



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

**PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO DE
NICARAGUA**

Volumen X

**EVALUACIÓN DEL ÁREA DE
MASAYA – GRANADA – NANDAIME**

Parte A: Texto, Tablas y Figuras

OCTUBRE DE 2001



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

CONTENIDO

ILUSTRACIONES	5
RESUMEN EJECUTIVO	10
1. DESCRIPCION DEL AREA	21
1.1 LOCALIZACIÓN	21
1.2 EXTENSIÓN DEL ÁREA	22
1.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS	22
2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE	25
2.1 CONCESIONES	25
2.2 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN	25
2.2.1 <i>Estudios Existentes</i>	25
2.2.2 <i>Estudios del Plan Maestro-2000</i>	31
2.3 PERFORACIÓN DE EXPLORACIÓN Y DE DESARROLLO	38
2.4 PRODUCCIÓN	38
2.5 ESTADO ACTUAL	39
3. REGIMEN GEOLOGICO-VULCANOLOGICO-HIDROGEOLOGICO	41
3.1 MARCO GEOLÓGICO	41
3.1.1 <i>Marco Geológico Regional</i>	41
3.1.2 <i>Marco Geológico Local</i>	52
3.2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA	55
3.3 HIDROLOGÍA	63
3.4 RIESGOS GEOLÓGICOS	66
3.4.1 <i>Riesgo Sísmico</i>	67
3.4.2 <i>Riesgo Volcánico</i>	68
3.4.3 <i>Riesgo de Derrumbe</i>	70
3.4.4 <i>Riesgo de Inundaciones y Aluviones</i>	71
4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL	73
4.1 MANIFESTACIONES TERMALES	73
4.1.1 <i>Tipo, Localización y Extensión</i>	74
4.1.2 <i>Quimismo y Geotermometría</i>	76
4.2 INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS	88
4.2.1 <i>Tipo</i>	88



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

4.2.2	Cobertura.....	90
4.2.3	Resultados.....	92
4.3	RESULTADOS DE POZOS GEOTÉRMICOS	101
5.	NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO	102
5.1	LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE CALOR	102
5.2	ZONAS DE ASCENSO.....	104
5.3	DIRECCIÓN DE MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS	105
5.4	TEMPERATURA.....	106
5.5	QUÍMICA DEL FLUIDO	107
6.	ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS	109
6.1	RESERVAS DE LA CATEGORÍA 2	109
6.1.1	Definición de Parámetros.....	109
6.1.2	Cálculo de Reservas.....	111
6.1.3	Comentarios.....	112
6.2	RESERVAS DE LA CATEGORÍA 3	113
6.2.1	Definición de Parámetros.....	113
6.2.2	Cálculo de Reservas.....	116
6.2.3	Comentarios.....	117
7.	ASPECTOS AMBIENTALES.....	118
7.1	INFORMACIÓN EXISTENTE.....	118
7.2	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	119
7.2.1	Aspectos Socioeconómicos.....	119
7.2.2	Aspectos Abióticos	124
7.2.3	Aspectos Bióticos	129
7.3	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	135
7.3.1	Situación Ambiental General.....	135
7.3.2	Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico	135
8.	ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS.....	140
8.1	ACCESO	140
8.2	USO DE LA TIERRA.....	141
8.3	DISPONIBILIDAD DE SITIOS PARA PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN	142
8.4	DISPONIBILIDAD DE AGUA.....	143
8.5	FACTIBILIDAD DE REALIZAR TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y DESARROLLO	144
9.	OPCIONES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	147



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

9.1	SECTOR DE LA LAGUNA DE APOYO	147
9.2	SECTOR DEL VOLCÁN MOMBACHO	153
10.	REFERENCIAS	155
T A B L A S	161
F I G U R A S	193



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

ILUSTRACIONES

Tablas

- X-2.1 Principales Estudios Existentes sobre el Área Masaya-Granada-Nandaime
- X-4.1 Investigaciones Geofísicas en el Área de Masaya-Granada-Nandaime
- X-6.1 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 2), Laguna de Apoyo
- X-6.2 Resumen de Parámetros para Estimación de Reservas Energéticas (Categoría 3) Área de Masaya-Granada-Nandaime
- X-6.3 Resumen de Cálculo de Reservas (Categoría 3), Área de Masaya-Granada-Nandaime
- X-7.1 Población en el Área de Masaya-Granada-Nandaime
- X-7.2 Características Químicas de los Cuerpos Hídricos Superficiales
- X-7.3 Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas Más Cercanas al Área Masaya-Granada-Nandaime
- X-7.4 Lista de Especies de Flora de Área Protegida, Volcán Masaya
- X-7.5 Lista de Especies de Flora de Área Protegida, Laguna de Apoyo



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- X-7.6 Lista de Especies de Flora de Área Protegida, Volcán Mombacho
- X-7.7 Lista de Especies de Flora de Área Protegida, Lagunas de Mecatepe – Río Manares
- X-7.8 Lista de Especies de Fauna para el Área Protegida, Volcán Masaya
- X-7.9 Lista de Especies de Fauna para el Área Protegida, Laguna de Apoyo
- X-7.10 Lista de Especies de Fauna para el Área Protegida, Volcán Mombacho
- X-7.11 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Masaya-Granada-Nandaime, Zona de Laguna de Apoyo
- X-7.12 Impactos Ambientales negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Masaya-Granada-Nandaime, Sector Meridional del Volcán Mombacho
- X-9.1 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Terminar la Pre-Factibilidad, Área de Masaya-Granada-Nandaime, Sector Meridional del Volcán Mombacho

Figuras

- X-1.1 Mapa de ubicación, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
- X-1.2 Imagen Landsat, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
- X-3.1 Esquema tectónico de la región Centroamericana y del Caribe (Weinberg, 1992)



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- X-3.2 Provincias fisiográficas de Nicaragua (McBirney *et al.*, 1965)

- X-3.3 Estratigrafía y evolución tectónica de la parte occidental de Nicaragua
- X-3.4 Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyck de Vries, 1993)

- X-3.5 Esquema estratigráfica y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)

- X-3.6 Esquema geológico del área Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

- X-4.1.1 Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

- X-4.1.1b Mapa de anomalías químicas, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

- X-4.1.2 Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, detalles de la Zona SE, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

- X-4.1.3 Mapa hidroquímico de síntesis, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

- X-4.2.1 Mapa de los límites de los levantamientos geoelectrónicos de Electrodyne Surveys (1980) y de S.P.E.G (1983), Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

- X-4.2.2 Mapa de ubicación de sondeos y perfiles magnetotéluricos, sub-área de Volcán Mombacho, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- X-4.2.3 Mapa de isovalores de conductancia eléctrica, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
- X-4.2.4 Mapa de la profundidad del basamento eléctrica, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua (Electrodyne Surveys, 1980)
- X-4.2.5 Mapa preliminar de las anomalías de Bouguer, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua (Parsons Corporation, 1972)
- X-4.2.6 Sección de resistividad a lo largo de perfil MB-1 de sondeos MT por inversión 1D, sub-área del Volcán Mombacho, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua (Geosystem, 2000)
- X-4.2.7 Sección de resistividad a lo largo de perfil MB-1 de sondeos MT por inversión 2D, sub-área del Volcán Mombacho, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua (Geosystem, 2000)
- X-4.2.8 Sección de resistividad a lo largo de perfil MB-2 de sondeos MT por inversión 2D, sub-área del Volcán Mombacho, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua (Geosystem, 2000)
- X-4.2.9 Mapa de isovalores de conductancia hasta la profundidad de 1,000m de sondeos MT por inversión 1D, sub-área del Volcán Mombacho, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua (Geosystem, 2000)
- X-5.1 Modelo geotérmico conceptual, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
- X-6.1 Histograma de capacidad energética, Laguna de Apoyo



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- X-6.2 Probabilidad acumulativa de capacidad energética, Laguna de Apoyo
- X-6.3 Cálculo de reservas, Volcán Masaya
- X-6.4 Cálculo de reservas, Laguna de Apoyo
- X-6.5 Cálculo de reservas, Volcán Mombacho
- X-7.1 Reservas naturales ya áreas protegidas vigentes, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
- X-7.2 Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
- X-8.1 Elementos infraestructurales, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

RESUMEN EJECUTIVO

En el área de Masaya-Granada-Nandaime se encuentra localizada en el extremo NO del Lago de Nicaragua (Cocibolca) e incluye toda la región comprendida entre las ciudades del mismo nombre. En el presente estudio se ha considerado todo el sector que presenta vulcanismo reciente, y extensas zonas al SO y N. Tomando en cuenta las investigaciones previas y los trabajos de campo efectuados como parte del Estudio Plan Maestro, la extensión del área estudiada es de por lo menos 1,100 km².

Los volcanes de Masaya, Apoyo y Mombacho se encuentran alineados del NO al SE en la parte central del área. La Caldera de Masaya se ubica al lado NO, la de Apoyo en el centro y el Volcán Mombacho al SE del área. La distancia entre las estructuras de Masaya y Mombacho es de solamente 12 km, así que se puede decir que una fuente de calor importante podría existir a lo largo de todo el eje volcánico.

El área se caracteriza en general por una morfología suave, con laderas de poca pendiente que descienden hacia los lagos de Managua y de Nicaragua, sobre la cual resalta la presencia de las estructuras volcánicas. La mayoría del área es bastante poblada con ciudades, pueblos y comunidades pequeñas, y una buena parte se encuentra ocupada por actividades agrícolas, ganaderas, y agroindustriales.

El área ha estado sujeta a procesos volcánicos que datan desde el Plioceno hasta épocas recientes. El vulcanismo inicial cubrió un área muy amplia con depósitos de ignimbritas y aglomerados que en algunas partes tienen espesores mayores de 250 m. Sobre tales materiales se encuentra la serie de lavas y depósitos piroclásticos con diversos espesores que se asocia genéticamente con el vulcanismo del complejo de Masaya, la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

El complejo de Masaya, que ocupa el sector NO del área, es un centro volcánico compuesto por lavas basálticas y depósitos piroclásticos. El volcán está afectado por un colapso caldérico de 11 km de largo por seis km de ancho, que es el resultado de una erupción fuertemente explosiva ocurrida hace pocos miles de años. Se dice que de todos los volcanes de Centro América el Masaya ha sido el más activo en tiempos históricos y la gran actividad de depósitos basálticos y basáltico-andesíticos dispersos en el área así lo demuestran.

La Caldera de Apoyo es una estructura de colapso casi circular de seis-siete km de diámetro, ocupada por una laguna con paredes que se levantan entre 100m y 450 m de altura. Corresponde al colapso de una serie pre-caldérica compuesta por lavas basálticas y andesíticas y una serie de piroclásticos con intercalaciones de lavas basálticas, que se originó después de una serie de erupciones de pómez dacítica que se depositaron principalmente al E. Las edades de las rocas pre-caldéricas son de 100,000 a 360,000 años, mientras que los depósitos piroclásticos asociados con la formación de la caldera tienen edades entre 23,000 y 21,000 años. Existen algunos domos riodacíticos en la periferia E y S de la caldera, y uno de ellos ha sido datado en $90,000 \pm 40,000$ años.

El Mombacho es un estrato-volcán de unos 50 km^3 de volumen y 1,340 de elevación, que se caracteriza por una serie de flujos lávicos, subordinadamente intercalados con productos piroclásticos, y por dos grandes deslizamientos de roca que desde la cima han truncando el volcán por NE y el SE. Lo que se llama el “cráter principal” del Momotombo es el espacio creado por el deslizamiento al SE. El volcanismo del Mombacho parece ser en parte más joven que el colapso de Apoyo, y un flujo joven del Mombacho está compuesto de andesita de $18,000 \pm 3,000$ años de antigüedad. Existen conos cineríticos y maeres asociados con procesos fisurales entre las Caldera de Apoyo y Masaya, y al O y NO del Volcán Mombacho, con edades contemporáneas a las de ambos centros.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Aunque las márgenes NE, E y SE del área yacen a las elevaciones bajas del Lago de Nicaragua, mucho del terreno se encuentra a elevaciones de varios centenares de metros, sobre rocas permeables que constituyen buenos acuíferos. Las profundidades de pozos de abastecimiento de agua en las zonas centrales del área varían entre 100 y 300 m o más. De debajo de los estratos permeables existen rocas que son prácticamente impermeables, constituidas por areniscas y lutitas, en las cuales solo el fracturamiento originado por la tectónica profunda ha llegado a imprimirle cierta permeabilidad vertical.

Las manifestaciones termales del área incluyen una fuerte actividad fumarólica de tipo volcánico en el complejo de Masaya, y unas fumarolas con temperaturas hasta de 99°C en las alturas del cráter principal del Volcán Mombacho. Las fumarolas del Mombacho tiene características hidrotermales con cierta influencia magmática y geotermómetros de gases superiores a los 300°C.

Al S de las fumarolas del Mombacho, pero siempre dentro del cráter principal, existen varios manantiales con temperaturas de hasta 54°C. Más hacia abajo, en la planicie al S, siempre cubierta por depósitos clásticos del deslizamiento, existe otro grupo de manantiales termales, generalmente asociados con zonas pantanosas y lagunas, con temperaturas de hasta 60°C. Igualmente, en el flanco NE del Volcán Mombacho, en depósitos del deslizamiento existen en esa dirección se presenta un manantial termal (38°C) a 200 m s.n.m. y otro (55°C) al nivel del Lago de Nicaragua. El quimismo de los manantiales a elevaciones superiores corresponde a aguas someras calentadas por vapor y por conducción. Los manantiales calientes a elevaciones menores, al S, son el resultado de mezclas de esta agua someras con un componente más profundo (y presumiblemente más caliente) de tipo Na-Cl (sodio-cloruro). Todos estos fluidos mezclados tienen concentraciones muy bajas de Cl, y los geotermómetros químicos indican con certeza solamente las temperaturas bajas de los manantiales.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

En la Caldera de Apoyo se encuentran fluidos con temperaturas de hasta 97° C y aguas cloruradas sódicas con salinidades hasta de 4,000 ppm, localizadas en un tramo de cuatro km en las orillas O y SO de la Laguna de Apoyo. La correlación observada entre el Cl y aguas frías diluidas, y el quimismo del componente térmico indica un origen más profundo con temperatura de por lo menos 220° C. El agua de Laguna de Apoyo por sí misma es equivalente al agua termal que surge a lo largo de la orilla, pero enfriada y en el rango medio de la concentración de cloruros, lo cual indica la existencia probable de manantiales térmicos en el fondo de la Laguna.

Se reportan unos pozos de agua con anomalías térmicas débiles (31° C – 34° C) entre la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho. Dentro de la Caldera de Masaya no existen sitios de muestreo de agua subterránea, pero al N existe una zona con pozos cuyas temperaturas alcanzan hasta 38° C, lo cual es efecto probable de la descarga al N del fondo de la Caldera. Esta zona constituye el extremo S de la “Anomalía al S” de la región de Tipitapa (Volumen IX), donde existen manantiales con alto caudal, anomalías de alcalinidad y trazas de Na-Cl, que indican mezclas de agua somera con vapor geotérmico y aguas geotérmicas profundas originadas en un ambiente de alta temperatura.

Los estudios geofísicos que se habían realizado en la región incluyeron un levantamiento gravimétrico y varios levantamientos eléctricos y electromagnéticos, concentrados en las regiones ente Mombacho y Apoyo, al N de Apoyo, entre Apoyo y Masaya, al S de Apoyo y Masaya, y al o del Mombacho, cuyos resultados fueron diversos y complicados, pero en general no muy prometedores en cuanto a indicar la presencia de yacimientos de interés geotérmico.

Como parte de los estudios del Plan Maestro, se realizaron nuevas mediciones de tiempo MT y TDEM en el Volcán Mombacho y la región inmediata al S del mismo. Los resultados sugieren que un sistema geotérmico podría existir en el flanco S del volcán, donde una capa conductora



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

somera (250 m de profundidad), con espesor de 500 m, se extiende hacia el S de la cima del volcán aproximadamente la elevación 300 a 400 m s.n.m.

El cráter del volcanismo del Volcán Masaya indica limitados fenómenos de diferenciación magmática y una procedencia directa del magma originado en las zonas profundas. Sin embargo, el gran volumen del magma erupcionado, la frecuencia y el estilo altamente explosivo de las erupciones, indican una continua movilización de grandes volúmenes de magma hasta niveles relativamente someros, lo que puede constituir una fuente de calor de interés geotérmico.

El volcanismo de Apoyo proporciona un claro indicio de residencia prolongada del magma a niveles crustales relativamente someros, y una cámara magmática de relativamente grandes dimensiones, la cual es muy probable que haya generado una importante anomalía térmica en el subsuelo de toda el área alrededor de la actual Caldera de Apoyo.

El Volcán Mombacho es un típico estrato volcán constituido por productos andesíticos y basálticos moderadamente diferenciados. Aunque el volcán está actualmente inactivo, existen evidencias que indican que haya tenido una actividad efusiva en tiempos relativamente recientes y se concluye que hay indicios favorables para la existencia de una interesante anomalía térmica en el subsuelo, relacionada con la presencia de cuerpos magmáticos relativamente someros.

Las manifestaciones termales superficiales presentes en el área y todo el conjunto de información geocientífica disponible, no permiten definir la ubicación exacta de las posibles zonas de subida de fluidos geotérmicos profundos. Sin embargo, se puede inferir la presencia de tales zonas en:

- el sector interno de la Caldera de Masaya (con flujo al S)
- el sector inmediatamente al O de Laguna de Apoyo (con flujo al E), o en las estructuras del O del borde caldérico, o el sector al SE, hacia el Volcán Mombacho (con flujo al NO); y



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- por debajo del edificio del Volcán Mombacho (con flujo al S).

La anomalía de Laguna de Apoyo parece ser la más importante, por sus características químicas. La anomalía geoelectrica que se observa en el Volcán Mombacho podría resultar de procesos de alteración hidrotermal que sobreyacen un sistema geotérmico, y por lo tanto podrían indicar el posible ascenso de fluidos termales por debajo del sector central y meridional del volcán.

En cuanto a riesgos naturales, existe el riesgo sísmico relacionado con la geodinámica de la margen continental, y el Volcán Masaya cuya actividad ha sido frecuentemente asociada con sismos de moderada intensidad. Las ciudades de Granada y Masaya han sido históricamente afectadas por temblores y terremotos que han causado en varias ocasiones daños importantes. Se puede considerar que toda la zona bajo examen está sujeta a un riesgo sísmico importante, el cual debe de ser tomado en seria consideración cuando se realice la planificación de eventuales instalaciones geotérmicas.

La mayoría del área no presentan riesgo importante de deslizamientos con la excepción de las paredes internas de las calderas de Apoyo y Masaya y del Volcán Mombacho. En la mayor parte del área del Mombacho no se reconocen actualmente importantes indicios de inestabilidad, con exclusión de algunas porciones de las escarpadas cárcavas de los derrumbes existentes, y los riesgos de deslizamiento deben ser seriamente tomados en consideración al planificar cualquier actividad de exploración o desarrollo geotérmico en las laderas o alrededor del Volcán. El riesgo de inundaciones y aluviones en la mayoría del área de interés geotérmico puede ser fácilmente mitigado con una adecuada planificación y un diseño adecuado de las obras.

Las reservas energéticas del sistema geotérmico asociado con la margen occidental de la Caldera de Apoyo se han estimado como 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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

energéticas es de aproximadamente 172 MW para un plazo de 30 años, con una desviación estándar de 89 M^W. El 10° percentil de la distribución es aproximadamente 37 MW; en otras palabras hay un 90% de probabilidades de que las reservas recuperables excedan este valor, en base a los argumentos asumidos. El valor medio de la capacidad probable es alrededor de 150 MW. El valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es de 17 MW/km².

Las reservas potenciales asociadas con los sistemas magmáticos de los tres centros volcánicos principales se han estimado como reservas de Categoría 3. Para cada complejo volcánico se realizó un cálculo separado, considerando su carácter volcano/magmático. Sintetizando las reservas potenciales de cada complejo volcánico, la estimación de las reservas totales (basada en el valor promedio de la distribución probabilística) son: Caldera de Masaya 398 MW; Caldera de Apoyo 441 MW; Volcán Mombacho 446 MW; esto implica un total de aproximadamente 1,285 MW.

Los resultados obtenidos demuestran una representación probabilística del potencial energético del área, y no una prueba de que exista un recurso geotérmico comercialmente explotable. La confirmación del recurso, la existencia de roca permeable en un volumen suficiente que permita la convección de fluido y el desarrollo de un yacimiento explotable serán finalmente demostradas por medio de estudios de exploración adicionales y la perforación de pozos profundos. Las reservas de Categoría 2 no aumentan el potencial máximo indicado por los valores estimados para la Categoría 3, sin embargo, incluyen un nivel mayor de certeza que en los de la Categoría 3, tanto en la precisión de la estimación como en la localización inferida del recurso geotérmico.

Las informaciones recolectadas permiten evidenciar una serie de factores favorables y desfavorables con respecto a la realización de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en el área de Masaya-Granada-Nandaime.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Los aspectos favorables son:

- buena vías de acceso en la mayor parte del área;
- buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país;
- condiciones topográficas favorables que faciliten la construcción de plataformas de perforación, caminos, campamentos y centrales geotermoeléctricas, excepto en ciertas partes del sector del Volcán Mombacho;
- disponibilidad de agua en las zonas de mayor interés geotérmico, especialmente en el sector Sur del Volcán Mombacho;
- cercanía a las principales líneas de transmisión eléctrica;
- presencia en la zona de interés de una subestación eléctrica relacionada con Laguna de Apoyo;
- cercanía a las ciudades de Masaya-Granada-Nandaime, con todas las ventajas de tipo logístico;
- cercanía al mayor mercado eléctrico nacional (Managua);
- bajo potencial de conflictos de carácter social, en el sector del Volcán Mombacho; y
- no se anticipa problemas ni costos importantes derivados de la atenuación adecuada de los potenciales impactos ambientales negativos.

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- presencia del Parque Nacional Volcán Masaya y otras áreas protegidas, con la posibilidad de futuras ampliaciones de las mismas;
- potencial de conflicto con el uso actual de la tierra, en el sector de la Caldera de Apoyo;
- potencial de impactos ambientales adversos en ciertas zonas del sector del Volcán Mombacho;



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- posibles dificultades en la construcción de sitios y caminos en ciertas partes del sector del Volcán Mombacho;
- riesgo volcánico y sísmico (de una magnitud que es común en la mayoría de las áreas geotérmicas localizadas en regiones volcánicas activas); y
- riesgos de tipo geológico adicionales en el sector del Volcán Mombacho, principalmente el riesgo de deslizamiento o derrumbe.

La información disponible indica que en la zona cercana a la Laguna de Apoyo hay importantes geotérmico, y sugiere que también puede ser atractivo proseguir con investigaciones adicionales en el área del Volcán Mombacho. Por lo tanto, el área de Masaya-Granada-Nandaime es una de las dos áreas para las cuales se elaboraron especificaciones detalladas para realizar estudios relacionados con la etapa de factibilidad (ver Anexo K del Volumen I del Estudio Plan Maestro). A pesar de esto, el análisis de los datos existentes del área indica que la etapa de investigaciones de pre-factibilidad no se encuentra completa. Se requiere de investigaciones adicionales antes de poder seleccionar sitios para los pozos de exploración profunda.

En el sector de la Laguna de Apoyo, será necesario contemplar las siguientes actividades para completar la etapa de pre-factibilidad (asumiendo un escenario en el cual el objetivo final es el de desarrollar un proyecto geotérmico de 20 MW o más):

- Estudios geoelectrónicos, con una densidad de estaciones entre moderada y alta.
- Estudios gravimétricos.
- Perforaciones para investigación del gradiente de temperatura (hasta profundidades de 250 a 300 cm), con un costo aproximado de \$800,000 para 10 o 12 agujeros; y/o perforación de pozos exploratorios de diámetro reducido hasta profundidades de 1,000 a 1,500 m, con un costo aproximado de \$2,100,000 para dos pozos.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Investigaciones complementarias: geología detallada, y otros tipos de exploración geofísica.
- Análisis completo y síntesis de los resultados para seleccionar sitios iniciales para perforación profunda exploratoria, más la administración, estudios ambientales y factores logísticos.

Para confirmar la factibilidad de la explotación del recurso se debe programar la perforación de dos pozos exploratorios profundos, uno para producción y otro para inyección (o solamente dos pozos de producción si la inyección ha sido previamente confirmada por medio de los pozos de diámetro reducido). El costo de esta perforación (con pruebas y evaluación) se estima en unos \$4,570,000.

Incluyendo los costos de diseño preliminar de instalaciones, administración, reportes y estudios ambientales se estima un presupuesto total de uno \$9,000,000 para completar la pre-factibilidad y confirmar la factibilidad, durante un periodo de dos años y nueve meses, si se perforan pozos de gradiente de temperatura y pozos de diámetro reducido antes de la perforación de pozos de diámetro comercial.

En el sector del franco Sur del Volcán Mombacho, la naturaleza del sistema geotérmico todavía no se conoce lo suficientemente bien como para pronosticar un escenario detallado de desarrollo. Las opciones posibles incluyen la exploración y desarrollo de un recurso potencial de alta temperatura, o desarrollo de un sistema más somero de fluidos de menor temperatura. Una combinación de investigaciones geofísicas de detalle y la perforación de pozos de diámetro reducido para la investigación del gradiente de temperatura podría ser necesaria para la primera opción. Esto resultaría en un escenario similar al descrito para la pre-factibilidad de la zona de la Laguna de Apoyo. Los costos totales serían similares, aunque posiblemente un poco más altos si



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

se llegaran a requerir mayores esfuerzos de exploración. El presupuesto total se estima en unos \$2,300,000, durante un periodo de diez meses.

La segunda opción puede ser atractiva para aplicaciones inmediatas en las cuales resulten adecuadas las temperaturas de fluidos con menos de 100° C. El acuífero o acuíferos termales que se extienden hacia el Sur del volcán se podrían investigar directamente mediante la perforación de uno o más pozos exploratorios, los cuales pueden luego ser utilizados como pozos de producción en el evento de que los mismos resulten exitosos, minimizando así el costo final del desarrollo.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

1. DESCRIPCION DEL AREA

1.1 Localización

El área de Masaya-Granada-Nandaime se localiza en el extremo NO del Lago de Nicaragua (Cocibolca) y, conforme al propio nombre, incluye toda la región comprendida entre las ciudades de Masaya, Granada y Nandaime (**Figura X-1.1**). Las ciudades menores y los principales poblados incluidos en el área son: Jinotepe, Diriamba, San Marcos, Masatepe, Catarina, San Juan de Oriente, Diriá y Diriomo. La ciudad de Managua se localiza pocos kilómetros al NO del área.

La mayor parte del área del estudio está localizada en los Departamentos de Masaya y Granada; sin embargo, incluye una pequeña parte del Departamento de Carazo. Los municipios incluidos parcialmente o completamente en el área son numerosos. Los principales son: Catarina, La Concepción, Masatepe, Masaya, Nandasmo, Nindirí, Niquinohomo, San Juan de Oriente y Ticuantepe (Departamento de Masaya); y Diriá, Diriomo y Granada (Departamento de Granada).

La carretera Panamericana (**Figura X-1.1**) cruza toda el área en sentido NO-SE y representa la principal vía de comunicación con la capital Managua, hacia al N, con la ciudad de Rivas hacia al S y con los países limítrofes de Honduras hacia al N y Costa Rica hacia al S. Otras importantes vías de comunicación que cruzan el área son: la Carretera Nacional No. 4, que conecta Granada con Masaya y Managua; la Carretera Nacional No. 6, que une Granada y Nandaime; la Carretera Nacional No. 11, que une Masaya con Tipitapa hacia al N; y la Carretera Nacional No. 18 que va de Catarina a San Marcos (**Figura X-1.1**). Además de estas carreteras, existen varios caminos secundarios, a menudo no pavimentados, que conectan con la red vial principal todos los poblados menores dispersos en la zona.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

El área Masaya-Granada-Nandaime incluye un amplio sector de la Cordillera Volcánica Cuaternaria, representado por el complejo volcánico de Masaya, la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho (ver **Figuras X-1.1 y X-1.2**).

1.2 Extensión del Área

Los estudios efectuados anteriormente para la exploración de recursos geotérmicos en esta área han abarcado diferentes sectores, en parte sobrepuestos, que en su conjunto cubren una superficie total de aproximadamente 1,100 km². Entre 1981 y 1982, la compañía ELC-Electroconsult efectuó un estudio de prefactibilidad incluyendo una superficie de 500 km², centrada alrededor de Diriomo, ubicado 12 km al SO de Granada, y al final identificó un área de interés prioritario de aproximadamente 70 km², que se extiende a lo largo de la Cordillera Volcánica entre la Laguna de Apoyo y el Volcán Mombacho.

A los fines del presente estudio se tomó en consideración todo el sector con vulcanismo reciente que incluye los edificios volcánicos de Masaya, Apoyo y Mombacho. Se concentraron los estudios de campo nuevos principalmente sobre el Volcán Mombacho y en el sector al S de éste, ya que el nivel de investigación alcanzado en esta zona era menor que el de los otros sectores del área.

Esta área se ubica dentro de los mapas 1: 50,000 de INETER cuales son denominados: Nindirí (2952-II), Malacatoya (3052-III), Masaya (2951-I), Granada (3052-IV), Nandaime (2951-II) y Isla Zapatera (3051-III).

1.3 Características Fisiográficas

El área de estudio se caracteriza en general por una morfología suave, con laderas de poca pendiente (como de 20 m por km) que descienden hacia los lagos de Managua y de Nicaragua.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Las calderas de Masaya y Apoyo y del Volcán Mombacho, el cual es un imponente cono de 1,344 m de elevación, cruce el área del NO al SE y son parte del eje volcánico del país (ver **Figura X-1.1**).

El complejo volcánico de Masaya, ubicado en el extremo NO del área de estudio, presenta una amplia caldera, de 11 km de largo por 6 km de ancho, ocupada en su extremo SE por la Laguna de Masaya. La Caldera de Apoyo es otra estructura volcánica de colapso, de 6 a 7 km de diámetro, formada después de una serie de erupciones. Es una depresión con paredes de 350 m de altura en promedio, que contiene en el fondo a la Laguna de Apoyo.

El Volcán Mombacho es un estrato volcán de 1,344 m de elevación, cortado al NE y al S por grandes cárcavas derivadas de enormes deslizamientos de roca, uno de los cuales originó las Isletas de Granada en el Lago de Nicaragua, que lo limita por el lado E. Por el lado S el cráter del volcán se encuentra abierto a causa de un enorme derrumbe que dispersó una gran cantidad de detritos y bloques lávicos en la ladera del mismo y en la planicie más al S, cubriendo un área de más de 40 km² y dando lugar a varias lagunas, por ejemplo: Juan Tallo, Verde, El Cacho y Blanca (**Figura X-1.1**, ver también la **Figura X-3.6**)

Con exclusión de los edificios y calderas volcánicas, toda el área es bastante poblada, sobre todo en correspondencia de las ciudades principales de Granada, Masaya, Nandaime y Jinotepe y zonas aledañas. En las amplias zonas con morfología suave que se extienden alrededor de los edificios volcánicos, se encuentra población dispersa en pequeños poblados y comarcas rurales, que se dedican a actividades agrícolas. En el macizo del Volcán Mombacho la población es muy reducida y limitada a los moradores de las haciendas cafetaleras que ocupan varias porciones de sus laderas.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Buena parte del territorio está ocupado por actividades agrícolas y ganaderas. Las condiciones climáticas relativamente frescas y húmedas de los relieves volcánicos, favorecen la producción de frutas, maíz y frijoles, que son a menudo cultivados en pequeñas parcelas manejadas a nivel familiar. No faltan, sin embargo, actividades de tipo agroindustrial, especialmente en la zona inmediatamente al N de Masaya y Granada y en el sector de Nandaime, donde existen importantes cultivos de maíz, sorgo y arroz. En las laderas del Volcán Mombacho y en la zona de Jinotepe es muy común el cultivo del café. Las actividades ganaderas son también bastante desarrolladas, especialmente en la zona de Nandaime y al S del Volcán Mombacho.

La vegetación originaria del área ha sido bastante afectada por la intervención humana, de tal manera que la cobertura boscosa actual es drásticamente reducida. Las principales causas de este fenómeno han sido la extracción de madera preciosa y de leña, las cuales tienen mucha demanda en las ciudades cercanas, y la deforestación por fines agrícolas. En el macizo del Volcán Mombacho y al interior de las calderas volcánicas todavía existen importantes extensiones de bosque en condiciones naturales.

El clima general del área es de clasificación tropical (FUNDENIC-SOS, 1999), con precipitaciones medias anuales alrededor de los 1,200-1,300 mm (INETER, 1997b). Las precipitaciones son principalmente concentradas en la estación lluviosa, la cual abarca el período entre mayo y octubre y es frecuentemente irregular. La temperatura media anual (INETER, 1997^a) varía desde los 27.5°C en las zonas más bajas entre Masaya y Granada hasta unos 25°C en los relieves volcánicos alrededor de la Laguna de Apoyo. En la cumbre del Volcán Mombacho existen condiciones climáticas particulares, más frescas y húmedas, que han favorecido la formación de espeso bosques de tipo nubliselva.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE

2.1 Concesiones

No existe ninguna concesión geotérmica vigente sobre el área bajo examen, y tampoco han sido pedidos permisos de reconocimiento geotérmico.

Según información proporcionada por el Instituto Nicaragüense de Energía (INE), la empresa ORMAT International solicitó, en 1998, una Concesión de Exploración de Recursos Geotérmicos en la zona al NO del Volcán Mombacho, pero el trámite no ha tenido seguimiento y, hasta la fecha, no hubo ninguna resolución al respecto.

2.2 Trabajos de Exploración

2.2.1 Estudios Existentes

El área Masaya-Granada-Nandaime ha sido objeto de evaluación durante todos los estudios generales efectuados en los últimos 30 años sobre los recursos geotérmicos de Nicaragua. Estos fueron principalmente los realizados por la compañía Texas Instruments, Inc. (1970), el consorcio IECO-Lahmeyer (1980), OLADE (1981), ELC-Electroconsult S.p.A. (1982) y la Société de Prospection et d'Etudes Géothermiques (S.P.E.G., 1983).

Los resultados de los estudios efectuados en el ámbito del Plan Maestro Energético realizado por IECO-Lahmeyer en 1978-1980, tuvieron conclusiones muy alentadoras acerca de esta área, así que el Gobierno de Nicaragua decidió seguir con las actividades de exploración y, en 1981, el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) encomendó a la compañía ELC-Electroconsult la ejecución de un estudio de prefactibilidad. Los resultados de este nuevo estudio no confirmaron el entusiasmo generado por las anteriores evaluaciones de IECO-Lahmeyer, así que el INE



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

encargó un estudio geofísico adicional a la compañía S.P.E.G. Este confirmó básicamente las conclusiones de ELC-Electroconsult, pero al final enfocó el interés sobre una zona prioritaria distinta de aquella identificada por ELC-Electroconsult. Sucesivamente las investigaciones fueron suspendidas debido a la falta de financiamiento y a la concentración de los esfuerzos del INE en el desarrollo del Campo Geotérmico de Momotombo.

En la literatura se encuentran además estudios realizados por varios investigadores, tales como McBirney *et al.* (1965), OLADE (1981), Hradecky (1998), van Wyk de Vries (1993), Weinberg (1992), Ui (1972), Walker *et al.* (1993) y Sussman (1985), los cuales incluyen informaciones geológicas y vulcanológicas sobre los edificios volcánicos presentes en el área, que tienen cierto interés a los fines de la exploración geotérmica.

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

Texas Instruments, Inc., 1970

El trabajo de Texas Instruments parece ser el primer estudio orientado a determinar la existencia de recursos geotérmicos en el área Masaya-Granada-Nandaime. Este fue ejecutado para el Gobierno de Nicaragua dentro del “Proyecto de Recursos Geotérmicos-Etapa I” y tuvo como objetivo localizar y evaluar las zonas termales del país, entre las cuales fue incluida la zona del Volcán Mombacho.

Las investigaciones de Texas Instruments en el Volcán Mombacho fueron muy sencillas, ya que al final los resultados se concretaron a señalar que la estructura volcánica es inactiva y que el cráter principal presenta fumarolas en la pared N, a 1,200 m de altura. También señalaron la



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

presencia de fluidos termales en el cráter que está en la cima del volcán, e identificaron las manifestaciones termales en las faldas NE y SE del mismo.

Puesto que el área del Volcán Mombacho no fue estudiada con suficiente detalle, la conclusión de Texas Instruments sobre esta zona fue en el sentido de no haber podido determinar el potencial geotérmico del volcán, e indicar que para su tiempo el área no era favorable para el desarrollo de un potencial geotérmico.

IECO-Lahmeyer, 1980

En 1978 la compañía IECO-Lahmeyer llevó a cabo investigaciones de reconocimiento en un área de 3,000 km², alrededor de la Sierra de Los Marrabios y entre la Península de Chiltepe y el Volcán Mombacho, con el objetivo de localizar en áreas de vulcanismo reciente, yacimientos geotérmicos factibles y económicamente explotables. Este estudio realizado como parte del Plan Maestro de Desarrollo Eléctrico 1977-2000, que IECO-Lahmeyer ejecutó para la Empresa Nacional de Luz y Fuerza (ENALUF), cubrió con estudios de geología, geoquímica y geofísica una extensión de aproximadamente 750 km², en el área Masaya-Granada-Nandaime.

