).



- DAL / ELC / ENEL, 1995. Estudios de evaluación del potencial energético, factibilidad de la estabilización y de la tercera unidad geotermoeléctrica del campo geotérmico de Momotombo, Fase IA - investigaciones geocientíficas: Informe de síntesis, Anexo C - Estudios geofísicos, Anexo D - Estudio geoquímico. Managua, Octubre de 1995. BID (Banco Interamericano de Desarrollo) Washington D.C., Estados Unidos. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad) Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL Spa, 1995. Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate, Informe de factibilidad, Vol.1, Evaluación del recurso e ingeniería, Agosto de 1995. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL Spa, 1997. Proyecto geotérmico Momotombo, Pozo MT-43. Perforación, datos geológicos, mediciones y pruebas. Informe interno ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- Decreto No. 1320, del 8 de Septiembre de 1983. Creación de Reservas Naturales en el Pacifico de Nicaragua. Publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 213 del 19 Septiembre de 1983.
- Decreto No. 42-91, del 31 de Octubre de 1991. Declaración de Áreas Protegidas en Varios Cerros, Macizos Montañosos, Volcanes y Lagunas del País. La Gaceta, Diario Oficial No. 207 del 4 de Noviembre de 1991.
- Electrodyne Surveys, 1980. INE – Instituto Nicaragüense de Energía, Plan Maestro de desarrollo Eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua, Volumen 5.2, Geothermal Resources Inventory: Geophysics Investigations (Electrical Geophysical Surveys in Nicaragua 1978). Preparado por Consorcio IECO – LAHMEYER, Managua, Nicaragua , por Electrodyne Surveys Inc., Reno, Nevada EUA, Marzo de 1979.
- Elming, S. A. y T. Rasmussen, 1997. Results of magnetotelluric and gravimetric measurements in western Nicaragua, Central America. Geophysical Journal International, Vol. 128, No. 3, pp. 647-658.



FUNDENIC-SOS, 1999. Evaluación y re-definición del sistema de Áreas protegidas del pacífico y centro norte de Nicaragua. Volumen. I: Áreas protegidas del pacífico. Informe no publicado, elaborado para MARENA/PROTIERRA/CBA, Managua, Nicaragua.

Hradecky, P., 1988. La evolución geológica del volcán Apoyeque. Informe INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales), Managua, Nicaragua, Marzo de 1988 (70 pp.), por P. Hradecky en cooperación con D. Helman Taleno.

Hradecky, P., 1997. Estudio geológico para reconocimiento de riesgo natural y vulnerabilidad en el área de Managua. Servicio Geológico Checo en colaboración con INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales), Managua, Nicaragua.

IECO - Lahmeyer, 1980. INE - Instituto Nicaragüense de Energía, Plan maestro de desarrollo eléctrico 1977-2000, Nicaragua. Volumen 5 – Geothermal resources inventory. Consorcio IECO (International Engineering Company) – Lahmeyer, Managua, Nicaragua.

IECO - Lahmeyer, 1980. INE - Instituto Nicaragüense de Energía, Plan maestro de desarrollo eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua, Volumen 5.2 - Geothermal resources inventory: Geophysical investigations (Electrical geophysical surveys in Nicaragua 1978, prepared for IECO – LAHMEYER CONSORTIUM by Electrodyne Surveys Inc., Reno, Nevada, EUA March 1979).

IECO - Lahmeyer, 1980. Plan maestro de desarrollo eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua. INE

Incer, J., 1975. Geografía ilustrada de Nicaragua. Editora y Distribuidora Nicaragüense S.A.

INEC, 1995. VII censo de población y III de vivienda. Total de vivienda y población por rango de edades, según Departamento, Municipio Comarca y Localidades (Managua).

INETER, 1995. República de Nicaragua, mapa de amenaza volcánica. Escala 1:400,000.



- INETER, 1997a. República de Nicaragua, Temperatura Media Anual en Grado Celsius (°C) periodo 1971-1990. Mapa, escala 1: 750,000. Mapa publicado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Dirección de Geodesia y Cartografía
- INETER, 1997b. República de Nicaragua, Precipitación Media Anual (°C), Período 1971-1990. Escala 1: 750,000. Mapa publicado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Dirección de Geodesia y Cartografía – Dirección de Meteorología.
- INETER, 1998. Las lluvias del siglo en Nicaragua. El Huracán Mitch, las lluvias y otros eventos ciclónico y su recurrencia en Nicaragua. 1892-1998.
- INETER, 2000. Microzonificación Sísmica de Managua. INETER-CEPREDANAC-NORAD, Junio del 2000.
- JICA, 1993. The study on water supply project in Managua, main report. Japan International Cooperation Agency (JICA), Republic of Nicaragua, Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, (prepared by Kokusai Kogyo Co., Ltd., Tokyo), September 1993.
- Krásný, J. y G. Hecht, 1998. Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la región del Pacífico de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Dirección de Recursos Hídricos, Departamento de Hidrogeología, Managua, Nicaragua, 1998.
- Martínez Bermúdez, W.A., 1993(?). Tectonic and volcanic geology of the Nejapa alignment in Managua, Nicaragua. Thesis (Doctoral), Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Niigata, Japan.
- McBirney, A.R. y H. Williams, 1965. Volcanic history of Nicaragua. University of California Publications in Geological Sciences, Vol. 55, pp. 1-65.
- McBirney, A.R., 1955. The origin of the Nejapa Pits near Managua, Nicaragua. Bulletin of Volcanology, Vol.17, pp.145-154.



- OIM, 1999. Características socio-demográficas de la población rural de Nicaragua. A partir de la información del censo de población de 1995.
- OLADE, 1981. Aprovechamiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, estudio de reconocimiento, puntos de muestreo y datos hidroquímicos (impresión de computadora). OLADE (Organización Latino Americana de Energía).
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua (impresión de computadora de datos químicos), Sept. 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía), preparado por Geomineraría Italiana s.r.l., procesamiento de los datos por Geochemex, California, E.U.
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 15A, Fichas de los puntos de agua termales, Diciembre 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 15B, Mapa de los puntos de agua termales, escala 1:250.000. OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineraría Italiana s.r.l.
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 16, Mapa de los tipos químicos de las aguas. OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineraría Italiana s.r.l.
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 17, Mapa de las anomalías de anidrio carbónico. OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineraría Italiana s.r.l.
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 18, Mapa de las anomalías de amoniaco. OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineraría Italiana s.r.l.



OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 19, Mapa de las anomalías de boro. OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineraría Italiana s.r.l.

OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 20, Mapa de las anomalías de temperatura. OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineraría Italiana s.r.l.

OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Informe final, Diciembre 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).

OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Informe geofísico, Diciembre 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).

OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Informe geoquímico, Diciembre 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).

OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Informe geo-vulcanológico, Diciembre 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).

OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Informe hidrogeológico, Diciembre 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).

Ostapenko, S.V., S.V. Spektor y Y.P. Netesov, 1998. San Jacinto-Tizate geothermal field, Nicaragua; exploration and conceptual model. Geothermics, Vol. 27, No. 3, pp. 361-378.



- Reagan, M.K., J.D. Morris, E. A. Herrstrom y M. T. Murrell, 1994. Uranium series and beryllium isotope evidence for an extended history of subduction modification of the mantle below Nicaragua. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volumen. 58, No.19, pp. 4199-4212.
- Schwartz, D.P., D.R. Packer, and K.D. Weaver, 1975. New information on offset of the Central American volcanic Chain near Managua, Nicaragua. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, p.1262.
- Stoiber, R.E. y M.J. Carr, 1973. Quaternary volcanic and tectonic segmentation of Central America. In: *Symposium on volcanism in Mexico and Central America*, R.W. Decker et al, eds., *Bulletin Volcanologique*; Vol. 37, No. 3, pp. 304-325.
- Texas Instruments Inc., 1970. Final report, Geothermal resources project - Stage one, Part 2, Regional geology, Thermal manifestations of western Nicaragua. Prepared for government of Nicaragua, Ministry of Economy, Industry and Commerce, August 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (escrito por J.B. Thigpen).
- Texas Instruments Inc., 1970. Reporte Final, Proyecto de recursos geotérmicos - etapa una, Parte 5, prospecciones de gravedad y magnético. Para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Julio de 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (escrito por M. Mazzolini).
- Texas Instruments Inc., 1970. Reporte Final, Proyecto de recursos geotérmicos – Etapa una, Parte 6, Prospecciones de geofísica eléctrica. Para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Diciembre de 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (escrito por G. Keller and N. Harthill).
- Texas Instruments Inc., 1970. Reporte final, proyecto de recursos geotérmicos - Etapa una, Parte 7, Geoquímica del área del proyecto geotérmico Nicaragüense, para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Diciembre de 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (escrito por R. Bennett).



- Texas Instruments Inc., 1971. Reporte final, Proyecto de recursos geotérmicos - Etapa una, Parte 1, Sumario del proyecto. Para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Febrero de 1971. Texas Instruments Incorporated, Services Group (escrito por D.E. Heilner y L.T. Braun).
- van Wyk de Vries, B., 1990(?). Preliminary report on the geology of the Managua aquifer. Sections for hydrogeological modeling. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Departamento de Volcanología. Informe no publicado (fecha incierto).
- van Wyk de Vries, B., 1993. Tectonics and magma evolution of Nicaraguan volcanic systems. Thesis (Doctoral), Department of Earth Sciences, The Open University, September 1993, 328 pp.
- Walker, J.A., M.J. Carr, M.D. Feingenson, y R.I. Kalamarides, 1990. The petrogenetic significance of interstratified high-and low-Ti basalts in central Nicaragua. *J. Petrol.*, Vol. 22, pp. 1,42-1163.
- Walker, J.A. et al., 1993. Shallow open-system evolution of basaltic magma beneath a subduction zone volcano: the Masaya Caldera Complex, Nicaragua. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 56, No. 4, pp. 379-400.
- Ward, P.L., J. Gibbs, D. Harlow, and Q. Aburto, 1974. Aftershocks of the Managua, Nicaragua earthquake and the tectonic significance of the Tiscapa fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 64, pp. 1017-1029.
- Weil, R., 1980. *Geology of Central America*. Gebründer Borntraeger, Berlin y Stuttgart, Germany.
- Wheelock, J., J. Incer, L. Cardenal, y A. Rodríguez, 2000. *Desastres Naturales de Nicaragua. Guía para Conocerlos y Prevenirlos*. Hispamer, Managua.

T A B L A S

**Tabla VIII-2.1. Principales Estudios Existentes sobre el Area
Managua-Chiltepe**

ESTUDIO	GEOLOGIA VULCANOLOGIA	HIDROGEOLOGIA GEOQUIMICA	GEOFISICA
McBirney (1955)	Interpretación genética Cráteres de Nejapa	Laguna de Nejapa	
Texas Instruments (1970)	Descripción de manifestaciones termales en Jiloá y Apoyeque	Geoquímica Lagunas Apoyeque, Jiloá y Nejapa	
IECO-LAHMEYER (1980)	Geología general	Geoquímica de fumarolas, aguas de pozos y lagos	Gravimetría regional; sondeos MT, AMT, RVT en Chiltepe
OLADE (1981)	Vulcanología y geología general	Geoquímica aguas de pozos y lagos	

Tabla VIII-4.1: Datos de Temperatura y de Gradiente Térmico en Pozos Someros de la Península de Chiltepe

Localidad	Coordenadas UTM		Elevación (m s.n.m.)	Pozo	Condiciones	Prof. Pozo (1) (m)	Prof. Nivel Agua (1) (m)	Temp. Agua (TA) (°C)	TA - Tma (2)	Gradiente conductivo arriba del acuífero freático	
	E	N								(°C/100 m)	Notas
Frente Entrada Jiloá	573.650	1349.550	50	Excavado	En uso	(10)	8.55	31.2	3.7	43	
Jiloá, frente al cuadro	574.850	1349.450	55	Excavado	En uso	13.5	11	36.8	9.3	85	
Jiloá, frente Cerámica Chiltepe	575.150	1349.450	50	Excavado	En uso	(12)	(9)	35	7.5	83	
Jiloá, Cerámica Chiltepe	575.100	1349.750	57	Excavado	En uso	(15)	(12)	36.4	8.9	74	
Pivote Este Jiloá	575.550	1350.150	60	Perforado	Aband.	?	12.5	37.9	10.4	83	
Chiltepe Este, Hacienda sin nombre	575.650	1354.050	70	Perforado	En uso	?	(25)	36.7	9.2	37	Posible influencia de aguas más profundas
Portón de la Mona	576.000	1354.600	55	Excavado	En uso	(15)	(12)	31	3.5	29	
Los Cardones	575.250	1355.800	60	Excavado	En uso	20	16	33.1	5.6	35	
Bosques de Jiloá	574.850	1350.100	55	Excavado	En uso	(13)	(12)	45.5	18	150	
San Nicolás	573.750	1357.600	68	Excavado	En uso	26	25	29.5	2	8	
Galera 6-12	573.700	1356.800	85	Excavado	En uso	?	(35)	32.2	4.7	13	
Galera 8	572.150	1358.700	55	Excavado	En uso		8	30.8	3.3	41	
Santa Fé	571.450	1357.150	85	Perforado	En uso	60	(35)	42.1	14.6	42	Posible influencia de aguas más profundas
La Unión	570.500	1358.250	60	Perforado	En uso	?	(16)	35.2	7.7	48	Posible influencia de aguas más profundas
Corpus Christi	568.350	1357.900	50	Excavado	Aband.	?	8	30.4	2.9	36	
San Pancho	567.750	1357.150	60	Perforado	En uso	(40)	(20)	36.2	8.7	44	Posible influencia de aguas más profundas
El Rosario	567.500	1355.150	90	Excavado	En uso		(45)	36.5	9	20	

Tabla VIII-4.1: Datos de Temperatura y de Gradiente Térmico en Pozos Someros de la Península de Chiltepe