Las primeras investigaciones geofísicas realizadas en el área por IECO-Lahmeyer fueron parte de un estudio geoeléctrico regional del cual posteriormente derivó una área menor, denominada Jinotepe-Masaya-Nandaime, donde fueron realizados estudios de mayor detalle. Los métodos geoeléctricos usados en el estudio regional involucraron sondeos magnetotelúricos, audiomagnetotelúricos, telúricos de “vector roving” y dipolares. En la etapa de detalle, los métodos fueron de resistividad con dipolo “roving”, sondeos dipolares ecuatoriales, sondeos electromagnéticos de fuente controlada y sondeos Schlumberger ecuatoriales modificados.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Los sondeos geoelectricos permitieron identificar dos grandes áreas anómalas de alta conductancia longitudinal separadas por un resistivo central en la zona de los volcanes Santiago y Masaya y de las calderas Masaya y Apoyo. Las áreas conductivas se localizaron una entre Masatepe, Diriomo, Nandaime y Diriamba, y otra al N de la Laguna de Apoyo, entre Masaya, Granada y Tipitapa, siendo la más importante desde el punto de vista geotérmico la primera.

El área limitada por Masatepe, Diriomo, Nandaime y Diriamba fue considerada ser la más atractiva para realizar los estudios geoelectricos de detalle, debido a los altos valores registrados en la conductancia, a su cercanía con volcanes recientes y activos, a la existencia de un graben inferido por gravimetría en el subsuelo y a las altas temperaturas calculadas con geotermometría.

Las investigaciones de detalle posteriormente se realizaron en un área de 200 km² y según IECO-Lahmeyer señalaron cuatro zonas con posibilidades de yacimientos geotérmicos en el subsuelo.

Tomando en cuenta estos resultados, IECO-Lahmeyer presentó la localización de 7 pozos de gradiente térmico para ser perforados a 700 m de profundidad.

OLADE, 1981

OLADE, en 1981, financió la ejecución de un “Estudio de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua”, el cual fue llevado a cabo por la compañía Geotermica Italiana srl. y fue basado en investigaciones vulcanológicas, hidrogeológicas, geofísicas y geoquímicas que cubrieron toda la Cordillera Volcánica Cuaternaria.

Este estudio, además de describir en términos generales la geología de la parte occidental de Nicaragua, presenta una reseña de las principales formaciones geológicas y de los lineamientos estructurales, así como un análisis de toda la actividad volcánica a lo largo de la Cordillera



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Cuaternaria. Los estudios geofísicos fueron limitados a una evaluación de la información proporcionada por las anteriores investigaciones de IECO-Lahmeyer.

El trabajo hidrogeoquímico incluyó un amplio muestreo de manifestaciones termales, manantiales y pozos someros en toda el área y definió la presencia de zonas con diferentes tipos químicos de aguas. Las conclusiones sugirieron la presencia de un recurso hidrotermal con temperaturas no superiores a los 160°C en la zona alrededor de la Caldera de Apoyo. El estudio considera sin embargo que este recurso sea relativamente somero y que acuíferos de más alta temperatura pueden encontrarse a profundidades mayores.

ELC-Electroconsult, 1982

Las investigaciones de ELC-Electroconsult en el área de Masaya-Granada-Nandaime se llevaron a cabo entre 1981 y 1982, y correspondieron a un estudio de prefactibilidad cuyo objetivo fue definir si existían las condiciones para la presencia de un yacimiento geotérmico y, de ser esto así, programar las siguientes actividades exploratorias. El estudio de prefactibilidad se llevó a cabo mediante un acuerdo entre el Gobierno de Nicaragua y ELC-Electroconsult S.p.A, con la estrecha participación de personal de la División de Recursos Geotérmicos del Instituto Nicaragüense de Energía (INE).

Los trabajos de ELC-Electroconsult consistieron de investigaciones geovolcanológicas, hidrogeológicas, geoquímicas, geofísicas y prospecciones de radón y de mercurio en suelos, en un área de 500 km² entre Ticuantepe al NO y el Río Ochomogo al SE, centrada en la población de Diriomo, ubicada 40 km al SE de Managua y 12 km al SO de Granada.

El estudio geovolcanológico, que abarcó un área mayor (1,330 km²), incluyó la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, el mapeo de campo, el análisis petrográfico de 115



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

láminas delgadas de rocas y el análisis químico de varias rocas. El estudio hidrogeológico consistió en una evaluación cualitativa de las características hidrogeológicas de las rocas aflorantes y su correlación con los datos meteorológicos e hidrogeológicos obtenidos en trabajos previos. La geoquímica consistió en la recolección y análisis de muestras de aguas calientes y frías, cuyos resultados se estudiaron conjuntamente con los análisis de varias muestras recolectadas previamente por IECO-Lahmeyer y el INE. La prospección de radón se basó en el método de trazas de fisión y el estudio de mercurio incluyó el muestreo y análisis de muestras de suelos. La prospección geofísica se llevó a cabo con un levantamiento gravimétrico y la ejecución de sondeos eléctricos verticales con el dispositivo Schlumberger.

El informe de síntesis elaborado en base a estas actividades señala que la combinación de los resultados de las investigaciones permitió la definición de una zona de interés geotérmico con extensión de 70 km², al O, S y SE de la Caldera de Apoyo, y recomendó su exploración con pozos de gradiente térmico. El objetivo de los pozos supuestamente fue investigar posibles yacimientos someros y profundos en la zona de interés geotérmico y en una anomalía de radón y mercurio detectada en el flanco O del Volcán Mombacho.

Société de Prospection et d'Etudes Géothermiques (S.P.E.G.), 1983

Las investigaciones que la Société de Prospection et d'Etudes Géothermiques realizó en 1983 en el área Masaya-Granada-Nandaime se llevaron a cabo dentro del marco de un Contrato de Asistencia Técnica con el Instituto Nicaragüense de Energía y tuvieron como propósito incrementar el conocimiento de la zona de interés geotérmico y, de ser posible, ubicar pozos exploratorios. El área investigada se ubicó entre Masaya, Diriomo, Nandaime, el Lago de Nicaragua, el Volcán Mombacho y Granada, con una extensión de 300 km² aproximadamente.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Las exploraciones fundamentalmente fueron geofísicas y consistieron de sondeos magnetotéluricos (M.T.-5-E.X.) y sondeos electromagnéticos SOFREM. El método M.T.-5-E.X. se utilizó en la detección de capas profundas en el subsuelo, y el SOFREM de las capas someras en tres perfiles ubicados al SO de Granada, al S del Volcán Mombacho y al NO de la Laguna de Apoyo.

Los levantamientos geofísicos de la Société de Prospection et d'Etudes Géothermiques prácticamente ratificaron las anomalías detectadas por IECO-Lahmeyer. Una mayor cantidad de estaciones de sondeo en algunas zonas, permitió definir con mayor precisión las anomalías de alta conductancia y en algunos casos incluso las extendió y en otros sólo las detectó parcialmente. Las investigaciones además permitieron la identificación de una anomalía de alta conductancia al E de la Laguna Juan Tallo, hacia al S del Volcán Mombacho. Analizada la información vulcanológica y geoquímica, S.P.E.G. consideró “razonable” realizar una perforación exploratoria en esta última zona (aunque esta perforación no fue realizada).

2.2.2 Estudios del Plan Maestro-2000

Los estudios efectuados sobre el área Masaya-Granada-Nandaime, conforme a los términos de referencia del Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua, incluyeron las siguientes actividades:

- Recolección de toda la información geológica, vulcanológica, hidrogeológica, geoquímica, geofísica, ambiental existente sobre el área, con inclusión de fotografías aéreas e imágenes de satélite.
- Análisis detallado de los datos reunidos y preparación de un modelo conceptual preliminar.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Realización de estudios geovulcanológicos, estructurales, geoquímicos, hidrogeológicos, geofísicos, ambientales, y evaluación de las condiciones logísticas e infraestructurales del área.
- Análisis e integración de los datos obtenidos en las investigaciones complementarias, con los datos recuperados previamente.
- Estimación del potencial energético en el área estudiada.
- Evaluación técnico-económica para determinar si existen condiciones favorables para un estudio de factibilidad y posterior desarrollo geotérmico.

Habiendo estado sujeta el área Masaya-Granada-Nandaime a estudios previos de reconocimiento y prefactibilidad geotérmicos, la recopilación de los datos existentes permitió reunir gran cantidad de información local y regional, con lo cual se elaboró una síntesis de las condiciones geológicas del área y se llevó a cabo la integración de un modelo conceptual preliminar. Comparando este modelo con los del resto de las áreas involucradas en el Plan Maestro, se decidió seleccionarla entre las no concesionadas a exploración o explotación geotérmica para realizar en ella, además de otros estudios geocientíficos, varios sondeos magnetotelúricos que permitiesen definir con mayor detalle la geología y la posible presencia de fluidos geotérmicos en el subsuelo.

Geología- Vulcanología

Las investigaciones geológicas, geovulcanológicas y estructurales complementarias, apoyadas en la información recopilada, se llevaron a cabo mediante la interpretación de fotografías aéreas a escala 1:40,000 (serie de INETER 1996) y reconocimientos de campo. La fotointerpretación



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

tuvo como propósito diferenciar las unidades litológicas aflorantes, los principales rasgos volcánicos (cráteres, calderas, domos, conos cineríticos, flujos de lavas) las estructuras de falla y las rocas de alteración. En este proceso se trató de individualizar los centros de actividad volcánica y determinar cualquier posible relación que pudiesen tener las manifestaciones termales con ellos.

Con base en la interpretación de fotografías aéreas y la información recopilada se elaboró un plano geológico-estructural y vulcanológico del área, en el cual se señalaron estructuras de falla, centros volcánicos, flujos de lava, zonas de deslizamientos y las diversas unidades litológicas por comprobar con reconocimientos de campo. Los reconocimientos de campo tuvieron el objetivo de ratificar y/o rectificar la interpretación fotogeológica realizada en la oficina y el de determinar la posible secuencia estratigráfica en el subsuelo, incluso con la identificación de formaciones geológicas aflorantes varios kilómetros fuera del área de interés geotérmico.

Especial atención se dio al conocimiento de los principales aspectos vulcanológicos del complejo de Masaya, de la Caldera de Apoyo y del Volcán Mombacho, así que además de estudiar la información recopilada sobre estos centros volcánicos, los reconocimientos se llevaron a cabo con mayor detalle en ellos. Durante las actividades de campo se tomaron muestras de rocas para la ejecución de estudios petrográficos y la determinación de edades absolutas con el método de la termo-luminiscencia. Dos de las muestras se escogieron para determinar las edades de los flujos lávicos del Mombacho supuestamente más reciente y antiguo. Los resultados de estos estudios se presentan en Anexo B.

Geoquímica



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

La investigación geoquímica en el área se llevó a cabo revisando y estructurando la base de datos de toda la información obtenida en estudios geoquímicos previos, para programar con cierta estrategia los muestreos adicionales. De esta manera, se obtuvieron muestras complementarias de varios pozos de agua de manantiales calientes y fríos y de fumarolas en el Volcán Mombacho y sus alrededores.

Las muestras de agua en el momento de su recolección se procesaron en el campo con un filtrado parcial, dilución parcial y una acidificación. En el registro de cada muestra se anotó su localización, temperatura, flujo, conductividad eléctrica, pH y a veces algunos datos sobre la geología del sitio. Las muestras ya en el laboratorio se analizaron para determinar Ca, Mg, Na, K Li, Sr, Fe, Cl, SO₄, alcalinidad y HCO₃, CO₃, B, SiO₂ y F así como los isótopos deuterio, ¹⁸O y ³H que son de utilidad en la elaboración de modelos geotérmicos. También se recolectaron muestras de gases y se procesaron para concentrar los componentes ácidos (CO₂ y H₂S) y facilitar el análisis de los componentes no ácidos. Los resultados de los análisis se integraron con los obtenidos previamente en otros trabajos y se estudiaron mediante la combinación de métodos computacionales y gráficos (ver Anexo A).

Hidrología

Los estudios hidrogeológicos se llevaron a cabo a la par con los estudios geológicos y geoquímicos. Apoyados en investigaciones previas, se determinaron las cuencas hidrográficas e hidrogeológicas que comprende el área Masaya-Granada-Nandaime. Las características geohidrológicas de las rocas identificadas o inferidas tanto en la superficie como en el subsuelo fueron la base para determinar las zonas de recarga y descarga de los acuíferos. Se hicieron observaciones en el campo de las características de aguas superficiales, a fin de complementar la información existente.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

El inventario de manantiales y pozos de agua, acompañado de datos sobre los niveles hidrostáticos, características químicas e isotópicas del agua y temperaturas, así como la información geológica y geofísica relacionada con la estratigrafía, la tectónica y otros rasgos estructurales que afectan al área, permitieron la elaboración del modelo hidrológico que pretende señalar el movimiento del agua en el subsuelo, y su posible relación con la actividad hidrotermal, en el área de Masaya-Granada-Nandaime.

Geofísica

La investigación geofísica del área Masaya-Granada-Nandaime se debió al hecho de que al analizar la información recopilada de estudios previos, resultó ser una de las “no concesionadas” que presentaba condiciones favorables para un posible desarrollo geotérmico. De esta manera y considerando que una zona amplia ya había sido estudiada por IECO-Lahmeyer, ELC-Electroconsult y la Société de Prospection et d’Etudes Géothermiques, GeothermEx programó la exploración del Volcán Mombacho y de un área de 31 km² al S del mismo volcán.

Las investigaciones consistieron en la ejecución de 54 sondeos magnetotelúricos (MT) programados para alcanzar profundidades efectivas mayores de 2,500 m, los cuales fueron complementados con 32 sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM), cuyo propósito fue corregir los datos MT del static shift ocasionado por inhomogeneidades y la topografía del terreno en las mediciones del campo eléctrico al hacer los levantamientos.

Puesto que los estudios geofísicos previos señalaron una anomalía de interés geotérmico al S del Volcán Mombacho, concretamente al E de la Laguna de Juan Tallo, 44 sondeos MT se ubicaron alrededor de dicha anomalía con el propósito de ratificarla y además precisar sus límites y profundidad. Una línea N-S de 8 sondeos MT cruzó el volcán por su cima, y otros dos sondeos



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

se localizaron en el flanco NE del mismo, cerca de las manifestaciones termales en el deslizamiento que dio lugar a las Isletas de Granada.

Para el control de los sondeos MT, durante el levantamiento se operó una estación MT remota de referencia ubicada 20 km, aproximadamente, al S del Volcán Mombacho y 4 km fuera de la carretera Granada-Rivas. Los datos de los sondeos se procesaron dentro de las 24 horas después de haberse obtenido los datos de campo, para determinar la calidad de la información y, de ser necesario, repetir los sondeos en los que el ruido hacía imposible o difícil su interpretación.

El procesado definitivo de los datos lo llevó a cabo en su oficina matriz el contratista geofísico, quien realizó la recolección de datos en el campo. La misma compañía elaboró:

- Un mapa con la configuración de la elevación de la cima del estrato conductor profundo, basado en la inversión unidimensional (1-D) de los datos MT.
- Mapas con la configuración de resistividades a diferentes profundidades.
- Mapas con la configuración de la conductancia total a tres profundidades.
- Modelos en 2-D de 5 secciones verticales.

GeothermEx efectuó una revisión detallada de los resultados finales de los sondeos MT, los cuales se analizaron juntos con los datos de otras fuentes, incluyendo, principalmente, la información relacionada con la geología y hidrología subterránea. Este análisis de la estructura de resistividad en 3 dimensiones se utilizó para investigar su correlación con la estratigrafía local, y para identificar zonas de resistividad anómala que pueden ser relacionados con actividad geotérmica.

Estudios Ambientales



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Por lo que respecta a los estudios ambientales éstos consistieron en la obtención de información del marco regulatorio ambiental de Nicaragua. Uno de los aspectos que se enfocaron con mayor atención fue el determinar si algunas zonas del área en estudio se encuentran parcialmente o totalmente dentro de Zonas Protegidas o de Reservas Naturales. Además se recolectaron datos de las condiciones ambientales en la zona, tales como datos de clima, del uso de la tierra, de flora y fauna, y de las características y condiciones de los cuerpos principales de agua.

Durante los trabajos de campo el personal técnico del Estudio Plan Maestro obtuvo datos sobre los cuerpos de agua, de la flora y fauna y del uso de la tierra. La obtención de estos datos permitió evaluar la relación que pudiese tener el desarrollo geotérmico en el área con el medio ambiente. En este contexto se analizaron los posible beneficios y daños que un proyecto geotérmico pudiese ocasionar al medio ambiente.

Estudios de Logística e Infraestructura

Igual que en el caso de los estudios ambientales, el estudio de las condiciones logísticas e infraestructurales en el área de Masaya-Granada-Nandaime se inició con la recolección de la información disponible, que se complementó con observaciones realizadas durante la ejecución de las investigaciones de campo en otras disciplinas. Estos datos se revisaron y analizaron para determinar las condiciones logísticas que pudiesen influir en la exploración y el desarrollo geotérmicos.

Los principales datos recolectados y analizados se refirieron a:

- Localización y condición de carreteras principales y de acceso al área



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Condiciones del terreno y del uso de la tierra que pudieran afectar los esfuerzos de exploración y desarrollo
- Posibles fuentes de suministro de agua
- Disponibilidad de bienes y servicios que se pudieran requerir para el desarrollo
- Localización del área con respecto a líneas de transmisión eléctrica.

2.3 Perforación de Exploración y de Desarrollo

Las investigaciones geotérmicas efectuadas hasta la fecha en el área de Masaya-Granada-Namdaime han sido esencialmente de tipo geocientífico, sin involucrar ningún trabajo de perforación.

Cabe mencionar que las investigaciones de IECO-Lahmeyer, ELC-Electroconsult y la Société de Prospection et d'Etudes Géothermiques en sus conclusiones recomendaron la perforación de pozos exploratorios en diferentes zonas con anomalías geocientíficas según sus observaciones.

IECO-Lahmeyer recomendó tres opciones de 7 pozos de gradiente térmico a profundidades mayores de 700 m. ELC-Electroconsult propuso la perforación de 10 pozos de gradiente a 300-500 m de profundidad, dispersos en un área de 70 km². Finalmente, la Société de Prospection et d'Etudes Géothermiques recomendó “emprender un sondeo de exploración sobre una de las estaciones 69 y 70”, localizadas 4.5 y 2.5 km, respectivamente, al O de la Laguna de Juan Tallo.

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.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

2.5 Estado Actual

En el área Masaya-Granada-Nandaime no se reporta ningún tipo de actividad corriente relacionada con la exploración, el desarrollo o la explotación de recursos geotérmicos. El nivel de información disponible y el conocimiento de las condiciones geológicas locales, particularmente en ciertas zonas del área, 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.

Como se menciona en la Sección 2.2.1, fue efectuada en 1981 en el área de Masaya-Granada-Nandaime una investigación contratada por el INE, la cual fue denominada un estudio de prefactibilidad. Sin embargo, los resultados de dicho estudio no llevaron el conocimiento del área hasta el punto de poder definir los detalles de un estudio de factibilidad, según los criterios normalmente aceptados. En particular, las conclusiones del estudio parece no haber permitido la localización de los primeros pozos profundos en ningún sector del área. Al contrario, uno de los resultados principales fue la recomendación de perforar unos pozos de gradiente térmico, a fin de complementar los estudios anteriores, como la próxima etapa de la exploración. Los informes de las otras investigaciones principales del área presentan conclusiones parecidas.

Las investigaciones efectuadas como parte del Estudio Plan Maestro indican también que en ninguna zona de Masaya-Granada-Nandaime se ha cumplido con los criterios de prefactibilidad, aunque el nivel de conocimiento de la región ya alcanzado es más avanzada que en algunas otras áreas estudiadas por el Estudio Plan Maestro. Por lo tanto, se considera que el área de Masaya-



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576

FAX: (505) 222-4629

www.cne.gob.ni

Granada-Nandaimé ha terminado únicamente su etapa de reconocimiento, y que queda pendientes todavía algunas actividades adicionales para alcanzar el nivel de prefactibilidad.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

3. REGIMEN GEOLOGICO-VULCANOLOGICO-HIDROGEOLOGICO

3.1 Marco Geológico

3.1.1 Marco Geológico Regional

Aspectos Generales

El área de Masaya-Granada-Nandaime 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 en el margen SO 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 X-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, con inclusión de los complejos volcánicos de Masaya, Apoyo y Mombacho.

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 X-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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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 Coyol, 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 Coyol (Mio-Plioceno). El Grupo Matagalpa se compone por flujos piroclásticos, principalmente ignimbríticos, con asociadas lavas de diferente composición y rocas volcano-sedimentarias. El Grupo Coyol, 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 ignimbritas 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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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”.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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 X-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” en inglés). 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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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 presentado en la **Figura X-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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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. 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.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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 vulcanismo fisural explosivo. En correspondencia de esta zona de contacto, 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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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 nicaragüenses, 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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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 escudos-volcánicos 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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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 volcanes a escudo 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

En el ámbito del contexto regional descrito en la sección anterior, el área de Masaya-Granada-Nandaime se ubica en el segmento de Cordillera Volcánica Cuaternaria definido Nicaragua Oriental e incluye el complejo volcánico de Masaya (caldera de Masaya, Volcán Masaya y Volcán Santiago), la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho. Los edificios volcánicos cuaternarios yacen sobre los depósitos volcánicos más antiguas del Grupo Las Sierras, los cuales se extiende ampliamente alrededor del complejo volcánico de Masaya. Las principales elementos geológicos y vulcanológicos del área se describen a continuación y en la sección 3.2, y se presentan en el esquema geológico de la **Figura X-3.6**.

Estratigrafía

Las ignimbritas del Grupo Las Sierras son las rocas más antiguas aflorantes en el área de estudio y se encuentran principalmente al SO de la cadena volcánica desde la región O de Ticuantepe hasta el Río Ochomogo al S de Nandaime. Hacia el NE constituyen el basamento de los edificios volcánicos Cuaternarios cuyos productos ocupan gran parte del área comprendida en este estudio. Varios investigadores han concluido que los depósitos que componen el Grupo Las



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Sierras se originaron por actividad volcánica dentro de la zona del presente centro volcánico de Masaya.

Hradecky (1998) basado en el estudio de las secuencias piroclásticas en un área de 1,000 km² entre Managua, Tipitapa, Las Banderas, Granada y el S de Nandaime, nombró a los depósitos ignimbríticos Plio-Pleistocénicos como ignimbritas basales y las dividió en tres facies:

- La facies Tipitapa, que aflora en la planicie de este nombre entre los lagos de Managua y de Nicaragua y en las montañas al N de Tipitapa. Se trata de una ignimbrita gris con moderado contenido de fragmentos líticos finos y escasos fragmentos gruesos que a veces llegan a medir hasta 10 cm. Las ignimbritas se observan masivas y pseudo-estratificadas.
- La facies Las Sierras, que aflora en Las Banderas, al NE de Tipitapa y a lo largo de la Carretera Tipitapa-Las Banderas. Se trata de una ignimbrita con abundantes fragmentos líticos y escoria basáltica. En la base de la Caldera de Apoyo, en la orilla de la laguna, también se presentan estas ignimbritas.
- La facies Ochomogo, que se encuentra a lo largo de la Carretera Nandaime-Rivas, donde las ignimbritas son de color gris con líticos pequeños en cantidades moderadas.

En la pared NE de la Caldera de Apoyo afloran rocas piroclásticas y vulcano-clásticas del Grupo Las Sierras, debajo de lavas basálticas o andesíticas que se infiere fueron parte de un amplio edificio precaldérico en escudo. Sussman (1985) señala una edad de 1,360,000 a 870,000 años para estas rocas del Grupo Las Sierras en una columna litológica de la Caldera de Apoyo.

Las lavas y productos piroclásticos originados por la Caldera de Masaya y los volcanes descritos en ella, se han estudiado y reunido en el Grupo Masaya formado por varias capas de cenizas,



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

tobas y escorias que se encuentran alrededor de la caldera en un radio de 5 a 15 km cubriendo al Grupo Las Sierras y a flujos piroclásticos de la Caldera de Apoyo.

Los productos de la Caldera de Apoyo se encuentran ampliamente dispersos en el área de estudio especialmente al NE, E y S de la caldera; al N y O están cubiertos por depósitos más recientes provenientes del complejo de Masaya, uno de ellos datado entre 2,200 y 6,800 años atrás (Woodward Clyde Consultants, 1975).

Las rocas más antiguas que subyacen a los flujos lávicos del Mombacho se localizan al SE, al N del poblado de San José del Mombacho en las orillas del Lago de Nicaragua (Figura X-3.6, unidad Q1a). Se trata de lavas andesíticas y piroclastitas que se infiere son parte del complejo volcánico La Zapatera que se encuentra al SE. Se trata de un grupo de rocas volcánicas fracturadas y con fallas N-S con el lado descendente al O.

La presencia de ignimbritas del Grupo Las Sierras en la Caldera de Apoyo y en una amplia zona al O de Nandaime, permite inferir que debajo de la serie volcánica del Mombacho deben encontrarse dichas ignimbritas. Asimismo, la identificación de la Formación Brito subyaciendo al Grupo Las Sierras al S de Nandaime en las cercanías del Río Ochomogo, llevan a inferir que esta formación debe encontrarse también por debajo del Volcán Mombacho.

Estructura

Estructuralmente, el complejo de Masaya se encuentra en la intersección de la zona de debilidad cortical NO-SE de la cordillera volcánica, con la prolongación al S del sistema de fallas N-S de Cofradía, que constituye el borde oriental del Graben de Managua (ver descripciones mas detalladas del Graben y las fallas de Cofradía en los Volúmenes VIII y XI del Estudio Plan Maestro) .



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Las estructuras de falla en la zona de Apoyo son de dos tipos; las tectónicas NO-SE paralelas a las Depresión Nicaragüense y la cadena volcánica, y otras transversales N-S con desplazamientos verticales y con el lado O descendiendo. Dos fallas de este tipo se observan al S de la caldera cortando el borde de la misma al N del domo dacítico El Cerrito (uno de los domos de la unidad Qld de la **Figura X-3.6**). Otras fallas N-S se infieren al E de la Caldera de Apoyo, en el cráter de colapso La Joya y en el alineamiento de varios conos cineríticos (Conos de Granada, **Figura X-3.6**).

El Volcán Mombacho no se caracteriza por presentar evidencias de fallas o fracturas, sin embargo, se infiere que estructuras de rumbo N-S y NE-SO conjugadas con planos de estratificación y zonas de alteración hidrotermal, intervinieron en la formación de los deslizamientos que disectaron el volcán. Morfológicamente el volcán, aunque es bastante reciente, parece mostrar el flanco SE, E y NE ligeramente diferente que el NO, O y SO, como si el volcán se hubiese desarrollado en sus etapas finales más bien por estos últimos flancos.

El Volcán Mombacho puede haber tenido su origen en la intersección de la zona de debilidad cortical NO-SE con fallas transversas N-S. Este tipo de fallas se observa al SE del volcán en las andesitas antiguas del complejo Zapatera. Otras se infieren en el alineamiento de cráteres (maars) en La Joya y en también en el alineamiento de varios conos cineríticos en la planicie de Granada al N del Mombacho.

3.2 Actividad Volcánica

El área Masaya-Granada-Nandaime ha estado sujeta a procesos volcánicos desde el Plioceno a épocas recientes. El Grupo Las Sierras manifiesta que el vulcanismo cubrió un área muy amplia con depósitos de ignimbritas y aglomerados que en algunas partes tienen espesores mayores de 250 m. Sobre tales materiales se encuentra la serie de lavas y depósitos piroclásticos con



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

diversos espesores que se asocia genéticamente con el vulcanismo en el complejo de Masaya, en la Caldera de Apoyo y en el Volcán Mombacho.

El Complejo Volcánico de Masaya

El complejo de Masaya, que ocupa el sector NO del área de Masaya-Granada-Nandaime, es un centro volcánico compuesto por lavas basálticas y piroclastitas, afectado por un colapso caldérico de 11 km de largo por 6 km de ancho, con el eje mayor orientado NO-SE siguiendo la dirección del eje de la Cordillera Volcánica Cuaternaria. Según Hradecky (1998), la Caldera de Masaya es la más reciente de cuatro calderas que se formaron a partir del Pleistoceno Inferior con la caldera de Carazo, siguiendo en el Pleistoceno Inferior y Medio con La Estrella, en el Pleistoceno Medio con Las Nubes y finalmente, en el Pleistoceno Superior con la Caldera de Masaya. A cada caldera asocia a un proceso volcánico cuyos productos dieron lugar a grupos de rocas que definió Grupo Masaya, Grupo Las Nubes, Grupo La Estrella y Grupo Carazo, por su asociación genética con cada una de estas calderas.

En su interior, en la parte media NO, la Caldera de Masaya presenta un edificio casi circular, formado por los volcanes Masaya, al E, y Santiago (o Nindirí) con una estructura cónica integrada por diversos flujos de lava interestratificados con piroclásticos. El Volcán Masaya además de su cráter presenta una pequeña chimenea llamada San Juan. El Volcán Santiago (o Nindirí) por su parte presenta un cráter mas viejo central (cráter Nindirí) con otros dos cráteres laterales al SE y NO. El cráter Santiago, al SE, es más joven que el Nindirí y actualmente manifiesta una intensa actividad fumarólica con emisiones de gases volcánicos en cantidades muy grandes. El cráter San Pedro, al NO, es también más joven que el cráter Nindirí, pero es inactivo.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Alrededor de la estructura cónica de los volcanes Masaya y Nindirí, dentro y fuera de la caldera, el complejo Masaya presenta varios cráteres de colapso, pequeños conos y flujos de lavas básicas, de los cuales el más reciente ocurrió en 1992 y desbordó la caldera por el lado N. La tectónica N-S que afecta a la Depresión Nicaragüense y formó el Graben de Managua al N del complejo Masaya, parece haber favorecido la salida de magmas en el interior y al N de la caldera, donde se observa el alineamiento N-S de varios centros de emisión y lavas aún a distancias de 10 km del borde de la caldera.

La Caldera de Apoyo

La Caldera de Apoyo es una estructura de colapso casi circular de 6-7 km de diámetro que se ubica entre la Caldera de Masaya y el Volcán Mombacho. Su borde NO se encuentra a tan sólo 5 km del borde de la Caldera de Masaya.

La caldera corresponde al colapso de una serie pre-caldérica compuesta por lavas basálticas y andesíticas y una serie de piroclásticos con intercalaciones de lavas basálticas, y se originó después de una serie de erupciones de pómez dacítica que se depositaron principalmente al E. Las rocas pre-caldéricas se observan en las paredes O y S de la caldera que, en promedio, tienen 350 m de altura pero en algunos sitios alcanzan más de 450 m. La ausencia de lavas en las paredes N y E de la caldera sugiere que el principal centro de emisión de la serie pre-caldérica se ubicó en un área próxima a las orillas O y S del borde caldérico.

Las edades de las rocas precaldéricas son de 100,000 a 360,000 años, mientras que los depósitos piroclásticos asociados con la formación de la caldera tienen edades de 22,800 a 20,920 años. Se observa que éstos son más recientes que la unidad precaldérica de Masaya (Lapilli Masaya) que tiene entre 25,000 y 30,000 años (Sussman, 1985).



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Como antecedente de la caldera se infiere la salida de lavas basálticas y andesíticas sobre rocas del Grupo Las Sierras para formar un gran escudo volcánico. Remanentes de estas rocas se observan al O y SE de la caldera, e incluso llegaron a extenderse al N del Volcán Mombacho entre el Cerro El Pelón y San Antonio. Sobre estas rocas se depositaron varios flujos de lavas silícicas en forma de domos. Algunos de estos domos riódacíticos se observan en la periferia de la caldera intrusionando a los basaltos y andesitas a lo largo de fallas N-S. Uno de ellos es El Cerrito, localizado al S de la caldera y el cual fue datado en $90,000 \pm 40,000$ años (Williams, 1972).

Después de la formación de los domos vino el derrame de lavas toleíticas y de escoria por fracturas de rumbo N-S tanto en las partes bajas del edificio en escudo y en la planicie al E. Posteriormente, hace 23,000 años, aproximadamente, se inició la erupción de un magma dacítico en forma de flujos y piroclásticos que dio como resultado el colapso de la Caldera de Apoyo. Al parecer dicho colapso se efectuó en dos fases comprendidas entre los 22,800 y 20,920 años atrás. Al colapso caldérico de Apoyo siguió un periodo de calma marcado por el depósito piroclástico del Masaya sobre la pómez dacítica que desarrolló un suelo, y luego vino una erupción explosiva de pómez dacítica del fondo de la caldera y el colapso final del edificio volcánico culminó con la erupción de lavas andesíticas en fracturas periféricas a la caldera y en otras de rumbo N-S.

El Volcán Mombacho

El Volcán Mombacho ocupa la porción SE del área de estudio entre la Caldera de Apoyo y la Isla Zapatera en el Lago de Nicaragua. Se trata de una estructura volcánica de unos 50 km^3 de volumen (Stoiber and Carr, 1973; Carr, 1984) y 1,340 m de elevación cuyas estribaciones orientales están siendo limitadas por el Lago de Nicaragua y al NO por flujos de la Caldera de



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Apoyo. Al N, O y S de las faldas del volcán se extienden las planicies de Granada, Nandaime y del Río Ochomogo, respectivamente que son parte de la Depresión Nicaragüense.

El Volcán Mombacho se caracteriza por una serie de flujos lávicos, subordinadamente intercalados con productos piroclásticos, y por los grandes deslizamientos de roca que desde la cima han truncado el volcán por el NE y SE, dando lugar a extensas áreas de depósitos clásticos, de los cuales el primero dio lugar a la formación de las Isletas de Granada en el Lago de Nicaragua.

En el flanco E del Volcán Mombacho se observan varios flujos de andesita, que bajan por el E hacia el Cutirre y Santa Isabel al Lago de Nicaragua y por el SE hasta las proximidades de Mecatepe. Los flujos inferiores de estas andesitas, se sobreponen a las andesitas antiguas mencionadas arriba. Al SE de estos flujos del Volcán Mombacho y O de las andesitas antiguas se encuentra el cráter de Pichincha, que está rodeado al N y NE por un anillo de aglomerado de grano grueso y brechas, con fragmentos de basaltos y andesitas.

Al S de la Laguna de Pichincha y de El Guacal existe una amplia zona de 6 km de largo por 4-5 de ancho formada por una acumulación de fragmentos de andesita de diversos tamaños, cuyo origen podría ser un deslizamiento antiguo del Volcán Mombacho. En el flanco N del Mombacho se presentan varios flujos de andesitas y andesitas basálticas que llegan hasta San Antonio y Tepeyac, donde rodean en parte a las rocas precaldéricas de Apoyo. Una muestra del flujo que llega a San Antonio se clasificó petrográficamente (ver el Anexo B) y se dató, resultando ser una andesita de $18,000 \pm 3,000$ años de antigüedad (Anexo B, Tabla X-B.3).

Los flujos de lava que se dirigen al N y al E del volcán se encuentran cortados por un gran deslizamiento gravitacional de rocas de 1 a 2 km de ancho, originado desde su cima posiblemente por fracturas o fallas de rumbo NE-SO, favorecidos posiblemente por los planos de



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

estratificación de las rocas que componen el volcán y cierta alteración hidrotermal en la zona próxima al cráter. La zona de deslizamiento en la parte superior del flanco NE del volcán parece haber estado el cráter o cráteres de varios flujos de lava que se observan al N y E.

El deslizamiento formó las Isletas de Granada en el Lago de Nicaragua y su morfología parece indicar que en realidad corresponde a un deslizamiento que ha sucedido dos etapas. La primera dio lugar a las isletas y la segunda ocurrió en la misma zona y sobre el primero pero sólo alcanzó a llegar 1.5 km al SE del Domo Posintepe y hasta la orilla actual del Lago de Nicaragua.

En los flancos NO, O y SO el Volcán Mombacho presenta dos importantes flujos de lavas andesíticas más recientes. El que baja por la Hacienda El Progreso y Santa Ana, en su contacto NE se le observa sobreyaciendo a los flujos antes mencionados. En la zona de contacto Hradecky (1987) indica que se observa un aglomerado de 0.50 m de espesor. Un flujo andesítico que desciende por San Joaquín, en La Luz está en contacto con un cono de escoria y lava de la cual un análisis petrográfico reportó que se trata de un basalto de olivino (Muestra No. Mo-1).

En el lado S del volcán también se observan andesitas y es posible que el derrame de lavas que en la parte baja desciende casi hasta Agua Fría sea reciente, incluso más reciente que la gran explosión que destruyó el cráter del volcán por el S. Sobre la gran apertura del cráter por el lado S, Hradecky (1987) infiere que éste se debió a una gran erupción que arrojó gran cantidad de piroclásticos y un deslizamiento cuyos materiales rellenan la ladera del cono destruido y la planicie de la Comarca de Agua Agria.

Edificios volcánicos menores

Además del vulcanismo en el complejo de Masaya, en la Caldera de Apoyo y en el Volcán Mombacho, el área de estudio se caracteriza por presentar en la planicie de Granada y en las



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

estribaciones NO y O del Volcán Mombacho, varios conos cineríticos, maars y flujos de lava de composición básica relacionados con estructuras tectónicas N-S o con fracturas o fallas NE-SO.

Los cráteres explosivos de La Joya, al N del Volcán Mombacho, son de composición basáltica y se encuentran dispuestos en una línea N-S. Otra línea N-S de edificios volcánicos de composición basáltica, se observa entre los cráteres de La Joya y la Caldera de Apoyo, formada por los cerros El Charral, El Pelón, La Esperanza y San Antonio. En el flanco O del Volcán Mombacho, en el área del cerro La Luz, afloran lavas basálticas y escoria basáltica que corresponden a cuatro centros de emisión orientados NE-SO.

En las estribaciones septentrionales y meridionales del Volcán Mombacho la pómez de Apoyo de 23,000 años de antigüedad subyace a escorias basálticas recientes. Sin embargo, también hay sitios como la pared N del cráter La Joya en la que la pómez sobreyace al material cinerítico. Esto permite inferir que la actividad volcánica básica debió ser contemporánea de la época de mayor actividad de la Caldera de Apoyo.