Localidad	Coordenadas UTM		Elevación (m s.n.m.)	Pozo	Condiciones	Prof. Pozo (1) (m)	Prof. Nivel Agua (1) (m)	Temp. Agua (TA) (°C)	TA - Tma (2)	Gradiente conductivo arriba del acuífero freático	
	E	N								(°C/100 m)	Notas
Buenos Aires N	566.650	1355.000	75	Perforado	En uso	?	(30)	37.2	9.7	32	
Buenos Aires S	566.300	1354.650	70	Perforado	En uso	?	(25)	33.2	5.7	23	Posible influencia de aguas más profundas
Guanacaste Blanco	567.200	1353.950	100	Perforado	En uso	(80)	(55)	39.1	11.6	21	Posible influencia de aguas más profundas
Galera al S de El Paraíso	565.350	1353.100	60	Excavado	Aband.	(17)	(15)	28.5	1	7	
Galera al SE de Buena Vista	565.700	1352.300	60	Excavado	En uso	(17)	15	28.5	1	7	
Pozo Aislado Chiltepe SO	566.850	1352.450	90	Excavado	En uso	(40)	(45)	33.7	6.2	14	
El Tamarindo	571.050	1349.100	85	Excavado	En uso	(42)	(40)	30.1	2.6	7	
Finca P.J. Saborio	567.250	1350.950	95	Perforado	En uso	(80)	(50)	37.3	9.8	20	Posible influencia de aguas más profundas
El Triángulo	568.600	1350.450	105	Perforado	En uso	(80)	(60)	35.6	8.1	14	Posible influencia de aguas más profundas
Corpus Christi - Carrión	568.650	1357.050	65	Perforado	En uso	90	(20)	42.3	14.8	74	Posible influencia de aguas más profundas
El Tempisque	569.250	1349.650	90	Perforado	En uso	75	(45)	31.1	3.6	8	Posible influencia de aguas más profundas
A. González Sur	571.500	1347.700	60	Excavado	En uso	(18)	16	28.9	1.4	9	
A. González Norte	572.000	1348.250	70	Excavado	En uso	29	25	28.4	0.9	4	

(1) - Entre paréntesis se indican los datos no conocidos con precisión o estimados en base a criterios hidrogeológicos

(2) - Temperatura del Agua en el pozo - Temperatura media anual del ambiente

**Tabla VIII-6.1: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 2),
Area de Chiltepe**

Parámetros Fijos	Area de Chiltepe		
	Capacidad volumétrica de calor (kJ/m ³ /°C)	2,280	
Temperatura de eyección (°C)	30		
Factor de utilización	45%		
Factor de capacidad	90%		
Vida de operación de la planta (años)	30		
Parámetros Inciertos	Mínimo	Más Probable	Máximo
Area del yacimiento (km ²)	2.00	6.00	12.00
Espesor del yacimiento (m)	1,000		3,000
Porosidad de la roca	3.0%		7.0%
Temperatura promedio (°C)	200.0		250.0
Factor de recuperación	10.0%		20.0%
Resumen de Resultados	Capacidad en MW	MW/km ²	Eficiencia de Recuperación
Promedio	112.9	17.0	1.54%
Desviación Estándar	57.6	6.4	0.31%
25 percentil	71.2	12.0	1.28%
50 percentil	100.8	16.1	1.54%
75 percentil	140.2	20.8	1.80%

**Tabla VIII-6.2: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3),
Area de Managua-Chiltepe**

Parámetros Fijos	Península de Chiltepe		Complejo Volcánico de Nejapa	
	Conductividad termal (kJ/m/s/°C)	0.0025		0.0025
Calor específico de la roca (kJ/kg/°C)	1.0		1.0	
Densidad de la roca (kg/m ³)	2,700		2,700	
Porosidad de la roca	3.0%		3.0%	
Calor de solidificación (kJ/kg/°C)	300		300	
Gradiente inicial de temperatura (°C/km)	50		50	
Límite de profundidad (km)	4.0		4.0	
Intervalo de profundidad (m)	100		100	
Temperatura de eyección (°C)	30		30	
Factor de utilización	45%		45%	
Temperatura límite (°C)	200		200	
Parámetros Inciertos	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Volume de magma (km ³)	19	40	4.2	8.5
Profundidad de magma (km)	3	7	3	7
Edad de magma (años)	22,000	75,000	20,000	100,000
Temperatura de magma (°C)	900	1,100	900	1,100
Factor de recuperación	5%	10%	5%	10%
Resumen de Resultados	244		93	
Total de Reservas (MW)	244		93	
		Desviación		Desviación
MW/km ²	Medio	Estándar	Medio	Estándar
Distancia = 0.0 km	10.0	9.2	3.7	3.2
0.5 km	9.7	8.8	3.5	3.0
1.0 km	8.8	7.8	3.2	2.6
2.0 km	5.9	4.8	2.1	1.4
3.0 km	3.2	2.4	1.1	0.6
5.0 km	0.7	0.4	0.5	0.1

Tabla II-7.1 Población de la Zona de Chiltepe

Localidad	Poblacion Total	Poblacion por Rango de Edades (años)			
		0-4	5-14	15-49	>50
C. Sandino (Managua D.I.)	56,129	7,862	15,828	27,574	4,865
Mateare Zona Urbana	8,481	1,406	2,412	3,974	689
Comarca Los Brasiles	2,266	395	671	1,407	153
Oscar Alemán	66	17	12	35	2
Zayda Gonzales	303	46	95	130	32
William Diaz	198	49	46	96	7
Aquiles Medina	534	100	161	228	45
Daniel Roa Padilla	354	33	115	179	27
Los Brasiles	295	54	80	143	18
San Francisco	516	96	162	236	22
Comarca Los Gonzales	729	118	207	339	65
Tamagas	90	19	13	55	3
Bosques de Xiloá	178	24	45	85	24
Miraflores	53	6	17	17	13
Alfonso Gonzales	408	69	132	182	25

Fuente: INEC, Censo de Poblacion 1995

Tabla VIII-7.2: Características Químicas de los Cuerpos Hídricos Superficiales

Lago – Localidad - Fecha	Carácter Químico	Composición Química (ppm)				
		TDS	Cl	NO ₃	B	F
Managua - El Charco, 1982	HCO ₃ -Na	1090	241	Tr.	0.8	1.0
Managua - NE Corpus Christi, 1982	HCO ₃ -Cl-Na	1190	316	Tr.	0.75	0.9
Managua - Punta Chiltepe, 1982	HCO ₃ -Na	1181	252	Tr.	0.7	0.8
Managua - El Tamagás, 1982	HCO ₃ -Cl-Na	1179	302	Tr.	0.5	0.7
Managua - San Isidro, 1982	HCO ₃ -Na	1083	245	0.6	0.85	0.9
Managua - NE Cerro S. Carlos, 1982	HCO ₃ -Na	1162	285	0	2.16	-
Apoyeque, 1970	Cl-Na	5322	2077	0.6	0	0.5
Apoyeque, 1976	Cl-Na	5164	2500	0.01	24.7	0.2
Apoyeque, 1982	Cl-Na	5796	2485	Tr.	9.3	0.5
Jiloá, 1958	Cl-Na	3900	1872	-	24.8	0.5
Jiloá, 1968	Cl-Na	3654	1831	Tr.	8.0	-
Jiloá, 1970	Cl-Na	3716	1988	2.1	6.0	0.7
Jiloá, 1976	Cl-Na	4018	2112	-	19.7	0.5
Jiloá, 1982	Cl-Na	4326	2166	Tr.	10.5	0.7
Asososca, 1970	HCO ₃ -Na	348	64	-	0.19	-
Asososca, 1972	HCO ₃ -Na-Ca	278	34	1.3	0.25	1.1
Asososca, 1978	HCO ₃ -Na	256	42	-	-	0.5
Nejapa, 1970	Cl-Na	8920	2822	21	1.7	12.5
Nejapa, 1978	Cl-Na	16510	6550	-	-	-
Nejapa, 1988	Cl-Na	778	292	0.26	0.16	0

Tabla VIII-7.3: Datos Estadísticos del Viento en la Estacion Meteorológica Más Cercana al Area Managua-Chiltepe

Mes	Estación: Managua (aeropuerto) Epoca: 1987-1999			
	Velocidad (m/s)			Direc. Media
	Max.	Min.	Media	
Ene	2.8	0.9	1.6	E
Feb	3.5	1.0	1.7	E
Mar	3.8	0.9	1.8	E
Abr	4.2	0.9	1.7	E
May	3.0	0.4	1.2	E
Jun	2.0	0.2	1.0	E
Jul	2.1	0.7	1.1	E
Ago	1.2	0.5	0.8	E
Sep	3.0	0.3	0.8	E
Oct	0.9	0.2	0.6	E
Nov	1.5	0.3	0.8	E
Dic	1.5	0.7	1.0	E
Año	2.2	0.7	1.2	E

Datos de INETER, 2000

Tabla VIII-7.4: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida de Península de Chiltepe (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	jocote jobo
	<i>Spondias purpurea</i> L.	jocote garrobo
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i> L.	Sacuanjoche
Bignoniaceae	<i>Crescentia alata</i> HBK.	jicaro sabanero
	<i>Tabebuia ochracea</i> A. Gentry	cortez
	<i>Tabebuia rosea</i> (Vertol.) DC.	roble macuelizo
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth.	ceiba
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (R. & P.) Oken	laurel macho
	<i>Cordia gerascanthus</i> L.	laurel hembra
Bromeliaceae	<i>Tillandsia</i> sp.	Gallito
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	jiñocuabo
Cactaceae	<i>Cereus undatus</i> Haworth	cardón
Caesalpiniaceae	<i>Haemataxylon brasiletto</i> Karsk.	Brasil
	<i>Caesalpinia eriostachys</i> Benth.	Pintadillo
	<i>Bauhinia pauletia</i> Pers.	uña de gato
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	poro-poro
Ebenaceae	<i>Diospyros nicaraguensis</i> Standl.	chocoyo
Euphorbiaceae	<i>Jatropha urens</i>	chichicaste blanco
Fabaceae	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i> (Donn. Smith)	chaperno negro
Malvaceae	<i>Abutilon</i> sp.	
Mimosaceae	<i>Albizzia caribaea</i> (Urban) B. & R.	guanacaste blanco
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	guanacaste negro
	<i>Lysiloma</i> spp.	quebracho
	<i>Acacia costarricensis</i> Schenck	cachito de aroma
	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Aguijote
Moraceae	<i>Chlorophora tinctoria</i> (L.) Gaud.	mora
Poaceae	<i>Bouteloua</i> sp.	zacate
	<i>Eragrostis</i> sp.	Zacate
Polygonaceae	<i>Coccoloba caracasana</i> Meisn.	papalón
Pontederiaceae	<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua
Rhamnaceae	<i>Karwinskia calderoni</i> Standl.	gulliguiste
Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i> (Vahl) DC.	madroño
	<i>Borreria</i> sp.	
	<i>Diodia</i> sp.	
Sapindaceae	<i>Thouinidium decandrum</i> (Humb. y Bonpl.) Radlk.	melero
Sapotaceae	<i>Mastichodendron capiri</i> Var. <i>tempisque</i> (Pittier) Cronq.	tempisque
Ulmaceae	<i>Phyllostylon brasiliensis</i> Capan	Escobillo

Tabla VIII-7.5: Lista de Especies Animales para el Area Protegida de Peninsula de Chiltepe (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	Grado de Amenaza (Apendice CITES)
REPTILES			
Boidae	<i>Boa constrictor</i>	Boa	II
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	Garrobo Negro	
AVES			
Cathartidae	<i>Coragyps atracus</i>	Zopilote	
Corvidae	<i>Calocitta formosa</i>	Urraca	
Psittacidae	<i>Amazona albifrons</i>	Cotorra	II
Psittacidae	<i>Amazona ochrocephala</i>	Lora	II
Psittacidae	<i>Bratojeris jugularis</i>	Chocoyo (Perico) Zapoyol (Ito)	II
MAMIFEROS			
Dasyproctidae	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Cuscuco	
PECES			
Cichlidae	<i>Cichlasoma citrinellum</i>	Mojarra	
Cichlidae	<i>Cichlasoma managuense</i>	Guapote	

Tabla VIII-7.6: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental,
 Área de Managua-Chiltepe (Península de Chiltepe)

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, si las actividades de exploración y desarrollo se dan en zonas de mayor elevación dentro del complejo volcánico.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos y plataformas ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial. No causar modificaciones del drenaje superficial natural.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción. Control y mantenimiento de las obras de desagüe, alcantarillas, canales de drenaje, etc.
Impactos potenciales en aguas subterráneas y superficiales.	Débil - Moderada (Las lagunas de Jiloá y de Apoyeque presentan una contaminación natural de origen geotérmico.)	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección. Monitoreo de lagunas y de pozos someros de abastecimiento.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil - Moderado (Presencia del Centro Turístico a orillas de la laguna de Jiloá; al SO y NE de la Laguna de Jiloá existen tres diferentes bases militares del Ejército de Nicaragua.)	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto. Si es necesario, controlar los horarios del uso de equipos ruidosos y/o controlar el ruido. Controlar la contaminación del aire con el uso de métodos y equipos adecuados.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.

Tabla VIII-9.1: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Area de Managua-Chiltepe (Península de Chiltepe)¹

Actividad	Costo	Duración	Año 1 - meses				Año 2 - meses				Año 3	
			1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	
I Demostración del Recurso Geotérmico												
Estudio de Impacto Ambiental: Fase 1 - Concesión de Exploración	\$10,000	1.5 meses	■									
Interpretación geológica en detalle	\$290,000	4 meses	■	■								
Estudio de Impacto Ambiental: Fase 2 - Permiso Ambiental de perforación exploratoria	\$50,000	4 meses	■	■	■							
Suministro de agua	\$200,000	3 meses		■	■	■						
Caminos y plataformas	\$350,000	8 meses		■	■	■	■	■				
Agujeros exploratorios de diámetro reducido	\$2,100,000	6 meses		■	■	■	■	■	■			
Pozos de diámetro comercial	\$4,570,500	10 meses		■	■	■	■	■	■	■		
Subtotal:	\$7,570,500											
II Diseño preliminar de las instalaciones de superficie	\$60,000	2 meses								■		
Subtotal:	\$60,000											
III Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico - Económica)												
Resumen de las características del recurso y diseño preliminar de la planta	\$22,500	2 meses								■		
Estudio de Impacto Ambiental: Fase 3 - Concesión de Explotación	\$150,000	20 meses			■ Estudios de campo				■ Informe EIA/Concesión			
Síntesis económica - pronóstico de rentabilidad, capital y costos de O&M	\$20,000	1 mes										■
Preparación de informe	\$45,000	2 meses										■
Subtotal:	\$237,500											
TOTAL:	\$7,868,000											

¹ Ver detalles en el Anexo J del Volumen I del Estudio del Plan Maestro

Las estimaciones no incluyen los posibles costos de alquiler de terrenos y derechos de paso (pagos a los dueños de terrenos).