El Cerro de Posintepe próximo a la ciudad de Granada por el S, es de composición dacítica similar a la pómez de la Caldera de Apoyo y no parece tener ninguna relación genética con las estructuras N-S que controló al vulcanismo básico. Su origen podría estar relacionado con el mismo proceso que dio lugar al domo dacítico El Cerrito, al S de la Caldera de Apoyo.

Evolución del Vulcanismo



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Los procesos volcánicos en la Caldera de Apoyo parecen haberse iniciado antes que en el Volcán Mombacho, como lo indican las lavas precaldéricas que se han datado con 100,000 a 360,000 años (Sussman, 1985), y que en la Caldera de Apoyo sobreyacen directamente sobre rocas del grupo Las Sierras. Al N del Volcán Mombacho los flujos de lavas andesíticas de este volcán parecen estar rodeando a las precaldérica de Apoyo. Dado el fracturamiento y fallamiento que muestran las andesitas antiguas al SE del Volcán Mombacho, en la orilla del Lago de Nicaragua, pudiese ser que estas andesitas sean contemporáneas o más antiguas que las rocas pre-caldérica de Apoyo, sin embargo, esto no ha sido posible definir por falta de una datación de las rocas. Las andesitas antiguas están subyaciendo a flujos andesíticos recientes del Volcán Mombacho y Hradecky (1987) supone que son las rocas más antiguas en la zona del volcán.

Las siguientes etapas de vulcanismo en la Caldera de Apoyo, que incluye el colapso caldérico hace casi 23,000 años, parece haberse desarrollado antes que el vulcanismo en el Mombacho como lo demuestra la presencia de la pómez de Apoyo debajo de un flujo de lava en Santa Isabel, en el flanco E del volcán. También en la Joya Tepeyac, en el flanco O del Volcán Mombacho, la pómez Apoyo subyace a un flujo de andesitas. Hradecky (1987) indica que las actividades volcánicas en la Caldera de Apoyo y en el Mombacho no pueden ser divididas en el tiempo y por lo menos en algunos lugares las erupciones de Apoyo fueron contemporáneas o precedentes de los flujos lávicos del Mombacho.

En este desarrollo de la actividad volcánica en el área Masaya-Granada-Nandaimé debe mencionarse el que dio lugar a los conos cineríticos y maars entre las calderas de Apoyo y Granada, y al O y NO del Volcán Mombacho. Se trata de un proceso volcánico aparentemente fisural N-S y NE-SO, con erupciones de escoria y algunas lavas basálticas. Dado que en algunos sitios las escorias basálticas sobreyacen y subyacen a la pómez de Apoyo, se infiere que la actividad volcánica en ambas partes al menos en una época fue contemporánea.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Después de la actividad volcánica en la Caldera de Apoyo se desarrolló el vulcanismo de la Caldera de Masaya, primero con flujos de lavas y de cenizas y después con una serie de erupciones que depositaron gran cantidad de escorias y cenizas que provocaron el colapso caldérico. A esto siguió la actividad en el interior y exterior de la caldera, especialmente en la parte media noroccidental, la cual originó los volcanes de Masaya y Nindirí y varios conos pequeños y flujos de lava dentro y fuera de la caldera.

McBirney (1956) indica que de todos los volcanes de Centro América el Masaya ha sido el más activo en tiempos históricos y la gran actividad de depósitos basálticos y basáltico-andesíticos dispersos en el área así lo demuestran. La actividad histórica del complejo ha sido frecuente ya que ha registrado erupciones en 1524, 1551, 1570, 1586?, 1613?, 1670, 1772, 1852, 1853, 1856, 1858, 1859, 1902, 1904, 1906, 1913, 1946, 1965, 1987, 1989, 1993, 1996, (Simkin and Siebert, 1994). El volumen del magma erupcionado se estima en 60 km^3 , a una tasa de 1 a 4 km^3 cada 1,000 años (Carr, 1984; Williams, 1983).

3.3 Hidrología

El área de Masaya-Granada-Nandaime está ubicada en la Subprovincia Hidrogeológica del Graben Nicaragüense, en el Sistema del Acuífero Suroeste que va desde la orilla occidental del Lago de Nicaragua hasta la Planicie de Chinandega, según la clasificación de Krásný *et al.* (1998). Una división detallada del Sistema del Acuífero Suroeste lo ha subdividido en varios subsistemas de los cuales los que tienen alguna relación con el funcionamiento hidráulico del subsuelo en el área de estudio, son: el Subsistema del Acuífero de Rivas-Nandaime y el Subsistema del Acuífero de Granada-Tipitapa.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

El Subsistema del Acuífero de Rivas-Nandaime tiene su límite N en la línea divisoria (parte-aguas hidráulico) que pasa en sentido O-E por el Volcán Mombacho. A partir de esta zona, el agua subterránea fluye hacia el SE en general, descargándose en los ríos en las partes bajas de sus cursos (principalmente el Río Ochomogo en la **Figura X-1.1** y el Río Las Lajas unos pocos km al S de la Figura), en algunas lagunas al S del Volcán Mombacho (**Figura X-1.1**), en el Lago de Nicaragua y en la Laguna Ñocarime (la cual se ubica unos 10 km al S del límite S de la **Figura X-1.1**).

El Subsistema del Acuífero de Granada-Tipitapa está limitado por parte-aguas poco pronunciados. El agua subterránea circula principalmente hacia el NE hacia el Lago de Nicaragua y el Río Tipitapa, por medio de la Cuenca de la Laguna de Tisma y la Cuenca de las Isletas que constituyen las zonas de descarga principales. Además hay dos zonas de descarga locales pero importantes en el centro del subsistema que están representadas por las Lagunas de Masaya y de Apoyo, que en sí son parte de las cuencas específicas denominadas de la Laguna de Masaya y de la Laguna de Apoyo.

La Cuenca de la Laguna de Masaya llega en las partes altas a las cuestas de Diriomo donde obtiene la mayor parte de su recarga. El resultado de una explotación intensa de la Laguna de Masaya es el de interceptar el flujo subterráneo de la cuenca hacia el E y NE.

Por su parte la Cuenca de la Laguna de Apoyo es una cuenca abierta a la zona de descarga regional que es el Lago de Nicaragua. Su zona de recarga, sin embargo, es poco extensa; además, en las proximidades occidental y meridional de la laguna existen barreras hidrogeológicas que impiden un flujo subterráneo importante de esta dirección hacia la Laguna de Apoyo.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

La cuenca de la Laguna de Tisma está formada por las áreas que descargan sus aguas subterráneas en el Lago de Nicaragua, en el Río Tipitapa y en la Laguna de Tisma. Esta cuenca se localiza al N de las cuencas de las Lagunas de Masaya y de Apoyo. El Río Tipitapa es en sí un eje de descarga de aguas subterráneas tanto de la Cuenca de la Laguna de Tisma como de un sistema llamado del Acuífero Noreste, que se encuentra al N y NE de la Cuenca de la Laguna de Tisma.

La Cuenca de las Isletas se ubica al N y E del Volcán Mombacho y al SE de la Cuenca de la Laguna de Apoyo. Es la que descarga las aguas subterráneas de esos lados del Volcán Mombacho hacia el Lago de Nicaragua.

Los rasgos hidrológicos superficiales más importantes del área los constituyen el Lago de Nicaragua (Cocibolca), las Lagunas de Apoyo y de Masaya, el Río Ochomogo (al S de la **Figura X-1.1**) y el Río de Tipitapa (unos 10 a 5 km al N de la **Figura X-1.1**) que reciben las descargas de gran parte del drenaje superficial en el área se encuentran al N y S, respectivamente.

El Lago de Nicaragua ocupa un área de 8,264 km² y tiene su nivel medio a 31 m s.n.m. Se alimenta de la descarga regional subterránea y de varios ríos importantes como los Ríos Tipitapa y Ochomogo que se encuentran al N y S del área de estudio. Actualmente y como consecuencia del huracán Mitch el Lago de Nicaragua recibe agua del Lago de Managua a través del Río Tipitapa al cual está descargando. La Laguna de Apoyo ocupa 21.45 km² del centro de la caldera. Como se menciona arriba se alimenta de la cuenca superficial de la caldera y de una cuenca subterránea estimada en 41.5 km². La misma laguna descarga sus aguas hacia el Lago de Nicaragua. De acuerdo a un estudio la laguna tiene 150 m de profundidad. La Laguna de Masaya ocupa un área de 8.46 km² en el extremo SE de la Caldera de Masaya. Igual que la Laguna de Apoyo recibe las aportaciones de una cuenca superficial de 200 km² y de una cuenca



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

subterránea de 168 km² en los alrededores. Esta laguna como se mencionó previamente, intercepta el flujo subterráneo hacia el E y NE.

3.4 Riesgos Geológicos

El área de Masaya – Granada – Nandaime está, en general, sujeta a riesgos naturales de tipo sísmico y volcánico. Existen, además, en algunos sectores específicos, riesgos relacionados con inestabilidad de las laderas volcánicas o de las paredes internas de estructuras caldéricas, y áreas sujetas a inundaciones.

La zona es una de las más pobladas del País, incluye importantes ciudades como Granada y Masaya y, además, se desarrolla inmediatamente al SO de la capital de Managua, por lo tanto ha sido objeto de cierta atención por parte del Gobierno de Nicaragua, el cual, en diferentes ocasiones, ha promocionado la ejecución de estudios sobre los riesgos naturales. Los principales de estos estudios han sido efectuados por el Consorcio Dame & Moore – Lamsa (1978) y por el Servicio Geológico Checho, en coordinación con INETER (Hradecky, 1998). Estos estudios produjeron varios volúmenes de documentación y mapas de síntesis que constituyen una importante referencia para la planificación de cualquier tipo de actividad en el área. INETER (1995) publicó también un mapa general de amenaza volcánica de Nicaragua, el cual clasifica a grandes rasgos los riesgos existentes a lo largo de la Cordillera Volcánica Cuaternaria y constituye otra referencia de cierta utilidad.

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



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

3.4.1 Riesgo Sísmico

Desde el punto de vista sísmico existen 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 generado sismos, en varios casos muy intensos y destructivos, a lo largo de toda la historia reciente de Nicaragua, afectando principalmente la región Depresión Nicaragüense (ver Wheelock *et al.*, 2000). Otra fuente de actividades sísmicas en el área está representada por el Volcán Masaya cuya actividad ha sido frecuentemente asociada con movimientos telúricos de moderada intensidad,

De hecho, las ciudades de Granada y Masaya, han sido históricamente afectadas por temblores y terremotos que han causado en varias ocasiones daños significativos. Wheelock *et al.*, (2000) reportan en los últimos 450 años, por lo menos 23 importantes sismos que han afectado la zona de Granada y Masaya, algunos aparentemente derivados de actividad tectónica regional, otros evidentemente producidos por movimientos tectónicos locales o asociados con la actividad del Volcán Masaya. En los últimos años, la red sísmica de INETER ha registrado a menudo crisis sísmicas relacionados con fallas locales en correspondencia de Ticuantepe (al margen septentrional del edificio volcánico de Masaya) y en la zona de la Laguna de Apoyo. El último enjambre sísmico en Ticuantepe fue registrado en 198, mientras que la zona de la Laguna de Apoyo ha estado activa en 1997 y en el 2000, con sismos bastantes intensos que causaron importantes daños en toda la región aledaña e inclusive pérdidas de algunas vidas humanas. En el



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

año 2000, los epicentros se distribuyeron en la zona entre la Laguna de Apoyo y la ciudad de Masaya.

Hradecky (1998) identificó la zona de Masaya como la de mayor riesgo, debido a la presencia de estructuras tectónica activas y a su ubicación muy cercana al edificio volcánico activo de Masaya. Sin embargo, se puede considerar de toda la zona bajo examen está sujeta a un significativo riesgo sísmico, el cual de ser tomado en seria consideración durante la planificación de eventuales instalaciones geotérmicas.

3.4.2 Riesgo Volcánico

El área incluye tres estructuras volcánicas principales: Mombacho, Apoyo y Masaya, las cuales han tenido actividad en tiempos geológicos muy recientes

El Volcán Masaya, en particular, ha estado activo durante todo el período histórico y ha tenido episodios eruptivos catastróficos en tiempos pre-históricos. La caldera de Masaya es el resultado de una erupción fuertemente explosiva ocurrida hace pocos miles de años (2250-6500), la cual arrojó aproximadamente 8 km³ de ignimbritas y piroclastitas basálticas (Williams, 1983). En tiempos históricos el volcán ha sido reportado activo casi durante todo el siglo XVI, luego tuvo erupciones en 1613, 1670-80, 1772, 1821, 1852-53, 1856-58, 1870, 1902-1906, 1918, 1947-48, 1953, 1965 y, finalmente, a partir de 1993 ha tenido una constante actividad como emisión de gases y esporádicas explosiones intra-cratéricas. La mayoría de la actividad reportada en el período histórico se ha realizado al interior del cráter con procesos de desgasificación asociados con formación de lagos de lava, pero en algunos casos (1520, 1670, 1772) ocurrieron también importantes derrames de lava en las laderas del volcán. La colada lávica de 1772, que es la considerada la más extensa en Centroamérica en tiempos históricos (Wheelock *et al.*, 2000) se



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

derramó ampliamente al interior de la caldera y pasó su borde septentrional extendiéndose hacia el N por más de 3 km.

La caldera de Apoyo es el resultado de una erupción fuertemente explosiva ocurrida hace aproximadamente 22,000 años, cuyos productos han cubiertos amplios sectores de la región comprendida entre Managua y el Volcán Mombacho. El volcán no ha tenido aparentemente actividad en tiempos sucesivos y actualmente es inactivo, pero representa un potencial riesgo aunque la posibilidad de que ocurran reactivaciones en el próximo futuro (algunos cientos de años) es bastante improbable.

En la zona entre Apoyo y el Mombacho, en correspondencia del lineamiento vulcano-tectónico al S de la ciudad de Granada, Hradecky (1998) reconoció la presencia de productos tobáceos intermedio-ácidos derivados de una actividad explosiva que ocurrió durante el Holoceno. El autor subraya, por lo tanto, que existen riesgos de erupciones con elevado potencial destructivo también en correspondencia de esta estructura secundaria, alejada de los centros volcánicos principales.

El Volcán Mombacho es un típico estrato volcán, principalmente caracterizado por actividad efusiva de composición variable entre andesítica y basáltica. No existen reportes de actividad en tiempos históricos y, actualmente presenta solamente alguna actividad fumarólica de baja temperatura (alrededor de los 100°C) en su cumbre y al interior del cráter. Parece, sin embargo, que haya tenido cierta actividad efusiva en tiempos recientes (10,000-20,000 años), especialmente en su ladera septentrional. No se puede excluir la posibilidad de una reactivación de este volcán, pero esta es considerada muy poco probable en el futuro cercano (algunos centenares de años).

Considerando la situación vulcanológica general y los antecedentes históricos de los volcanes presentes en el área, parece que el principal riesgo derive del Volcán Masaya. Este puede tener erupciones efusivas, las cuales afectarían principalmente la porción interna de la caldera y, en



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

caso excepcional, podrían desbordar en su lado N, en la zona que ya fue afectada por la amplia colada de 1772.

El Volcán Masaya presenta, además, un significado potencial de erupciones explosiva. Una erupción explosiva análoga a aquellas que ocurrieron en diferentes ocasiones en las últimas decenas de miles de años, afectaría con consecuencias catastróficas todo el área Masaya – Granada – Nandaime e, inclusive, a la ciudad de Managua. La actual actividad de desgasificación del volcán esta causando problemas en todo el sector al O del mismo, donde los vientos predominantes acarrear el penacho de gases y vapor causando precipitaciones ácidas con daños a la vegetación y a las instalaciones humanas (corrosión) y en los momentos de mayor intensidad, también cierto problemas de salud en la población.

3.4.3 Riesgo de Derrumbe

Con la excepción del Volcán Mombacho y de las paredes internas de las calderas de Apoyo y Masaya, la mayoría del área presenta morfología suave con pendientes poco inclinadas que no implican significativos riesgos de deslizamientos.

El Volcán Mombacho ha tenido una evolución morfológica caracterizada por una elevada inestabilidad de sus laderas, las cuales han sido afectadas por amplios colapsos sectoriales, en parte relacionados con zonas de debilidad tectónica y, en parte, con la presencia de procesos de alteración hidrotermal (Hradecky, 1998). Los derrumbes más recientes del Mombacho ocurrieron en su ladera NE, donde la acumulación de detritos originó todo el archipiélago de las Isletas de Granada, y en su ladera meridional, donde el frente del derrumbe alcanzó una distancia de casi 10 km desde la base del volcán, cubriendo de detritos un sector de aproximadamente 40 km². Evidencias de otros derrumbes, más antiguos, se observan en la base de la ladera SE del edificio volcánico. El colapso en la ladera meridional (o parte de él) ocurrió en 1570 y, según los reportes



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

históricos (Wheelock *et al.*, 2000), destruyó completamente un poblado de 400 habitantes y los temblores asociados causaron daños a las construcciones en Granada. Actualmente, con exclusión de algunas porciones de las escarpadas cárcavas de los derrumbes, no se reconocen importantes indicios de inestabilidad en otros puntos del edificio volcánico, pero los riesgos de deslizamiento deben de ser tomados en consideración antes de planificar cualquier actividad de exploración o desarrollo geotérmico en las laderas o alrededor del Volcán Mombacho.

Al interior de las laderas de Masaya y, sobretodo, de Apoyo existen paredes muy escarpadas, constituidas por intercalaciones del material lávico y de depósitos piroclásticos, los cuales constituyen indudablemente situaciones de elevado riesgo de derrumbe, especialmente en concomitancia con fuertes sismos o con intensas precipitaciones. Se observa, a este respecto, que algunos sectores del borde meridional de la caldera de Apoyo (zona de Catarina) han presentados evidencias de inestabilidad como consecuencia de los últimos fenómenos sísmicos ocurridos en el 2000. Estos problemas ponen a riesgo principalmente las zonas internas de las calderas, pero también una franja alrededor de sus bordes.

3.4.4 Riesgo de Inundaciones y Aluviones

En los relieves del área, debido a la elevada permeabilidad de los depósitos volcánicos, no existen cursos de agua superficiales y el drenaje ocurre principalmente en el acuífero freático. En ocasión de fuertes precipitaciones, como generalmente ocurre durante los varios huracanes y tempestades tropicales que afectan a Nicaragua en las estación invernal, se activa, sin embargo, un fuerte corrimiento de agua en superficie, el cual genera fenómenos de erosión y consiguiente transporte de material clásico desde las laderas volcánicas hacia las planicies adyacentes. Las débiles pendientes y la limitada superficie de las cuencas hidrográficas existen en la mayoría de la zona limitan, sin embargo, el riesgo de eventos catastróficos. Las zonas mas sujetas a este tipo de



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

riesgos son las más bajas, ubicadas en la ladera NE del edificio de Apoyo, incluyendo a la ciudad de Granada, y los sectores al SO y al S del Volcán Mombacho, en la cuenca del Río Ochomogo (al límite meridional y un poco afuera del área bajo examen), las cuales han sido afectadas históricamente por varias inundaciones (ver Wheelock *et al.*, 2000). Se consideran que este tipo de riesgo en la mayoría del área de interés geotérmico pueda ser fácilmente mitigado con una adecuada planificación y diseño de las obras.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL

4.1 Manifestaciones Termales

En el área Masaya-Granada-Nandaime las manifestaciones termales superficiales ocurren principalmente en correspondencia de los centros volcánicos principales como la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho, donde existen algunas fumarolas y manantiales termales. En el área del Volcán Mombacho, además de la actividad fumarólica en el edificio volcánico se observa la presencia de manantiales termales en la planicie S del volcán (**Figura X-4.1.1**). En el edificio volcánico de Masaya se menciona la presencia de una intensa actividad fumarólica al interior del cráter activo, la cual tiene características típicamente volcánicas.

A la actividad termal superficial debe sumarse la identificada en algunos pozos de uso agrícola o de agua potable ubicados alrededor de los edificios volcánicos, los cuales producen a veces aguas con temperatura ligeramente anómala, con valores entre los 30°C y los 40°C.

Si bien en la mayor parte del área de estudio se encuentran rocas del Grupo Las Sierras y en algunas partes sobre de ellas rocas del Grupo Masaya, que llegan a constituir buenos acuíferos, el escaso número de manifestaciones termales observado en el área parece tener su justificación en el hecho que en el subsuelo existe una columna litológica de rocas prácticamente impermeable, representadas por areniscas y lutitas de la Formación Brito, en las cuales sólo el fracturamiento originado por la tectónica profunda ha llegado a imprimirle cierta permeabilidad vertical que sólo en áreas restringidas parece permitir el ascenso de fluidos termales. Esto parece explicar el limitado número de manifestaciones termales en el área y que las que existen se encuentren generalmente en sitios donde existe la evidencia de algún tipo de estructura profunda.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

4.1.1 Tipo, Localización y Extensión

Las manifestaciones termales más significativas son, sin duda alguna, las fumarolas presentes en el cráter del Volcán Santiago, en la Caldera de Masaya, las cuales son evidentemente relacionadas con la actividad magmática de este centro volcánico. Otras fumarolas, con características principalmente hidrotermales (aunque los aspectos químicos de los gases indiquen cierta influencia magmática), se encuentran en el Volcán Mombacho. Estos dos áreas fumarólicas y todas las áreas con datos geoquímicos, se presentan en **Figura X-4.1.1**.

El Volcán Mombacho (**Figura X-4.1.2**) tiene una fumarola en la pared NO del cráter principal, la cual se distingue a grandes distancias y, durante las investigaciones del presente estudio, mostró temperatura de hasta 99°C. El área de la fumarola se encuentra en rocas volcánicas andesíticas alteradas y presenta olor y sublimados de azufre.

Al S de la fumarola en el cráter principal del Volcán Mombacho, a distancia variables entre 1,000 y 2,500 m, se reporta la existencia de varios manantiales con temperatura variable entre los 26°C y los 54°, los cuales emergen en la zona del deslizamiento y/o explosión que dio lugar a la destrucción y apertura del cráter (**Figura X-4.1.2**). Estos manantiales se encuentran en una zona cubierta por rocas de composición andesítica, que en algunas partes en los alrededores se observan alteradas a caolín.

En la planicie al S del Mombacho, cubierta por depósitos clásticos del deslizamiento de la ladera del volcán, existe otro grupo de manantiales termales, generalmente asociados con zonas pantanosas y lagunas.

Poco al S de Mecatepe, en la orilla N del Río Manares, hay una zona de agua termal con temperatura variable entre los 38°C y los 48° C, la cual ocurre en correspondencia de un zona



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

pantanosas que alimentan un riachuelo que confluye en el Río Manares (Figura X-4.1.2). A escasos 200 m al NE, en materiales arcillo arenosos se encuentra una poza de agua sin circulación pero con temperatura similar a los manantiales anteriores.

A lo largo de la orilla NO de la Laguna Blanca, existen en varios puntos evidencias de manifestaciones termales, con débiles burbujeos y temperaturas de hasta 36-38°C en el agua de la laguna. En algunos puntos existen también pequeños manantiales ubicados a pocos metros desde la orilla de la laguna. Durante las investigaciones de campo del presente estudio se ubicó un manantial con temperatura de 42.4°C aproximadamente en el centro de la orilla NO de la Laguna y un grupo de manantiales con temperatura en el rango 30-37.5°C en la esquina SO de la laguna. Poco al N de la Laguna Blanca, aproximadamente 1 km al NE de la Hacienda Las Plazuelas, existe otra pequeña laguna, localmente conocida como Laguna Agua Caliente, la cual tiene agua con temperatura en el rango 38-40°C. Durante las investigaciones del presente estudio, en algunos puntos del fondo fangoso de la laguna se midieron temperaturas de hasta 60°C.

En el flanco NE del Volcán Mombacho, en depósitos clásticos del deslizamiento que dio lugar a las Isletas de Granada, se presentan dos sitios con actividad termal; una al N de La Calera en una depresión a escasos 200 m s.n.m., con temperaturas de 38° C, y otro en el sitio denominado Agua Caliente, al nivel del Lago de Nicaragua, con temperaturas de 55° C. El primero se encuentra en la parte media del deslizamiento y el segundo en la base del frente del mismo en la orilla del Lago de Nicaragua.

En la zona de la Caldera de Apoyo las únicas evidencias de actividad termal se encuentran en varios sitios en el interior de la misma, en las orillas O y SO de la Laguna de Apoyo. Las temperaturas reportadas en estos sitios fluctúan entre los 44° y 97° C y los datos químicos



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

disponibles indican que se trata de aguas cloruradas sódicas con salinidades hasta de 4,000 ppm. No es fácil localizar estos sitios termales ya que las oscilaciones en el nivel de la laguna llegan a enmascararlos. En algunas partes el suelo se siente caliente a pocos centímetros de profundidad, sin embargo, no se observa flujo de agua.

Fuera de la Caldera de Apoyo sólo se reportan unos pozos de agua con unas anomalías térmicas débiles (31°C) tres km al NE del borde de la caldera, otros con temperaturas hasta 34°C al SE, y un pozo de 33°C unos 5 km al O (**Figura X-4.1.1**). Otros pozos con cierta anomalía térmica mas fuerte (hasta 38°C) se encuentran al N de la Caldera de Masaya, perforados tanto en la serie piroclástica del Grupo Masaya como en ignimbritas del Grupo Las Sierras.

4.1.2 Quimismo y Geotermometría

La hidrología y geoquímica de los fluidos del área Masaya-Granada-Nandaime se han estudiado con la síntesis de datos de dominio público existentes y con la ejecución de nuevos estudios de campo. Esto último incluyó el muestreo de varios pozos, manantiales y de otras aguas superficiales, para su análisis químico, durante los meses de Abril, Mayo y Junio de 2000. Los datos combinados se han analizado usando gráficas y técnicas computacionales, como se presenta en detalle en el Anexo A, lo cual incluye tablas y gráficos con todos los datos del área.

En el área de Masaya-Granada-Nandaime existen varios pozos y unos pocos manantiales y fumarolas. Con el propósito de llevar a cabo su análisis, los diversos sitios de muestreo de aguas superficiales y evidencias termales se han dividido en cuatro áreas geográficas, como sigue (ver **Figura X-4.1.1** y **X-4.1.1b**):

- Zona N: al N de la coordenada UTM 1310 N, con excepción de una región al N de Volcán Mombacho. La “Zona Regional N” incluye la mayor parte de la Zona, donde



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

solamente existen anomalías térmicas y químicas muy débiles. El área “NE de la Laguna de Apoyo”, que tiene una anomalía importante de Cl (cloruros) y que es producto de la descarga subterránea de la Laguna de Apoyo. El área “Orilla O de la Laguna de Apoyo”, es un área de manifestaciones termales hasta de 97°C. Finalmente, la zona que incluye la misma Laguna de Apoyo.

- Zona SO: al S de la coordenada UTM 1310 N y al O de la coordenada UTM 608 E, donde no existen anomalías térmicas ni geoquímicas importantes.
- N de Volcán Mombacho: al N de la coordenada UTM 1310 N, al S de la coordenada UTM 1315 N y al E de la coordenada UTM 612.5 E. Esta área incluye: La Calera, el manantial de agua tibia en las faldas NE del volcán y Aguas Calientes, el manantial termal en esta área.
- Zona SE: al S de la coordenada UTM 1310 N y E de la coordenada UTM 608 E (Figura X-4.1.2). Esta zona incluye los manantiales, pozos y fumarolas de las áreas geográficas denominadas: cráter S del Volcán Mombacho, Agua Agria, Río Brujo, Final del Río Brujo, Laguna Blanca, Las Plazuelas, Mecatepe, Río Manares en Mecatepe, Sta.Rosa / Georgino Andrade, los alrededores de la Laguna Juan Tallo, El Guacal, San José del Mombacho y las áreas al SO y S de la coordenada UTM 1295 S.

Cada una de estas áreas se describe abajo.

Zona N Regional

La Zona Regional N incluye la Caldera de Masaya, la Caldera de Apoyo (tratada como una subdivisión por separado) y el área entre la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho al SE.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Tiene pocos manantiales y la mayoría de los pozos perforados en ella tienen profundidades que varían de 100 a 300 m o más. No existen sitios de muestreo del agua subterránea dentro de la Caldera de Masaya y solamente hay unos pocos en las cercanías. El agua superficial en la Laguna de Masaya es fría y tiene una composición diluida de mezcla de catión- HCO_3 (alcalinidad total en forma de bicarbonato). La mayor parte de las temperaturas del agua subterránea en la Zona N varía en el rango de los 25° a 29°C y la composición del agua es una mezcla de cationes- HCO_3 , con las siguientes excepciones.

- Al N de la Caldera de Masaya, hay aguas en el subsuelo cuya composición es una mezcla de cationes – HCO_3 que tiende hacia SO_4 (sulfato), y fuertes anomalías con concentraciones de HCO_3 . Estas aguas tienen temperaturas hasta de 38°C . Esta se localiza en el extremo S de la “Anomalía al S” de la región de Tipitapa (Volumen IX), la cual se considera representa la descarga al N del fondo de la Caldera de Masaya. Los manantiales con gran gasto en el extremo N de esta anomalía (dentro de la región de Tipitapa) tienen anomalías de alcalinidad y evidencias de tener una componente Na-Cl (sodio-cloruro) que indica la mezcla con vapor geotérmico y aguas geotérmicas profundas, originadas a altas temperaturas. Los pozos en el área de la Zona N se encuentran en las elevaciones más altas y a una profundidad limitada. Varios pozos muestran la anomalía en la alcalinidad y otros, en la orilla O de la anomalía, muestran SO_4 ligeramente elevado. No hay efectos de mezcla con aguas con componente Na-Cl. OLADE (1981) reportó una anomalía de CO_2 (dióxido de carbón) disuelto (expresada como la presión calculada del CO_2) en el agua del subsuelo de la misma área, tanto en la Zona N como en su prolongación hacia la parte S de la región de Tipitapa.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- En las partes altas del área, entre la Laguna de Apoyo y el Volcán Mombacho se encuentra pequeñas anomalías de temperatura (a 34°C) y de SO₄ (con fracción del anión arriba del 10%) pero no de alcalinidad o de Cl (ver la **Figura X-4.1.1b**).
- Entre la Laguna de Apoyo y el Volcán Mombacho y también al SE de la Laguna de Apoyo, hay una débil anomalía de amoniaco en relación con el cloruro, expresada como una relación poco alto NH₃/Cl (amoniaco/cloruro; ver la localización en la **Figura X-4.1.1b**).
- Existen sitios dispersos en la región en los cuales el agua con mezcla de catión – HCO₃ tiene una fracción del anión Cl por arriba del 15% hasta cerca del 30% (ver la localización en la **Figura X-4.1.1b**).

Zona N – Área Orilla O de la Laguna de Apoyo

Dentro de la Zona N en la **Figura X-4.1.1** está el área denominada “Orilla O de la Laguna de Apoyo”. La extensión de esta área es impresionante, con suelo caliente y agua caliente presente en numerosos sitios a lo largo de casi 4 km de la orilla del lago. Se han reportado descargas menores de gas del fondo del lago cerca de la orilla y existen unos pocos manantiales de agua tibia que han reportado flujos durante y después de la temporada de lluvias. Las aguas más calientes (de hasta 97°C) y más salinas (Cl de hasta 2,250 mg/l) se han localizado en pequeños agujeros excavados en los sedimentos de la orilla SO del lago.

La composición de las aguas térmicas hechas un muestreo a la orilla O de la Laguna de Apoyo es dominada por el Na-Cl, con notables niveles de SO₄ de alrededor de 200 a 700 mg/l, que se correlacionan con el Cl en 600 a 2,250 mg/l. La correlación observada entre el Cl y la



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

temperatura claramente indica la mezcla entre aguas calientes Na-Cl y aguas frías diluidas, excepto algunas muestras que probablemente han sido enfriadas por conducción. El pH es casi neutro y los niveles de Ca (calcio) y Mg/l (magnesio) son generalmente altos excepto en las muestras más calientes y más salinas (cuatro muestras con Cl, entre 1,900 mg/l y 2,250 mg/l y temperaturas de hasta 97°C) las cuales contienen alto Ca (de 130 mg/l) pero Mg en aproximadamente 10 mg/l o menos hasta 2 mg/l. La alcalinidad expresada en HCO₃ es de alrededor de 150 mg/l en las muestras que son más calientes y que tienen los más altos contenidos de Cl.

Una alcalinidad más grande e irregular se reporta de las muestras más frías con bajo contenido de Cl (unos cientos de mg/l). Estas mismas muestras (ver detalles en el Anexo A) se separan de una relación ligeramente sistemática entre la concentración de Cl y la fracción de Cl entre todos los aniones, lo cual sugiere la presencia de dos componentes alcalinas mezcladas, una diluida y otra con alto contenido de HCO₃. Una componente de mezcla sodio-sulfato (Na-SO₄) se puede presentar también. En la muestra más caliente (97°C, N/m 2599 en la **Figura X-4.1.1**), la equivalencia de SO₄ es 2.5 veces la equivalencia del Ca así que el SO₄ probablemente no ha ido derivado solamente de una disolución de la anhidrita en rocas volcánicas durante el enfriamiento de una temperatura mayor. Esta misma muestra está saturada con anhidrita en aproximadamente 120°C y con calcita en aproximadamente 110°C. La sílice (SiO₂) varía fuertemente de una muestra a otra, de la saturación próxima para la temperatura de la muestra con calcedonia (alrededor de 40 mg/l) a la saturación próxima a la de sílice amorfa (más de 200 mg/l).

El agua de la Laguna de Apoyo por sí misma es equivalente a la de un agua termal enfriada a lo largo de la orilla, en el rango medio de la concentración del cloruro. El Cl es alrededor de 1,300 mg/l, el mineral calcita (CaCO₃) está saturada aproximadamente para la temperatura del lago, pero la anhidrita (CaSO₄) está muy por debajo de la saturación. La sílice es baja y con



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

saturación próxima a la calcedonia. Notoriamente, la relación K/Na en el agua del lago es algo mayor que en las aguas termales de la orilla.

Tanto el agua del lago como el agua termal a lo largo de la orilla tienen una composición de isótopos estables que sugiere la evaporación de agua meteórica local, pero el cambio inducido por la evaporación del agua del lago es mucho mayor que el cambio aparente del agua termal.

Los datos isotópicos también indican que el agua termal no es solamente agua del lago que circula entre rocas calientes o que se calienta con vapor que asciende. El calentamiento con vapor del agua del lago se descuenta por la ausencia de condiciones de acidez, y el calentamiento del agua del lago por rocas calientes también está descartado por las condiciones termodinámicas que deberán ser necesarias para alcanzar concentraciones con un factor tan grande como 1.7.

Por esta razón, concluimos que el agua caliente viene de una fuente geotérmica profunda que alimenta tanto al lago como a los sedimentos en la orilla del mismo que contienen agua caliente. La mayor parte de las muestras de agua caliente encontradas en los sedimentos de la orilla del lago están diluidas con uno o más de tres componentes:

- agua del lago;
- agua fría diluida y alcalina; y probablemente
- agua del subsuelo con alta alcalinidad que puede ser el resultado de la mezcla con vapor.

La muestra más caliente de agua termal encontrada en los sedimentos de la orilla del lago (No. 2599) tiene una temperatura de muestreo de 97°C. Las temperaturas tanto de Na-K-Ca (sodio-potasio-calcio) y Na-K-Ca-Mg son de 213°C, la temperatura de Na/K es de 225°C, la temperatura de K-Mg es de 170°C y la temperatura de la sílice es de 140°C. Tanto las temperaturas de K-Mg como de la sílice probablemente han tenido que ajustarse con el enfriamiento con las aguas que circulan en la superficie. Esta es el agua menos contaminada que



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

se ha reportado. Los datos isotópicos indican que probablemente ha acontecido alguna evaporación, pero esto no debe tener mayor efecto en los geotermómetros de cationes.

En conjunto, estos resultados indican una fuente de temperatura profunda de por lo menos 220°C. La circulación hacia la superficie probablemente es relativamente lenta, lo cual deberá permitir el re-equilibrio de todos los geotermómetros de condiciones todavía más calientes. La Laguna de Apoyo tiene una temperatura de Na-K-Ca-Mg de solamente alrededor de 80°C, pero la temperatura de Na-K-Ca es de 230°C (principalmente debido a un ligero incremento de K/Na que en el agua caliente), lo cual puede reflejar una fuente profunda del agua caliente del manantial en el lago. Los procesos en el agua del lago probablemente no han tenido un fuerte efecto en la relación K/Na.

En el lago no se han reportado descargas importantes de gas ni zonas de agua caliente a profundidades someras. Por lo tanto, es probable que una o más de las siguientes opciones se apliquen a la descarga del agua termal en lago:

- la descarga es primordialmente profunda; y/o
- la velocidad de descarga es lenta; y/o
- hay ebullición en el sistema de descarga en algún punto fuera del lago.

Lo ultimo podría ocurrir, por ejemplo, en un punto donde el ascenso cambia a un flujo horizontal. La ebullición y liberación de CO₂ podría explicar la presencia aparente de algunos sitios con componentes de mezcla altamente alcalinos, aunque la evidencia de la ebullición es tenue en el mejor de los casos, porque la componente altamente alcalina (si está presente) parece ser fría.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

La última sub-área dentro de la Zona N es el área “NE de la Laguna de Apoyo”. Estas es un área de descarga entre la Laguna de Apoyo y el Lago de Nicaragua. En esta área, la composición del agua es la del agua fría del lago (máximo 31°C) que está mezclada con varias proporciones de agua subterránea fría diluida y con una mezcla de cationes-HCO₃, tal como la encontrada en el área de la Zona Regional N. El rango del Cl en esta área es alrededor de 25 a 700 mg/l. No hay indicios de que alguna de estas aguas sea caliente.

Zona SO

Las temperaturas reportadas del agua del subsuelo en la Zona SO son de 22° a 28°C, y con raras excepciones de 32°C (**Figura X-4.1.1**). Las composiciones están uniformemente diluidas, en una mezcla de catión-HCO₃. Unas pocas muestras tienden a tener relativamente alto SO₄ y/o Cl, y hay ejemplares dispersos con Cl algo elevado (38 mg/l y después 71 mg/l en una localización) y/o alta alcalinidad. Ninguna de las aguas de la Zona SO se puede asociar con alguna actividad termal.

N de Volcán Mombacho

Esta área se localiza en el lado NE del volcán, aproximadamente a 250 m de elevación (La Calera) y en la orilla del Lago de Nicaragua (con 30 m de elevación; Aguas Calientes) en el área de un gran deslizamiento con mucha roca y densamente cubierto por árboles.

Los flujos de agua Ca-SO₄ en La Calera (38°C) con únicamente unos pocos Mg de Cl en una fuente múltiple con gasto mayor de 1,000 lpm, disperso a lo largo de varias decenas de m de ladera rocosa en el bosque. La sílice en el agua está próxima a la saturación con la sílice amorfa para la temperatura de la muestra, y los geotermómetros de cationes también concuerdan con la temperatura de la muestra.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Aguas Calientes es un área con agua Na-Ca-HCO₃-SO₄-Cl que brota a 55°C de varios orificios que están aproximadamente 25 cm por debajo del nivel del agua (como se observó en Mayo de 2000) en la orilla de una laguna que se conecta con el Lago de Nicaragua. El flujo combinado tal vez es de 300 lpm, con fuentes individuales que arrojan alrededor de 5 a 100 lpm. El cloruro está presente en 140 mg/l y el magnesio en alrededor de 30 mg/l.

No hay una relación química sistemática entre La Calera y Aguas Calientes, excepto las relaciones de aniones que sugieren que Aguas Calientes contiene una componente de agua Ca-SO₄ similar a la observada en La Calera. Antes de mezclarse es probable que la composición del agua en Aguas Calientes fuese Na-HCO₃-Cl, con tal vez 200 mg/l de Ca y niveles relativamente altos de Ca y el magnesio también presente. El Cl en el agua de Aguas Calientes es alto, suficiente para sugerir que está presente una componente de agua Na-Cl, pero posiblemente no están restringidas relaciones de mezclas y miembros terminales, así el carácter de esta componente hipotética es desconocido. Como en La Calera, el geotermómetro de la sílice (amorfa) está de acuerdo con la temperatura de la muestra así como lo están los geotermómetros Na-K-Ca-Mg y K-Mg. Sin embargo los geotermómetros de Na-K-Ca y Na/K indican temperaturas por arriba de los 200°C. Esto podría reflejar que la temperatura del componente Na-Cl antes que la adición del magnesio haya bajado las estimadas con el Na-K-Ca-Mg y el K-Mg. Sin embargo, condiciones semejantes se presentan en la Zona SE, donde se arguye que las altas temperaturas Na-K-Ca y Na/K probablemente son el resultado de procesos de baja temperatura (ver el sub-título siguiente).

La composición de los isótopos estables de La Calera cae un poco arriba de la posición más probable de la línea de agua meteórica local, lo cual sugiere que el agua contiene algo de vapor condensado. Sin embargo, el agua de La Calera no es ácida, como es el caso a menudo cuando



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

el vapor se mezcla con el agua meteórica. Aguas Calientes cae directamente sobre la línea del agua meteórica y la muestra colectada en Mayo de 2000 (N/m 1209) también contiene Tritio en un nivel relativamente alto. Por lo tanto, es probable que el agua sea meteórica del sistema próximo a la superficie (freática) que se infiltra a elevaciones superiores en el lado NE del volcán. Esta agua es calentada por conducción y mezclada con vapor y tal vez también con una pequeña cantidad de agua termal Na-Cl de origen profundo.

Zona SE

En base a sus características químicas, las características termales de esta área se agruparon como sigue:

- Grupo 1: aguas Ca-SO₄ y Ca-HCO₃, que incluyen el cráter S del Volcán Mombacho, Río Brujo, Agua Agria, Santa Rosa/G. Andrade y dos muestras de la Laguna Blanca (total unas 27 muestras).
- Grupo 2: aguas Na-Ca-aniones mezclados, que incluyen las muestras de Las Plazuelas (43°-60°C), Mecatepe (34°-50°C) y de la Laguna Blanca (29°-42.4°C), más las de Final del Río Brujo (Total unas 21 muestras). Las aguas de 55°C de Aguas Calientes en el área N del Volcán Mombacho (10 muestras), también caen dentro de este Grupo.
- Grupo 3: aguas Ca-mezcla de cationes-HCO₃-Cl, incluyendo las aguas en la vecindad de la Laguna Juan Tallo, El Guacal, el área SO y el área al S de la coordenada UTM 1295 N (18 muestras).

En la Zona SE se colectaron 3 muestras de gas: dos del campo de fumarolas en la cota 1,000 m s.n.m. en el cráter S del Volcán Mombacho (una tercera se contaminó con aire), y una muestra del manantial de 49°C en Mecatepe, al S.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Los gases de la fumarola son predominantemente CO₂ (73 vol.%) pero contienen una notable cantidad de H₂S (sulfuro de hidrógeno; 9.5 vol.%) y H₂ (hidrógeno; 17 vol.%). Las relaciones de los componentes N₂/Ar (nitrógeno/argón) y N₂/He (nitrógeno/helio) indican que los gases de la fumarola tienen un carácter fuertemente magmático. La relación de los isótopos de helio ³He/⁴He = 7.7 también soporta esta conclusión. Los geotermómetros de gases indican temperaturas de equilibrio en el subsuelo de 315°C a 370°C, con una temperatura adicional de 540°C. Esta última temperatura es improbable, dado que las fumarolas no son super-calentadas. La relación H₂/Ar muy grande sugiere que el vapor viene de un ambiente de vapor dominante.

El gas en los manantiales de Mecatepe es CO₂ con el 75 vol.% y N₂ con el 25 vol.% con trazas de aire contaminando la muestra. Este es un manantial de gas y muchos de los componentes analizados están por debajo de los límites de detección. Por lo tanto, solamente dos geotermómetros se pudieron aplicar a las muestras: El geotermómetro de D'Amore-Panichi (DAP) y el de CO₂-Ar. La temperatura DAP (66°C) es cercana a la temperatura del manantial (49°C). La temperatura CO₂-Ar es mucho mayor, de 200°C, lo cual sugiere tentativamente que este gas es una mezcla de dos componentes. El primer componente es N₂-gas enriquecido de origen atmosférico, el cual podría ser simplemente aire que ha sido disuelto en el agua meteórica de recarga y despojado de su oxígeno por reacciones subterráneas. El segundo componente es CO₂-gas dominante de origen profundo y posiblemente geotérmico. La concentración de Ar en el gas es de 0.32 vol.% lo cual es inferior que la concentración esperada en una muestra de tal tipo, que es de al menos 0.6 vol.%. Por lo tanto, el modelo de mezclas es incierto y las temperaturas de la fuente arriba de los 66°C no están confirmadas.

Discusión



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

La **Figura X-4.1.3** es una síntesis de las observaciones resumidas arriba, muestra las principales anomalías química del área y los patrones de flujo de la mayoría de los tipos de aguas (ver detalles y todos los datos analíticos y de geotermometría en el Anexo A).

Los patrones de flujo de las aguas calientes someras con un carácter fuertemente meteórico, al N del Volcán Masaya y NE y SSE del centro del Volcán Mombacho son obvios e indiscutibles. Estas se han calentado con vapor y por conducción, y aparentemente también tomaron una pequeña componente de agua Na-Cl profunda (y presumiblemente más caliente) antes de alcanzar los sitios de descarga. Sin embargo, sus temperaturas según los geotermómetros de Na-K y Na-K-Ca podrían parecer que son favorables (180° a más de 230°C en la región SSE del Volcán Mombacho y aún más altas en la pendiente N del Volcán Masaya), el geotermómetro de la sílice y el geotermómetro que incluye al magnesio señalan temperaturas próximas a las temperaturas de muestreo. Los geotermómetros de Na-K y Na-K-Ca no se consideran indicadores reales de las temperaturas de la fuente, ya que todos estos fluidos mezclados tienen concentraciones muy bajas de Cl, y los patrones de mezcla indican que procesos de baja temperatura contribuyeron significativamente en las relaciones de iones usadas en los geotermómetros Na-K y Na-K-Ca. Las condiciones magmáticas son indicadas por las muestras de gas colectadas en las fumarolas en la ladera S del Volcán Mombacho y, obviamente, en el Volcán Masaya.

Los resultados de nuestros análisis de las aguas de la Laguna de Apoyo, indican una fuente profunda del agua Na-Cl, con temperaturas de por lo menos 220°C. Es probable que, cerca de sus puntos de descarga, el flujo del agua geotérmico, hacia los puntos de descarga en la mayor parte de los sitios a lo largo de la orilla occidental de la laguna, esté dentro de ciertos estratos de rocas (es decir, un flujo horizontal). El patrón de flujo más profundo y la fuente de esta agua profunda Na-Cl es incierto. En el mapa (**Figura X-4.1.3**) se muestra como viene de la zona de la



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Caldera de Masaya, lo cual es razonable. Sin embargo, esta agua podría también ascender verticalmente a lo largo de fracturas en el anillo de la misma Caldera de Apoyo.

4.2 Investigaciones Geofísicas

4.2.1 *Tipo*

En la **Tabla X-4.1** se resumen las investigaciones geofísicas realizadas en el área del estudio. La primera investigación geofísica que cubrió la región parece haber sido un estudio gravimétrico realizado en 1972. El título del mapa gravimétrico que fue elaborado en este estudio fue “Mapa preliminar de gravedad de Bouguer, Catastro e Inventario de Recursos Naturales - Primera Edición, Marzo 1972”, el cual es parte de un informe de la empresa Parsons Corporation (1972). Sin embargo, ya que el mapa gravimétrico de ese informe no estuvo disponible, se utilizó una reproducción del mismo reportada en el informe de Electrodyne Surveys (1980).

Durante los años 1978, 1982, y 1983 en esta región se realizaron varios tipos de estudios geoelectricos. Los métodos empleados para la investigación geoelectrica incluyeron técnicas de corriente directa (DC) y métodos electromagnéticos (EM). Las técnicas DC incluyeron tres tipos de sondeos: Schlumberger modificado, dipolo ecuatorial modificado y monopolo modificado. Las técnicas electromagnéticas incluyeron una variedad de métodos, entre las cuales se encuentran los sondeos magnetotelúricos (MT) y audiomagnetotelúricos (AMT), las mediciones audiomagnetotelúricas de fuente controlada (CSAMT) y los telúricos de “vector roving” (RVT), el perfil telúrico y los sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM).

Los primeros estudios geoelectricos (**Figura X-4.2.1**) fueron realizados en 1978 por Electrodyne Surveys (1980) e incluyeron varios métodos de campo natural y electromagnéticos de fuente controlada, así como métodos de resistividad con corriente directa (DC). Los métodos DC



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

(Schlumberger modificado, dipolo ecuatorial modificado y monopolo modificado) probablemente dieron los resultados más confiables, mientras que los métodos de campo natural fueron primitivos y proporcionaron resultados esencialmente cualitativos. El método telúrico de vector roving (RVT) usado por Electrodyne no es confiable debido a ajustes estáticos no reconocidos y a los efectos en 2-D ó 3-D. Entre los métodos de resistividad DC, Electrodyne usó también el método de dipolo “roving” (RD), el cual ahora se estima es incapaz de diferenciar las anomalías someras de las profundas.

ELC-Electroconsult, en 1982, realizó como parte de su estudio levantamientos gravimétricos, sondeos Schlumberger y otros estudios geocientíficos. Algunos de los sondeos eléctricos verticales se efectuaron en cruz y 6 en forma de sondeos eléctricos circulares. No fue posible localizar el informe específico de este trabajo geofísico, pero sus resultados aparecen resumido en el informe del estudio de prefactibilidad.

En 1983, la Societé de Prospection et d’Etudes Géothermiques (S.P.E.G., 1983) realizó un extenso estudio magnetotelúrico (denominado “M.T.-5-E.X”) (**Figura X-4.2.1**). El informe no establece el número de componentes (de los campos eléctrico y magnético) que se registraron. Los sondeos M.T.-5-E.X. se realizaron para preparar mapas de conductancia total (tanto longitudinal como transversal), en lugar de modelar las estructuras geológicas estratificadas. Los sondeos se analizaron en el dominio del tiempo, para cinco períodos de onda entre 100 y 400 segundos. Con tales períodos largos, las observaciones indicaron la resistividad probablemente a profundidades tan grandes como 10 km, profundidad que cae dentro del basamento eléctrico. Por las características de las curvas de resistividad aparente el conductor, si está presente, no puede ser resuelto con los datos obtenidos. Sin embargo, los valores relativos de la resistividad aparente para los períodos largos proporcionan una evaluación de la conductancia relativa dentro de esta sección muy gruesa de la corteza terrestre.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Además del estudio de MT, la empresa S.P.E.G. (1983) empleó un método electromagnético para obtener los perfiles nombrados SOFREM (este parece ser un término comercial usado por la S.P.E.G.). Como se describe en el informe de S.P.E.G. el método SOFREM, parece ser que éste es ahora el método denominado CSAMT (audiomagnetotelúrico de fuente controlada). La Tabla X-4.1 resume las investigaciones anteriores.

En el ámbito del presente estudio, GeothermEx diseño y efectuó una investigación del Volcán Mombacho y de la región inmediata al Sur, usando los métodos MT y TDEM. En la recolección de datos, llevado a cabo por el subcontratista Geosystem srl, se utilizó el equipo más moderno disponible, incluyendo los sistemas de adquisición Metronix ADU-06 MT para detectar y grabar los datos completos de los tensores (2 componentes del campo E y 3 del campo H). La profundidad mínima de exploración fue de 2.5 km y el rango de frecuencias grabadas por el sistema MT comprendió aproximadamente de 0.003 a 300 Hz. Se empleó una referencia remota y un procesado sólido. Se utilizaron las mediciones TDEM en sitios seleccionados específicos para hacer el ajuste estático. Los datos del estudio electromagnético en el dominio del tiempo (TDEM) se obtuvieron usando transmisores-receptores Sirotem-3S. Detalles adicionales acerca del tipo de equipo usado se pueden encontrar en el Apéndice C de este volumen.

4.2.2 Cobertura

Una porción del mapa gravimétrico de Bouguer de Parson Corporation (1972) fue reportado en el informe de Electrodyne Surveys (1980). El extremo NO del área reproducida está cerca de Managua, y el extremo SE se encuentra aproximadamente 6 km al SE de Nandaime. Por lo tanto, la porción reproducida no cubre al volcán Mombacho ni las áreas cercanas.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Con respecto a las investigaciones geofísicas de Electrodyne Surveys (1980), inicialmente fue llevado a cabo un programa regional de reconocimiento, con 41 sondeos MT y AMT/RVT, y 19 sondeos dipolo-dipolo, distribuidos en un área de 750 km². Más tarde fue llevada a cabo una segunda fase de investigación (de detalle) que incluyó alrededor de 70 sondeos TDEM y 20 sondeos de DC combinados (Schlumberger modificado, dipolo ecuatorial y monopolo), cubriendo aproximadamente 200 km². Los sondeos DC tuvieron separaciones electródicas que fluctuaron entre 75 y 9,000 m. De acuerdo a la información disponible para ser que los sondeos TDEM y de corriente directa fueron hechos con el mismo juego de 15 dipolos fuente, todos ellos de 3 km de la longitud.

El trabajo geoelectrico de detalle cubrió una región que se extiende al N de Masaya, la parte E del flanco O del Volcán Mombacho, S de Nandaime y el O de Diriamba. Además, una faja estrecha de sitios de medición que se extendió 8 km al NNE de Masaya. El área cubierta por el estudio geoelectrico de reconocimiento y de detalle de Electrodyne Surveys se presenta en la **Figura X-4.2.1**. El límite N quedó más allá del área del mapa.

El informe de síntesis del estudio geofísico realizado por Electroconsult en 1982 menciona la medición de 422 estaciones gravimétricas y la ejecución de 137 sondeos eléctricos verticales Schlumberger, estos últimos con máximo espaciamiento electródico de $AB/2 = 2,000$ m. Se infiere que tales estudios inicialmente se programaron en un área de 1,300 km², pero finalmente se realizaron en 500 km², en una sub-zona que se denominó prioritaria. La gravimetría fue adicionada posteriormente para obtener más información del subsuelo y correlacionarla con los resultados de los trabajos que se habían programado.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

El estudio magnetoteléurico de S.P.E.G. (1983) incluyó mediciones en 110 estaciones, y tres perfiles SOFREM que comprendieron 267 estaciones. El área que delimita estos estudios se define esencialmente con la posición de las estaciones MT y se puede ver en la **Figura X-4.2.1**.

La investigación MT/TDEM hecha como parte del Estudio Plan Maestro cubrió una área de casi 80 km², localizada sobre y al S del Volcán Mombacho. Utilizó 54 estaciones MT, con mediciones TDEM realizadas en 32 estaciones MT. Nueve estaciones MT se localizaron sobre el propio volcán, mientras que todas las 46 estaciones restantes excepto una, se localizaron al S. La excepción es la estación MB51, localizada en el extremo NNE del área de estudio. En la **Figura X-4.2.2** se presenta la localización de las estaciones y perfiles. Esta distribución de estaciones se seleccionó con dos propósitos en mente:

- estudiar en detalle la estructura geoelectrica en la vecindad de las Lagunas Blanca y Juan Tallo; y
- desarrollar una sección a través de la cima del volcán.

El primer propósito se basó en los resultados de dos investigaciones anteriores que habían mostrado (según S.P.E.G., 1983) y sugerido (según Electrodyne Surveys, 1980) una anomalía del alta-conductancia en esa área, como se describe a continuación.

4.2.3 Resultados

El programa de Electrodyne Surveys (1980) sirvió para estimar cualitativamente las resistividades y conductancias eléctricas en el subsuelo. Por las razones establecidas arriba, se cree que los resultados numéricos sólo son útiles como indicadores de la resistividad relativa y la conductancia. Se definieron dos grandes zonas de alta conductancia (>500 mhos), una entre Masatepe, Diriomo, Nandaime y Diriamba (zona S), y otra al N de la caldera de Apoyo, entre



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Masaya, Granada y Tipitapa (zona N), separadas por una faja resistiva central con conductancias menores, en la zona de las calderas de Masaya y Apoyo y del Volcán Mombacho (ver Figuras X-4.2.3 y X-4.2.4).

La zona S es estrecha y tiene un rumbo casi E-O. Está abierta al E de los levantamientos, hacia una continuación que pasaría por el flanco S del Volcán Mombacho. Esta zona de alta conductancia entre Masatepe, Diriomo, Nandaime y Diriamba, coincidió con un bajo gravimétrico (Figura X-4.2.5) el cual se interpretó como correspondiente un graben limitado al SO por un horst y al NE por la faja del volcanes y calderas recientes. Además, un basamento bajo con tendencia N-S se observa que intercepta este rasgo en la vecindad de San José de Masatepe, y parece estar relacionado con un bajo gravimétrico con una tendencia hacia el N, localizado pocos kilómetros al O (tal vez un graben).

El estudio de Electrodyne Surveys (1980) habló de modelos estratificados de la resistividad o de la estructura de la conductancia en una forma general y presentó una sección 1-D altamente generalizada estableciendo la resistividad en términos relativos. Muestra una capa resistiva somera de 500-2,000 m de espesor, sobreyaciendo a una sección conductiva de 0-2,000 m de espesor, que descansa sobre un basamento eléctrico. La sección conductiva fue interpretada geológicamente como correspondiente a la parte más baja de la Formación Brito y la parte superior de la Formación Rivas. Ambas formaciones contienen lutitas así como areniscas, limolitas y conglomerados.

El mismo estudio presenta una sección 2-D interpretada que va desde el volcán Santiago a Nandaime, cruzando el área con la mayor conductancia (>700 mhos). Esta muestra una profunda depresión en el basamento eléctrico ocupado por una zona de alta conductancia, con



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

resistividades entre 1 y 2 ohm-m y profundidades entre 2 y 4 km, la cual está cubierta por materiales con resistividades menores o iguales a 10 ohm-m.

En su conclusión, Electrodyne Surveys señaló cuatro zonas que podrían contener yacimientos geotérmicos, basadas en parte en la sección 2-D, con una área total de aproximadamente 150 km². Sin embargo, es probable que estos rasgos reflejen propiedades no termales de una cuenca sedimentaria, basándose en la extensión y posición de la anomalía conductiva la cual se encuentra alejada de centros volcánicos. La conductancia relativamente alta puede llegar a producirse por la presencia de fluidos salinos en rocas porosas o por la presencia de lutitas o arcilla.

Por su parte el estudio de ELC-Electroconsult (1982) mencionó el levantamiento de 422 estaciones gravimétricas y la ejecución de 137 sondeos eléctricos verticales Schlumberger con máximo espaciamiento electródico de $AB/2 = 2,000$ m. No ha sido posible localizar el informe geofísico y los mapas que se produjeron en esta investigación.

La prospección eléctrica de ELC-Electroconsult (1982) definió una capa conductiva de 500 a 1,500 m de espesor y resistividades menores de 10 ohm-m. Debajo de esta capa conductiva fue detectada una zona con resistividad de 20 a 50 ohm-m la cual sobreyace a un resistivo basal. Tomando en cuenta la extensión de la capa conductiva y las características geológicas del área, interpretó que tal conductivo manifestaba las características eléctricas de una unidad estratigráfica en la formación Brito y no una zona de alteración hidrotermal o un sistema geotérmico.

Las anomalías gravimétricas resultaron congruentes con las de resistividad y la geología superficial, reflejando una serie de estructuras predominantemente NNO-SSE, que tienden a



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

profundizarse al E. Las estructuras fueron consideradas reflejar un sistema de graben y horst y otros alineamientos que coinciden con productos lávicos a lo largo de los ejes volcánicos.

Las investigaciones de S.P.E.G. (1983), consistieron de 150 sondeos magnetotelúricos (“M.T.-5-E.X.” o sencillamente MT), de los cuales sólo 110 pudieron ser interpretados por haberse obtenido buenos datos, y 267 sondeos electromagnéticos SOFREM. Los sondeos MT, espaciados entre 1 y 2 km, cubrieron 300 km² entre Masaya, Granada, Volcán Mombacho, Laguna Juan Tallo (al S del volcán), Nandaime y Niquinohomo, tratando de abarcar la anomalía de baja conductancia marcada entre Masaya, la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho, y las anomalías de alta conductancia señaladas al S y NE en el estudio de Electrodyne Surveys (Figura X-4.2.3).

Los sondeos SOFREM se realizaron en tres líneas NE-SO, dos ubicadas al NO y SE de la Caldera de Apoyo, cruzando transversalmente el alto resistivo detectado a lo largo de los principales centros volcánicos, y otra 8 km al SE de Nandaime; las tres con longitud total de 3 km. Sin embargo, el estudio de SOFREM fue de uso muy limitado, principalmente porque el ruido eléctrico de fondo no permitió el uso de frecuencias menores de 280 Hz. El perfil 1 fue sumamente ruidoso y no proporcionó datos confiables. Los perfiles 2 y 3 usaron las más bajas frecuencias de 560 y 280 Hz, respectivamente. Las resistividades aparentes más bajas detectadas a lo largo de estos perfiles fueron de 4 ohm-m, aproximadamente. Si los valores de la resistividad real fueron cercanos a los 4 ohm-m (una suposición razonable), entonces la máxima profundidad de penetración a lo largo de los perfiles 2 y 3 fue de alrededor de únicamente 50 m.

El estudio MT de la S.P.E.G. permitió ratificar y configurar con mayor detalle la anomalía ya descubierta por Electrodyne Surveys de baja conductancia entre la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho, y determinar que las anomalías de alta conductancia al S y NE del bajo conductivo,



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

en ambos casos están formadas por la conjugación de dos anomalías con conductancias mayores de 1,000 mhos, y, además, identificó otra anomalía de alta conductancia en un área de 2 a 3 km², a 2 km al E de la Laguna Juan Tallo. En la **Figura X-4.2.3** se ve la anomalía al E de la Laguna Juan Tallo.

Como conclusión del estudio la S.P.E.G. señaló que:

- La faja resistiva entre Masaya y el Volcán Mombacho no es de interés económico desde el punto de vista geotérmico, ya que los valores de las conductancias medias no permitieron interpretar un yacimiento. Las anomalías al NE del bajo conductivo podrían ser relacionadas con rocas permeables saturadas de agua. La zona se extiende ampliamente hacia el N y es difícil justificar en ella la existencia de un yacimiento geotérmico.
- Las dos anomalías al S del resistivo, una al SO de Niquinohomo y otra al NE de Nandaime, estimó no tienen un significado geotérmico ya que su origen se asocia con un grueso paquete de rocas conductivas desde la superficie.
- La anomalía de alta conductancia al E de la Laguna Juan Tallo, parece ser de interés geotérmico porque se encuentra en la cadena activa de volcanes con dirección NO-SE, y bastante cerca de las manifestaciones termales de Laguna Blanca, no lejos de fallas en la superficie. Este último sitio, una vez analizados los datos vulcanológicos y geoquímicos, se consideró podría ser un sitio favorable para realizar un pozo de exploración.

La investigación del Estudio Plan Maestro de abril y mayo del 2000 (**Figura X-4.2.2**) produjo 54 sondeos MT de la calidad generalmente buena a regular, así como 32 sondeos TDEM. El Anexo



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

C presenta los datos completos y los resultados del modelado del estudio, así como varios mapas, secciones y también un texto que incluye el análisis de los datos y su discusión.

Las inversiones 1-D (modelos columnares) se usaron para construir secciones columnares a lo largo de cinco líneas de perfil (MB-1 a MB-5). La **Figura X-4.2.6** presenta la sección columnar 1-D a lo largo de la línea del perfil MB-1. Esta y las otras secciones muestran que está presente un conductor ancho y casi plano en la cima a lo largo de la zona principal del estudio. Esta zona se localiza en el terreno casi llano y bajo al S del Volcán Mombacho, a elevaciones menores de 200 m s.n.m., y al S de la coordenada UTM 1,304 km N. Las inversiones 1-D indican que su resistividad varía de aproximadamente 1 a 8 ohm-m, su espesor de aproximadamente 1 a 2 km y su profundidad va de 0 a alrededor de 200 m.

Se puede notar que las inversiones 1-D no son confiables debajo de la cima del conductor, donde los datos de impedancia indican una estructura eléctrica 2-D. Sin embargo, ellos parecen dar estimaciones creíbles del espesor del conductor cuando se comparan con las inversiones 2-D. Al N de la coordenada 1,305 km N y arriba de la elevación de 300 m s.n.m. (es decir, al N de la estación MB34, ver la **Figura X-4.2.6**), los modelos columnares 1-D para cinco estaciones a lo largo de la línea de perfil MB-1, indican un conductor que es mucho más delgado que ese al S.

La inversión 2-D del perfil MB-1 se presenta en la **Figura X-4.2.7**. Este muestra al conductor delgado cubierto por debajo de la cima y flancos del volcán, y el conductor grueso al S del volcán. El conductor delgado tiene un espesor medio de aproximadamente 500 m, y es definido por el contorno de 10 ohm-m. La resistividad muy baja (<1 ohm-m) y el gran aumento de espesor mostrado por debajo de la cima se cree que es incorrecto como resultado de los datos incompletos de la estación MB-54 (no hay ningún dato para los períodos mayores de 0.8 s). La mínima resistividad podría ser más cercana a los 2 ohm-m y el espesor quizás la mitad de lo que



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

se muestra. La sección columnar 1-D del sondeo MB-1 (Figura X-4.2.6) indica profundidades menores (50 a 150 m) para este conductor que en el modelo 2-D (más de 500 m) en las estaciones MB-26, MB-43 y MB-34. Una mejor estimación de la profundidad de la cima del conductor se obtiene con el promedio de la profundidad en los modelos 1D y 2D, la cual es de aproximadamente 250 m.

La inversión 2-D del perfil MB-2 (Figura X-4.2.8) muestra que el conductor ancho es horizontal y tiene un espesor consistente de alrededor de 1,500 m, estando definido por el contorno de 10 ohm-m. Basado en sus elevaciones y espesores muy diferentes, puede inferirse que los conductores por debajo y al S del volcán probablemente representan distintas condiciones geológicas.

Un mapa de la conductancia total a la profundidad de 1,000 m se muestra en la Figura X-4.2.9. Este muestra un gran eje conductivo (con conductancia que excede 350 siemens) que tiene la tendencia E-O, aproximadamente, por la parte oriental del área al que subyace el conductor ancho. Un eje conductivo más débil puede verse que tiende casi hacia el N, entre las estaciones MB-37 y MB-42. Al N de la estación MB-42 no existen suficientes datos para definir cualquier tendencia conductiva.

El mapa de conductancia a 2,000 m de profundidad (incluido en el Anexo C) muestra un modelo similar, pero con valores de conductancia más altos. El alto en la conductancia entre las estaciones MB-03 y MB-42 se ve como una fuerte zona de baja resistividad en el perfil MB-1 (Figura X-4.2.7). Debe hacerse notar que S.P.E.G. (1983) mapeó una zona de alta conductancia (Figura X-4.2.3) con diámetro de 3 km, aproximadamente, localizado a lo largo del eje con tendencia hacia el E y con centro entre las estaciones MB-30 y MB-39.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Las implicaciones de estos resultados para los recursos geotérmicos se consideran a continuación. El conductor poco profundo y delgado localizado debajo del Volcán Mombacho (Figura X-4.2.7) es muy interesante debido a su pendiente descendente, paralela a la superficie del terreno en los flancos del volcán. Esto sugiere que pueda representar aguas termales mineralizadas que descienden del área de la cúspide y/o arcilla producida por alteración hidrotermal. El cráter de este volcán activo contiene varios sitios con fumarolas y manantiales termales, y algunas de las salidas termales parecen drenar hacia el S para producir una línea de manantiales termales (con máxima temperatura de 54° C) que se extiende hacia el S de la cima a aproximadamente la coordenada UTM 1,305 km N (ver en el Capítulo 4, parte 1 el mapa de manifestaciones termales y pozos). Este alineamiento sigue de cerca la línea de perfil MB-1 hacia el S hasta la estación MB-34, localizada muy cerca del extremo S del conductor delgado. El principal grupo de manantiales termales se encuentra entre las estaciones MB-54 y MB-26, dónde la sección 2-D (Figura X-4.2.7) muestra que resistividades bajas (<10 ohm-m) alcanzan la superficie del terreno. El eje conductivo con tendencia al N (ver Figura X-4.2.9) conecta el área de la estación MB-34 (al N) con un manantial termal localizado (al S) aproximadamente 1 km al N de Laguna Blanca, sugiriendo la posibilidad de que la salida del flujo termal del volcán pudiese alcanzar este sitio lejano al S.

Otra posible explicación del delgado conductor debajo del volcán es que represente intrínsecamente rocas sedimentarias conductivas que fueron levantadas o inclinadas hacia el S antes del vulcanismo que construyó el volcán. Sin embargo, un estrato-volcán como el Mombacho se espera que esté compuesto totalmente por rocas volcánicas por debajo, hasta una elevación similar a la de su base topográfica y más abajo todavía sí ha tenido una subsidencia isostática.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Se considera probable que el conductor grueso al S del volcán sea representativo de rocas sedimentarias conductivas pertenecientes a las formaciones Brito, Rivas y/o otras. El origen de las resistividades muy bajas observadas (normalmente menores de 3 ohm-m) es probablemente arcilla o fluido salino en los poros de la roca. Las rocas ricas en arcilla (supuestas dentro de lutitas tobáceas) y rocas clásticas (grauvacas y conglomerados) están incluidas en las formaciones Brito y Rivas. Si los fluidos en los poros son la causa de la alta conductividad, entonces éstos pueden ser principalmente intrínsecos (es decir, fluidos nativos) o podrían haber sido introducidos como fluidos hidrotermales relacionados con la actividad geotérmica asociada con el Volcán Mombacho. Ya que los datos MT no sugieren un confinamiento horizontal de este conductor, ni cualquier estructura de interés, se considera que tiene poco potencial geotérmico.

Una posible excepción de esta evaluación es el área cercana a Laguna Blanca. Hay sitios localizados dentro de 1 km en el extremo N de Laguna Blanca, a los que subyace este grueso conductor, que son interesantes porque contienen dos manantiales y pozos termales con las temperaturas de 29° a 60° C (ver Capítulo 4 y la [Figura X-4.1.2](#)). El eje conductivo con tendencia al N que se ve en la [Figura X-4.2.9](#) parece conectar esta área con los manantiales termales localizados en lo alto del flanco del volcán. El modelo 2-D del perfil MB-2 ([Figura X-4.2.8](#)) incluye las estaciones MB-11 y MB-17, las cuales quedan dentro de un 1 km de los rasgos termales mencionados. Sin embargo, no se observa ningún rasgo característico del subsuelo en la sección cercana a estas estaciones.

En conclusión, el estudio MT sugiere que un sistema geotérmico puede existir en el flanco S del volcán. Esta área sobreyace a un conductor somero (aproximadamente a 250 m de profundidad), con espesor de aproximadamente 500 m; además incluye cinco manantiales termales de 26°-54°C que se extienden hacia el S de la cima del volcán tan lejos como la coordenada UTM 1,305 km N, a la elevación 300 a 400 m s.n.m. (ver [Figura 4.1.1](#), la subdivisión denominada cráter S.V.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Mombacho). La extensión E-O del área no puede ser determinada con los datos MT disponibles, los cuales están confinados al solo perfil MB-1 en el flanco S del volcán. Tres a cuatro km al SSE de esta área, cerca de las Plazuelas y Laguna Blanca, hay manantiales y pozos termales los cuales quedan en el margen S del eje conductivo (**Figura X-4.2.9**).

4.3 Resultados de Pozos Geotérmicos

Como se indica en la Sección 2.3, a la fecha no se ha perforado ningún pozo con fines de exploración o producción geotérmica en el área de Masaya-Granada-Nandaime.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

5. NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO

5.1 Localización de la Fuente de Calor

El área de Masaya-Granada-Nandaimé incluye tres importantes centros volcánicos cuaternarios: la Caldera de Masaya, la Caldera de Apoyo y el Volcán Mombacho. Debajo de cada uno de estos centros volcánicos ocurren muy probablemente condiciones favorables para la existencia de una fuente de calor de interés geotérmico. La distancia entre estos centros volcánicos es de aproximadamente 12 km y solamente de 4 km entre los bordes de la Caldera de Masaya y la caldera de Apoyeque, así que se puede asumir, en general, que exista una significativa fuente de calor a lo largo de todo el eje volcánico Masaya-Mombacho.

El magmatismo del complejo volcánico de Masaya ha estado activo desde el Plioceno Tardío, con la formación de las ignimbritas basálticas del Grupo Las Sierras, y ha evolucionado a través de una serie de colapsos caldéricos asociados con emisión de productos principalmente piroclásticos. El volcán es actualmente activo y su actividad reciente al interior de la Caldera de Masaya ha producido también significativos flujos lávicos basálticos. Los productos de este complejo volcánico indican limitados fenómenos de diferenciación magmática y una procedencia directa del magma desde las zonas profundas de origen. El volumen del magma erupcionado ha sido estimado en 60 km³, con una tasa de 1 a 4 km³ cada 1,000 años (Carr, 1984; Williams, 1983). La frecuencia, los grandes volúmenes de magma implicados y el estilo altamente explosivo de las erupciones, indican una continua movilización de grandes volúmenes de magma hasta niveles relativamente someros, lo que puede haber generado una anomalía térmica de interés geotérmico.

Debajo de la Caldera de Apoyo existe indudablemente una importante fuente de calor representada por el sistema magmático que ha generado las repetidas fases de actividad que tan



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

sólo hace 23,000 años (Sussman, 1985) han culminado con el hundimiento de esta amplia estructura caldérica. Los productos de composición variable entre andesítica y dacítica que han caracterizado la actividad del Volcán Apoyo, son un claro indicio de residencia prolongada del magma a niveles crustales relativamente someros, donde se han realizado 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 Apoyo, así que no hay información acerca de la profundidad y temperatura de la cámara magmática que se ubica debajo de la Caldera de Apoyo. Los únicos datos de cierto interés son las estimaciones efectuadas por Sussmann (1985) sobre el volumen de magma implicado en las últimas erupciones explosivas de la Caldera de Apoyo, ocurridas hace 23,000 años, el cual es de 10.7 km^3 . Este valor es indicativo de una cámara magmática de relativamente grandes dimensiones, la cual es muy probable que haya generado una importante anomalía térmica en el subsuelo del toda el área alrededor de la actual Caldera de Apoyo.

El Volcán Mombacho es un típico estrato volcán constituido por productos andesíticos y basálticos moderadamente diferenciados. Aunque el volcán sea actualmente inactivo, con excepción de algunas fumarolas presentes en su cumbre, hay indicaciones de que haya tenido una actividad efusiva en tiempos relativamente recientes, sucesivos a la formación de la Caldera de Apoyo (23,000 años), con emisión de coladas andesíticas en su ladera septentrional. La tipología de este volcán y su reciente actividad se consideran indicios favorables para la existencia de una interesante anomalía térmica en el subsuelo, relacionada con la presencia de cuerpos magmáticos relativamente someros.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

No hay mucha información disponible para determinar la forma de los complejos magmáticos o para identificar posibles intrusiones laterales que pueden extenderse afuera de los complejos centrales. Los pocos centros volcánicos parásitos que se encuentran alejados de las calderas o los conos centrales demuestran una tendencia de alinearse en una orientación NNE-SSO. Esto, junto con el marco estructural del área, sugiere que, si hubiesen cuerpos intrusivos irregulares (como diques) que se extienden afuera de los complejos centrales, estos pueden ser principalmente orientados en sentido NNE-SSO.