FIGURAS

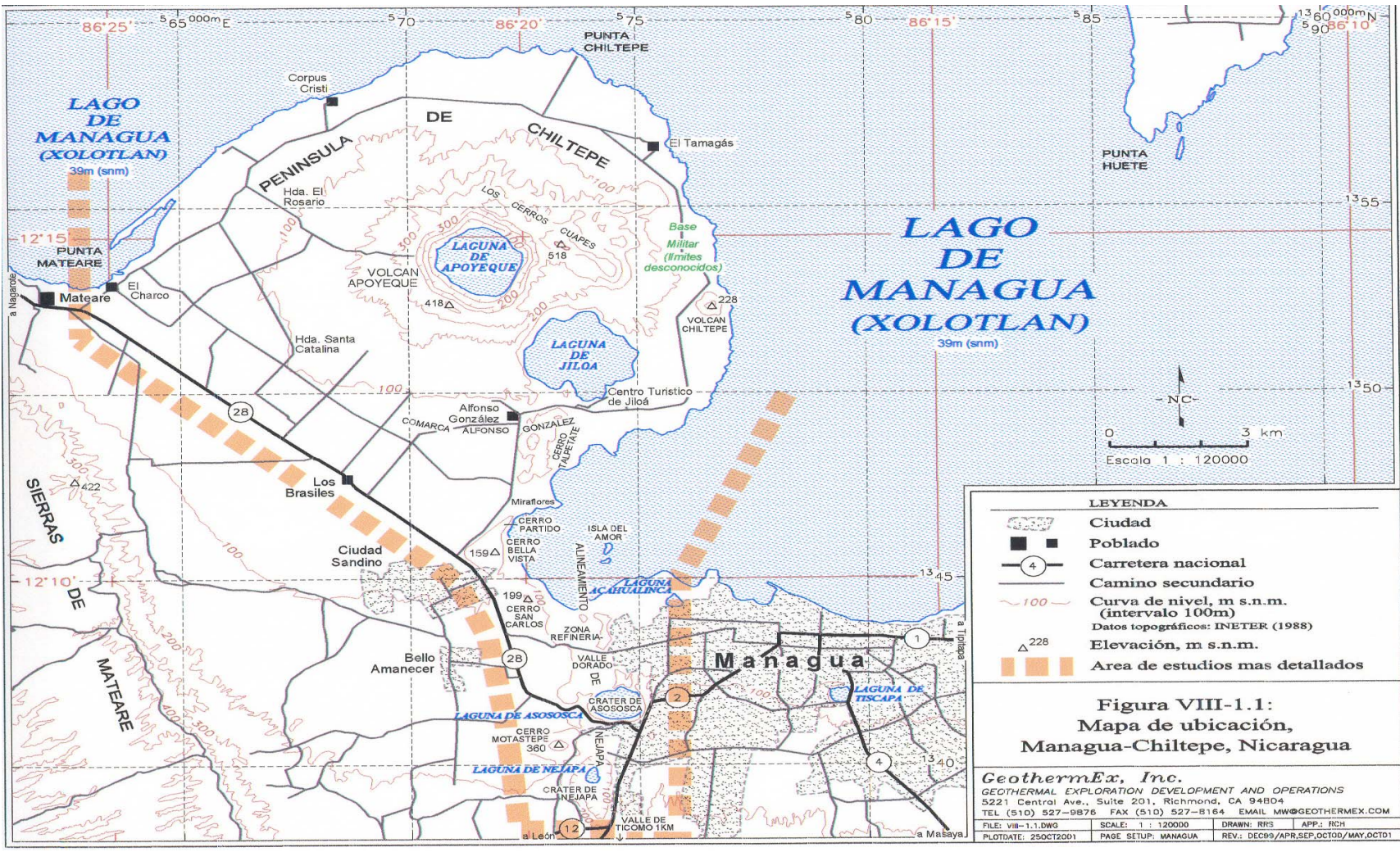
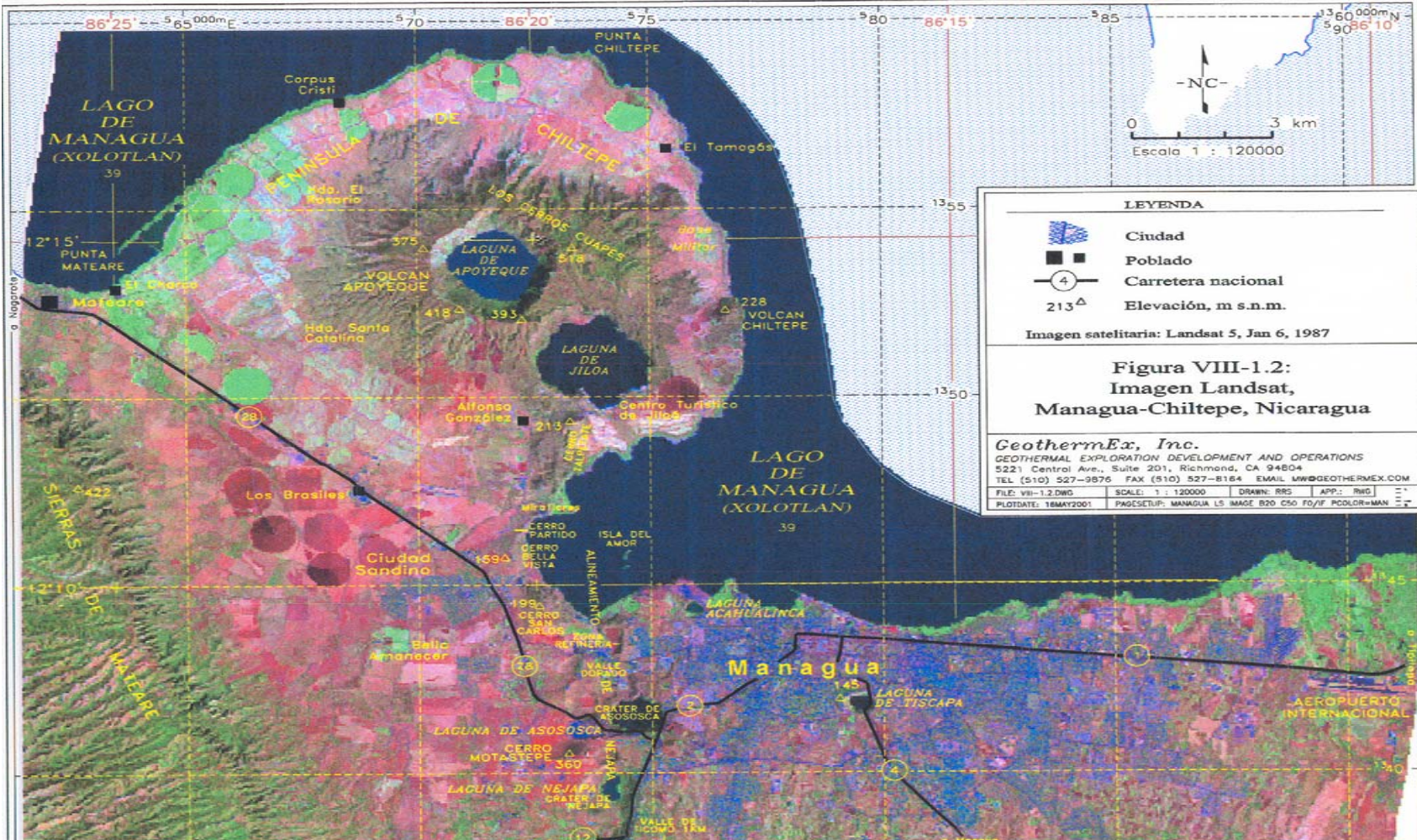
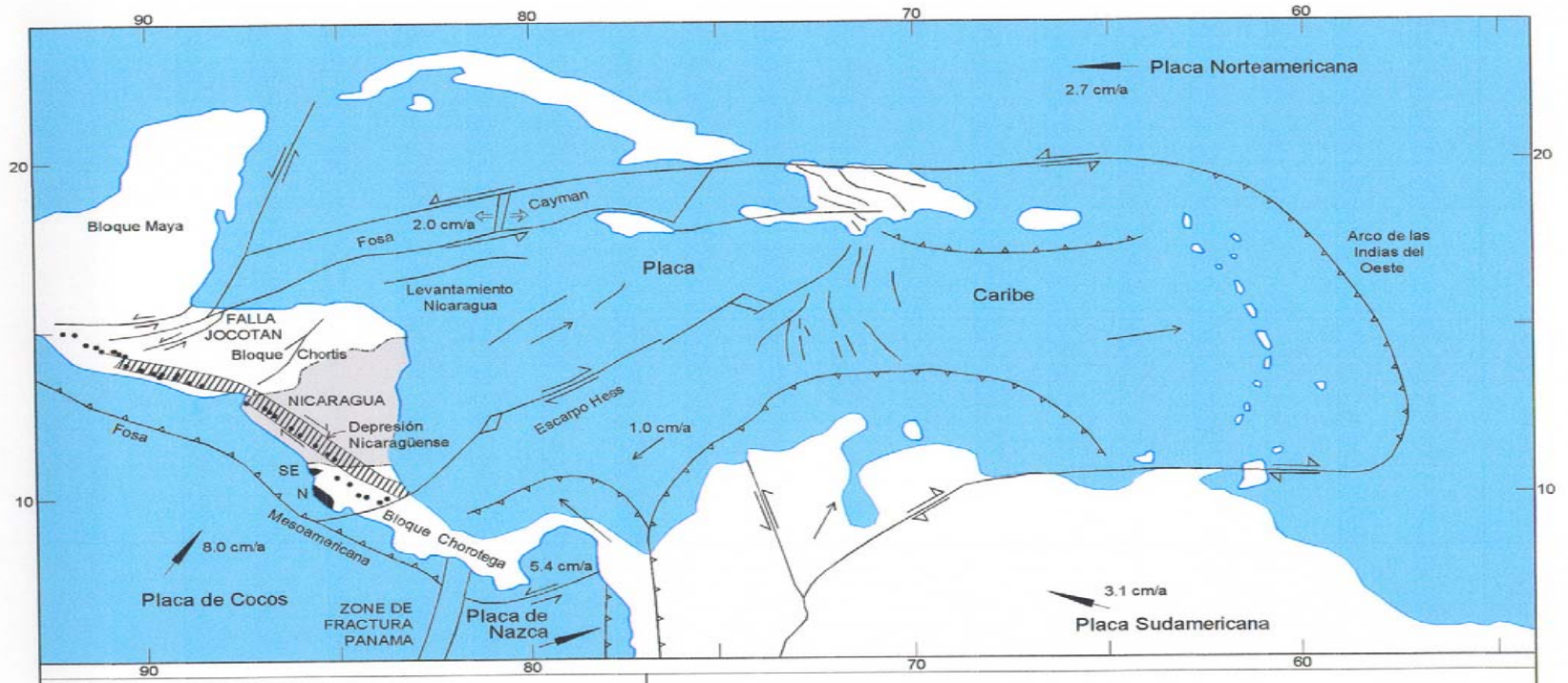


Figura VIII-1.1:
Mapa de ubicación,
Managua-Chiltepe, Nicaragua

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: VIII-1.1.DWG	SCALE: 1 : 120000	DRAWN: RRS	APP: RCH
PLOTDATE: 25OCT2001	PAGE SETUP: MANAGUA	REV: DECH9/APR,SEF,OCT00/MAY,0CT01	





LEYENDA

- Volcán de la Cordillera Volcánica Cuaternaria (Arco Volcánico Centroamericano)

Figura VIII-3.1: Esquema tectónico de la región Centroamericana y del Caribe (original de Weinberg, 1992)

GeothermEx, Inc.			
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, GA 94804 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOHERMEX.COM			
PLOTDATE: 23OCT2001	DRAWN: RRS	APP.: CWK	
FILE: VIII-3.1.DWG	PAGE SETUP:	FIG 3.1	