5.2 Zonas de Ascenso

Las manifestaciones termales superficiales presentes en el área y todo el conjunto de información geocientífica disponible, no permiten definir la ubicación exacta de las posibles zonas de subida de fluidos geotérmicos profundos. Sobre la base a los datos hidrogeoquímicos se puede, sin embargo inferir la presencia de zonas de procedencia de fluidos termales, las cuales parecen ubicarse en por lo menos en tres diferentes sectores (ver la **Figura X-5.1**):

- el sector interno de la Caldera de Masaya;
- el sector inmediatamente al O de la Laguna de Apoyo (o tal vez el sector al SE, hacia el Volcán Mombacho); y
- debajo del edificio del Volcán Mombacho.

Su identificación se basa esencialmente sobre la procedencia aparente de flujos laterales someros de fluidos geotérmicos que tienen expresión superficial en zonas termales, manantiales y pozos someros con anomalías térmicas y químicas. Entre las 3 zonas, la que queda al O (o al SE) de la Laguna de Apoyo parece ser la más importante, por las características de su anomalía química.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Sin embargo, existen incertidumbres grandes sobre la ubicación de la zona de ascenso de esta anomalía. Es posible que la zona de ascenso está ubicada inmediatamente por debajo de la anomalía misma (es decir, por debajo de la orilla occidental de Laguna de Apoyo). Alternativamente, es posible que la zona de ascenso se ubica hacia el Oeste o el Noroeste (hacia la Caldera de Masaya) y tampoco es posible descartar la posibilidad que la zona de ascenso se ubica por debajo del Volcán Mombacho (unos 15 km hacia el Sudeste) (ver la **Figura X-5.1**).

En el caso del Volcán Mombacho los resultados del levantamiento geoelectrico realizado en el ámbito del Plan Maestro han evidenciado la presencia de una cúpula de material moderadamente resistivo envuelta por rocas muy conductivas, ubicada dentro o cerca del sector central del volcán, y extendiendo alguna distancia hacia el Sur. Esta estructura geoelectrica podría resultar de procesos de alteración hidrotermal al tope de un sistema geotermico, y por lo tanto indicar el posible ascenso de fluidos termales por debajo del sector central y meridional del volcán.

5.3 Dirección de Movimiento de los Fluidos

Los resultados de los estudios hidrogeoquímicos evidencian que, por lo menos en tres diferentes zonas del área bajo examen, existen indicios sobre la presencia de fluidos hidrotermales en el subsuelo. Estos se ubican en el sector al N de la Caldera de Masaya, en el sector occidental de la Caldera de Apoyo y en la porción centro-oriental y meridional del Volcán Mombacho (ver **Figura X-4.1.3**).

En la zona al N de la Caldera de Masaya los indicios termales y geoquímicos proporcionados por varios pozos someros y por los grandes manantiales existentes cerca de la orilla del Lago de Managua (unos 10 km al N del borde de la caldera) parecen indicar la presencia de un flujo lateral de fluidos geotermicos que desde la zona interna a la caldera se desplaza hacia el N. Desafortunadamente, al interior de la Caldera de Masaya (con excepción de las fumarolas en el



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

cráter Santiago) no existe ninguna manifestación termal conocida u otro dato que pueda dar informaciones más precisas sobre la zona de origen de los fluidos termales.

Las manifestaciones de la Caldera de Apoyo están concentradas a lo largo de su orilla occidental donde ocurren en forma casi continua por unos 4 km. Estas presentan características químicas muy marcadas que permiten relacionarlas con un fluido geotérmico mezclado con aguas de circulación somera durante procesos de migración lateral desde su zona de origen profunda. El hecho de que estas manifestaciones sean limitadas a la orilla occidental de la caldera parece indicar que la zona de procedencia de los fluidos geotérmicos sea ubicada en algún punto afuera de la estructura caldérica, en el sector más al O, o hacia el SE (ver la **Figura X-5.1**) Es también posible que las estructuras del borde caldérico jueguen un papel en los procesos de subida del fluido termal hasta la superficie.

En el caso del Volcán Mombacho, como ya comentado en el capítulo anterior, hay evidencia que sugiere la presencia de un sistema hidrotermal debajo del edificio volcánico, y también existen manantiales termales alrededor del volcán que muestran anomalías térmicas y composición química derivantes de cierta contaminación por fluidos geotérmicos. Estas manifestaciones termales pueden relacionarse con flujos laterales de fluidos geotérmicos, que desde el sistema principal se desplazan lateralmente hacia el NE y hacia el SSO. Parece, sin embargo, más probable que sean sencillamente el resultado de flujos sub-superficiales, los cuales son calentados y contaminados por gases y limitadas porciones de aguas geotérmicas en la zona central del edificio volcánico y luego fluyen lateralmente controlados por las estructuras de deslizamiento y fallas relacionadas.

5.4 Temperatura



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

La aplicación de los varios geotermómetros de cationes y de la sílice, a los datos químicos disponibles sobre los manantiales presentes en la Laguna de Apoyo, permite estimar temperaturas de equilibrio geoquímico en el rango de los 220-240°C.

En el caso de las aguas con evidencias de contaminación geotérmica presentes en el sector al N de la Caldera de Masaya, los geotermómetros de cationes y de la sílice no permiten estimaciones de temperatura, debido a la limitada mezcla con el componente geotérmico originario y a la presencia de extensos procesos de re-equilibración química del fluido en las condiciones del acuífero somero.

La composición de los gases fumarólicos del Volcán Mombacho muestra una cierta influencia magmática y los geotermómetros indican temperaturas relativamente elevadas, en el rango 315-320°C. Los manantiales termales presentes alrededor del volcán, ya sea en su lado oriental como en la planicie al S del mismo, presentan temperaturas de hasta 55-60°C, pero limitados indicios de interacción con fluidos geotérmicos de procedencia profunda, así que los geotermómetros de cationes y de la sílice aplicados a estas muestras reflejan las temperaturas de circulación somera al interior del edificio volcánico (alcanzando una máxima de 65°C). Algunos indicios químicos, de limitada confiabilidad, parecen indicar que el componente clorurado-sódico de estas aguas tenga una temperatura originaria superior a los 180°C.

5.5 Química del Fluido

Los datos hidrogeoquímicos indican que el sistema geotérmico que tiene su expresión superficial en las manifestaciones termales de la Laguna de Apoyo está probablemente constituido por un típico fluido clorurado-sódico, con aproximadamente 2,300 mg/l de Cl y un pH alrededor de neutro. No hay evidencias de significativos procesos de separación de vapor. La actividad volcánica reciente en el Volcán Apoyo podría implicar también la presencia de porciones del



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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.

La composición química de los fluidos presentes en el sistema geotérmico que alimenta el flujo lateral al N de la Caldera de Masaya y en el sistema termal que se infiere existir en el macizo del Volcán Mombacho, no puede ser inferida a través de los datos disponibles, en cuanto sólo se tienen muestras de aguas someras que han sido contaminadas por vapor y gases geotérmicos y muy limitadamente mezcladas con el fluido geotérmico profundo. La composición de los gases fumarólicos del Volcán Mombacho presenta evidencias de una cierta influencia magmática, y al interior de la Caldera de Masaya existe una intensa actividad volcánica, por lo tanto no se puede excluir que estos sistemas termales incluyan fluidos ácidos generados por interacción con exhalaciones de gases magmáticos.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

6. ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS

El área Masaya-Granada-Nandaime incluye tres grandes complejos volcánicos, cada uno de los cuales representa la fuente de calor potencial importante de uno o varios sistemas geotérmicos. Si bien hay indicios de actividad hidrotermal en varias zonas diferentes dentro del área, solamente hay una zona, localizada en el lado O de la Caldera de Apoyo, de la cual existe suficiente información para inferir la localización, extensión y otras características de un recurso geotérmico específico. Por esta razón, las reservas de energía geotérmica recuperables del área de Masaya-Granada-Nandaime se han estimado como sigue:

- Las reservas del sistema geotérmico asociado con la margen occidental de la Caldera de Apoyo se han estimado como reservas de Categoría 2, de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I.
- Las reservas potenciales asociadas con cada uno de los grandes volcanes (Caldera de Masaya, Caldera de Apoyo y Volcán Mombacho) se han estimado como reservas de Categoría 3, usando la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I. Para cada complejo volcánico se ha hecho un cálculo por separado.

6.1 Reservas de la Categoría 2

6.1.1 *Definición de Parámetros*

Las distribuciones probabilísticas de los parámetros críticos requeridos para el cálculo volumétrico de las reservas en la zona de la Laguna de Apoyo, se han estimado con base en el modelo conceptual del sistema geotérmico presentado en el Capítulo 5. Las bases para la estimación de estos parámetros se describen abajo. A ciertos parámetros que son comunes en todas las áreas de Estudio Plan Maestro, o cuya estimación específica es incierta, se les han



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

asignado los valores típicos o estándares descritos en el Volumen I Anexo B. Estos incluyen: la capacidad volumétrica de calor de la roca del yacimiento, la porosidad de la roca, vida de la planta de generación eléctrica, factor de capacidad de la planta, factor de utilización y temperatura de salida. Todos los parámetros usados para el cálculo de las reservas en la zona de la Laguna de Apoyo se resumen en la **Tabla X-6.1**.

Localización y Extensión del Yacimiento

Las manifestaciones termales que se encuentran a lo largo de la orilla occidental de la Laguna de Apoyo indican la presencia de un sistema geotérmico de magnitud importante, considerando la extensión de las manifestaciones y sus temperaturas (incluyendo las temperaturas máximas señaladas por la geotermometría). Como se indicó en el Capítulo 5, es incierta la posición exacta del sistema geotérmico del cual los manantiales termales son una descarga, pero con base en las consideraciones hidrológicas es probable que se localice al O de la Laguna de Apoyo, cerca o dentro del sector sur-oriental del complejo de la Caldera de Masaya.

Las manifestaciones termales se extienden a lo largo de una zona que tiene más de 3 km de longitud (**Figura X-4.1.3**). Por lo tanto, la suposición más conservadora del área del yacimiento con alta temperatura que provee los fluidos termales es de 3 km² aproximadamente; se supone que ésta constituye el límite inferior de la distribución probabilística. Es posible que el yacimiento sea considerablemente mayor, por lo menos en un factor de 2 ó 3. Y se ha supuesto que un área de 8 km² sea el valor más probable de la distribución probabilística; ésta podría ser aún una estimación conservadora. Puesto que la evidencia disponible sugiere que el sistema podría ser más grande, se ha usado un área máxima de 20 km² como el límite superior de la distribución probabilística.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Espesor del Yacimiento

No existe una evidencia directa con la cual se pueda estimar el espesor del yacimiento geotérmico cuyo calor pueda ser recuperado; por lo tanto, se ha seleccionado una distribución probabilística rectangular que cubra un rango bastante amplio de espesor. Se han supuesto 1,000 m para el espesor mínimo, ya que es inusual que un sistema de alta temperatura en rocas volcánicas se restrinja a un intervalo menor que éste. La recuperación de calor de un intervalo mayor es posible. Aún si la producción del fluido se obtiene de una zona limitada, el calor se recuperará de un intervalo vertical más grande conforme el sistema es explotado. Por lo tanto, se han asumido 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 media del yacimiento se ha considerado una distribución probabilística triangular, con un límite inferior de 210°C, un límite superior de 240°C y como valor más probable 220°C. Las temperaturas que definen esta distribución se basan en la geotermometría química, indicada en el Capítulo 4, la cual aporta una evidencia consistente de la presencia de fluidos con altas temperaturas en el sistema geotérmico.

6.1.2 Cálculo de Reservas

La distribución probabilística de las reservas de energía recuperable en el sistema de la Laguna de Apoyo se calculó usando los parámetros descritos arriba y con la metodología descritas en el



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Anexo B del Volumen I. La distribución calculada se resume en la **Tabla X-6.1** y se muestra gráficamente en las **Figuras X-6.1** y **X-6.2**.

El valor medio de la distribución probabilística es aproximadamente 171,7 MW, con una desviación estándar de 89.4 MW. El 10° percentil de la distribución es aproximadamente 35 MW; en otras palabras hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor, en base a las suposiciones asumidas. El valor medio de la capacidad en MW es alrededor de 150.5 MW. El valor medio de la energía recuperable por unidad de área es de 160.0 MW/km²,

6.1.3 Comentarios

El método volumétrico de estimación probabilística indica que reservas importantes de energía geotérmica recuperable se asocian probablemente con el sistema localizado cerca de la margen occidental de la Laguna de Apoyo. El riesgo de que el sistema sea pequeño parece ser bajo, más bien hay una posibilidad de que el sistema sea más grande. Para determinar con mayor precisión la magnitud verdadera del sistema, será necesario realizar investigaciones adicionales, principalmente con la perforación profunda. Sin embargo, la información existente es suficiente para confirmar que la zona de la Laguna de Apoyo es 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 se puedan recuperar económicamente para la producción geotermoeléctrica. La confirmación del potencial del recurso en la zona de la Laguna de Apoyo, como en cualquier otra área, requerirá que se



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

perforen y prueben pozos de producción, para demostrar que existe la suficiente permeabilidad en el yacimiento que permita la extracción económica del calor en este lugar.

6.2 Reservas de la Categoría 3

6.2.1 *Definición de Parámetros*

Los parámetros críticos usados para calcular las reservas de Categoría 3 asociadas con cada uno de los tres volcanes mayores en el área Masaya-Granada-Nandaime, se resumen en la Tabla X-6.2 y se discuten abajo. A los otros parámetros requeridos para el cálculo se les asignaron los valores estándar usados en todas las áreas; y éstos se describen en el Anexo B del Volumen I.

Volumen de la Cámara Magmática

El volumen de la cámara magmática/complejo intrusivo asociado con cada uno de los volcanes mayores del área, se estimó de acuerdo a la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Para el Volcán Mombacho, el cual es un estrato-volcán cónico bastante típico, el cálculo se basó en el volumen de los productos erupcionados, señalado por el volumen del edificio volcánico. Los complejos de Masaya y de la Laguna de Apoyo son volcanes de tipo escudo que han formado calderas mayores; por lo tanto, se determinó que las estimaciones más confiables para estos volcanes se podrían obtener con base a los volúmenes de las erupciones más recientes que formaron las calderas.

- Caldera de Masaya: Williams (1983) concluyó que los depósitos asociados con las erupciones mayores que formaron la presente Caldera de Masaya, arrojaron por lo menos 8 km^3 , aproximadamente, de material. El volumen real pudo ser casi dos veces esa



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

cantidad, según el volumen calculado del colapso representado por la caldera. Para ser más conservadores, se ha asumido que el volumen del magma erupcionado durante el episodio del colapso de la caldera, en cierta forma se encuentra entre estos valores. Por lo tanto, considerando que el volumen erupcionado representa cerca del 10% al 20% del volumen total del magma, un rango amplio de 40 km³ a casi 150 km³ está indicado por el complejo magmático. Estos límites se usaron como límites de la distribución probabilística rectangular.

- Caldera de Apoyo: Existe un consenso razonable de que el volumen de magma expelido durante las erupciones que formaron la actual Caldera de Apoyo, fue de aproximadamente 10 km³. Por lo tanto, este volumen erupcionado se ha usado como la base para asignar los límites de 50 a 100 km³ a la distribución probabilística rectangular del volumen total de magma.
- Volcán Mombacho: Como parte del Estudio Plan Maestro al edificio volcánico se le calculó un volumen de 49 km³. Independientemente de esta estimación, Stoiber y Carr (1973) y Carr (1984) hicieron otras estimaciones muy cercanas. Por lo tanto, para la distribución probabilística del volumen del magma emplazado se ha asumido como límite inferior un volumen de 50 km³. El límite superior se ha considerado que es dos veces este valor, o sea 100 km³.

Profundidad de la Cámara Magmática

No hay información directa con la cual se pueda estimar con seguridad la profundidad del magma emplazado debajo de los centros volcánicos mayores dentro del área Masaya-Granada-Nandaime. Por lo tanto, una estimación conservadora se ha basado en la suposición de que el magma y la roca intrusiva se hayan acumulado cerca del nivel de sustentación hidráulica neutral,



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

suponiéndose que éste está alrededor de 5 km de profundidad. Un rango algo más amplio de 3 a 7 km se ha asumido para la profundidad, para tomar en cuenta incertidumbres potenciales, incluyendo la posibilidad de intrusiones más someras. Este rango se ha usado para definir los límites de la distribución probabilística rectangular usada en el cálculo de las reservas para cada uno de los volcanes.

Edad del Emplazamiento

- Caldera de Masaya: Williams (1983) estimó que las erupciones que formaron la caldera ocurrieron entre 2,250 y 5,500 años atrás. Por lo tanto, se ha asumido una edad de 5,000 años como la edad mínima efectiva del magma emplazado. Williams (1983) infirió que la edad del complejo de Masaya es cercana a los 50,000 años; y esto representa la posible edad máxima de la acumulación del magma dentro del complejo. Por lo tanto, para definir los límites de la distribución probabilística rectangular para la Caldera de Masaya se ha adoptado el rango de 5,000 a 50,000 años.
- Caldera de Apoyo: Las mayores erupciones que formaron la Caldera de Apoyo se han datado con razonable precisión en aproximadamente 23,000 años (Sussman, 1985). El límite superior de la edad del complejo de Apoyo no está bien definido, pero ciertas evidencias de la datación reportada por Sussman (1985) sugieren un posible límite superior para la edad de 100,000 años, en forma muy general. Estas dataciones han sido usadas como los límites de la distribución probabilística rectangular.
- Volcán Mombacho: La historia de la actividad volcánica en el complejo del Mombacho no está bien definida. Sin embargo, uno de los depósitos más recientes, datado como parte del Estudio Plan Maestro, se determinó que es de aproximadamente 18,000 años de antigüedad. La mayor parte de la actividad del Volcán Mombacho probablemente es más antigua que ésta; sin embargo, otra parte del mismo podría ser más joven. Considerando



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

los promedios típicos de erupción de los volcanes en Centro América (McKnight *et al.*, 1997), el edificio volcánico probablemente se formó en un periodo de aproximadamente 30,000 a 60,000 años, y podría haber sido completado en su mayor parte hace 10,000 años, aproximadamente. Por lo tanto, las edades límite para el emplazamiento del magma, que se asume coinciden con el inicio de la formación del edificio, se han estimado conservadoramente en 40,000 y 70,000 años.

Temperatura del Magma

Para la temperatura original del magma emplazado dentro de cada complejo volcánico se ha considerado un rango de 900° a 1,100°C. Este es el mismo rango asumido para las 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 cada uno de los 3 volcanes, se han estimado con base en los parámetros descritos arriba y con la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I. Los resultados de esta estimación se resumen en la Tabla X-6.3. Las Figuras X-6.3 a X-6.5 describen gráficamente la distribución de las reservas en función de la distancia del centro del volcán, con el rango de incertidumbre indicado por la desviación estándar del cálculo de las reservas.

Sintetizando las reserva potenciales para cada volcán asociadas con la producción del complejo magmático, las siguientes pretenden ser las estimaciones de las reservas totales (basadas en el valor medio de la distribución probabilística):



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Caldera de Masaya: 398 MW
- Caldera de Apoyo: 441 MW
- Volcán Mombacho: 446 MW

Las reservas potenciales máximas totales asociadas con los complejos volcánicos en el área Masaya-Granada-Nandaime son, por lo tanto, estimadas en aproximadamente 1285 MW.

6.2.3 Comentarios

Podrá notarse 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 que se presentan arriba son una representación estadística del potencial del área y no una prueba determinantemente de que está presente un recurso geotérmico comercialmente explotable. De mucha importancia será el demostrar con exploración adicional y, finalmente, con la perforación profunda que confirme la presencia de tal recurso, la existencia de roca permeable en un volumen suficiente que permita la convección del fluido y el desarrollo de un yacimiento explotable.

Las reservas calculadas de Categoría 2 llevan un mayor nivel de certeza que aquellas de Categoría 3, tanto en la precisión de la estimación como en la localización inferida del recurso geotérmico. Es decir, las reservas calculadas de Categoría 2, para la zona cercana a Laguna de Apoyo, representan una estimación más refinada de la magnitud de una porción de las reservas indicadas por la metodología de Categoría 3. Por lo tanto, las reservas de Categoría 2 no aumentan el potencial máximo indicado por lo estimado en la Categoría 3.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

7. ASPECTOS AMBIENTALES

7.1 Información Existente

La investigación más reciente que enfrenta este tema de manera sistemática 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 amplia referencia en este informe. Este incluye varia información ambiental sobre las áreas protegidas del Volcán Masaya, de la Laguna de Apoyo, del Volcán Mombacho y de las Lagunas de Mecatepe - Río Manares.

En lo que se refiere a las condiciones climáticas del área en estudio, cabe mencionar que la información existente corresponde al Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), que tiene varias estaciones meteorológicas dispersas en el país. El mayor número de las estaciones están ubicadas en ciudades importantes y otros centros de población, de manera tal que la información que proporcionan sólo corresponde a condiciones climatológicas regionales y éstas se pueden analizar en mapas editados por el Instituto. Entre los mapas importantes se encuentran el Mapa de Precipitación Media Anual y el Mapa de Temperatura Media Anual.

Parte de la información relacionada con los aspectos socioeconómicos del área de estudio, se ha obtenido del Censo Nacional efectuado el año 1995, que fue publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Otra parte de la información ha sido obtenida por el personal técnico de GeothermEx (geólogos, geoquímicos y geofísicos) durante los trabajos de campo del Plan Maestro.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

7.2 Características Ambientales

7.2.1 *Aspectos Socioeconómicos*

Población y Uso de la Tierra

El área de estudio es muy grande e incluye las áreas urbanas y suburbanas de Masaya, Granada, Nandaime y otros centros menores, alrededor de las cuales se desarrolla una región rural con población dispersa y limitados sectores poco poblados, como el interior del cráter de Apoyo y las laderas del Volcán Mombacho. Gran parte de los departamentos de Masaya y Granada y un sector del Departamento de Carazo están incluidos en el área de estudio. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la población en los departamentos de Masaya y Granada en 1995 fue de 241,354 y 155,683 habitantes, respectivamente. El área urbana de Masaya para el mismo año 1995 contaba con 82,918 habitantes, y la de Granada 71,783. En la Tabla X-7.1 se reportan datos más detallados sobre la distribución de la población en los varios municipios incluidos en el área de estudio.

El sector septentrional del área es el más densamente poblado, debido a la cercanía de la capital del país, a las actividades industriales en Masaya y Granada y a la fertilidad de la tierra que favorece los cultivos permanentes de café, cítricos y frutas, y de otros cultivos temporales como el maíz, frijol, tabaco, yuca. En la parte S las condiciones cambian y las actividades se relacionan más con la ganadería, que es una actividad importante, y con cultivos intensivos como maíz, frijol, arroz, caña de azúcar. En las laderas del Mombacho abundan las fincas cafetaleras.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Se observa que en general la economía del área no está muy deprimida, como en otros sectores de la cordillera volcánica, y existe cierta producción de artículos para el turismo y en general para el uso de los habitantes de la región como son las artesanías, muebles y plantas de ornato.

En la zona rural la tendencia a la división de las tierras en parcelas es bastante elevada, sobre todo en las proximidades de los centros de población.

Sitios Científicos y Naturales

Por lo que respecta a los sitios científicos y naturales, éstos se relacionan con la vulcanología y la naturaleza en la zona de la Caldera de Masaya y del Volcán Mombacho. Por los riesgos geológicos que representan ambas estructuras, constantemente se encuentran sometidas a estudios ya sea en el mismo terreno como en los centros de investigación del INETER en Managua. Ambos sitios frecuentemente reciben la vista de volcanólogos y de los estudiosos de la naturaleza. El Parque Nacional del Volcán Masaya es un lugar para introducir a los estudiantes y turistas en lo que son los procesos volcánicos.

Sitios Culturales y Arqueológicos

El área incluye sitios en los cuales ha sido reportada la existencia de recursos arqueológicos. Sin embargo, estos no han sido desarrollados y se desconocen los estudios que se estén realizando o se haya programado realizar en el futuro.

Por lo que respecta a los sitios culturales, se mencionan principalmente la ciudad de Granada y de Masaya, las cuales incluyen muchos monumentos históricos de edad colonial, como iglesias, parques, conventos y palacios. Además casi todos los principales poblados presentes en el área



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

tienen una estructura urbanística colonial bastante conservada y a menudo incluyen monumentos, principalmente iglesias, de significativo valor cultural y arquitectónico.

Turismo

Masaya y Granada son dos de las principales ciudades turísticas de Nicaragua, así como todo el sector al O de la Laguna de Apoyo conocido como “Los Pueblos”. Las principales atracciones son los monumentos históricos y la amplia producción de artesanías. En el Lago de Nicaragua, poco al SE de Granada existen además las Isletas de Granada, originadas por un deslizamiento del flanco NE del Volcán Mombacho, las cuales son también una zona turística muy importante debido a su naturaleza, a la presencia de centros de deportes y paseos acuáticos y varios restaurantes típicos.

También el Parque Nacional del Volcán Masaya, ubicado al interior de la caldera homónima, y el borde occidental de la Caldera de Apoyo son zonas frecuentemente visitadas por los turistas, atraídos por las bellezas escénicas.

La Laguna de Apoyo ha experimentado en los últimos años un incremento en la urbanización de sus orillas con fines recreativos y turísticos. El Volcán Mombacho está siendo promovido por sus bellezas panorámicas y ecológicas y empieza a tener actividades de tipo ecoturismo asociadas con las fincas de café y los bosques de tipo nubliselva, desarrollados en la cumbre del volcán.

Áreas Protegidas



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

En el amplio sector que incluye las ciudades de Granada, Masaya y Nandaime se encuentran diferentes áreas protegidas, las cuales se describen a continuación:

- El Parque Nacional de Volcán Masaya, instituido por la “Ley Creadora del Parque Nacional Volcán Masaya”, del 23 de Mayo de 1979, tiene como límites el borde de la caldera que contiene los volcanes Masaya y Nindirí (**Figura X-7.1**). La Laguna de Masaya, incluida en la misma caldera, fue además declarada “Área Protegida de Interés Nacional” por el Decreto No. 42-91. Este parque tiene una administración, un plan de manejo, un cuerpo de guarda parques y es una zona de visita de muchos turistas nacionales y extranjeros, ya que un camino pavimentado permite alcanzar el borde del cráter conocido como volcán Santiago y visitar otros atractivos naturales presentes en el área.
- La Laguna de Apoyo, la cual fue declarada “Área Protegida de Interés Nacional” por el Decreto No. 42-91 (**Figura X-7.1**).
- La cumbre del Volcán Mombacho, con elevaciones superiores a los 850 m s.n.m., fue definida Reserva Natural por el Decreto 1320-83 (**Figura X-7.1**). Esta zona de reserva es actualmente manejada por la Fundación Cocibolca, con la colaboración de un grupo de propietarios de fincas cafetaleras del Mombacho y financiamiento de la AID. El Artículo 3 de dicho decreto prohíbe varias actividades, incluso la construcción de cualquier obra de ingeniería, y fue hecho para prevenir el deterioro ecológico. Su descripción más completa se presenta en el Volumen I, Anexo G.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- El sector al S del Volcán Mombacho, que comprende las Lagunas de Mecatepe, Juan Tallo, Girón, El Cacho, Laguna Verde, Santa Isabel y Laguna Blanca (incluyendo todo el bosque pantanoso por un kilómetro alrededor de las mismas); el Río Manares con sus vegas por un ancho de 100 m a ambos lados, hasta la desembocadura en el Lago de Nicaragua; y la costa del lago hacia el S hasta el poblado de Veracruz, incluyendo pantanos, manglares e islotes adyacentes (Figura X-7.1). Todo este sector fue definido Reserva Natural con el Decreto 1320-83.

Todas estas áreas están en fase de redefinición por parte del MARENA, sobre la base de una evaluación técnica efectuada por la organización FUNDENIC-SOS en 1999. Los resultados de esta evaluación sugieren nuevos límites para las áreas protegidas, definiendo además las respectivas zonas de amortiguamiento (ver Figura X-7.2) y modificando en algunos casos la categoría de manejo de la siguiente manera:

- En el caso del Volcán Masaya, la propuesta es de mantenerlo como Parque Nacional con los mismos límites, mejorando los planes de manejo e incrementando el control.
- Para el Área Protegida de la Laguna de Apoyo la propuesta sugiere valorar la posibilidad de convertirla en Parque Ecológico Municipal.
- El Volcán Mombacho es una de las áreas protegidas que encierra el mayor potencial desde el punto de vista biológico, panorámico, científico y de ecoturismo; por lo tanto, se ha propuesto elevarlo al rango de Parque Nacional, ampliando la actual zona de reserva para abarcar toda la ladera oriental del volcán, hasta la orilla de Lago de Nicaragua.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Para las lagunas en el área al S del Volcán Mombacho y el Río Manares, la propuesta es también de ampliar y unificar el sector protegido y atribuirle la categoría de Refugio de Vida Silvestre.

Todas estas propuestas están actualmente en fase de evaluación por parte de las instituciones competentes.

7.2.2 Aspectos Abióticos

Topografía

La topografía de esta región es muy variada e incluye un volcán mayor (Volcán Mombacho), un par de volcanes pequeños (volcanes Masaya y Nindirí) y dos lagunas situadas en el interior de dos calderas (Lagunas de Apoyo y de Masaya). Otros rasgos importantes son la costa del Lago de Nicaragua, varios ríos y una extensa área con elevaciones relativamente bajas (menores de 100 m s.n.m.).

El Volcán Mombacho, ubicado unos 12 km al S de la ciudad de Granada, es un rasgo imponente con una cumbre a la elevación de 1,222 m s.n.m. El cráter en el lado S de esta cumbre tiene fumarolas activas. Un pico más alto, tal vez el centro eruptivo más antiguo, se presenta casi 2 km al E a lo largo de la cresta del edificio volcánico, con elevación de 1,344 m s.n.m. En el flanco N del volcán, un gran deslizamiento antiguo dio lugar a un valle profundo y amplio que se orienta al NE, hacia la Península de Asese y las isletas asociadas. Estas parecen ser parte de los productos del deslizamiento de rocas. Una cuenca casi circular se presenta inmediatamente al S de la cima del Volcán Mombacho y probablemente también fue formada por un deslizamiento. El edificio volcánico tiene una topografía compleja, con muchas crestas y valles y pendientes muy escalonadas. En el lado S del volcán, una área extensa de tierras bajas (en las comarcas



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Agua Agria y Dolores, ver la **Figura X-1.1**) contiene numerosas lagunas pequeñas y pantanos localizados a lo largo de la costa del Lago de Nicaragua.

La Laguna de Apoyo se localiza entre Granada y Masaya y se encuentra dentro de un cráter. Las paredes del cráter tienen relieves que exceden los 300 m de altura al S y O, pero mucho menos al N y E. La Laguna de Masaya se localiza entre el pueblo de Masaya y el Volcán Masaya y está en una depresión volcánica. El Volcán Masaya y el volcán Nindirí son un par de volcanes vecinos, pequeños y jóvenes, con cráteres que tienen elevaciones de 447 y 590 m s.n.m., respectivamente.

El terreno entre la Laguna de Apoyo, Nandaime y Jinotepe es una superficie disectada, con relieves bajos y pendiente suave hacia el SE. Todo el drenaje en esta área fluye hacia el Lago de Nicaragua.

Hidrología

Hidrológicamente el área se encuentra en la Cuenca del Sistema del Acuífero Suroeste, que se localiza en la margen occidental de los lagos de Nicaragua y de Managua que son las zonas de descarga tanto de los escurrimientos superficiales como subterráneos del área de estudio. En esta cuenca se encuentran diversos lagos y lagunas, de los cuales los más significativos son el Lago de Nicaragua, la Laguna de Apoyo, la Laguna de Masaya y una serie de pequeñas lagunas al S del Volcán Mombacho, denominadas Blanca, Verde, Juan Tallo, Santa Isabel y de Juan Jirón. Los ríos, que no son muchos, están representados por el Tipitapa y el Ochomogo en las orillas N y S, respectivamente, del área de estudio. Estos ríos se caracterizan por recibir las descargas de numerosos arroyos sólo en la temporada de lluvias.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

El Lago de Nicaragua que se encuentra por el lado oriental del área de estudio, tiene una superficie de 8,264 km² y su nivel medio es de 31 m s.n.m. No son muchos los ríos que le alimentan por el lado O y debe decirse que entre la desembocadura del Río Tipitapa, al N de Granada, y la Isla Zapatera, al SE del Volcán Mombacho, el lago no recibe la descarga de ningún río importante, como las condiciones geohidrológicas no lo permiten.

Las Lagunas de Masaya y de Apoyo son dos cuencas cerradas en el interior de dos calderas volcánicas. Superficialmente reciben la alimentación de agua por precipitaciones pluviales en sus limitadas cuencas, sin embargo, es indudable que es más la aportación que reciben por el escurrimiento subterráneo que viene principalmente de la zona O y SO de la cuenca hidrológica que les rodea.

La cordillera volcánica constituida por las calderas de Masaya y de Apoyo y el Volcán Mombacho, no constituye una barrera para el flujo subterráneo que viene desde las partes altas de la cuenca con dirección SE, E y N. De hecho el flujo subterráneo es la recarga de las Lagunas de Masaya y de Apoyo. La misma Laguna de Apoyo descarga sus aguas por el subsuelo por el E, hacia el Lago de Nicaragua.

En el área existe una amplia red de arroyos en la cual la cordillera volcánica se comporta como la línea divisoria del flujo superficial. Por el lado SO de la cordillera los escurrimientos se dirigen hacia el SE para descargar en el Río Ochomogo o directamente en el Lago de Nicaragua. Por el lado NE de la cordillera el flujo se dirige tanto hacia el Río Tipitapa como hacia el mismo Lago de Nicaragua. Estos flujos superficiales son los que recargan los acuíferos del subsuelo y los que dan lugar afloramientos de agua que en algunos casos forman lagunas como las que se localizan al S del Volcán Mombacho.

Características Físico-Químicas/Bacteriológicas de Cuerpos de Agua



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

La Tabla X-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 Apoyo, la cual contiene un agua con salinidad relativamente elevada y de tipo clorurado-sódico, todas las otras lagunas volcánicas existentes en el área presentan un agua de tipo bicarbonatado, con sodio y calcio (a veces magnesio) como cationes principales.

La composición clorurado-sódica de la Laguna de Apoyo indica una significativa contaminación de las aguas por fluidos geotérmicos de procedencia profunda. La Laguna de Masaya y el Lago de Nicaragua en todo el sector colindante con el área bajo examen, presentan aguas con características típicas de circulación somera en zonas de descarga (Krásný *et al.*, 1998). Las lagunas al S del Volcán Mombacho (como Blanca, Verde y Juan Tallo) presentan también características generales de aguas de circulación somera, pero con una salinidad un poco más elevada que puede derivar de procesos de evaporación o de una limitada contaminación con aguas más profundas (especialmente en el caso de la Laguna Blanca).

Las aguas subterráneas del acuífero freático, según Krásný *et al.* (1998), varían entre los tipos bicarbonatado-sódico y bicarbonatado-cálcico en la mayoría del área, con excepción de algunos limitados sectores en correspondencia de los edificios volcánicos de Apoyo y del Mombacho, donde ocurren aguas con composiciones distintas, debidas a la influencia de procesos de mezcla con fluidos de origen geotérmico. En estas zonas las aguas presentan también locales anomalías de temperatura. En particular se observa que, en la zona inmediatamente al NE de la Laguna de Apoyo, el acuífero freático se caracteriza por contener agua clorurado-sódica, con salinidad hasta



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

mayor de 1,000 ppm. Este fenómeno se debe posiblemente a la presencia de un flujo subterráneo de las aguas de la Laguna de Apoyo (de tipo clorurado-sódico, ver Tabla X-7.2) hacia el Lago de Nicaragua. Alrededor del Volcán Mombacho, especialmente en sus sectores oriental y meridional, existen aguas de tipo sulfatado y de tipo bicarbonatado-clorurado sódico.

No se ha encontrado información sobre los aspectos bacteriológicos de las aguas de los lagos. La Laguna de Masaya ha recibido descargas de aguas negras y efluentes varios procedentes de la ciudad, por consiguiente es bastante contaminada. Todas las otras lagunas presentes en el área se encuentran en ambientes naturales, con poca población en los alrededores, por lo tanto se considera que no sean afectadas por importantes contaminaciones de origen humano.

Clima

El área de estudio se encuentra en una zona tropical en la cual existen prácticamente sólo dos estaciones, una seca durante los meses de noviembre a abril que corresponde al verano, y otra de lluvias entre mayo y octubre que se le denomina invierno y que se caracteriza por tener un periodo corto intermedio, de julio a agosto, en que se suspenden o reducen las precipitaciones.

La precipitación media anual en la región comprendida entre las ciudades de Masaya, Granada y Nandaime varía gradualmente en sentido E-O, desde los 1,200 mm en la zona comprendida entre Granada y Masaya, hasta los 1,300 mm en la parte elevada de la meseta volcánica, entre Catarina y Nandaime.