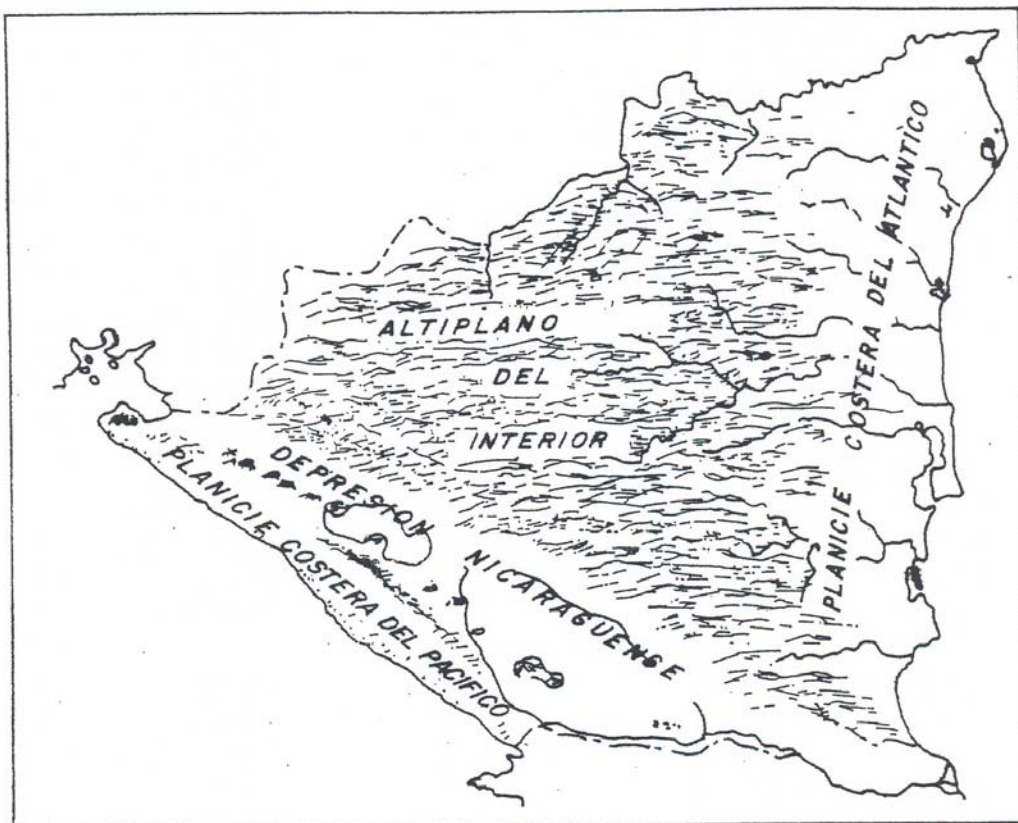
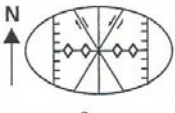
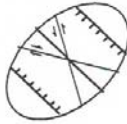
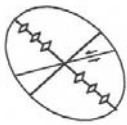


Figura VIII-3.2: Provincias fisiográficas de Nicaragua
(original de McBirney *et al.*, 1965)

Figura VIII-3.3. Estratigrafía y evolución tectónica de la parte occidental de Nicaragua (según Weinberg, 1992)

Ma	Tiempo	Fases de Deformación	Elipse de Esfuerzos	Llanuras del Pacífico	Depresión de Nicaragua	Altiplano del Interior
0.01	Holoceno	Tercera Fase - acortamiento N-S - Graben de Managua			Cadena Volcánica Actual	
	Pleistoceno	?	?	?	?	
1.8	Plioceno	Segunda Fase - extensión debida al movimiento NE del Bloque de Chortis - incremento del ángulo de la placa de subducción - migración del vulcanismo hacia el océano		Grupo Las Sierras	Grupo Las Sierras y depósitos aluviales	
		?	?	Formación El Salto		
5	Mioceno	Primera Fase - pliegues NO - juntas NE de dilatación - levantamiento y erosión		Formación El Fraile	<i>discordancia angular</i>	Grupo El Coyol
22.5	Oligoceno	?	?			
38	Eoceno			Formación Masachapa		Grupo Matagalpa
55	Paleoceno			Formación Brito		
65	Cretácico Superior			Formación Rivas		

Period	Epoch	Time (Ma)	Nicaraguan Depression			Interior highlands
			South	Central	North	
Quaternary	Holocene	1	Marrabios volcanoes	Las Sierras formation	Marrabios volcanoes	Back arc volcanics
	Pleistocene		(El Salto formation)			
Tertiary	Pliocene	13	<i>erosional gap</i>	Tamarindo formation	El Coyol formation	
	Miocene	25	El Fraile formation			
	Oligocene	36	Masachapa formation		Matagalpa formation	
	Eocene	58	El Brito formation			
	Paleocene	63	Rivas formation		Pre-Matagalpa	
	Cretaceous		135	Pre-Rivas		
Pre-Cretaceous			Nicoya complex ophiolite?		Metamorphic basement	

Figura VIII-3.4: Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)

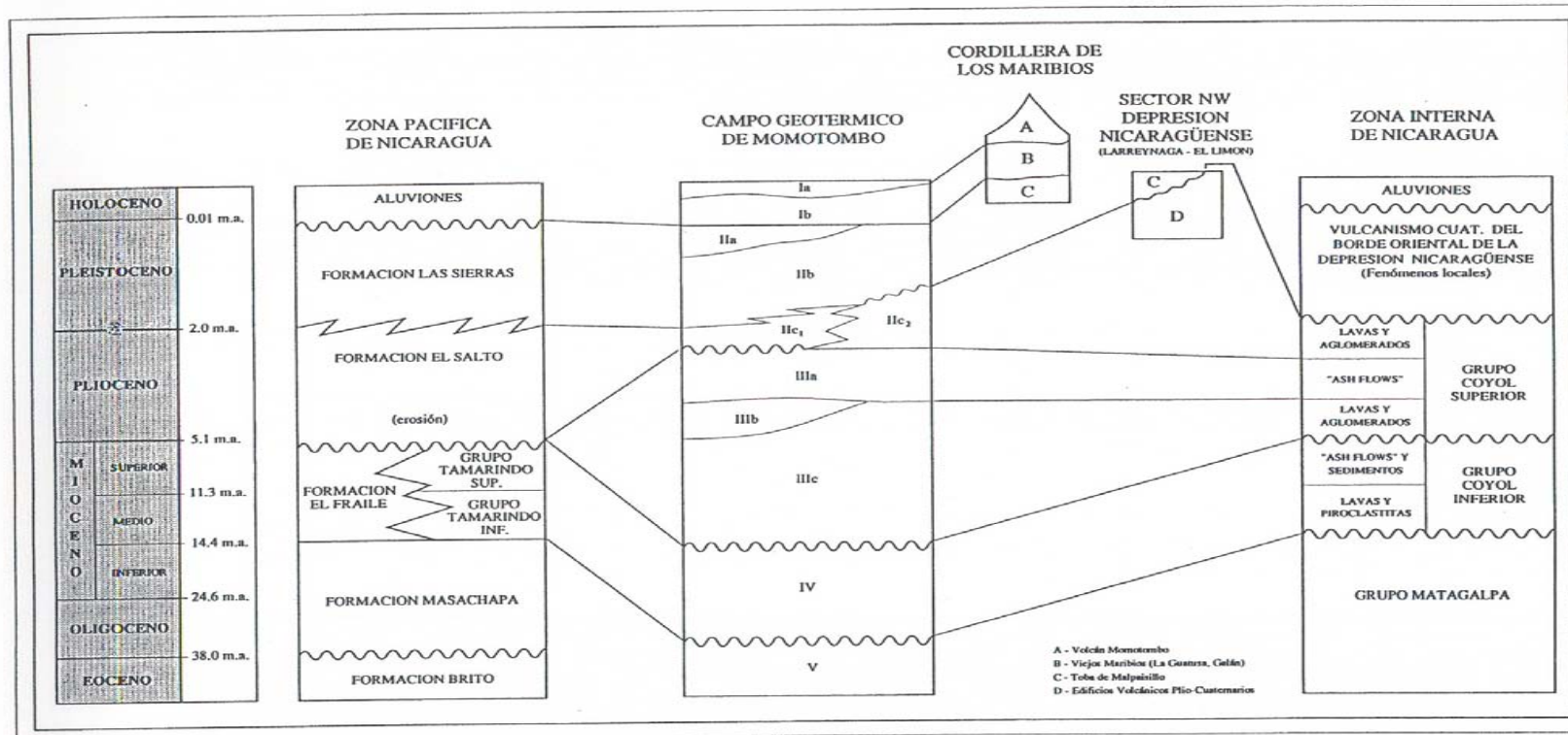
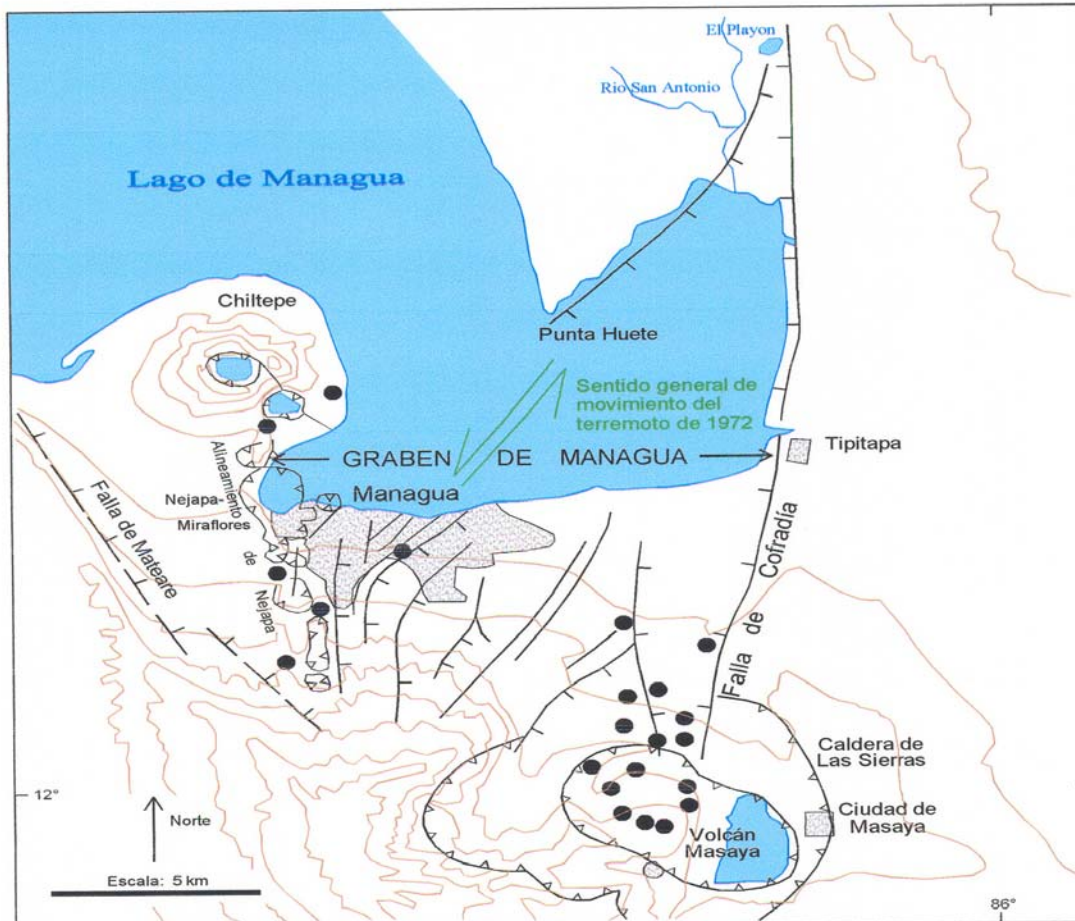


Figura VIII-3.5: Esquema estratigráfico y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaraguense (DAL, 1997)

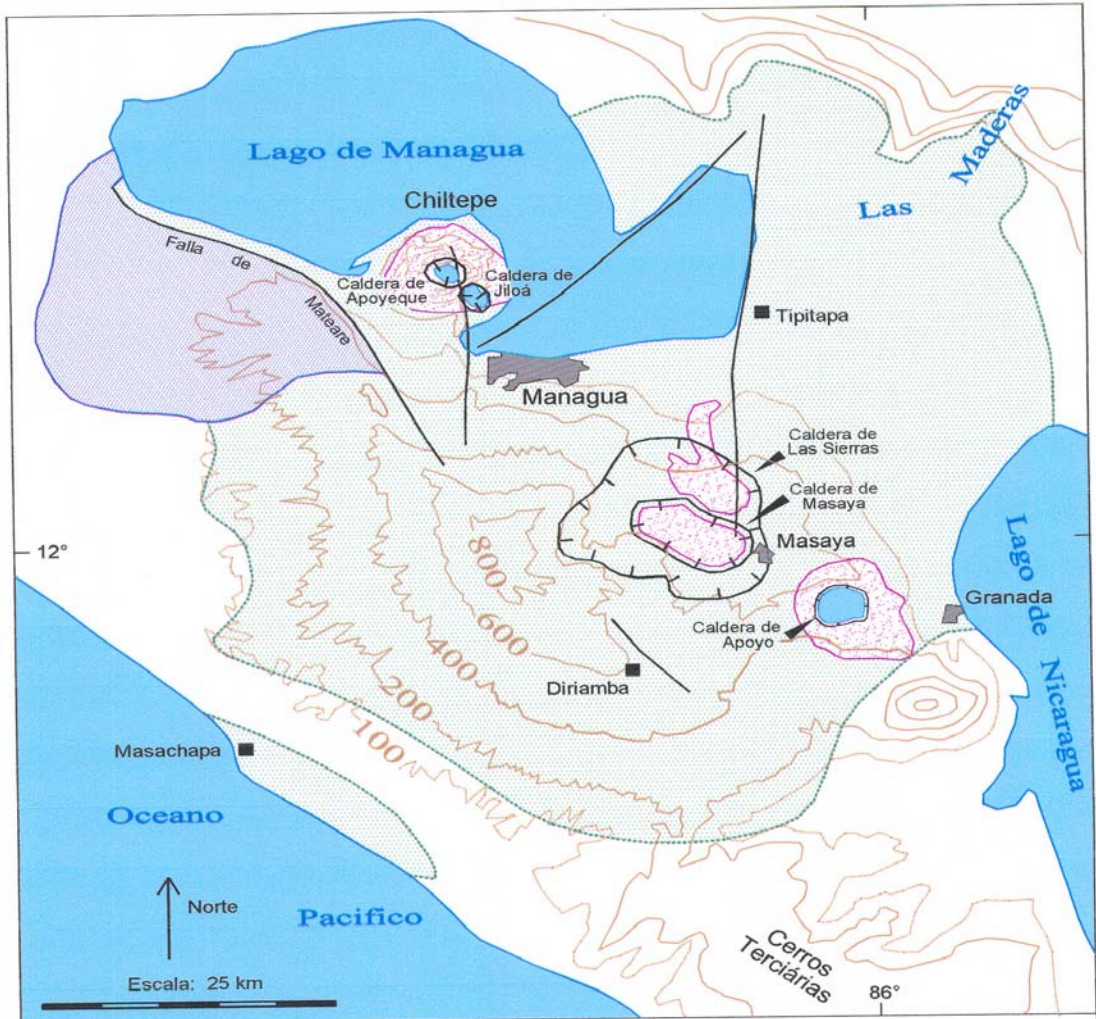


LEYENDA	
	Estructura de colapso volcánico (cráter o caldera)
	Falla, con dirección de movimiento hacia abajo (si se conoce)
	Centro volcánico

Figura VIII-3.7:
Esquema estructural de la región de Managua
 (original de van Wyk de Vries, 1993)

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: FIG 3.7.DWG	DRAWN: RRS	APP.: CWK
PLOTDATE: 01NOV2001	PAGE SETUP: FIG 3.7	

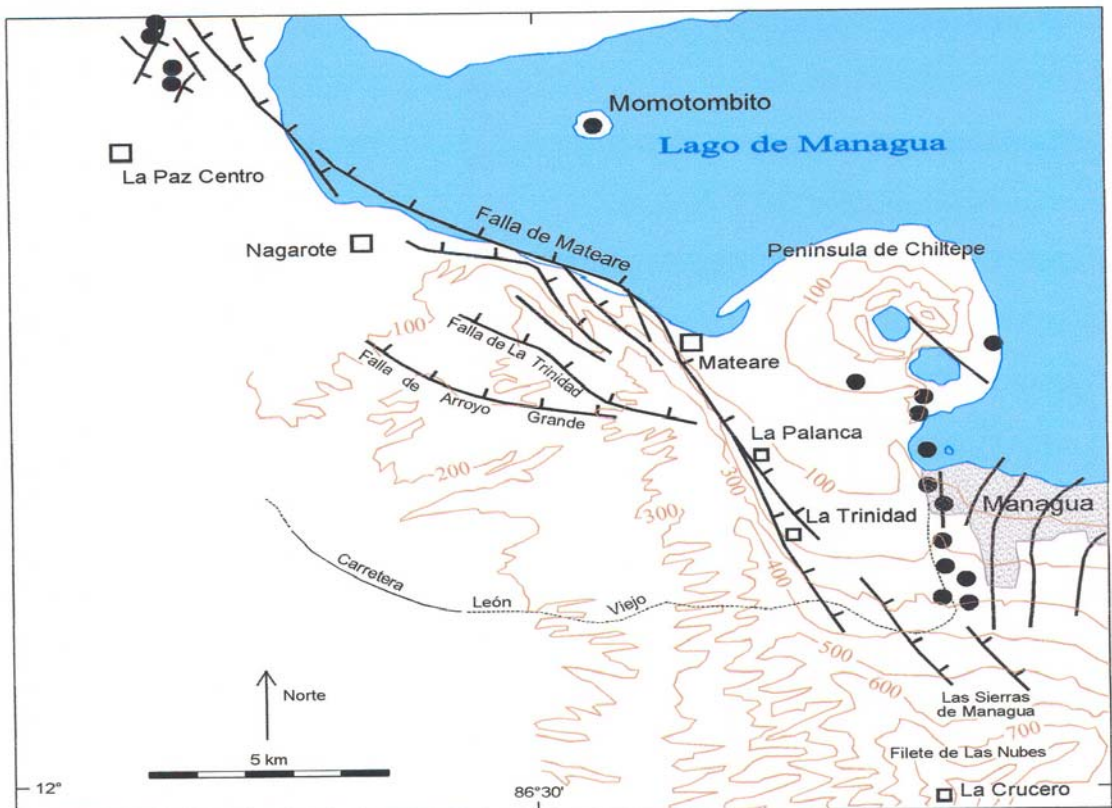


LEYENDA	
	Escudo Las Sierras
	Escudo Chiltepe
	Lavas

Figura VIII-3.8:
Esquema general del escudo
volcánico Las Sierras - Chiltepe
 (original de van Wyk de Vries, 1993)

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: VIII-3.8.DWG	DRAWN: RRS	APP.: CWK
PLOTDATE: 01NOV2001	PAGE SETUP: FIG 3.8	



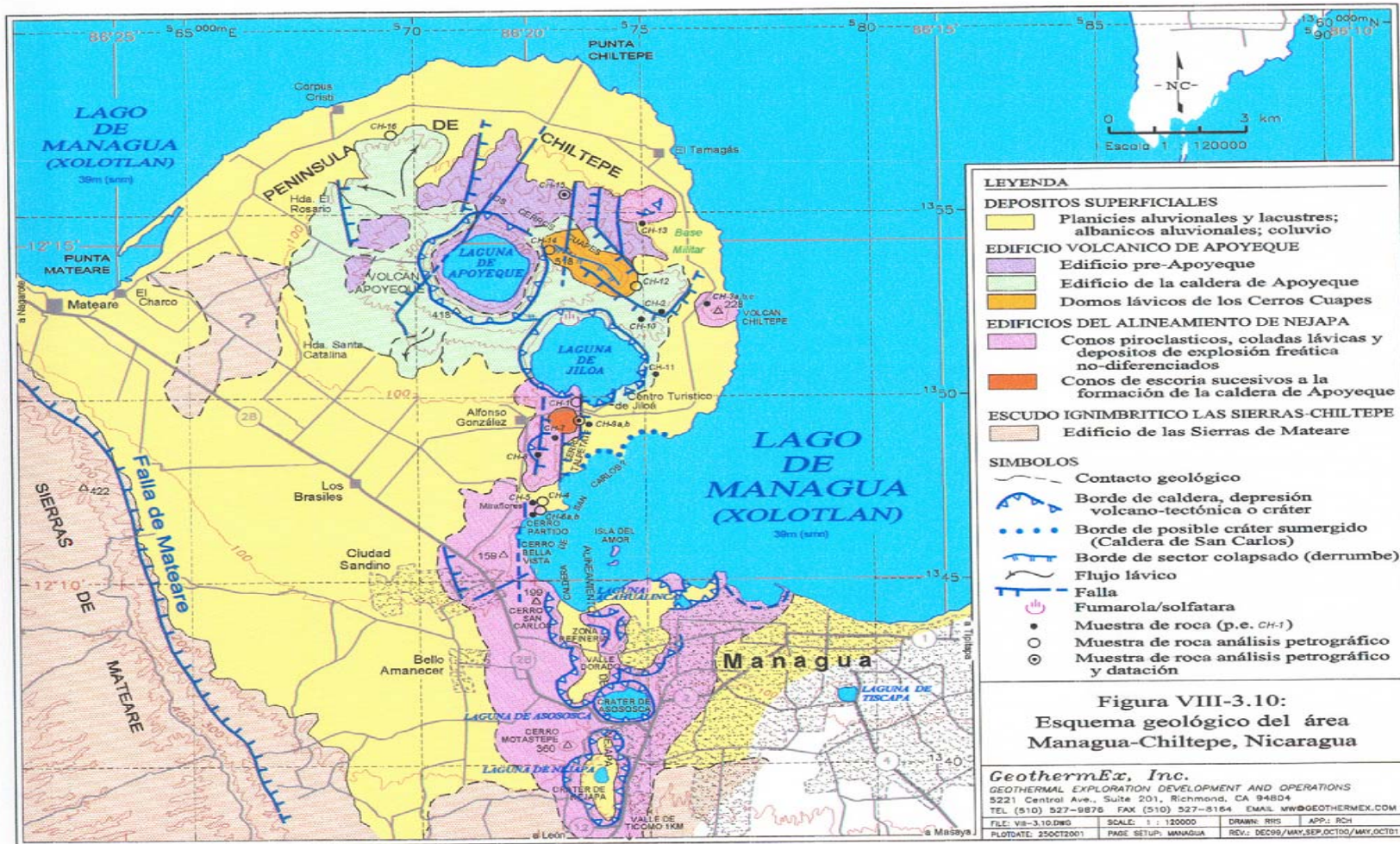
LEYENDA

- Centro volcánico
- | Falla, con dirección de morimiento hacia abajo (si se conoce)
- 100— Línea topográfica (elevación sobre nivel del mar)

**Figura VIII-3.9:
Bosquejo general de la Falla de Mateare**
(original de van Wyk de Vries, 1993)

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: VIII-3.9.DWG	DRAWN: RRS	APP.: CWK
PLOTDATE: 01NOV2001	PAGE SETUP: VIII-3.9	



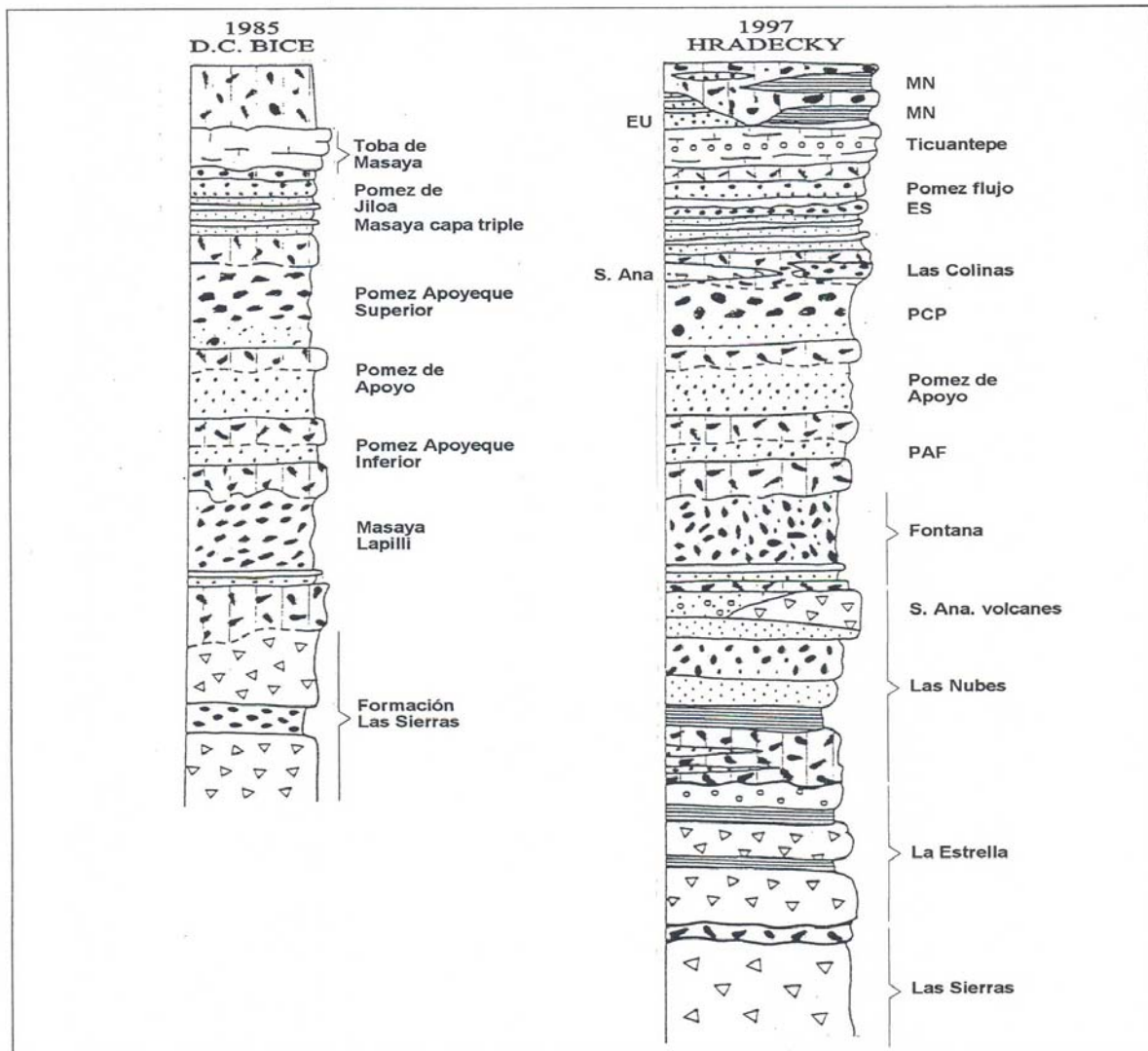
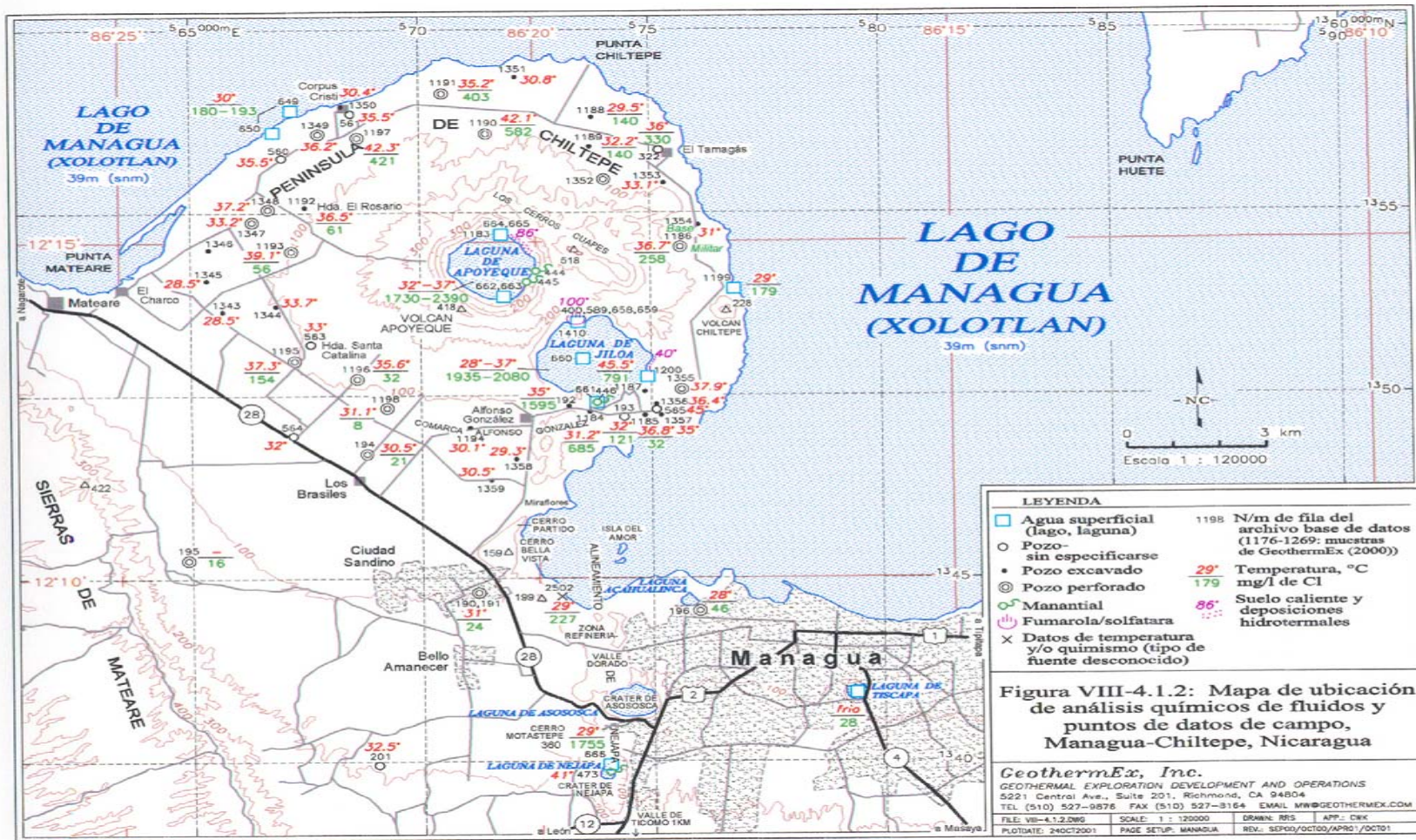