En general la temperatura es elevada casi todo el año, siendo los meses más cálidos abril y mayo, y los más frescos enero y febrero. La temperatura media anual se reduce progresivamente desde los 27.5° C en la zona de Granada, hasta los 25° C en la meseta volcánica. Mapas con los



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

contornos del promedio de la precipitación anual y la temperatura media anual en la parte occidental de Nicaragua, se incluyen en el Volumen I, Anexo G.

En el macizo del Volcán Mombacho FUNDENIC-SOS (1999) reporta una mayor precipitación local, que alcanza los 1,800 mm anuales, mientras que la temperatura se reduce con la elevación en razón de 1° C cada 150 m, hasta alcanzar temperaturas medias alrededor de los 20° C en las porciones más elevadas.

El área de Masaya-Granada-Nandaime incluye diferentes zonas climáticas que varían en función de la elevación, de la precipitación y de la temperatura. Según datos de FUNDENIC-SOS (1999), las condiciones climáticas generales son de tipo Tropical con transición a húmedo, con variaciones a Subtropical con transición a húmedo. Una situación particular se da en el macizo del Volcán Mombacho el cual, debido a sus condiciones orográficas y elevación, presenta temperaturas más bajas y precipitaciones más elevadas, lo cual contribuye a crear una zona de nubliselva (de montaña con transición a húmedo) bien desarrollada en su cumbre.

Con respecto al viento, los parámetros registrados en las estaciones meteorológicas de Masaya y Masatepe para la cual existen respectivamente datos promedios del período 1990-1999 y 1974-1999, indican que el viento sopla predominantemente desde el E y NE durante todo el año. La velocidad media del viento varía en el año entre 1.7 m/s (en Octubre) y 2.6 m/s (en Marzo y Diciembre) en la estación de Masaya y entre 1.2 m/s (en Septiembre) y 3.2 m/s (en Enero) en la estación de Masatepe. La velocidad máxima registrada en el período 1990-1999 en Masaya es de 3.9 m/s en Masaya y de 6.3 m/s en Masatepe (ver datos adicionales en la [Tabla X-7.3](#)).

7.2.3 Aspectos Bióticos

Flora



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

La vegetación natural del área ha sido ampliamente afectada por la presencia de grandes centros poblados (como Masaya, Granada, Catarina, Diriomo, Diriá, San Juan de Oriente, Niquinohomo, Masatepe, San Marcos, Nandaime), por la amplia expansión de las actividades agrícolas y por la dispersión de la población en el territorio. Sin embargo, existen algunos sectores como la Caldera de Masaya, la Caldera de Apoyo y el macizo del Volcán Mombacho, en los cuales, debido a su morfología abrupta y a la relativa dificultad de acceso, se han conservado extensiones significativas de bosque poco afectado por la intervención humana.

En el caso del área del Volcán Masaya, la cual es protegida y manejada como Parque Nacional a partir de 1979, la vegetación es la típica del bosque tropical con transición a húmedo y su distribución se ve variablemente afectada por las condiciones edáficas y por la presencia de gases volcánicos emanados en gran cantidad por el cráter activo denominado Santiago. Amplios sectores de la porción septentrional de la Caldera de Masaya han sido cubiertos en tiempos muy recientes por coladas de lava, sobre las cuales se observa una vegetación pionera muy espaciada, compuesta por nancite, chilamate, sacuanjoche, poroporo, madero negro, sardinillo, jiñocuabo, guácimo, talalate, chocoyo, guarumo, matapalo y varias especies herbáceas y de arbustos.

En las laderas meridional y oriental del volcán, las cuales no han sido afectadas por coladas de lava en tiempos recientes, la vegetación está más desarrollada y, especialmente en los alrededores de la Laguna de Masaya, se encuentran zonas de bosque tropical maduro, las cuales presentan abundantes árboles característicos como el pochote, la ceiba, el guanacaste, el quebracho, el tempisque. Una lista detallada de la vegetación presente en el Parque Nacional del Volcán Masaya se presenta en la Tabla X-7.4. Esta zona, siendo Parque Nacional, ha sido objeto en los últimos 20 años de cierta protección y control y, al mismo tiempo, de estudios más profundos sobre sus características biológicas y ambientales, por lo que el listado de especies



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

vegetales reportadas es mucho más amplio que aquellos reportados para otros sectores de la cordillera volcánica, los cuales han sido poco estudiados.

En la zona de la Laguna de Apoyo, el original bosque latifoliado que revestía las abruptas laderas internas de la caldera, ha sido fragmentado y alterado para extracción de leña y la preparación de la tierra para la siembra de cultivos en las pendientes, hechos que han causado problemas de erosión acelerada e inestabilidad de las laderas. En las zonas de más difícil acceso del sector meridional de la caldera han quedado, sin embargo, varios parches de bosque de cierta densidad con la típica asociación vegetal del bosque tropical constituido principalmente por los árboles denominados: sardinillo, guácimo de ternera, guarumo, aramo, ceiba, cedro, tigüilote, genízaro, chaperno, jocote, tempisque, carao, chilamate, melero, madero negro, pochote, poroporo, mora, vainillo, madroño, quebracho y panamá. Mayores detalles acerca de las especies vegetales identificadas en el área por FUNDENIC-SOS (1999), son reportados en la lista de la Tabla X-7.5.

En el macizo del Volcán Mombacho existen dos tipos diferentes de vegetación: una vegetación de tipo tropical o subtropical con transición a húmedo, que ocupa la porción inferior del edificio volcánico, y una vegetación de tipo nubliselva, que recubre toda la porción alta y la cumbre del volcán. En las zonas bajas e intermedias del volcán, la vegetación ha sido modificada por la intervención humana, ya sea por la extracción de leña o para dar lugar a varias actividades agrícolas, la principal de las cuales es el cultivo del café de sombra. En esta zona se encuentra la típica vegetación del bosque tropical y subtropical, con características análogas a la vegetación ya descrita en la cercana zona de la Laguna de Apoyo.

La nubliselva en la parte alta del volcán está por lo contrario bastante bien conservada, limitadamente afectada por algunos cafetales y por el complejo de antenas de radiocomunicación



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

instalado en la cumbre. Se trata de una vegetación muy densa y de mediana estatura (3 a 15 m), compuesta principalmente por Ericáceas, Clusiáceas y Araliáceas, asociadas con especies de arbustos y vegetación epífita. La vegetación epífita es muy abundante y variada, e incluye diferentes especies de musgos, helechos, bromelias, aráceas y orquídeas. Entre las orquídeas se han reconocido 50 diferentes especies, varias de las cuales son consideradas endémicas de esta área. Una lista de todas las especies vegetales identificadas por FUNDENIC-SOS (1999) en la reserva natural del Volcán Mombacho, se presenta en la Tabla X-7.6.

Una situación particular se observa en la base meridional del Volcán Mombacho, donde existen varias lagunas y zonas húmedas (Lagunas de Mecatepe), a partir de las cuales se origina el Río Manares. En esta zona se encuentran todavía algunos sectores bastante conservados de bosque con vegetación típica de los humedales. Según un reporte de FUNDENIC-SOS (1999), en las orillas de las lagunas prosperan el tule, el helecho de agua y, en zonas más retiradas, el coyolito; en áreas inundadas permanentemente crece la anona de río, mientras que en las áreas que se inundan sólo temporalmente aparecen el jabillo, el limoncillo, la uva de montaña, la papaya, el níspero y el espavel. En el sotobosque predomina la iguana (*Syngonium*), la ventana (*Monstera*) y dos diferentes especies de *Aristolochia*. Al interior de las lagunas crecen la lechuga de agua y la lemna. Una lista de todas las especie reconocidas en el área se reporta en la Tabla X-7.7.

Fauna

La única información disponible acerca de la fauna presente en el área, es la reportada por FUNDENIC-SOS (1999) para el Parque Nacional del Volcán Masaya, la Laguna de Apoyo, el Volcán Mombacho y la zona Mecatepe - Río Manares. De toda la región comprendida entre Masaya, Granada y Nandaime, éstas son las zonas menos impactadas por la intervención humana, en las cuales todavía existen superficies más o menos amplias de bosque y, por lo tanto,



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

presentan una muestra de la fauna silvestre original mejor conservada que en las zonas más pobladas que las circundan. Una lista de todas las especies animales reportadas en cada área por FUNDENIC-SOS (1999), se reporta en las **Tablas X-7.8 a X-7.10**.

En el Parque Nacional del Volcán Masaya, gracias a la protección efectuada en las últimas décadas, todavía se encuentran varios mamíferos típicos del bosque tropical seco, como coyotes, ostoques, culumucos, venados, conejos, guardatinajas, guatusas y cusucos, los cuales han prácticamente desaparecido en la zona densamente poblada alrededor del parque. En los sectores más boscosos del parque existen varias manadas de monos cara blanca (*Cebus capucinus*, especie protegida en el Apéndice II CITES, 1977), algunos ejemplares de leoncillo (*Felis yagouarondi*) y gatos de monte (*Felis wiedii*), los cuales son especies en peligro de extinción incluidas en el Apéndice I CITES (1977). Entre las aves sobresale la presencia de una abundante población de loros verdes (*Aratinga strenua*, Apéndice II CITES, 1977) que viven en las laderas del interior del cráter del Volcán Nindirí, sin ser afectados por la abundante presencia de gases producidos por las fumarolas. Otras especies protegidas (Apéndice II CITES, 1977) de pájaros presentes en el área, son el gavilancito (*Falco sparvierus*), el chocoyo zapoyol (*Brotojeris jugularis*) y el chocoyo cancan (*Aratinga caniculares*). La población de reptiles es bastante reducida e incluye iguanas, garrobos, lagartijas y algunas serpientes. La fauna acuática de la Laguna de Masaya es por lo contrario bastante desarrollada e incluye diferentes especies de peces (guavina, guapotes, mojarras, sardina, masamiche, picaculo, olomina).

En la Caldera de Apoyo, a pesar de la falta de control sobre la caza, existe también una interesante fauna que incluye algunas especies en peligro de extinción (incluidas en el Apéndice I CITES, 1977) como son: el mono congo (*Alouatta palliata*) y el gato de monte (*Felis wiedii*). Otros animales son; monos cara blanca, guatusas, mapachines, pizotes y ocasionales venados. La ornitofauna es variada e incluye todas las aves más comunes del bosque tropical seco, como



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

urracas, zanates, oropéndolas, saltapiñuelas, güises, chichilotes, sensontles, guardabarrancos. Entre los reptiles es bastante común el garrobo. No se conoce mucho acerca de la fauna acuática de la laguna, en la cual han sido reportados solamente el guapote y la tilapia.

En el macizo del Volcán Mombacho la fauna ha sido mermada por la deforestación, los incendios forestales, la caza indiscriminada y la presencia de población humana en varios sectores de las partes bajas del volcán. Sin embargo, en las porciones boscosas de la ladera meridional, incluso la zona de las Lagunas de Mecatepe - Río Manares, y en las zonas elevadas del volcán, se ha conservado una significativa y variada muestra de la típica fauna del bosque tropical y de la nubliselva, como se puede observar en la **Tabla X-7.10**. FUNDENIC-SOS (1999) reporta la presencia de algunas especies en peligro de extinción (Apéndice I CITES, 1977) como el mono araña (*Ateles geoffroyi*), el mono congo (*Alouatta palliata*), el leoncillo (*Felis yaoguarundi*), el puma (*Felis concolor*) y el pájaro guairón (*Mycteria americana*).

Entre las especies de mamíferos más comunes se reportan venados, monos, cusucos, pizotes, culumucos, ostoches, pericos, mapachines, comadrijas, mofetas, guardatinajas, guatuzas, sahínos y ardillas. Entre las aves son comunes los loros, las cotorras, los chocoyos, las urracas, los guises, los zopilotes, las oropéndolas y los tucanes. Los reptiles incluyen diferentes especies de serpientes (como: boa, coral, cascabel, ratonera, mica, chocoya, bejuquilla), iguanas, garrobos y tortugas. La fauna acuática de las Lagunas de Mecatepe y del Río Manares incluye guapotes, mojarra, tilapias y algunos ejemplares de cuajipal (*Caiman crocodilus*, incluido en Apéndice II CITES, 1977).



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

7.3 Análisis de las Condiciones Ambientales

7.3.1 *Situación Ambiental General*

Las condiciones ambientales en el área de Masaya-Granada-Nandaime varían bastante entre sus varios sectores, debido a la extensión del área, la topografía, y, sobre todo, la diversidad de la población y del uso de la tierra. Por eso, es difícil hacer una caracterización general del estado ambiental de toda el área.

Entre las áreas investigadas en el ámbito del Estudio Plan Maestro, el área de Masaya-Granada-Nandaime presenta algunas de las zonas más densamente pobladas y de agricultura más intensiva. Además contiene unas zonas protegidas que son entre las mejor establecidas y preservadas del país. Como resultado de estos factores, el área incluye muchas zonas que han sido afectadas por significativas intervenciones humanas, pero también ciertas zonas que se encuentran en un estado bastante natural. Tanto la presencia de una importante población local como la cercanía a la ciudad capital aumenta la probabilidad de que cualquier nueva actividad de desarrollo introducida en el área, sino en las zonas más aisladas, podrá atraer más atención y estar más sujeto a la percepción de posibles conflictos con el medio ambiente natural y humano, comparado con las otras áreas investigadas.

7.3.2 *Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico*

Por la variabilidad mencionada arriba, cualquier actividad de exploración o desarrollo geotérmico habrá que enfrentarse con condiciones ambientales que son particulares a la zona específica de los trabajos contemplados. Por eso, los comentarios presentados a continuación aplican específicamente a dos zonas identificadas en los capítulos anteriores como las que pueden ser más atractivas para nuevas investigaciones geotérmicas. Estas son:



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- la zona que abarca la orilla occidental de la Laguna de Apoyo y el terreno ubicado al O y SO de ella; y
- el sector meridional del Volcán Mombacho, incluyendo la planicie ubicado al S del volcán.

Zona de la Laguna de Apoyo

Existen comunidades significativas en ciertas partes de la zona al O y SO de la Laguna de Apoyo; las más importantes son los poblados de Catarina, San Juan de Oriente y Niquinohomo. En otras partes la densidad de población no es alta, sin embargo hay una utilización general de la tierra para la agricultura. Por eso, existe la posibilidad de conflictos entre actividades de desarrollo y los usos actuales de la tierra. Los impactos principales que considerar en esta zona son:

- Posible desplazamiento de habitantes en zonas limitadas, el cual podrá ser posible evitar por planificación adecuada de las actividades de desarrollo
- Desplazamiento o impacto en actividades agrícolas
- Impactos visuales y de ruido en la población local y en el turismo
- Posible contaminación del aire y agua en zonas pobladas

Será recomendable evaluar los impactos, por lo menos de una forma preliminar, y las posibles maneras de evitarlas o mitigarlas comenzando al inicio de cualquier programa de exploración o desarrollo en la zona de la Laguna de Apoyo.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Con respecto a los posibles impactos de actividades y obras geotérmicas sobre la flora y la fauna, se considera que éstos sean mínimos sobre la mayoría de la zona, la cual es ampliamente cultivada. La excepción principal es el interior de la Caldera de Apoyo, que se encuentra en estado más natural. Sin embargo, por las condiciones de topografía y la existencia del Área Protegida alrededor de la laguna, es difícil prever la factibilidad de cualquier actividad dentro de la caldera que puede tener algún impacto importante.

El cuerpo hídrico principal del área, la Laguna de Apoyo, se encuentra 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 impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental se presenta en la Tabla X-7.11. La mayoría de las medidas de atenuación están basadas en la aplicación y de todos los buenos diseños y buenas prácticas de ingeniería civil, hidráulica, de perforación y de yacimientos. Como consecuencia, no tienen una valoración económica aparte de los gastos normales para las obras de estas disciplinas. Los gastos típicos para estas obras se presentan en el capítulo 9 y en más detalle en el Anexo K 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 presenta en el capítulo 9 y en más detalle en le Anexos K 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 \$500.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Sector Meridional del Volcán Mombacho

En el flanco Sur del Volcán Mombacho y la planicie que extiende más al Sur, no existen comunidades significativas. Sobre una gran parte de la zona la agricultura y la ganadería han llevado a la deforestación del campo para convertirla en un área de cultivo de café y de otros productos agrícolas. Tal deforestación se estuvo llevando a cabo, incluso en el periodo de ejecución de este estudio. Sin embargo, se encuentran ciertos enclavados en estado más natural, siendo los principales la parte superior del volcán (arriba de unos 700-800 m) y los alrededores de las lagunas (tales como la Laguna Juan Tallo, Laguna Verde y Laguna Blanca).

En esta zona, los impactos negativos más importantes a considerar con respecto al desarrollo geotérmico son:

- La posibilidad de desplazamiento de actividad agrícola. Por la intensidad relativamente baja de la agricultura que predomina en la zona, no deberá ser difícil minimizar tal impacto por planificación adecuada.
- Impactos en la flora y fauna natural. Estos también podrán evitarse o minimizarse, sino en ciertos sectores limitados de la zona.
- Erosión o desestabilización de taludes, que puede ocurrir en el transcurso de obras civiles y otras actividades efectuadas en el flanco del volcán. Estos posibles impactos deberán ser evaluados con el fin de evitar posibles riesgos de deslizamiento tanto como impactos al medio ambiente.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Contaminación de aguas superficiales, y posibles cambios en el régimen hidrológico inducidos por obras civiles, especialmente en la planicie meridional.

Un resumen de impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental se presentan en la Tabla X-7.12.

Cabe notar que en la zona del Volcán Mombacho el desarrollo geotérmico traería ciertos impactos positivos, los cuales podrán incluir:

- Mejoramiento de caminos de acceso
- Mejoramiento de abastecimientos de agua
- Empleo temporal y permanente para varias personas locales
- Posible mejoramiento del nivel de protección ambiental en ciertas zonas, por vigilancia de los terrenos en el transcurso de las operaciones

No se considera que el desarrollo de actividades geotérmicas en las dos áreas de interés pueda tener importantes impactos negativos sobre la población local o requiera desplazamientos de población en el área.

Un aspecto a ser considerado es la existencia de las Reservas Naturales de Volcán Mombacho y Lagunas de Mecatepe – Río Manares, establecidas 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 dichas reservas está dirigido a la prevención de 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 esta situación se reporta en el Volumen 1, Anexo G, del Plan Maestro.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

8. ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS

8.1 Acceso

La mayor parte del área de Masaya-Granada-Nandaime tiene buenas condiciones de acceso por carreteras principales y caminos secundarios. Las zonas en donde se encuentran dificultades de acceso son, principalmente, el interior de la Laguna de Apoyo, el edificio del Volcán Mombacho, y ciertos sectores alrededor del mismo volcán.

Las Carreteras Nacional 4 y 11 conectan el área con las ciudades de Managua y Tipitapa, respectivamente (**Figura X-1.1**). Las Carreteras 4, 6, 11, 18 y 76 pasan por el área y sirven para conectar las varias ciudades y poblados que se encuentran adentro de ella. La Carretera 2 pasa por el lado Sur del área, y la conecta con la parte Sur del país.

Dentro de los complejos volcánicos de Masaya y Apoyo, la mayoría de los sitios son accesibles por las carreteras, caminos locales u otras vías. Sin embargo, dentro del Parque Nacional Volcán Masaya el tránsito por vehículos es restringido, y limitado a los caminos principales del parque, que son pocos. Hay sólo un camino de acceso que baja hasta la orilla de la Laguna de Apoyo; éste entra por el lado NO de la caldera, y sirve la orilla occidental. Resulta más difícil el acceso a las demás partes de la caldera.

En el sector del Volcán Mombacho el acceso es más limitado debido a las condiciones topográficos y culturales. A partir de Granada se puede llegar por el lado NE del volcán hasta la ranchería Las Delicias, localizada en la parte media del deslizamiento que disectó al volcán, por medio de una carretera en terracería en buenas condiciones incluso para vehículos pesados. Por el lado O del volcán se puede ascender a la cumbre por un camino en construcción, en parte



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

adoquinado pero no sido terminado. Dadas las grandes pendientes de este camino, la sinuosidad y el estado físico, sólo es posible su tránsito con vehículo de doble tracción.

Por los lados SO, S y SE del volcán, las poblaciones y rancherías en la periferia del mismo se comunican con la Carretera 4 por medio de un camino de terracería en buenas condiciones, excepto en su extremo SE, entre Santa Julia y San José del Mombacho a orillas del Lago de Nicaragua. De este camino se desprenden otros de menor importancia hacia el flanco S del volcán; son caminos estrechos y en general en malas condiciones; uno de ellos se inicia en Agua Agria y asciende hasta la finca Pancasán a 560 m s.n.m., en el cráter principal del Volcán Mombacho. Otro de ellos se inicia en Las Minas y se dirige al S y SE hacia el pueblo de Dolores, pasando por Las Plazuelas, Laguna Blanca y El Guachipilín. Otro camino es el de Mecatepe a la Hacienda de Mecatepe, y uno más el que asciende por el flanco SO del volcán a Santa Elisa empezando en el pueblo Héroes de Pancasán.

Además de estos caminos existen otros de terracería en las laderas N y O del Mombacho y en valles alrededor del volcán, por los cuales los habitantes se comunican y sacan sus productos agrícolas.

8.2 Uso de la Tierra

El uso de la tierra es principalmente de tipo agrícola en la mayoría del área. Las excepciones principales son:

- La ciudad de Masaya, y los varios poblados que se ubican al S y SO de las calderas de Apoyo y Masaya. En estos sitios el uso de la tierra es sobre todo de tipo residencial e industrial.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- El Parque Nacional Volcán Masaya, el cual se dedica a usos turísticos y la preservación del estado natural
- Ciertas zonas aisladas, incluyendo partes de las Reservas Naturales, en donde el uso humano de la tierra es casi nulo.

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

En el sector de los complejos volcánicos de Masaya y Apoyo, las condiciones de topografía no presentan obstáculos importantes a la construcción de cualquier sitio que pueda ser requerido en el desarrollo geotérmico, la única excepción importante siendo el interior de la Caldera de Apoyo. Sin embargo, la existencia de varias zonas densamente pobladas, y algunas de agricultura intensiva, significa que los sitios disponibles pueden ser limitados por la necesidad de evitar conflictos con los usos actuales de la tierra. Estas limitaciones tendrán que evaluarse en el contexto de los detalles del programa de desarrollo contemplado.

En el sector del Volcán Mombacho, las condiciones topográficas pueden impedir la construcción de caminos, plataformas y otras facilidades dentro de ciertas zonas. En el flanco Sur del Volcán, el cual parece ser más atractivo como objetivo de exploración (ver Capítulo 5), los sitios favorables pueden ser limitados, por la mayor parte, a las elevaciones abajo de los 400-500 m, y el interior del cráter de Pancasán. Mas al Sur, la topografía no presenta ningún impedimento importante, pero el sistema de ríos y lagunas puede imponer limitaciones locales. Más que todo estas limitaciones pueden afectar el costo de desarrollo en el sector de Mombacho, por exigir obras civiles más complejas.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

8.4 Disponibilidad de Agua

En el sector de los complejos volcánicos de Masaya y Apoyo hay una carencia de aguas superficiales, aparte de las lagunas del mismo nombre. Se desconoce si se permite el uso del agua de cualquier de las lagunas para los propósitos de perforación u otros usos. Posibles fuentes de agua alternas en este sector incluyen:

- Uso del agua del sistema municipal de una o más de las comunidades cercanas.
- Perforación de un pozo dedicado al abastecimiento de agua para el desarrollo y operación del proyecto geotérmico. Las condiciones hidrológicas en este sector pueden permitir la producción de agua subterránea de una profundidad que típicamente no excede por mucho los 100 m (Krásný *et al.*, 1998).

En el sector del Volcán Mombacho la disponibilidad de agua superficial o subterránea es mayor en la planicie al Sur del Volcán. La disponibilidad de agua para la perforación exploratoria así como para obras de ingeniería en la zona N de la Laguna Blanca, no parece presentar ningún problema. La misma laguna podría ser una fuente de abastecimiento, o el arroyo que la alimenta y a la vez descarga sus aguas hacia el E con rumbo a la Hacienda de Mecatepe. Otras pequeñas lagunas al NE de la Laguna Blanca también podrían ser sitios de abastecimiento de agua para la perforación y construcción, aunque el volumen de agua disponible en algunos casos podría depender de la temporada de lluvias.

En el área del cráter de Pancasán y el flanco Sur del volcán no existen afloramientos de agua que pudiesen ser utilizados en la perforación y construcción de un proyecto geotérmico en la zona. La finca cafetalera Pancasán recibe agua por medio de una tubería de diámetro pequeño al parecer desde Santa Elisa, ubicada varios cientos de metros al SE en las faldas del volcán. De



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

esta manera, las posibilidades para obtener agua para los requerimientos de la perforación y desarrollo en esta zona pueden incluir:

- la obtención de agua de Santa Elisa;
- la perforación de un pozo en la zona del deslizamiento abajo del cráter, en donde se ha deducido la existencia de un amplio acuífero
- bombeo desde el Sur, utilizando las aguas superficiales

Cabe mencionar que la calidad del agua obtenido de algunas de estas fuentes, especialmente el acuífero del deslizamiento, podría verse afectada por la contaminación por fluidos de origen geotérmico.

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 el área de Masaya-Granada-Nandaime.

Los aspectos favorables se resumen como sigue:

- Buenas vías de acceso en la mayor parte del área.
- Buena conexión con toda la infraestructura principal de transporte del país.
- Condiciones topográficas que facilitan la construcción de plataformas de perforación, caminos, campamentos y centrales geotermoeléctricas, excepto en ciertas partes del sector del Volcán Mombacho.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Disponibilidad de agua en las zonas de mayor interés geotérmico, especialmente en el sector Sur del Volcán Mombacho.
- Cercanía a las líneas principales de transmisión eléctrica (ver **Figura X-8.1**).
- Presencia de una subestación eléctrica en la zona de interés relacionada con la Laguna de Apoyo (**Figura X-8.1**).
- Cercanía a las ciudades de Masaya, Granada y Managua, con todas las ventajas de tipo logístico.
- Cercanía al mayor mercado eléctrico nacional (Managua).
- Bajo potencial de conflictos de carácter ambiental, en el sector de la Caldera de Apoyo.
- Bajo potencial de conflictos de carácter social, en el sector del Volcán Mombacho.

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- Presencia del Parque Nacional Volcán Masaya y otras áreas protegidas, con la posibilidad de ampliaciones de ellas.
- Potencial de conflictos con el uso actual de la tierra, en el sector de la Caldera de Apoyo.
- Potencial de impactos ambientales adversos en ciertas zonas del sector del Volcán Mombacho.
- Posibles dificultades en la construcción de sitios y caminos en ciertas partes del sector del Volcán Mombacho.
- Riesgo volcánico y sísmico (de magnitud común a la mayoría de las áreas geotérmicas en regiones volcánica activas).



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Riesgos geológicos adicionales en el sector del Volcán Mombacho, principalmente el riesgo de deslizamiento o derrumbe.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

9. OPCIONES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

El área de Masaya-Granada-Nandaime es muy grande, y comprende tres importantes centros volcánicos, cada uno de los cuales presenta indicios de actividad geotérmica. La información disponible indica que en la zona cercana a la Laguna Apoyo hay importante potencial geotérmico, y sugiere que también puede ser atractivo proseguir investigaciones adicionales en el Volcán Mombacho. La información que se tiene sobre el complejo del Volcán Masaya es muy limitada como para que permita una estimación de su potencial geotérmico.

Las condiciones logísticas y de infraestructura del área son favorables, y las zonas más promisorias para desarrollo, los cuales son el área de Laguna de Apoyo y las faldas del Volcán Mombacho, están cerca de líneas de transmisión y tienen un buen acceso por carretera. Debido a estas características, el área de Masaya-Granada-Nandaime es una de las dos áreas para las cuales se han elaborado especificaciones detalladas para actividades del estado de factibilidad (ver Anexo J del Volumen I del Estudio del Plan Maestro). Las especificaciones detalladas corresponden a la zona de Laguna de Apoyo, pero serían muy semejantes para el caso del Volcán Mombacho.

A pesar de que se ha realizado un considerable trabajo de exploración, el análisis de los datos existentes del área indican que la etapa de investigaciones de pre-factibilidad no se ha completado. Se requiere investigación adicional antes de poder seleccionar sitios para pozos de exploración profunda. No obstante, hay una fuerte posibilidad de que exista uno o más recursos geotérmicos comercialmente explotables.

9.1 Sector de la Laguna de Apoyo



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

La zona que más cercanamente cumple con los criterios de pre-factibilidad es la que está asociada con manantiales termales ubicados por las orillas O y SO de la Laguna de Apoyo. Los siguientes comentarios en detalle se aplican al desarrollo potencial del sistema geotérmico dentro de esa zona. Asumiendo un escenario en el cual el objetivo es el desarrollo geotérmico de 20 MW o más, es necesario contemplar las siguientes etapas de trabajo:

- Exploración para delinear la zona más promisoría para una explotación potencial (completar la etapa de pre-factibilidad)
- Confirmación de recursos mediante perforación profunda, y actividades conexas para llevar a cabo la investigación de la etapa de factibilidad
- Desarrollo de la capacidad necesaria de producción e inyección y de las instalaciones para generación.

Debido al nivel actual de incertidumbre en relación con la naturaleza del recurso geotérmico, las últimas etapas no se pueden precisar con exactitud. Particularmente, por el momento sólo es posible asumir que la etapa de desarrollo sería similar en cuanto a alcance y costo a otros desarrollos típicos en sitios similares en América Central. A continuación se describen las actividades recomendadas y los costos aproximados para las dos primeras etapas.

Actividades de Exploración (Necesarias para Confirmar la Pre-Factibilidad)

Estas actividades están incluidas en la descripción detallada del Anexo K del Volumen I del Estudio Plan Maestro.

El trabajo de exploración debe dirigirse hacia el mejoramiento de inferencias sobre la localización, extensión y naturaleza de la actividad geotérmica discutida en el Capítulo 5 de este volumen. Para este objetivo se recomiendan las siguientes actividades:



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Interpretación Geológica en Detalle (ver la Tabla X-9.1), incluyendo:
 - Estudios geoelectricos, con densidad de estaciones entre moderada y alta, que puedan ayudar a identificar más plenamente y a definir zonas de resistividad anómala asociadas con actividad hidrotermal. Considerando las condiciones geológicas y logísticas del área, pueden ser adecuados los estudios utilizando los métodos de MT, AMT o de CSAMT. Es probable que la topografía moderada en la zona facilite la recolección e interpretación de datos, y mejore la posibilidad de delinear anomalías importantes. El área estudiada debe concentrarse en las Zonas O y SO de la Laguna de Apoyo, aunque sería deseable también una mayor cobertura alrededor de la caldera. Sería necesario un mínimo de varios cientos de estaciones de sondeo para caracterizar adecuadamente la estructura de resistividad en el área de interés. El costo del estudio estaría aproximadamente \$300,000 (ver la Tabla I-K.1 y la **Figura I-K.1**).
 - Estudios Gravimétricos. Un detallado estudio gravimétrico realizado en una área similar o un tanto más extensa de la que se describe anteriormente para el estudio geoelectrico podría ayudar a interpretar condiciones estructurales dentro y cerca del área de interés. Esto puede cubrir entre 40 - 50 km² o más, con una densidad de estaciones entre moderada a alta. El costo de tal estudio, incluyendo la interpretación detallada y el modelo, probablemente no excedería los \$100,000 (ver la Tabla I-K.1 y la **Figura I-K.1**).
- Perforaciones para gradiente de temperatura. La perforación de agujeros para gradiente de temperatura es probable que constituya el mejor medio para identificar y delinear anomalías termales específicas que pueden reflejar la presencia de un sistema o sistemas geotérmico(s) explotable(s) a mayores profundidades. Idealmente, los agujeros se deben



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

localizar y perforar después de completar y evaluar el estudio geofísico, tomando en cuenta los resultados de todo el trabajo de exploración realizada hasta ese momento. Para obtener información confiable sobre gradientes someras de temperatura que se puedan extrapolar hacia niveles más profundos, cada agujero debe penetrar de 50 a 100 m o más por debajo de la superficie piezométrica local, que se extiende hacia arriba desde el nivel del agua en la Laguna de Apoyo (78 m). Considerando que los agujeros se pueden localizar en áreas con elevaciones superficiales entre 200 y 300 m, una profundidad típica de 250-300 m podría ser necesaria para lograr resultados útiles, aunque pozos menos profundos pueden resultar satisfactorios en algunas localidades. Dentro de este rango de profundidades, el costo por agujero puede variar considerablemente, dependiendo de varios factores. Un presupuesto de \$815,000 permitiría por lo menos completar aproximadamente de 10 (y tal vez hasta 12) agujeros; se recomienda esta cantidad para caracterizar gradientes termales mínimas en la zona adyacente a la Laguna de Apoyo.

- Investigaciones complementarias. Las exploraciones geoelectricas y la perforación de pozos de gradiente de temperatura descritos anteriormente serían lo más crítico para definir la zona donde deben concentrarse las actividades relativas a la etapa de factibilidad. Sin embargo, se podría realizar algunas exploraciones adicionales en forma concurrente con el trabajo más crítico, para ayudar a mejorar en forma general el modelo conceptual del recurso. Dentro de esto se puede incluir: una detallada interpretación geológica de áreas seleccionadas (ayudada por imágenes de alta resolución por satélite, además de fotografía aérea); y posiblemente otros tipos de exploración geofísica.

Un análisis completo y una síntesis de los resultados de estas actividades conduciría a la definición de los sitios iniciales para perforación profunda exploratoria, y constituiría el estudio



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

de pre-factibilidad de un potencial desarrollo. En combinación con los costos de los estudios geoelectrónicos, los estudios gravimétricos, las perforaciones de gradiente de temperatura, las investigaciones complementarias, y los factores logísticos y ambientales, el presupuesto total para esta etapa del proyecto puede esperarse que esté en el orden de \$1.5 millones. Esto es el total de las actividades Ia, Ib, Ic y If de la Tabla X-9.1, más una porción de Id y Ie (suministro de agua y caminos y plataformas).

Confirmación del Recurso (Actividades necesarias para Confirmar la Factibilidad)

Se supone que el programa de perforación en el área de Laguna de Apoyo dará inicio con la perforación de dos agujeros exploratorios de diámetro reducido. Los pozos de diámetro reducido típicamente cuestan aproximadamente 1/3 a 1/2 del costo de los pozos de tamaño normal, pero suministran mayor cantidad de información que los agujeros para gradiente de temperatura, y puedan ayudar en la ubicación de los pozos de tamaño normal. Si se perforan pozos profundos de poco diámetro (1,000 – 1,500 m; promedio 1,250 m) el costo probablemente estaría aproximadamente cercano a los \$975,000 por pozo (ver la Tabla I-K.1). Incluyendo los costos de registros y pruebas y suponiendo la perforación de dos agujeros, entonces es de esperar que el presupuesto total para perforación de agujeros de diámetro reducido sea de aproximadamente \$2,100,00 (Tabla I-K.1 y Tabla X-9.1)

La siguiente actividad de esta etapa sería la perforación de pozos profundos exploratorios de diámetro grande, para confirmar la presencia del recurso geotérmico a escala comercial, así como la factibilidad de inyectar los fluidos producidos. La cantidad de pozos necesarios para demostrar la factibilidad dependería del tamaño del proyecto que se esté considerando, pero se puede anticipar que sería necesario programar para esta etapa 2 pozos exploratorios para producción y uno para inyección. Si con uno de los pozos de diámetro reducido, durante las



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

investigaciones de pre-factibilidad, se encontraran condiciones comerciales, sería posible confirmar la factibilidad con solamente dos pozos profundos para producción. Además, asumiendo que se identifica que el recurso es viable, para completar el estudio de factibilidad sería necesario realizar las pruebas adecuadas de los pozos, así como el análisis económico del desarrollo planeado, incluyendo un diseño preliminar de la planta eléctrica y del sistema de recolección.

El costo por cada pozo de perforación exploratoria dependería en gran medida de la profundidad del recurso geotérmico (que determinaría la profundidad requerida de cada pozo), y en menor medida de las condiciones geológicas y logísticas asociadas con las perforaciones. Considerando las condiciones que prevalecen en Masaya-Granada-Nandaime, sería prudente disponer de un presupuesto mínimo de \$1,500,000 para cada pozo exploratorio para producción, y por lo menos de \$1,000,000 para cada pozo de inyección. En detalle (ver el Anexo K del Volumen I del Estudio Plan Maestro) el presupuesto mínimo necesario de perforación para demostrar la factibilidad, puede esperarse que esté en el rango de los \$3,000,000 (si ya se hubiera perforado un pozo exitoso de diámetro reducido) a \$4,000,000. Las actividades adicionales de pruebas, evaluación, administración, diseño preliminar de la instalación y los reportes, requerirían gastos adicionales de aproximadamente \$500,000, resultando un presupuesto de perforación de pozos de diámetro comercial de aproximadamente \$4,570 (Tabla X-9.1 y Tabla I-K.1).

En combinación con las actividades de perforación para la factibilidad, están las actividades logísticas y ambientales y la preparación de Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico-Económica). Los detalles de estas actividades se resumen en la Tabla X-9.1 y el Anexo K del Volumen I del Estudio Plan Maestro. La estimación del costo total para confirmar la factibilidad (incluyendo aproximadamente \$1.5 millones para la pre-factibilidad) es de aproximadamente \$9.0 millones.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

9.2 Sector del Volcán Mombacho

La naturaleza del sistema geotérmico asociado con el flanco Sur del Volcán Mombacho todavía no se conoce lo suficientemente bien como para pronosticar un escenario detallado de desarrollo. Unas opciones posibles que se sugieren a la luz de la información disponible incluyen:

- Exploración y desarrollo de un recurso potencial de alta temperatura que puede estar localizado debajo del flanco Sur del volcán; y
- Desarrollo de fluidos a menor temperatura a profundidades más someras.

Una combinación de detalladas investigaciones geofísicas y perforación de agujeros de diámetro reducido para gradiente de temperatura podrían ser necesaria para la primera opción. Esto resultaría en un escenario similar al descrito para la zona de la Laguna de Apoyo. Los costos totales serían similares, aunque posiblemente un tanto más altos si se llegaran a necesitar mayores esfuerzos de exploración.

La Tabla X-9.2 es un ejemplo de exploración adicional del área, incluyendo la perforación de dos agujeros de diámetro reducido, sin efectuar la perforación previa de pozos de gradiente de temperatura. El objetivo de la perforación sería el de llegar a profundidades claramente por debajo de la zona de descarga (zona de flujo lateral) en la zona de ascenso de los fluidos (profundidades mayores a las de los pozos de gradiente de temperatura).

Los pozos propuestos se ubican a elevaciones mayores de los 500 m en la zona de ascenso de fluidos geotérmicos en el flanco S del Volcán (ver la **Figura X-5.1**). Según este programa, los pozos se perforan en la vecindad de caminos existentes y el agua para la perforación se obtiene de manantiales existentes dentro de la zona, para minimizar los costos logísticos. Si se



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

perforan pozos profundos de poco diámetro (1,000 – 1,500 m; promedio 1,250 m) el costo probablemente sería de aproximadamente \$975,000 por pozo (ver la Tabla I-K.1). Incluyendo los costos de registros y pruebas, entonces es de esperar que el presupuesto total para perforación de agujeros de diámetro reducido esté en aproximadamente \$2,100,000 (Tabla I-K.1 y Tabla X-9.2). Con los gastos adicionales de las actividades logísticas y ambientales, el análisis completo y síntesis de los resultados, administración y factores ambientales, el presupuesto total para confirmar la pre-factibilidad se estima en uno \$2.3 millones (Tabla X-9.2). Si los pozos de diámetro reducido confirman la temperatura y la permeabilidad profunda (mediante pruebas de inyección), la probabilidad de éxito de la perforación de diámetro comercial (estudio de factibilidad) sería mucho mayor que si se considera solamente la perforación de pozos de gradiente de temperatura.

La segunda opción puede ser atractiva para aplicaciones inmediatas en las cuales son adecuadas las temperaturas de fluidos menores de 100°C. El acuífero o acuíferos termales que se extienden hacia el Sur del volcán se pueden investigar directamente mediante perforación de uno o más pozos exploratorios que pueden llegar a usarse como pozos de producción en el evento de tener éxito, minimizando así el costo de desarrollo.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

10. REFERENCIAS

- Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence Dating. Academic Press, London, 359pp.
- 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.
- CITES, 1977. Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Firmada en Washington el 3 de Marzo de 1973. Decreto No. 7. Publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 183, Agosto de 1977.
- Dame & Moore, 1978. Informe Final del estudio geológico de las ciudades del sistema metropolitano Tipitapa – Granada – Masaya – Carazo (Diriamba – Jinotepe – Dolores), Préstamo AID No 524~W/U~029, Mayo 1978. Por Consorcio Dames & Moore – LAMSA, para Gobierno de Nicaragua, Comité Interagencial, Viceministro de Planificación Urbana.
- Del Giudice, D., 1959. Informe sobre las investigaciones de las fuerzas endógenas en Nicaragua. Boletín No. 3, pp. 49-84.
- ELC, 1982. Estudio de pre-factibilidad del área geotérmica Masaya - Granada - Nandaime, Informe de síntesis. Para INE (Instituto Nicaragüense de Energía), Managua, Nicaragua, por ELC - Electroconsult, Milano, Italia, Octubre de 1982, GMN-D-5515.
- ELC, 1982. Estudio de pre-factibilidad del área geotérmica Masaya - Granada - Nandaime, Informe hidrogeológico - geoquímico. Para INE (Instituto Nicaragüense de Energía), Managua, Nicaragua, por ELC - Electroconsult, Milano, Italia, Octubre de 1982, GMN-D-5513, incluyendo PLANO GMN-1011 - Mapa Hidrogeoquímico, Tabla 1 – Análisis Químicos, y Tabla III – Correspondencia entre la numeración del Plano GMN-1011 y la numeración original.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Electrodynne 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 para Consorcio IECO – LAHMEYER, Managua, Nicaragua, por Electrodynne Surveys Inc., Reno, Nevada EUA, Marzo de 1979.

FUNDENIC-SOS, 1999. Evaluación y redefinición del sistema de Áreas Protegidas del Pacífico y centro norte de Nicaragua. Volumen I: Áreas Protegidas del Pacífico. Informe publicado, elaborado por MARENA/PROTIERRA/CBA, Managua, Nicaragua.

Geosystem, 2000. Magnetotelluric and time-domain electromagnetic surveys, Chiltepe, Tipitapa, Mombacho, Ometepe Nicaragua. Final Report Volume 1 of 2 - Acquisition Report, and Final report volume 2 of 2 - Interpretation Report. Prepared for GeothermEx, Inc., Richmond, CA, on behalf of Comisión Nacional de Energía (CNE), Managua, Nicaragua, by Geosystem Srl, Milan, July 2000.

Hradecky, P., 1987. Geología de Volcán Mombacho y sus alrededores. Archivo de INETER. (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales), Managua, Nicaragua. Informe no publicado.

Hradecky, P., 1998. Estudio geológico para reconocimiento de riesgo natural y vulnerabilidad geológica en el área de Masaya y Granada. 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: Geophysics investigations (Electrical geophysical surveys in Nicaragua 1978, prepared



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

for IECO - LAHMEYER CONSORTIUM by Electrodyne Surveys, March 1979).
Consortio IECO - Lahmeyer, Managua, Nicaragua (preparado por Electrodyne Surveys
Inc., Reno, Nevada).

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

INITER, 1997a. República de Nicaragua, Temperatura Media Anual en Grados Celsius (°C),
Período 1971 – 1990. Escala 1: 750,000. Mapa publicado por el Instituto Nicaragüense de
Estudios Territoriales, Dirección de Geodesía y Cartografía.

INITER, 1997b. República de Nicaragua, Precipitación Anual (°C), Período 1971 – 1990.
Escala 1: 750,000. Mapa publicado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales,
Dirección de Geodesía y Cartografía – Dirección de Meteorología.

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.

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., 1956. The Nicaraguan volcano Masaya and its caldera. Transactions
American Geophysical Union, Vol. 37, pp. 83-96.

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

Parsons Corporation, 1972. Final technical report, Volume III, the water resources of Nicaragua.
Tax Improvement and National Resources Inventory Project, Nicaragua, prepared under



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

the supervision of Parsons Corporation in joint venture with Marshall & Stevens Incorporated and International Aero Service Corporation, Operations Consultant.

Parsons, 1972. Final Technical Report, Volume IV, the geology of western Nicaragua. Tax Improvement and National Resources Inventory Project, Nicaragua, prepared under the supervision of Parsons Corporation in Joint Venture with Marshall & Stevens Incorporated and International Aero Service Corporation, Operations Consultant. Managua, Nicaragua, March 1972. Datos geoquímicos en Chapter V, Thermal Spring and Lake Water, con tablas asociadas.

S.P.E.G., 1983. Estudio magnetoteléurico, zona de Granada, Masaya - Nandaime (Nicaragua). Société de Prospection et d'Études Géothermiques, Julio de 1983.

Schmoll, H.R., R.D. Krushensky, y E. Dobrovolny, 1975. Geologic considerations for redevelopment planning of Managua, Nicaragua, following the 1972 earthquake. United States Geological Survey Professional Paper 914, 23 pp.

Simkin, T., and L. Siebert, 1994. Volcanoes of the World, 2nd edition, Smithsonian Institution, Washington, D.C. USA

Snyder, G. y U. Feb, 1999?. Iodine-129 volcanic fluids of southern Central America: preliminary report. Department of Earth and Environmental Sciences, 227 Hutchison Hall, University of Rochester, Rochester, NY, 14627, USA, 9 pp.. email: sndr@uhura.cc.rochester.edu, fehn@dbl.cc.rochester.edu

Sussman, D., 1985. Apoyo Caldera, Nicaragua; a major Quaternary silicic eruptive center. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 24, No. 3-4, pp. 249-282.

Sussman, D., 1985. Erratum; Apoyo Caldera, Nicaragua; a major Quaternary silicic eruptive center. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 26, No. 3-4; p. 389.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Thigpen, J.B., 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.
- Ui, T., 1973. Recent volcanism in Masaya-Granada Área, Nicaragua. Bulletin Volcanologique, Vol. 36, No. 1, pp. 174-190.
- 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 Vulcanología. 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. 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.
- Weinberg, R.F., 1992. Neotectonic development of western Nicaragua. Tectonics, Vol. 11, No. 5, pp. 1010-1017.
- Wheelock, J., J. Incer, L. Cardenal, y A. Rodríguez, 2000. Desastres naturales de Nicaragua. Guía para conocerlos y prevenirlos. Hispamer, Managua.
- Williams, R.L., 1972. The geology of western Nicaragua. Final technical report. Vol. IV, Catastro, Managua, Nicaragua, p. 221. (Part of the final report "Tax improvement and natural resources inventory project, Nicaragua," Parsons Corp., 1972).
- Williams, S.N., 1983. Geology and eruptive mechanisms of Masaya Caldera complex, Nicaragua. Thesis (Doctoral), Dartmouth College.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

Woodward-Clyde Consultants, 1975. Preliminary evaluation of active faulting in western Nicaragua. Prepared for Vice Ministerio de Planificación Urbana, Gobierno de la República de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

T A B L A S

**Tabla X-2.1. Principales Estudios Existentes sobre el Area
Masaya - Granada - Nandaime**

ESTUDIO	GEOLOGIA VULCANOLOGIA	HIDROGEOLOGIA GEOQUIMICA	GEOFISICA
McBirney & Williams (1965)	Evolución del Terciario y Cuaternario en Nicaragua		
Thigpen (1970) Texas Instruments (1970)	Geología regional y evaluación geotérmica de zonas termales en Nicaragua		
IECO-LAHMEYER (1980)	Análisis geológico regional con fines geotérmicos		Estudio geofísico regional y de detalle
OLADE (1981)	Vulcanología y geología general con un objetivo geotérmico		
ELC-Electroconsult (1982)	Geología regional y del área Masaya-Granada-Nandaime	Muestreo de Hg, Rn y geoquímico de aguas	Gravimetría y sondeos Schlumberger
S. P. E. G. (1983)			Estudio geofísico regional
Sussman (1985)	Vulcanismo en la Caldera de Apoyo		
Weinberg (1992)	Evolución neotectónica del O de Nicaragua		
Walker <i>et al.</i> (1993)	Evolución del magma en el Complejo de Masaya		
van Wyk de Vries (1993)	Tectonismo y magmatismo en Nicaragua		
Hradecky (1998)	Estudio geológico sobre el riesgo geológico de Masaya y Granada		

Tabla X-4.1: Investigaciones Geofísicas en el Area de Masaya-Granada-Nandaime

EMPRESA	AÑO	METODO	PROFUN- DIDAD DE INVEST. (m)	DIST. MAX. AB O ENTRE DIPOLOS (m)	AREA (km ²)	NUM. LINEAS	LONG. TOTAL (km)	NUMERO SONDEOS	NUMERO ESTACIONES
Parsons Corporation	1972	Gravimetría regional							
Electrodyne Surveys	1978	MT-AMT/RVT en Reconoc.	>4,000	250-5,000	750			41	
		Dipolo dipolo ecuatorial							19
		Electromagnético de detalle	4,000	250-5,000	>200			70	
		Dipolo dipolo/Schlumberger		75-9,000				20	
ELC Electroconsult	1982	Gravimetría							422
		SEV Schlumberger		2,000				137	
S. P. E. G.	1983	Magnetotelélico M.T.-5-EX			300			110	
		Electromagnético SOFREM				3	25	267	
GEOSYSTEM Srl	2000	MT/TDEM	2,000		80				54

**Tabla X-6.1: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 2),
Laguna de Apoyo**

Parámetros Fijos	Zona de la Laguna de Apoyo		
	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)	3.00	8.00	20.00
Espesor del yacimiento (m)	1,000		3,000
Porosidad de la roca	3.0%		7.0%
Temperatura promedio (°C)	210.0	220.0	240.0
Factor de recuperación	10.0%		20.0%
Resumen de Resultados	Capacidad en MW	MW/km ²	Eficiencia de Recuperación
Promedio	171.7	16.7	1.53%
Desviación Estándar	89.4	5.9	0.30%
25 percentil	108.1	11.9	1.28%
50 percentil	150.5	16.0	1.53%
75 percentil	216.8	20.6	1.79%

Tabla X-6.2: Resumen de Parámetros para Estimación de Reservas Energéticas (Categoría 3), Area de Masaya-Grandad-Nandaime

Volcán	Volumen del Magma (km ³)	Profundidad del Magma (km)	Temperatura Inicial (°C)	Edad de Emplazamiento (años)
Caldera de Masaya	40 a 150	3 a 7	900 a 1,100	5,000 a 50,000
Caldera de Apoyo	50 a 100	3 a 7	900 a 1,100	23,000 a 100,000
Volcán Mombacho	50 a 100	3 a 7	900 a 1,100	40,000 a 70,000

Tabla X-6.3: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3), Area de Masaya-Granada-Nandaime

	Caldera de Masaya		Caldera de Apoyo		Volcán Mombacho	
Parámetros Fijos						
Conductividad termal (kJ/m/s/°C)	0.0025		0.0025		0.0025	
Calor específico de la roca (kJ/kg/°C)	1.0		1.0		1.0	
Densidad de la roca (kg/m ³)	2,700		2,700		2,700	
Porosidad de la roca	3.0%		3.0%		3.0%	
Calor de solidificación (kJ/kg/°C)	300		300		300	
Gradiente inicial de temperatura (°C/km)	50		50		50	
Límite de profundidad (km)	4.0		4.0		4.0	
Intervalo de profundidad (m)	100		100		100	
Temperatura de eyección (°C)	30		30		30	
Factor de utilización	45%		45%		45%	
Temperatura límite (°C)	200		200		200	
Parámetros Inciertos	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Volume de magma (km ³)	40	150	50	100	50	100
Profundidad de magma (km)	3	7	3	7	3	7
Edad de magma (años)	5,000	50,000	23,000	100,000	40,000	70,000
Temperatura de magma (°C)	900	1,100	900	1,100	900	1,100
Factor de recuperación	5%	10%	5%	10%	5%	10%
Resumen de Resultados						
Total de Reservas (MW)	398		441		446	
		Desviación		Desviación		Desviación
MW/km ²	Medio	Estándar	Medio	Estándar	Medio	Estándar
Distancia = 0.0 km	16.0	18.4	14.4	12.6	14.9	12.6
0.5 km	15.7	18.0	14.0	12.3	14.5	12.3
1.0 km	14.7	16.8	13.1	11.3	13.5	11.3
2.0 km	10.4	11.7	9.9	8.0	10.1	8.2
3.0 km	5.3	5.6	6.2	4.6	6.3	4.8
5.0 km	0.8	0.7	1.6	1.1	1.4	1.0

Tabla X-7.1 Población en el Area Masaya-Granada-Nandaime

Localidad	Poblacion Total	Poblacion por Rango de Edades (años)			
		0-4	5-14	15-49	>50
Area Masaya-Granada-Nandaime	479,839	74,171	135,658	218,902	51,108
Departamento Masaya	231,361	35,839	65,229	106,687	23,606
Municipio de Nindiri	29,026	4,544	8,136	13,498	2,848
Zona Urbana	7,563	1,190	2,028	3,621	724
Zona Rural	21,463	3,354	6,108	9,877	2,124
Municipio de Masaya	117,523	17,293	32,673	55,612	11,945
Zona Urbana	82,918	11,379	22,091	40,688	8,760
Zona Rural	34,605	5,914	10,582	14,924	3,185
Municipio de La Concepción	27,728	4,621	8,204	12,293	2,610
Zona Urbana	5,973	881	1,671	2,833	588
Zona Rural	21,755	3,740	6,533	9,460	2,022
Municipio de Masatepe	25,538	3,979	7,150	11,427	2,982
Zona Urbana	11,318	1,540	2,887	5,373	1,518
Zona Rural	14,220	2,439	4,263	6,054	1,464
Municipio de Nandasmo	7,879	1,363	2,285	3,423	808
Zona Urbana	2,067	348	539	923	257
Zona Rural	5,812	1,015	1,746	2,500	551
Municipio de Catarina	7,108	1,223	2,066	3,131	688
Zona Urbana	3,307	483	894	1,550	380
Zona Rural	3,801	740	1,172	1,581	308
Municipio de San Juan de Oriente	3,101	535	905	1,349	312
Zona Urbana	1,366	220	362	604	180
Zona Rural	1,735	315	543	745	132
Municipio de Niquinohomo	13,458	2,281	3,810	5,954	1,413
Zona Urbana	5,124	748	1,383	2,388	605
Zona Rural	8,334	1,533	2,427	3,566	808

Fuente: INEC, Censo de Poblacion 1995

Tabla X-7.1 Población en el Area Masaya-Granada-Nandaime

Localidad	Poblacion Total	Poblacion por Rango de Edades (años)			
		0-4	5-14	15-49	>50
Departamento Granada	155,683	24,152	44,632	70,160	16,739
Municipio de Diria	6,075	915	1,723	2,722	715
Zona Urbana	3,246	400	886	1,517	443
Zona Rural	2,829	515	837	1,205	272
Municipio de Diriomo	20,102	3,334	6,008	8,679	2,081
Zona Urbana	6,326	937	1,750	2,843	796
Zona Rural	13,776	2,397	4,258	5,836	1,285
Municipio de Granada	96,996	14,478	27,057	44,681	10,780
Zona Urbana	71,783	9,955	19,261	34,012	8,555
Zona Rural	25,213	4,523	7,796	10,669	2,225
Municipio de Nandaime	32,510	5,425	9,844	14,078	3,163
Zona Urbana	12,108	1,708	3,428	5,611	1,361
Zona Rural	20,402	3,717	6,416	8,467	1,802

Fuente: INEC, Censo de Poblacion 1995

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

Lago – Localidad - Fecha	Caracter Químico	Composición Química (ppm)				
		TDS	Cl	NO ₃	B	F
L. Nicaragua - La Calzada, 1983	HCO ₃ -Ca-Na	141	16	0	-	0
L. Nicaragua - Granada N, 1983	HCO ₃ -Ca-Na	168	19	-	-	0
L. Nicaragua - Granada S, 1983	HCO ₃ -Ca	246	11	-	-	0.08
L. Nicaragua - El Diamante, 1987	HCO ₃ -Na-Ca	178	21	0	0.08	0.3
L. Nicaragua - El Elequeme, 1987	HCO ₃ -Na-Ca	146	18	0.44	0.26	0.3
L. Nicaragua - S. José del Mombacho, 1987	HCO ₃ -Ca	114	21	3.6	-	0.1
Laguna de Masaya, 1979	HCO ₃ -Na-Mg	245	8.8	0.1	0.09	0.2
Laguna de Apoyo, 1969	Cl-Na	2599	1292	0.20	4.3	0.6
Laguna Blanca, 1987	HCO ₃ -Na-Ca	807	158	3.18	1.58	0.3
Laguna Verde, 1977	HCO ₃ -Na-Mg	338	19.5	7.4	0	0.1
Laguna El Cacho, 1977	HCO ₃ -Na	340	21.3	6.48	0	0.1
Laguna de Jirón, 1977	HCO ₃ -Na	294	21.3	Tr.	0.08	0.38
Laguna Juan Tallo, 1987	HCO ₃ -Na-Mg	285	8	2.65	0.08	0.2

Datos de Krásný y Hecht, 1998

Tabla X-7.3: Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas Más Cercanas al Area Masaya Granada-Nandaime

Mes	Estación: Masaya				Estación: Masatepe			
	Epoca: 1990-1999				Epoca: 1974-1999			
	Velocidad (m/s)			Direc. Media	Velocidad (m/s)			Direc. Media
	Max.	Min.	Media		Max.	Min.	Media	
Ene	3.0	1.8	2.5	E	6.3	1.3	3.2	NE
Feb	3.9	1.7	2.6	E/NE	5.0	1.1	3.2	NE
Mar	3.0	1.9	2.5	E	5.5	1.4	2.8	NE
Abr	2.9	0.1	2.0	E	4.3	1.1	2.4	NE
May	2.8	1.3	1.9	E/NE	4.5	0.8	1.8	NE
Jun	2.2	1.3	1.8	E/NE	3.2	0.6	1.6	NE
Jul	3.0	1.5	2.2	NE	4.8	0.9	2.3	NE
Ago	3.0	1.4	2.0	E	4.3	0.2	1.7	NE
Sep	2.3	1.3	1.8	E/NE	2.4	0.4	1.2	NE
Oct	2.3	1.1	1.7	E/NE	2.6	0.6	1.3	NE
Nov	3.0	1.4	2.0	NE	3.1	0.7	2.0	NE
Dic	3.2	1.8	2.6	E	5.2	1.1	2.8	NE
Año	3.1	2.0	2.6	E/NE	3.4	0.9	2.2	NE

Datos de INETER, 2000

Tabla X-7.4: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Masaya (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Acanthaceae	<i>Blechnum pyramidatum</i> (Lam.) Urb. <i>Elytraria imbricata</i> (Vahl) Persoon <i>Justicia costaricensis</i> Emery <i>Ruellia inundata</i> HBK <i>Tetramerium hispidum</i> Nees	Papagayo
Adiantaceae	<i>Adiantum</i> Sp.	
Agavaceae	<i>Agave americana</i> L.	
Aizoaceae	<i>Mollugo verticillata</i> L.	
Amaranthaceae	<i>Alternanthera sessilis</i> L. R. Brown ex DC. <i>Chamissoa altissima</i> Jacq. HBK <i>Gomphrena decumbens</i> Jacq. <i>Iresine celosia</i> L.	
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L. <i>Spondias purpurea</i> L. <i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Jocote Jobo Jocote Garrobo
Annonaceae	<i>Annona reticulata</i> L. <i>Sapranthus nicaraguensis</i> Seem.	Anona
Apocynaceae	<i>Stemmadenia obovata</i> (Hook. & Arn.) K. Schum <i>Thevetia ovata</i> <i>Mesochites tetraphylla</i> L. <i>Rauwolfia tetraphylla</i> L. <i>Plumeria rubra</i> L.	Huevo De Chanco Chilca De Monte Comida De Culebra Sacuanjoche
Araceae	<i>Monstera adansonii</i> (Schott) <i>Pistia stratiotes</i> L. <i>Lemna minor</i> <i>Philodendron</i> sp <i>Anthurium crassinervium</i> <i>Bacris minor</i>	Ventana Lechuga De Agua Coyolito
Araliaceae	<i>Sciadodendron excelsum</i> Griseb	Lagarto
Aristolochiaceae	<i>Aristolochia maxima</i> Jacq.	
Asclepiadaceae	<i>Asclepias curassavica</i> L. <i>Blepharodon mucronatum</i> (Schlecht) Dene <i>Calotropis procera</i> (Aiton) (Aiton f.) <i>Cynachum schlechtendalii</i> (Dene.) Standl. & Steyerl. <i>Gonolobus barbatus</i> HBK	
Asteraceae	<i>Montanoa</i> sp.	
Begoniaceae	<i>Begonia plebeja</i> Liemb.	

Tabla X-7.4: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Masaya (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex HBK	Sardinillo
	<i>Amphilophium paniculatum</i> (L.) HBK	Pico De Pato
	<i>Cydista diversifolia</i>	Ahosmeca
	<i>Lundia puberula</i> Pittier	
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L. var. <i>Leiocarpa</i> (Kuntze) Standl. & L.O. Wms.	
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth	Ceiba
Bombacaceae	<i>Bombacopsis quinatum</i> (Jacq.) Dugand	
Boraginaceae	<i>Cordia dentata</i> Poir.	Tiguillote
	<i>Cordia alliodora</i> (R. & P.) Oken	Laurel Macho
	<i>Cordia globosa</i> (Jacq.) M.B.K	Diente De Peano
	<i>Cordia inermis</i> (Mill) I.M. Johnst	Achiopaste
	<i>Heliotropium angiospermum</i> Murray	Cola De Alacran
Bromeliaceae	<i>Bromelia karatas</i> L.	
	<i>Bromelia pinguin</i> L.	
	<i>Pitcairnia heterophylla</i> (Lindl.) Beer	
	<i>Tillandsia balbiana</i> Schultes	
	<i>Tillandsia circinata</i> Schelecht	
	<i>Tillandsia ionantha</i> Planch	
	<i>Tillandsia recurvata</i> L.	
	<i>Tillandsia schiediana</i> Steudel	
	<i>Tillandsia usneoides</i>	Barba de Viejo
Burseraceae	<i>Bursera gavelens</i> (HBK) Triana & Planch.	Caraña
	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	
Cactaceae	<i>Hylocereus undatus</i> (Haworth) Britt. & Rose	
Caesalpinaceae	<i>Cassia emarginata</i> L.	Vainillo
	<i>Senna reticulata</i> (Willd.) I. & B.	Sorocontil, Serocontil
Campanulaceae	<i>Lobelia laxiflora</i> HBK	
Capparidaceae	<i>Cleome viscosa</i> L.	
Caricaceae	<i>Carica pennata</i> Heilborn	
Clethraceae	<i>Clethra</i> sp.	
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> Sprengel	
Combretaceae	<i>Combretum fruticosum</i> (Loefl.) Stuntz.	
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	
Compositae	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	
	<i>Baltimora recta</i> L.	
	<i>Bidens squarrosa</i> HBK	

Tabla X-7.4: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Masaya (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Compositae	<i>Eupatorium sinclairii</i> Bth	
	<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.) DC.	
	<i>Melanthera hastata</i> Rich	
	<i>Milleria quinquefolia</i> L.	
	<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass	
	<i>Sclerocarpus divaricatus</i> (Bth) Bth. & Hook.	
	<i>Senecio chinotegensis</i> Klatt	
	<i>Synedrella nodiflora</i> (L.) Gaerther	
	<i>Tithonia rotundifolia</i> (Mill.) Blake	
Convolvulaceae	<i>Tridax procumbens</i> L.	
	<i>Ipomoea alba</i> L.	
	<i>Ipomoea aristolochiaefolia</i> (HBK) G. Don.	
Cucurbitaceae	<i>Ipomoea hederaceae</i> L. Jacq.	
	<i>Rytidostylis gracilis</i> (Hook. & Arn.)	Anillito
	<i>Rytidostylis ciliata</i> (Hook. & Arn.)	Huevo de gato
Cyperaceae	<i>Cayaponia</i> sp.	
	<i>Elatarium ciliarum</i> Cogn.	
	<i>Bulbostylis tenuifolia</i> (Rudge) MacBride	
	<i>Cyperus amabilis</i> Vahl	
Ebenaceae	<i>Cyperus elegans</i> L.	
	<i>Cyperus tenerrimus</i> Presl.	
Elaeocarpaceae	<i>Diospyros nicaraguensis</i> Standl	
Euphorbiaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	
	<i>Acalypha schiedeana</i> Schlecht	
	<i>Chamaesyce densiflora</i> (KL. & Gde.) Millspaugh	
	<i>Croton hirtus</i> L'Her	
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	
	<i>Dalechampia scandens</i> L.	
Fabaceae	<i>Ricinus communis</i> L.	
	<i>Galactia acapulcensis</i>	Frijolillo
Flacourtiaceae	<i>Casearia nitida</i> (L.) Jacq.	
Gesneriaceae	<i>Achimenes longiflora</i> A. DC.	
	<i>Reichsteineria warscevicail</i> (Bouché & Harst.) Kuntze	
Hernandiaceae	<i>Gyrocarpus americanus</i> Jacq.	talalate
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i> (R&P) HBK var. <i>Carcassana</i> (HBK) Gibson	

Tabla X-7.4: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Masaya
(FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Labiatae	<i>Hyptis capitata</i> Jacq. <i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poiteau <i>Salvia micrantha</i> Vahl	
Leguminosae	<i>Abrus precatorius</i> L. <i>Acacia costaricensis</i> Schenk <i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd <i>Aeschynomene americana</i> L. <i>Bauhinia pauletia</i> Pers. <i>Caesalpinia pulcherrima</i> L. Sw. <i>Calopogonium mucunoides</i> Desv. <i>Canavalia</i> sp. <i>Cassia biflora</i> L. <i>Cassia emarginata</i> L. <i>Cassia leiophylla</i> Vogel <i>Cassia occidentalis</i> L. <i>Cassia reticulata</i> Willd. <i>Crotolaria incana</i> L. <i>Desmodium barbatum</i> L. Bth. & Oersted <i>Desmodium triflorum</i> L. DC <i>Diphysa robinoides</i> Benth <i>Erythrina berteroa</i> Urban <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steudel <i>Indigotera suffruticosa</i> Miller <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> Donn.-Sm. <i>Lonchocarpus atropurpureus</i> Benth <i>Lysiloma</i> sp. <i>Mimosa albida</i> H & B <i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC <i>Pachyrhizus erosus</i> (L.) Urban <i>Pithecolobium saman</i> (Jacq.) Bth. <i>Tephrosia decumbens</i> Bth. <i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers.	
Loasaceae	<i>Gronovia scandens</i>	
Lobeliaceae	<i>Lobelia laxiflora</i> HBK	Reina De La Montaña

Tabla X-7.4: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Masaya (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Loranthaceae	<i>Psittacanthus calycularis</i> (DC) G. Don <i>Struthanthus orbicularis</i> (HBK) Blume	
Lycopodiaceae	<i>Lycopodium clavatum</i>	
Malpighiaceae	<i>Gaudichaudia</i> sp <i>Bunchosia</i> sp. <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) HBK	
Malvaceae	<i>Malvaviscus arboreus</i> Cav. Var. <i>Mexicanus</i> Schlecht <i>Sida acuta</i> Burm <i>Sida rhombifolia</i> L.	
Marantaceae	<i>Maranta arundinacea</i> L.	
Martyniaceae	<i>Martynia annua</i> L.	
Melastomataceae	<i>Conostegia</i> sp. <i>Miconia argentea</i> (Sw.) DC.	Capirotes
Meliaceae	<i>Trichilia</i> sp.	
Menispermaceae	<i>Cissampelos pareira</i> L.	
Mimosaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. <i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Guanacaste Negro Espino De Playa
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz <i>Ficus involuta</i> Standl <i>Ficus ovalis</i> (Liebm) Miq. <i>Dorstenia drakena</i>	Ojoche
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp.	
Nyctaginaceae	<i>Boerhavia erecta</i> L. <i>Pisonia aculeata</i> L.	
Olacaceae	<i>Ximenia americana</i> L.	
Onagraceae	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don.) Exell	
Orchidaceae	<i>Bletia purpurea</i> (Lam.) DC <i>Brassavola nodosa</i> Lindl. <i>Cyrtopodium cristatum</i> Lindl. <i>Encyclia alata</i> (Batem) Schlecht <i>Epidendrum stamfordianum</i> Batem. <i>Habenaria pauciflora</i> (Lindl) Reichb. F. <i>Encyclia oncidioides</i> (Lindl) Schlecht <i>Laelia rubescens</i> Lindl. <i>Scaphyglottis lindentana</i> <i>Sobralia</i> sp.	II II II

Tabla X-7.4: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Masaya (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Polypodiaceae	<i>Asplenium Cuspidatum Lam</i>	
	<i>Asplenium pumilum Sw.</i>	
	<i>Bolbitis cladhorsans (Sprengel) Ching</i>	
	<i>Chetlanthes angustifolia HBK</i>	
	<i>Dryopteris incerana L.D. Gómes</i>	
	<i>Dryopteris karwinskyana (Mett.) Kuntze</i>	
	<i>Gymnopteris rufa (L.) Bernh.</i>	
	<i>Notholaena brachypus (Kuntze) J. Smith</i>	
	<i>Notholaena sulphurea (L.) J. Smith</i>	
Pontederiaceae	<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto De Agua
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea L.</i>	
Pteridophyta	<i>Pityrogramma calomelanos (L.) Link</i>	
	<i>Pityrogramma calomelanos</i>	Helecho
Ranunculaceae	<i>Clematis dioica L.</i>	
Rhamnaceae	<i>Karwinskia calderonii</i>	
Rubiaceae	<i>Diodia sp.</i>	
	<i>Borreria densiflora DC.</i>	
	<i>Psychotria spp.</i>	
	<i>Hamelia patens Jacq.</i>	
	<i>Richardia scabra L.</i>	Oreja De Raton
	<i>Diodia ceres Walt.</i>	
	<i>Crusea coccinea DC.</i>	
	<i>Borreria latifolia (Aubl.) Schum</i>	
	<i>Borreria ocimoides (Burm.) DC.</i>	
	Sapindaceae	<i>Cupania sp.</i>
<i>Paullinia cururu L.</i>		
<i>Serjania triquetra Radk.</i>		
Scrophulariaceae	<i>Russelia verticillata HBK</i>	
	<i>Lamourouxia viscosa HBK</i>	
Selaginellaceae	<i>Selaginella sp</i>	
	<i>Anemia hirsuta (L.) Sw.</i>	
	<i>Anemia oblongifolia (Cav.) Sw.</i>	
	<i>Lygodium venustum Sw.</i>	
Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca DC.</i>	Acetuno- Talchocote
Solanaceae	<i>Capsicum annum L.</i>	Chile Montero
	<i>Solanum torvum Sw.</i>	
	<i>Solanum ochraceo-ferrugineum (Dunal) Fern.</i>	

Tabla X-7.4: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Masaya
(FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
	<i>Capsicum annum</i> L. Var. <i>Aviculare</i> (Dierb.) D'Arcy & Eshbaugh	
Sterculiaceae	<i>Guasuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo De Ternero
	<i>Byttneria aculeata</i> Jacq.	
	<i>Waltheria indica</i> L.	
Theaceae	<i>Clusia rosea</i> Jacq.	
Theophrastaceae	<i>Jacquinia pungens</i> Grav.	
	<i>Jacquinia aurantiaca</i> Aiton.	
Thyphaceae	<i>Typha angustifolia</i> L.	
Turneraceae	<i>Turnera ulmifolia</i> L.	
Ulmaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Capulin Negro, C. Macho
Umbelliferaea	<i>Hydrocotyle umbellata</i> L.	
Urticaceae	<i>Myriocarpa yzabaleris</i>	Chichicaston
Valerianaceae	<i>Valeriana palmeri</i> Gray	
Verbenaceae	<i>Lippia cardiostegia</i> Benth.	Tacote Blanco, Juanislama
	<i>Lantana glandulosissima</i> Hayek	
	<i>Lippia brenesii</i> Standl	
	<i>Privia lappulaceae</i> (L.) Pers.	
Vitaceae	<i>Cissus erosa</i> (L.) Rich.	
Zygophyllaceae	<i>Kallstroemia maxima</i> (L.) Hook. & Arn.	