Figura VIII-3.11: Estratigrafía de la secuencia de Managua (original de Hradecky, 1997)

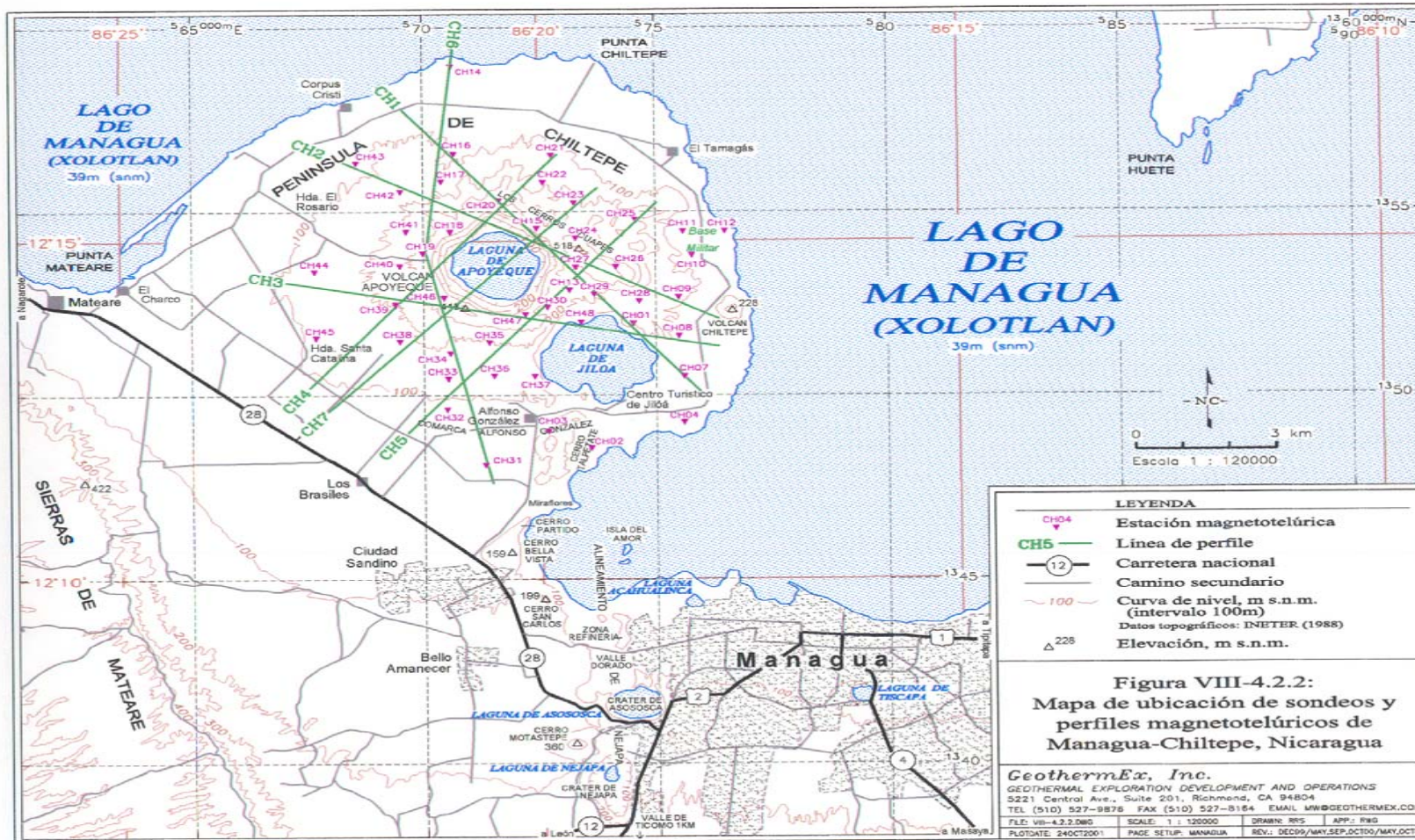
GeothermEx, Inc.

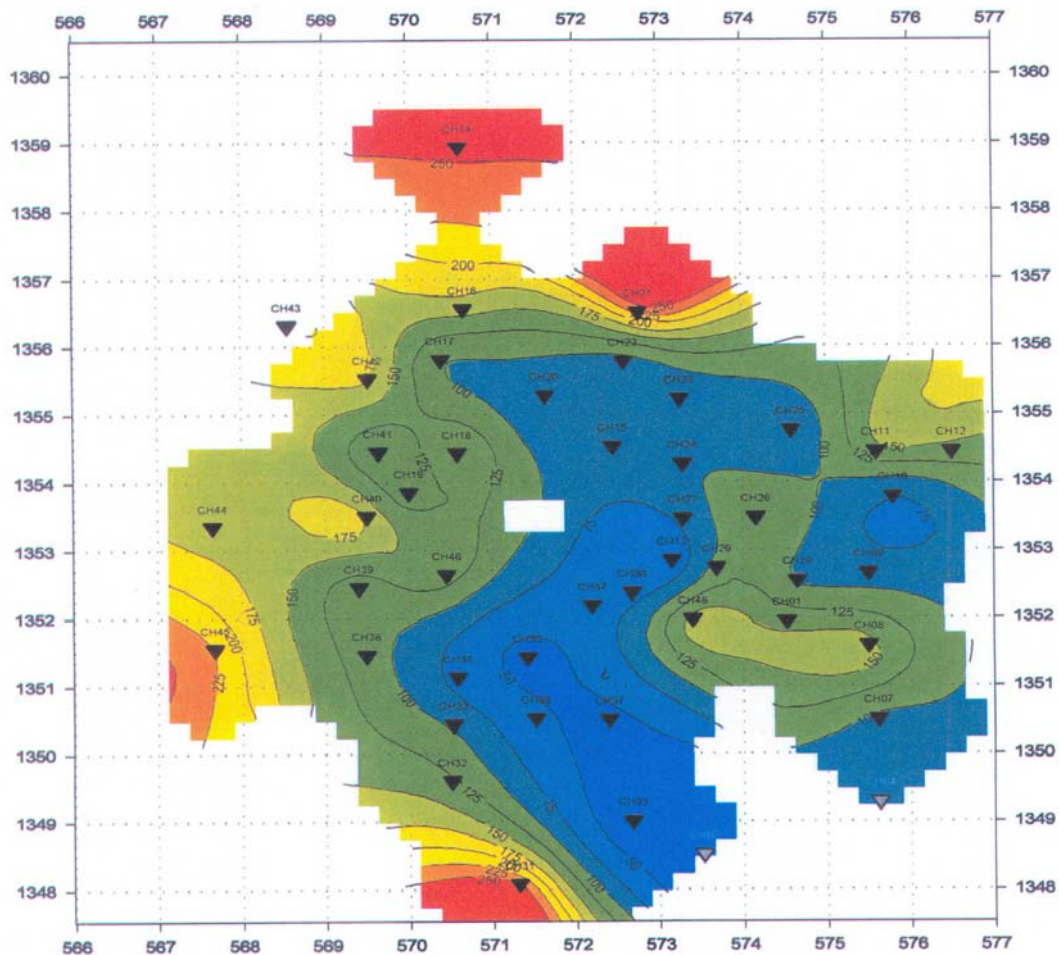
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: FIG 3.11.DWG	DRAWN: RRS	APP.: CWK
PLOTDATE: 28JUN2001	PAGE SETUP: FIG 3.7	









Escala 1 : 75000
 0 1 2 3 4 km

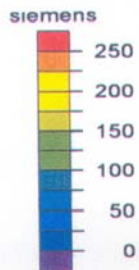
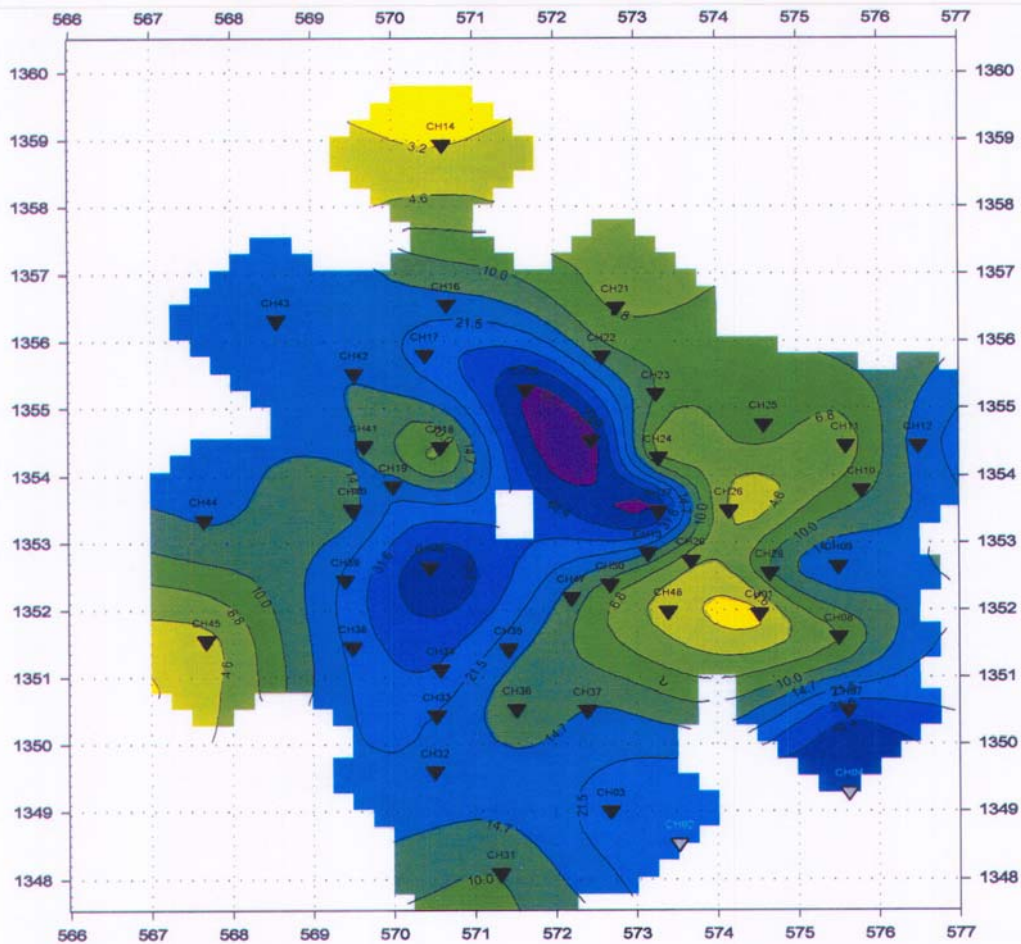


Figura VIII-4.2.3:
Mapa de isovalores de conductancia total
hasta la profundidad de 1,000 m de sondeos
magnetotelúricos por inversión lisa en 1D,
Managua-Chiltepe, Nicaragua
(Geosystem, 2000)

2001, GeothermEx, Inc.



Escala 1 : 75000
 0 1 2 3 4 km

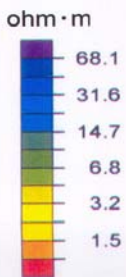
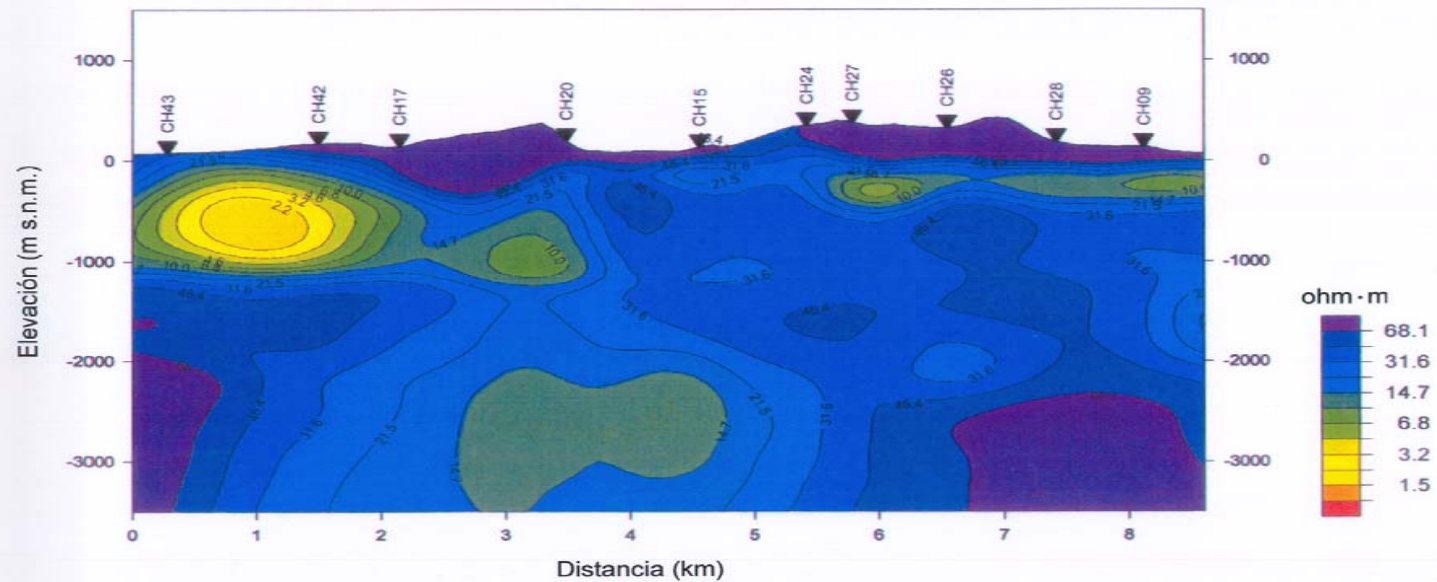


Figura VIII-4.2.4:
Mapa de isovalores de resistividad a
la profundidad de 300 m de sondeos
magnetotelúricos por inversión lisa en 1D,
Managua-Chiltepe, Nicaragua
(Geosystem, 2000)

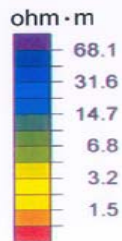
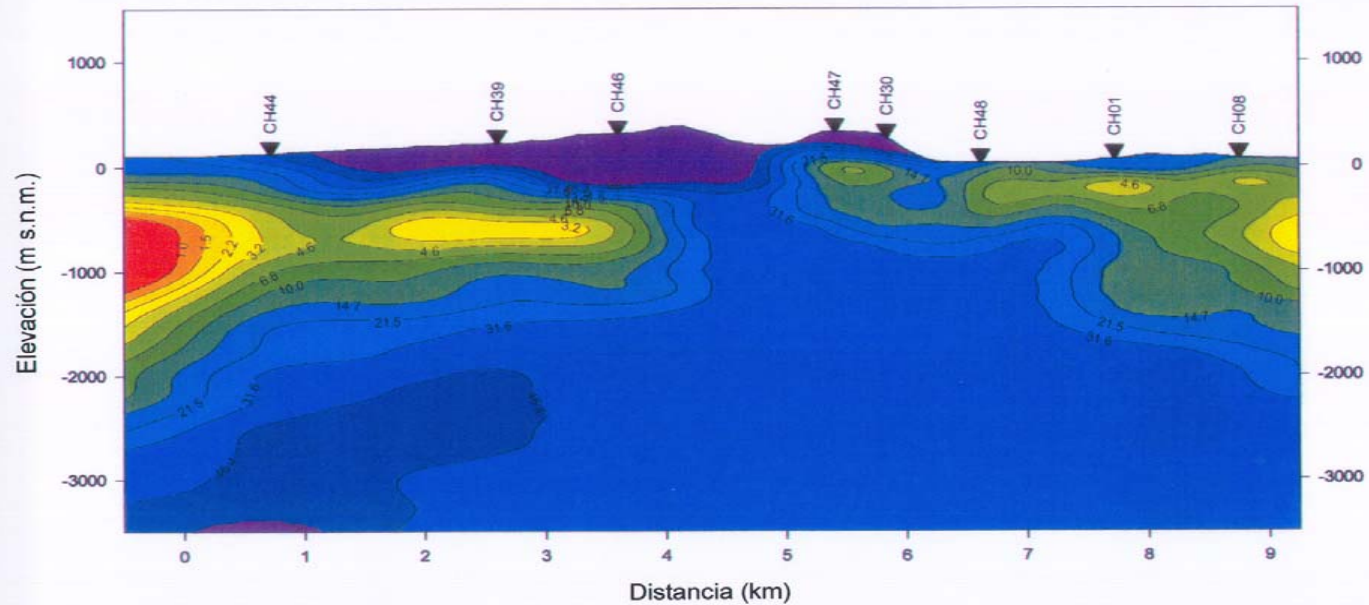
2001, GeothermEx, Inc.



Escala horizontal 1: 50000
Escala vertical 1: 50000

Figura VIII-4.2.5:
Sección de resistividad a lo largo de perfil CH-2 de
sondeos magnetoteléuricos por inversión lisa en 2D,
Managua-Chiltepe, Nicaragua (Geosystem, 2000)

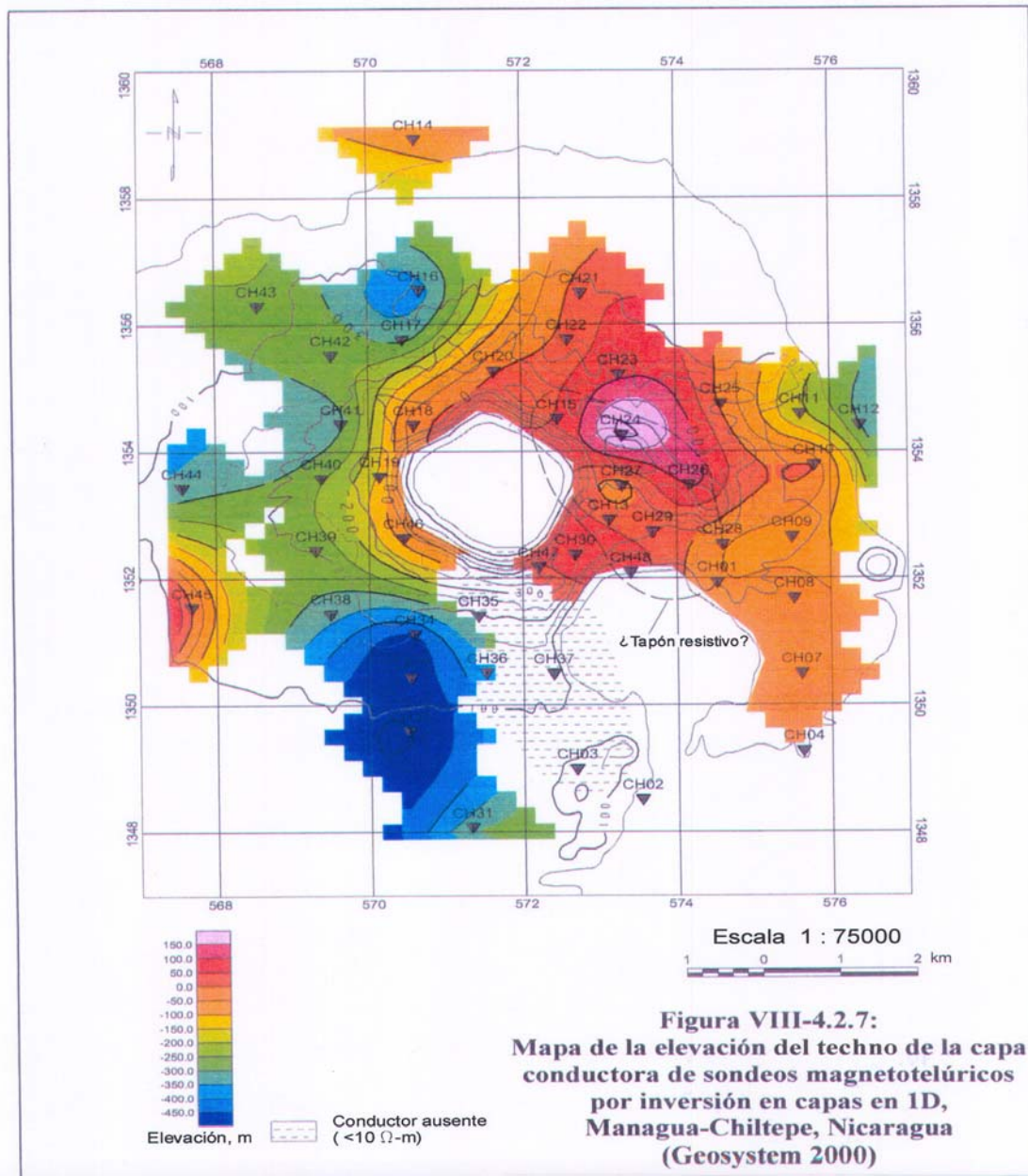
2000, GeothermEx, Inc.



Escala horizontal 1: 50000
Escala vertical 1: 50000

Figura VIII-4.2.6:
Sección de resistividad a lo largo de perfil CH-3 de
sondeos magnetotéluricos por inversión lisa en 2D,
Managua-Chiltepe, Nicaragua (Geosystem, 2000)

2000, GeothermEx, Inc.



2000, GeothermEx, Inc.

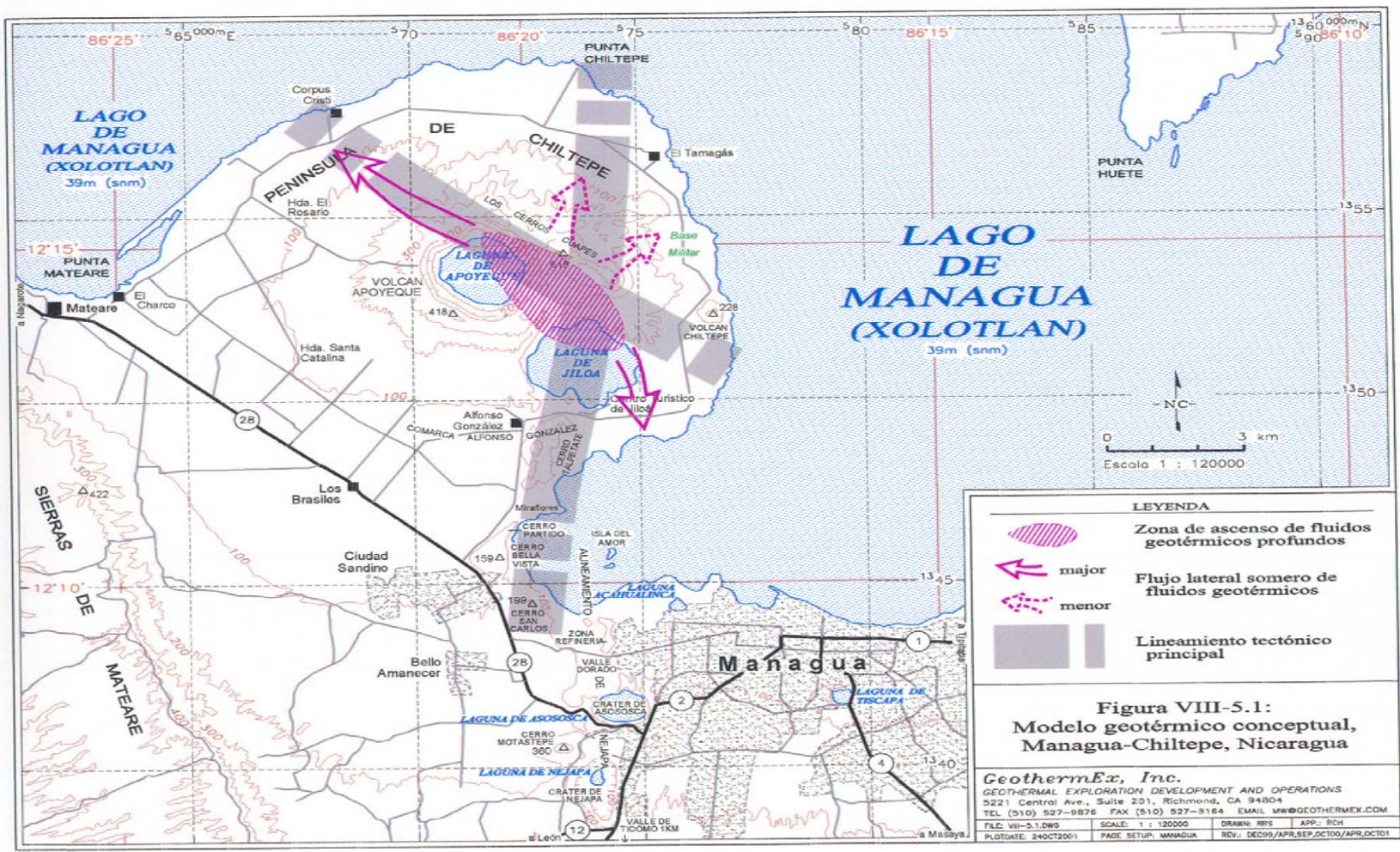
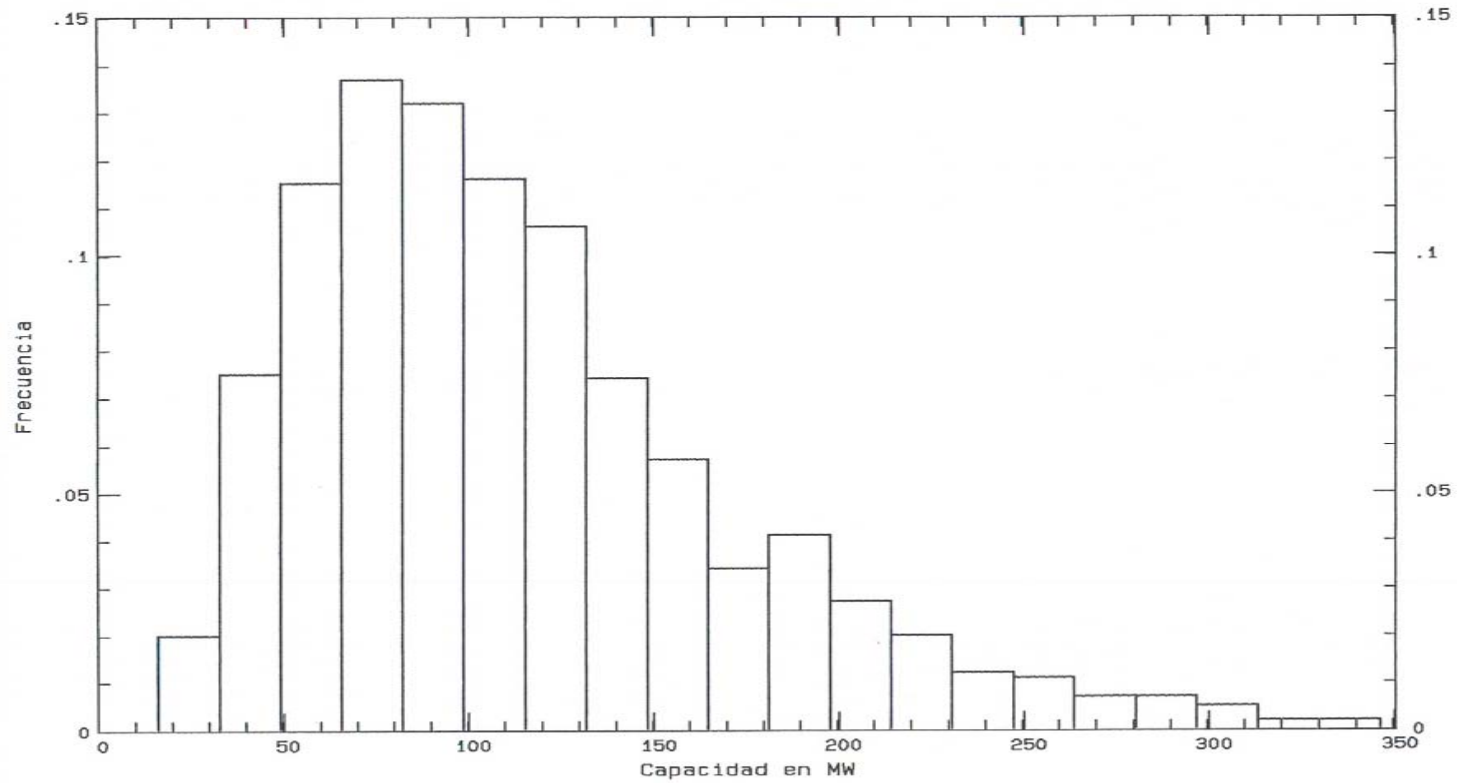
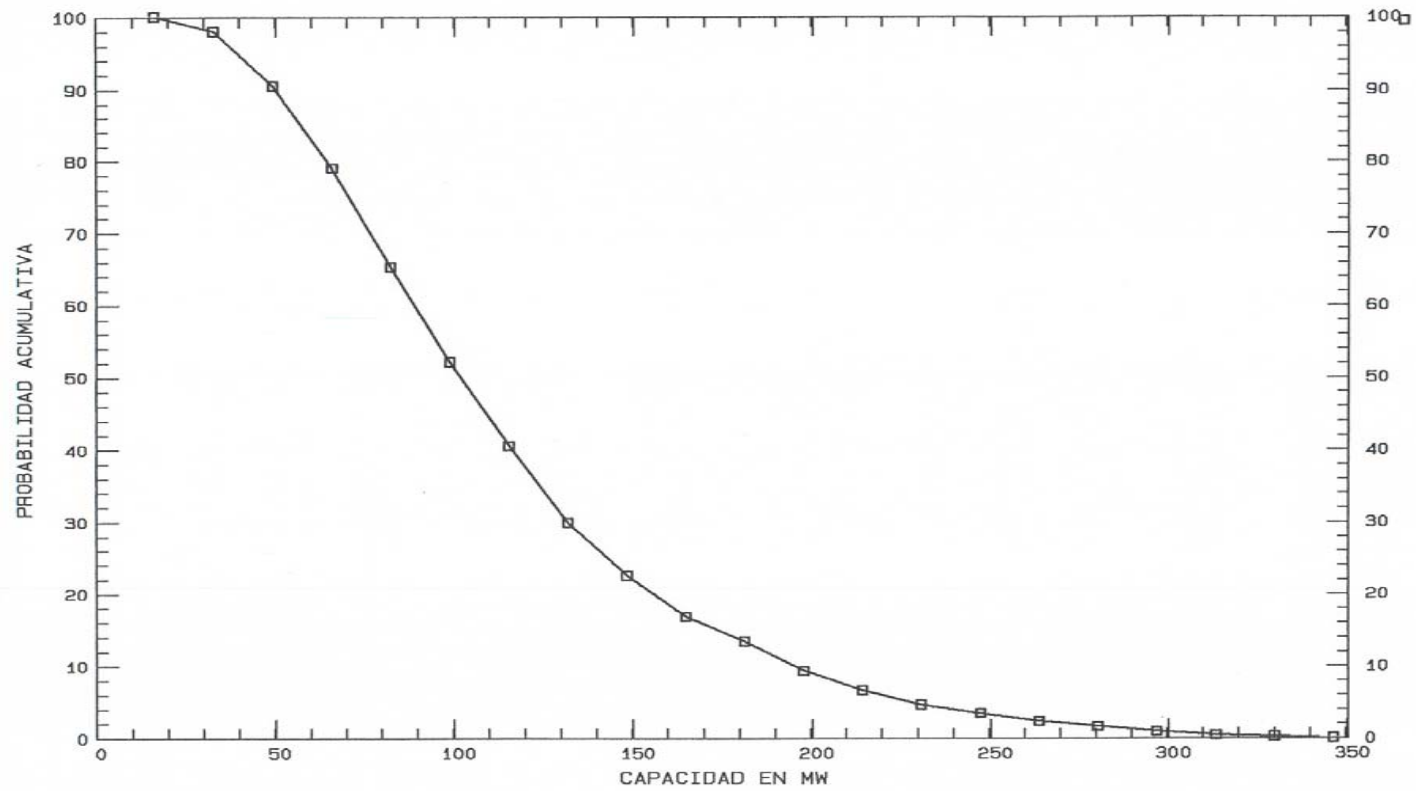


Figura VIII-6.1: Histograma de capacidad energética, Managua-Chiltepe



GeothermEx, Inc.
01-19-2001 Chil3his.plt

Figura VIII-6.2: Probabilidad acumulativa de capacidad energética, Managua-Chiltepe



GeothermEx, Inc.
01-19-2001 Chil3cmp.plt

Figura VIII-6.3: Cálculo de reservas, zona de Chiltepe

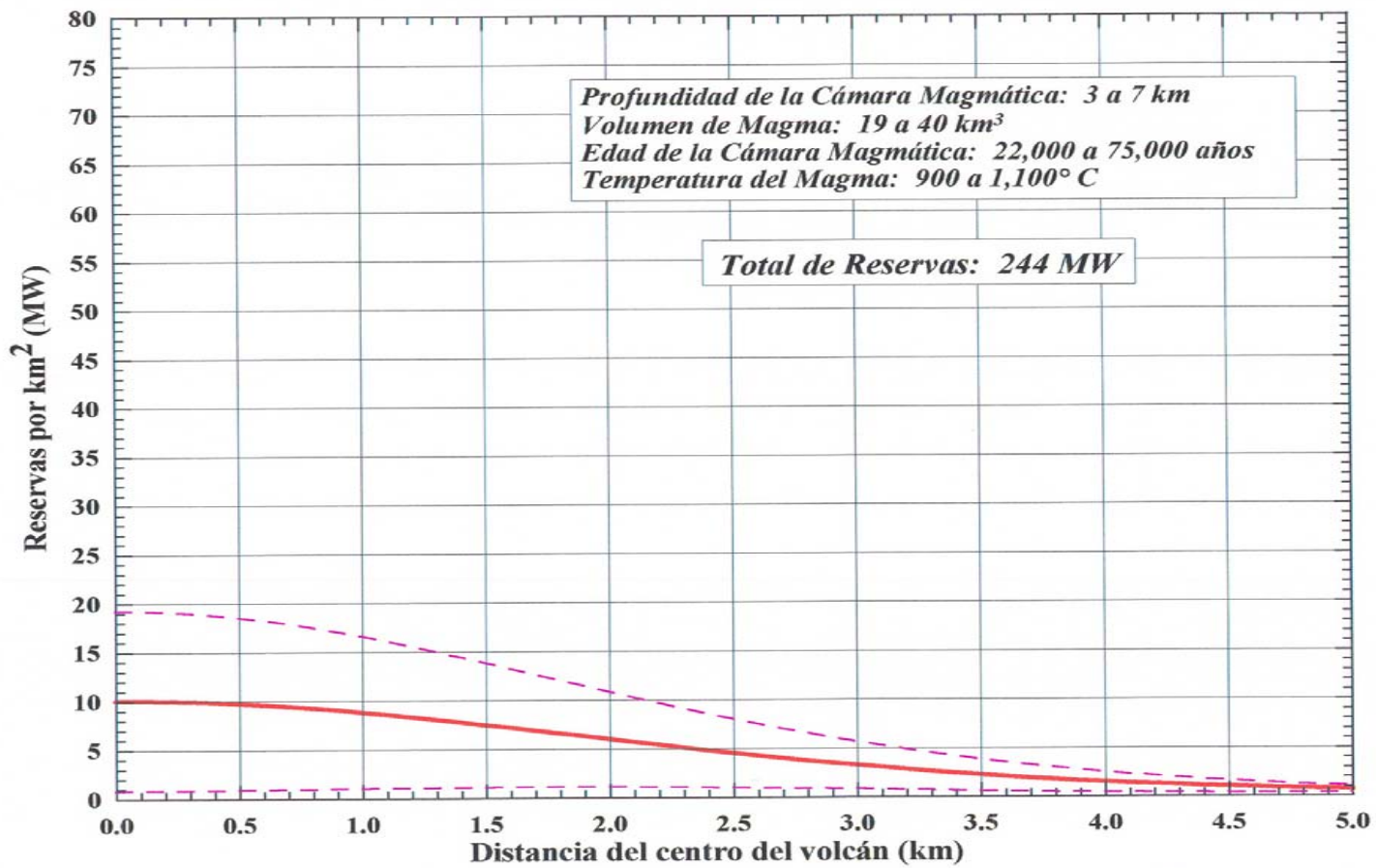
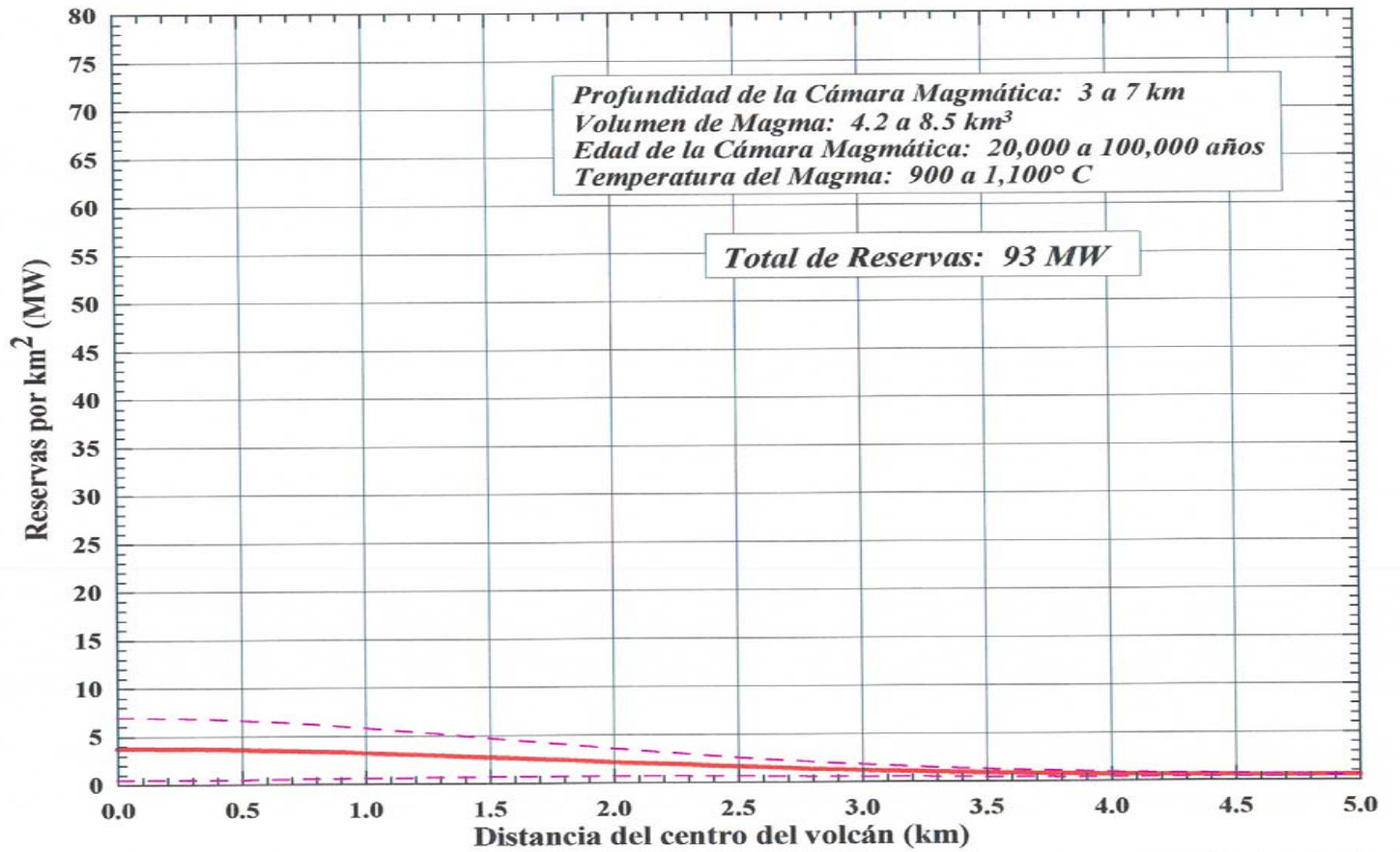


Figura VIII-6.4: Cálculo de reservas, zona de Nejava



2000, GeothermEx, Inc.