Tabla X-7.5: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Laguna de Apoyo (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i> L.	Jocote garrobo
Annonaceae	<i>Annona reticulata</i> L.	anona
Apocynaceae	<i>Stemmadenia obovata</i> (Hook. & Arn.) K. Schum	huevo de chanco
	<i>Thevetia ovata</i>	Chilca de Monte
Asteraceae	<i>Tithonia rotundifolia</i> (MILL.) Blake	jalacate de monte
Begoniaceae	<i>Begonia plebejum</i>	
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex HBK	sardinillo
Bombacaceae	<i>Bombacopsis quinatum</i> (Jacq.) Dugand	pochote
	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	ceiba
Boraginaceae	<i>Cordia dentata</i> Poir.	tiguilote
Caesalpinaceae	<i>Bauhinia pauletia</i> Pers.	uña de gato
	<i>Cassia emarginata</i> L.	vainillo
	<i>Cassia grandis</i> L.	carao
Cecropiaceae	<i>Cecropia peltata</i>	Guarumo
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	poro-poro
Ebenaceae	<i>Diospyros nicaraguensis</i> Standl.	chocoyo
Elaeocarpaceae	<i>Muntingia calabura</i> (Swartz) DC	capulin
Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	madero negro
	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i> (Donn. Smith)	chaperno negro
	<i>Pachyrrhizus erosus</i> (L.) Urban	jicama (silvestre o monte)
	<i>Crotalaria recusa</i>	chischil
	<i>Pterocarpus rohrlii</i> (Vahl)	sangredrigo
	<i>Phaseolus lunatus</i>	Chonetillo
Malvaceae	<i>Abutilon</i> sp.	
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	cedro real
Mimosaceae	<i>Albizzia guachepile</i> (HBK) Dugand	gavilan
	<i>Lysiloma auritum</i> (Schlecht.) Benth.	quebracho
	<i>Acacia costarricensis</i> Schenck	cachito de aroma
	<i>Pithecellobium saman</i> (Jacq.) Benth.	genizaro
Moraceae	<i>Chlorophora tinctoria</i> (L.) Gaud	mora
	<i>Ficus</i> spp.	chilamate
Poaceae	<i>Opilismenus burmannii</i> Beauv.	grama de conejo, zacate conchita

Tabla X-7.5: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Laguna de Apo (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Polygonaceae	<i>Antigonon leptopus</i>	Bellísima
Sapindaceae	<i>Thouinidium decandrum</i> (Humb. y Bonpl.) Radlk. <i>Serjania</i> sp.	Melero Barbasco
Sapotaceae	<i>Mastichodendron capiri</i> Var. <i>tempisque</i> (pittier) Cronq.	Tempisque
Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i> DC.	Aceturo- Talchocote
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo De Ternero
Tiliaceae	<i>Luhea candida</i> (T.C.) Mart. S Zucc	Guacimo De Molenillo
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	Cuaquito, Cinco Negritos

Tabla X-7.6: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Mombacho (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Adiantaceae	Adiantum Sp.	
Araceae	Monstera adansonii (Schott)	Ventana
	Pistia stratiotes L.	Lechuga De Agua
	Lemna minor	
	Bactris minor	Coyolito
	Dieffenbachia sp.	Sahino Ó Puerco
	Anthurium spp	
Arecaceae	Chamaedorea sp	Pacaya, Cola De Pescado
Asteraceae	Emilia sochifolia (L.) DC	Brochitas Rojas
	Ageratum conyzoides L.	Azulita, Celestita
Begoniaceae	Begonia plebeja Liemb.	Begonia
	Begonia plebejum	
	Begonia sp.	Alas De Angel
	Begonia filipes	Begonia Trepadora
Bombacaceae	Bombacopsis quinatum (Jacq.) Dugand	Pochote
	Ceiba pentandra (L.) Gaerth	Ceiba
Brassicaceae	Brassica rapa	Mostaza Amarilla
Bromeliaceae	Tillandsia sp	Gallito
	Aechmea sp	
	Guzmania spp	
	Pitcairnia sp.	
	Vriesea sp	
Burseraceae	Bursera simaruba (L.) Sarg.	Jiñocuabo
Caesalpinaceae	Ardisia revoluta	Uva De Montaña
Commelinaceae	Commelina diffusa Burm. f.	Conchita
Elaeocarpaceae	Muntinguia calabura (Swartz) DC	Capulin
Ericaceae	Cavendishia aff.guatemalensis var chiapensis	
Euphorbiaceae	Sapium macrocarpum Meull.- Arg.	Lechecuabo
Fabaceae	Erythrina berteroa Urbans	Elequeme
	Gliricidia sepium (Jacq.) Walp.	Madero Negro
	Diphysa robinoides Benth.	Guachipilin
Gesneriaceae	Columnnea sp	
Malpighiaceae	Banisteria argentea	
Marantaceae	Calathea sp.	Piataniilo, Bljagua
Melastomataceae	Conostegia sp.	Capirotes
	Conostegia sp	Gaimito

Tabla X-7.6: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Volcán Mombacho (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro Real
	<i>Guarea glabra</i> Vahl.	Tololo
Mimosaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Guanacaste Negro
	<i>Inga</i> spp.	Cuajiniquíl, Guabo
	<i>Mimosa pudica</i> L.	Dormilona
	<i>Pithecellobium saman</i> (Jacq.) Benth.	Genizaro
Moraceae	<i>Castilla elastica</i> Cerv.	Palo De Huie
	<i>Ficus lappathifolia</i> (Liebm.) Miq.	
	<i>Ficus obtusifolia</i> HBK	Matapaio
Orchidaceae	<i>Catasefum maculatum</i>	
	<i>Oncidium ascendens</i>	
Osmundaceae	<i>Lygodium vestutum</i>	Helecho Trepador
Papaveraceae	<i>Bocconia</i> sp.	
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i>	Llanten
Poaceae	<i>Oplismenus burmannii</i> Beaud.	Gramma De Conejo, Zacate Conchita
Polypodiaceae	<i>Polypodium</i> sp.	Helecho, Flotante
Rosaceae	<i>Rubus</i> sp.	Zarzamora
Rubiaceae	<i>Hamelia patens</i> (Jacq.)	Canilla De Venado
	<i>Cupania dentata</i> DC.	Cola De Pava
Selaginellaceae	<i>Selaginella</i> sp	
Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i> DC.	Acetuno- Talchocote
Solanaceae	<i>Cestrum</i> sp.	
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo De Ternero
Ulmaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Capulin Negro, C. Macho
Verbenaceae	<i>Clerodendron</i> sp.	
Zingiberaceae	<i>Hedychium coronarium</i> Koenig	Heliotropo

Tabla X-7.7: Lista de Especies de Flora de Area Protegida, Lagunas de Mecatepe - Río Manares (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Achatocarpaceae	<i>Achatocarpus nigricans</i> (Triana)	Canfucia, Limoncillo
Anacardiaceae	<i>Anacardium excelsum</i> (Bert. & Balb.) Skeel	Espavel
Annonaceae	<i>Annona glabra</i> L.	Anona De Pantano/Río
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Lechuga De Agua
	<i>Lemna minor</i>	
	<i>Bactris minor</i>	Coyolito
	<i>Monstera adansonii</i> (Schott)	Ventana
Aristolochiaceae	<i>Aristolochia</i> sp.	
Caesalpinaceae	<i>Crudia choussyana</i> (Standley)	Javillo
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	Papaya De Monte
Polypodiaceae	<i>Polypodium</i> sp.	Helecho, Flotante
Thyphaceae	<i>Typha truxilensis</i>	Tule

Tabla X-7.8: Lista de Especies de Fauna para la Area Protegida, Volcán Masaya (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Grado de Amenaza (Apendice CITES)
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	Garrobo Negro	II
	<i>Iguana iguana</i>	Iguana	
Anatidae	<i>Anhinga anhinga</i>	Pato Aguja	
Caprimulgidae	<i>Nyctridomus albicollis</i>	Pocoyo Comun	
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote	
Columbidae	<i>Scardafella inca</i>	Tortolita	
	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma Cola Blanca	
	<i>Leptotila plumbeiceps</i>	Paloma Rodadora	
Corvidae	<i>Calocitta formosa</i>	Urraca	
Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>	Chachalaca	
Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	Pájaro León, Pájaro Bobo	
Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Gavilancito	II
Icteridae	<i>Gymnostinops montesuma</i>	Oropéndola	
Momotidae	<i>Eumomota superciliosa</i>	Guardabarranco	
Pelecaniformes	<i>Phalacrocorax olivaceus</i>	Pato Chancho	
Phasianidae	<i>Colinus leucopogon</i>	Codorniz	
Picidae	<i>Centurus aurifrons</i>	Carpintero	
Psittacidae	<i>Brotojeris jugularis</i>	Chocoyo (Perico) Zapoyol	II
	<i>Aratinga strenua</i>	Loro Del Volcán	II
	<i>Aratinga caniculares</i>	Chocoyo Cancan	II
Thyrannidae	<i>Muscivora forficata</i> *	Tijereta	
	<i>Tyrannus melancholicus</i> *	Guis Copeton	
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bienteveo, Cierito Guis	
Troglodytidae	<i>Campylorhynchus rufinucha</i>	Saltapiñuela	
MAMÍFEROS			
Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote	
Cebidae	<i>Cebus capucinus</i>	Mono Cara Blanca	II
	<i>odocoileus virginianus</i>	Venado Ramazón	
Dasyproctidae	<i>Agouti paca, Canilus paca</i>	Guardatinaja	III
	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatusa	III
	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Cusuco	
Felidae	<i>Felis wiedii</i>	Gato De Monte	I
	<i>Felis yagouarondi</i>	Leoncillo	I
Leporidae	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	
Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Culumuco	III

**Tabla X-7.8: Lista de Especies de Fauna para la Area Protegida,
Volcán Masaya (FUNDENIC-SOS, 1999)**

Atherinidae	<i>Melaniris sardina</i>	Sardina
Cichlidae	<i>Cichlasoma nigrofasciatum</i>	Mojarra
	<i>Cichlasoma labiarum</i>	Mojarra picuda
	<i>Cichlasoma managuense</i>	Guapote
	<i>Cichlasoma dowi</i>	Guapote
	<i>Cichlasoma rostratum</i>	Masamiche
	<i>Neetroplus nematopus</i>	Picaculo
Gobiidae	<i>Gobiomorus dormitor</i>	Guavina
Poeciliidae	<i>Poecilia gilli</i>	Olomina

Tabla X-7.9: Lista de Especies de Fauna para la Area Protegida, Laguna de Apoyo (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Grado de Amenaza (Apendice CITES)
REPTILES			
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	Garrobo Negro	
AVES			
Corvidae	<i>Calocitta formosa</i>	Urraca	
Emberizidae	<i>Icterus galbula</i>	Chorcha, Chichiltote Norteño	
Icteridae	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate	
Icteridae	<i>Gymnostinops montezuma</i>	Oropéndola	
Ramphastidae	<i>Ramphastus sulfuratus</i>	Tucán Curré, Tucán Pico Iris	
Thyrannidae	<i>Muscivora forficata</i>	Tijereta	
Thyrannidae	<i>Tyrannus verticalis</i>	Guíz, Tirano Colinegro	
MAMIFEROS			
Cebidae	<i>Alouatta palliata</i>	Mono Congo	
Cebidae	<i>Cebus capucinus</i>	Mono Cara Blanca	II
Dasyproctidae	<i>Agouti paca, Canisus paca</i>	Guardatinaja	III
Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatusa	III
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro Cola Pelada	
Felidae	<i>Felis wiedii</i>	Gato De Monte	I
Leporidae	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	
Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Culumuco	III
Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	Mapache(Mapachín)	
Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Pizote	
PECES			
Cichlidae	<i>Tilapia spp</i> <i>Cichlasoma managuense</i>	Tilapia (Pilapia) Guapote	

Tabla X-7.10: Lista de Especies de Fauna para la Area Protegida, Volcán Mombacho (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Grado de Amenaza (Apendice CITES)
REPTILES			
Boidae	<i>Boa constrictor</i>	Boa	II
Colubridae	<i>Spilotes pullatus</i>	Culebra Mica (Verde)	
	<i>Trimorphodon biscutatus</i>	Sorcuata, Solcuata	
	<i>Drymarchon corais</i>	Voladora	
	<i>Leptophis sp</i>	Chocoya	
	<i>Urobelis neneus</i>	Chocoya-Bejuquilla	II
Crotalidae	<i>Agkistrodon bilineatus</i>	Ratonera (Castellana, Ranera)	III
	<i>Crotalus durissus</i>	Cascabel	III
Elapidae	<i>Micrurus spp</i>	Coral Blanco-Negro-Mediano	III
Iguanidae	<i>Anolis sp</i>	Cherepa	
	<i>Ctenosaura similis</i>	Garrobo Negro	
	<i>Iguana iguana</i>	Iguana Verde	II
Telidae	<i>Cnemidophorus deppii</i>	Lagartija Rayada (Verde-Café)	
Testudinidae	<i>Rhinoclemmys pulcherrima</i>	Tortuga Sabanera	
AVES			
Anatidae	<i>Anhinga anhinga</i>	Pato Aguja	
	<i>Cairina moschata</i>	Pato Real	III
Ardeidae	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	Piche	III
	<i>Botaurus pinnatus *</i>	Alcaravan De Agua, Avetoro	
	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Cuaco	
Caprimulgidae	<i>Butorides sp.</i>	Punco	
	<i>Nyctridomus albicollis</i>	Pocoyo Común	
Columbidae	<i>Carhartes aura</i>	Sonchiche	
	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote	
	<i>Zenaida asiatica</i>	Palomas Alas Blancas	
	<i>Columba flavirostris</i>	Paloma Patacona	
	<i>Leptocila plumbeiceps</i>	Paloma Rodadora	
Corvidae	<i>Columbina talpacoti</i>	Paloma San Nicolás	
	<i>Zenaidura macroura</i>	Paloma Llanera	
	<i>Calocitta formosa</i>	Urraca	
Ciconidae	<i>Mycteria americana</i>	Guairón	I
Crucidae	<i>Ortalis vetula</i>	Chachalaca	
	<i>Crax rubra</i>	Pavón	III
Cuculidae	<i>Morococcyx erythropygus</i>	Relojero	
Emberizidae	<i>Icterus galbula</i>	Chorcha, Chichiltote Norteño	
	<i>Dendroica petechia</i>	Gallarda Paloma, Garza Gris, Reinita Amarilla	
Falconidae	<i>Herpetotheres cachinnas</i>	Guás Cagón (Búlico)	II
Icteridae	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate	
	<i>Gymnostinops montesuma</i>	Oropéndola	
	<i>Dives dives</i>	Tordo Negro	

Tabla X-7.10: Lista de Especies de Fauna para la Area Protegida, Volcán Mombacho (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Grado de Amenaza (Apendice CITES)
AVES			
Jacaniidae	<i>Jacana spinosa</i>	Gallina De Agua Ó De Playa	
Momotidae	<i>Eumomota superciliosa</i>	Guardabarranco	
Pelecaniformes	<i>Phalacrocorax olivaceus</i>	Pato Chanco	
Phasianidae	<i>Colinus leucopogon</i>	Codorniz	
Picidae	<i>Drycopus lineatus</i>	Carpintero Copete Rojo, Cretirrojo	
	<i>Chiroxiphia linearis</i>	Toledo (Verde, Azul Y Colorado)	
Psittacidae	<i>Amazona albifrons</i>	Cotorra	II
	<i>Amazona auropalliata</i>	Lora Hablantina	II
	<i>Brotogeris jugularis</i>	Chocoyo (Perico) Zapoyol (Ito)	II
Stringidae	<i>Otus cooperi</i>	Cocoroca	
Thyrannidae	<i>Muscivora forficata</i> *	Tijereta	
Troglodytidae	<i>Campylorhynchus rufinucha</i>	Saltapiñuela	
Trogonidae	<i>Trogon violaceus</i>	Viuda	
Tyrannidae	<i>Tyrannus verticalis</i>	Guíz, Tirano Colinegro	
Tytonidae	<i>Asio stygius</i>	Buho	
Tytonidae	<i>Tyto alba</i>	Lechuza Común	II
MAMÍFEROS			
Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote	
Cebidae	<i>Cebus capucinus</i>	Mono Cara Blanca	II
	<i>Alouatta palliata</i>	Mono Congo	I
Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado Cola Blanca (Rocio, Ramazón)	
Dasyproctidae	<i>Dasyprocta novemcinctus</i>	Cusuco	
	<i>Agouti paca, Canillus paca</i>	Guardatinaja	III
	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatusa	III
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro Cola Pelada	
	<i>Caluromys derbianus</i>	Comadreja	
Erethizonidae	<i>Coendu mexicanus</i>	Zorro Espin	III
Felidae	<i>Felis yagouaroundi</i>	Leoncillo	I
	<i>Felis concolor</i>	León (Puma)	I
Gromyidae	<i>Macrogeomys matagalpae</i>	Taltuza	
Leporidae	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	
Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Culumuco	III
	<i>Spilogale augustifrons</i>	Zorro Mión	
Myrmecophagidae	<i>Tamandua tetradactyla</i>	Perico Oso, Perico Lerdo,	III
Procyonidae	<i>Potos flavus</i>	Micoleon, Cuyuso	III
	<i>Nasua narica</i>	Pizote	III
	<i>Procyon lotor</i>	Mapache (Mapachín)	
Sciuridae	<i>Sciurus variegatoides</i>	Ardilla Común, Mora	III
Tayassuidae	<i>Tayassu tajacu</i>	Sahino, Jabalí De Collar	II

Tabla X-7.11: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Masaya-Granada-Nandaime, Zona de Laguna de Apoyo

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos.	Mínima (principalmente si hay obras dentro de la Caldera de Apoyo)	Optimización uso de caminos 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 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 (La Laguna de Apoyo ya contiene cierta contaminación geotérmica natural)	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 pozos de abastecimiento.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	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 y los turistas durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	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.
Impactos visuales en la población local y en el turismo	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	Escoger diseños y equipos de impacto mínimo. Localizar obras en zonas escogidas, fuera de vista de puntos turísticos	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.

Tabla X-7.12: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Masaya-Granada-Nandaime, Sector Meridional del Volcán Mombacho

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, principalmente 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 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 - Significativa (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	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 (dependiendo del sitio específico de la obra)	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 manantiales y pozos de abastecimiento
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil	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.	Muy Débil	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.

Tabla X-9.1: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad y Confirmar la Factibilidad, Área de Masaya-Granada-Nandaime, Zona de Laga de Apoyo¹

Actividad	Costo	Duración	Año 1 - meses				Año 2 - meses				Año 3 - meses		
			1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9
I Demostración del Recurso Geotérmico													
a Estudio de Impacto Ambiental: Fase 1 - Concesión de Exploración	\$10,000	1.5 meses	■										
b Interpretación geológica de detalle	\$465,000	4 meses	■	■									
c Estudio de Impacto Ambiental: Fase 2A - Permiso Ambiental de perforación de pozos de gradiente de temperatura	\$30,000	4 meses	■	■	■								
d Suministro de agua	\$221,000	3 meses		■	■								
e Caminos y plataformas	\$405,000	15 meses		■	■	■	■	■	■				
f Pozos de gradiente de temperatura	\$815,000	6 meses		■	■	■	■	■					
g Estudio de Impacto Ambiental: Fase 2B - Permiso Ambiental de perforación exploratoria	\$50,000	4 meses		■	■								
h Pozos exploratorios de diámetro reducido	\$2,100,000	6 meses					■	■	■				
i Pozos de diámetro comercial	\$4,570,500	10 meses						■	■	■	■		
Subtotal:	\$8,666,500												
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					■	■	■	■	■	■	■
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:	\$8,964,000												

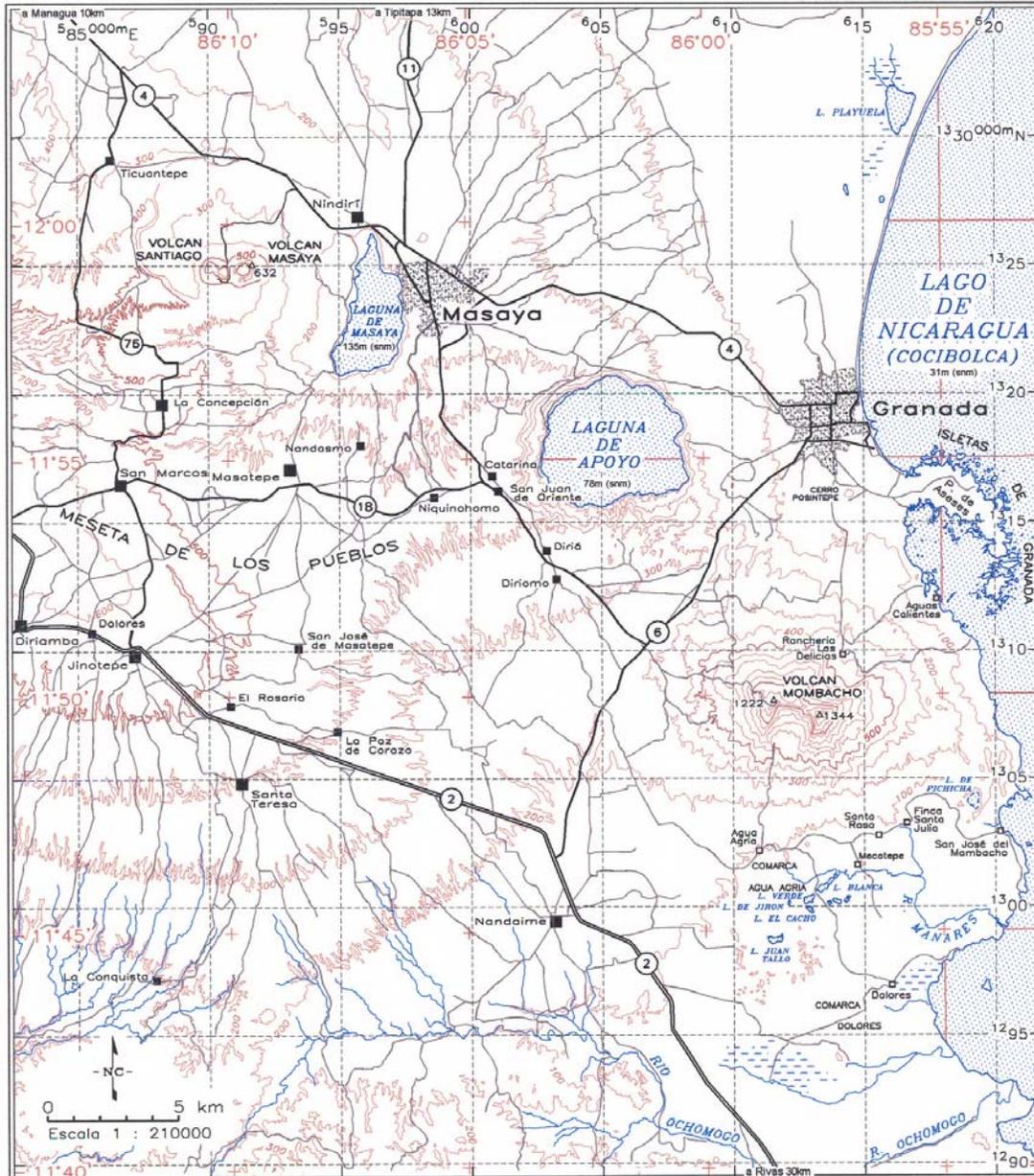
¹ Ver detalles en el Anexo K del Volumen I del Estudio del Plan Maestro
Las estimaciones no incluyen los posibles costos de alquiler de terrenos y derechos de paso (pagos a los dueños de terrenos).

Tabla X-9.2: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Terminar la Pre-Factibilidad, Área de Masaya-Granada-Nandaime, Sector Meridional del Volcán Mombacho

Actividad ¹	Costo ¹	Duración	Mes →													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
I	Perforación de pozos profundos de diámetro reducido															
	Suministro de agua	\$10,000														
	Caminos y plataformas	\$40,000														
	Perforación (2 pozos, 1250 m)	\$1,950,000														
	Registros y pruebas	\$150,000														
II	Análisis completo y síntesis de los resultados (Estudio de Pre-Factibilidad)	\$75,000														
III	Administración	\$35,000														
IV	Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000														
V	Estudios de Impacto Ambiental para obtener la Concesión de Exploración y Permiso Ambiental de perforación de pozos exploratorios	\$40,000														
TOTAL:		\$2,305,000														

¹ Las estimaciones no incluyen los posibles costos de alquiler de terrenos y derechos de paso (pagos a los dueños de terrenos).

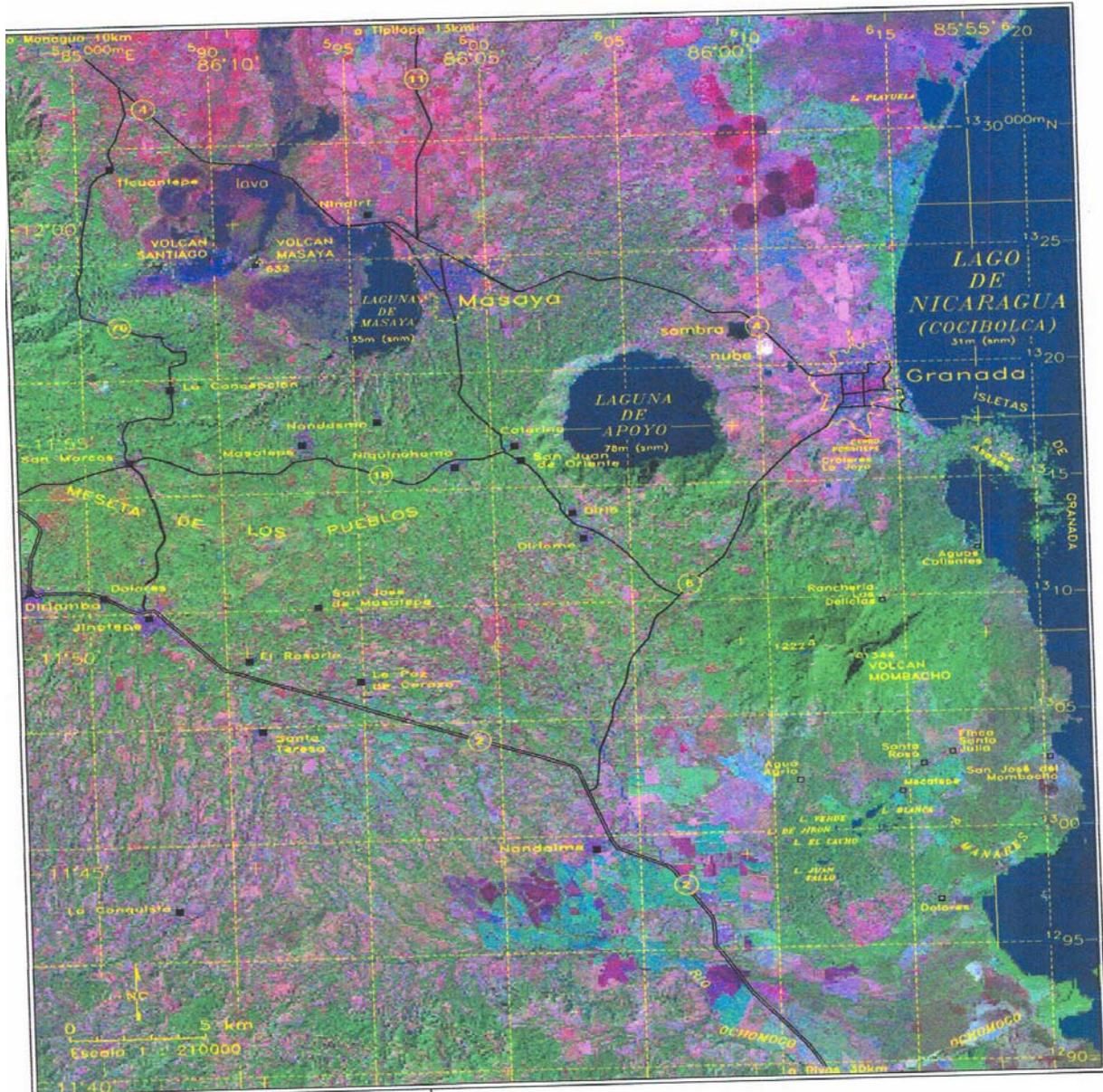
FIGURAS



LEYENDA	
	Ciudad
	Poblado
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m) Datos topográficos: INETER (1988)
	Carretera Panamericana
	Carretera nacional
	Camino secundario

**Figura X-1.1: Mapa de ubicación,
Masaya-Granada-Nandaime,
Nicaragua**

GeothermEx, Inc.		FILE: X-1.1.DWG	SCALE: 1 : 210000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 24OCT2001	DRAWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGESETUP: MAS_ORA	REV: DGC89/RRS1/OCT00
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8184 EMAIL: MMB@GEOHERMEX.COM			JUL01/OCT01



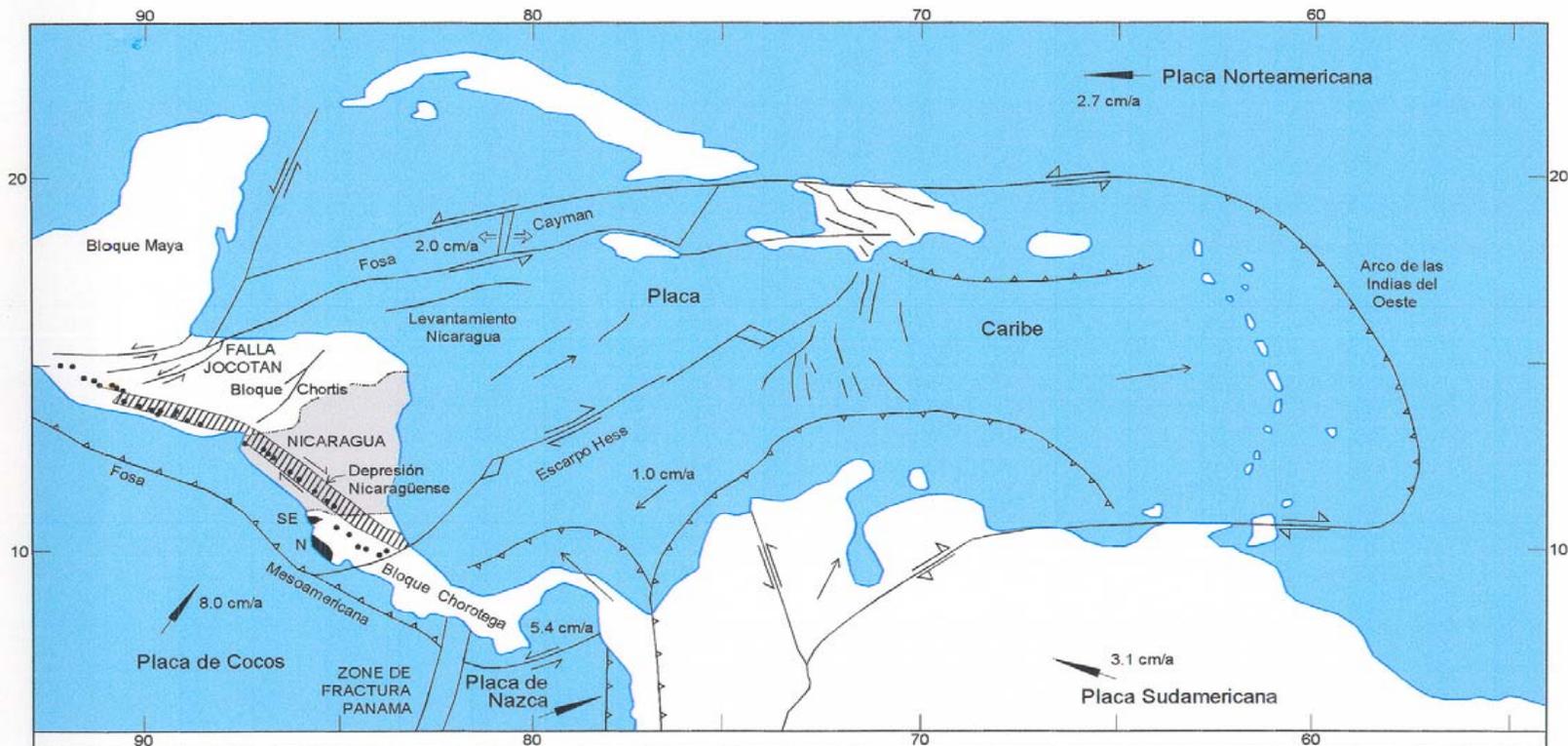
LEYENDA

- Ciudad
- Poblado
- Carretera Panamericana
- Carretera nacional
- Camino secundario
- 1344 Elevación, m s.n.m.

Imagen satelitaria: Landsat 5, Jan 6, 1987

**Figura X-1.2: Imagen Landsat,
Masaya-Granada-Nandaime,
Nicaragua**

GeothermEx, Inc.		FILE: X-1.2.DWG	SCALE: 1 : 210000
GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 31OCT2001	DRAWN: RRS APP.: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGESETUP: MAS_GRA	REV.: APR, OCT00/SEP, OCT01
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8184 EMAIL MW@GEO THERMEX.COM			



LEYENDA

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

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

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

PLOTDATE: 24OCT2001	DRAWN: RRS	APP.: CWK
FILE: X-3.1.DWG	PAGE SETUP: FIG 3.1	

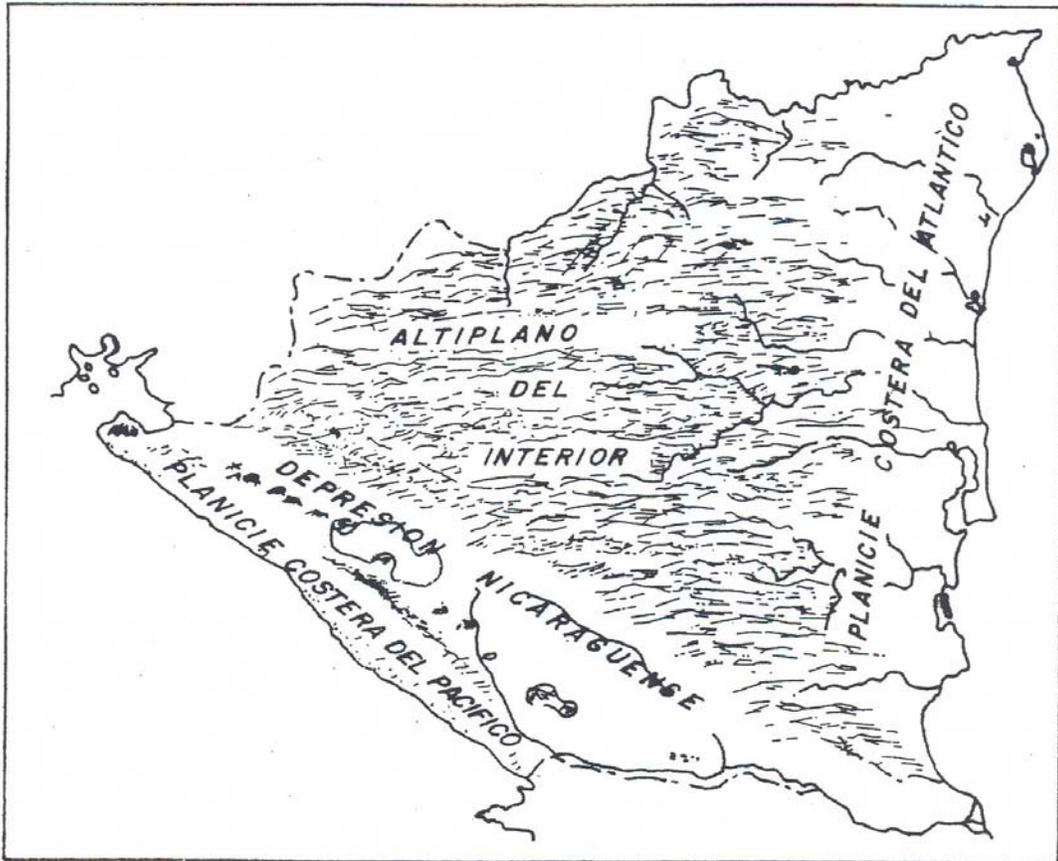
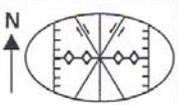
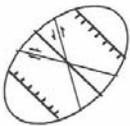
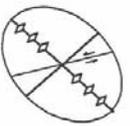


Figura X-3.2: Provincias fisiográficas de Nicaragua
(McBirney *et al.*, 1965)

Figura X-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	
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
5	Mioceno	Primera Fase - pliegues NO - juntas NE de dilatación - levantamiento y erosión		Formación El Salto		Grupo El Coyol
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
22.5	Oligoceno	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
38	Eoceno	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
55	Paleoceno	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
65	Cretácico Superior	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	

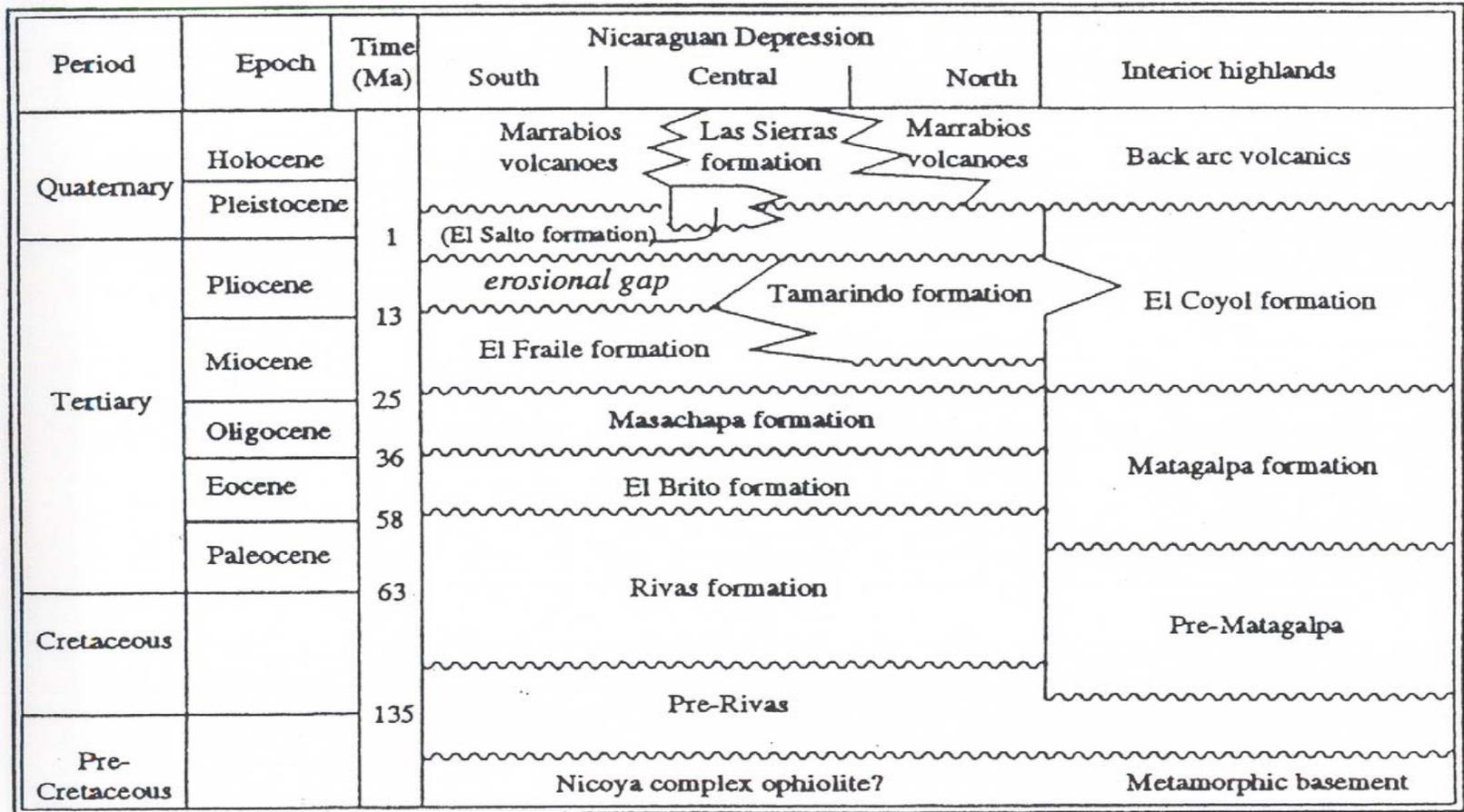


Figura X-3.4: Esquema de correlaciones estratigráficas regionales
(van Wyk de Vries, 1993)

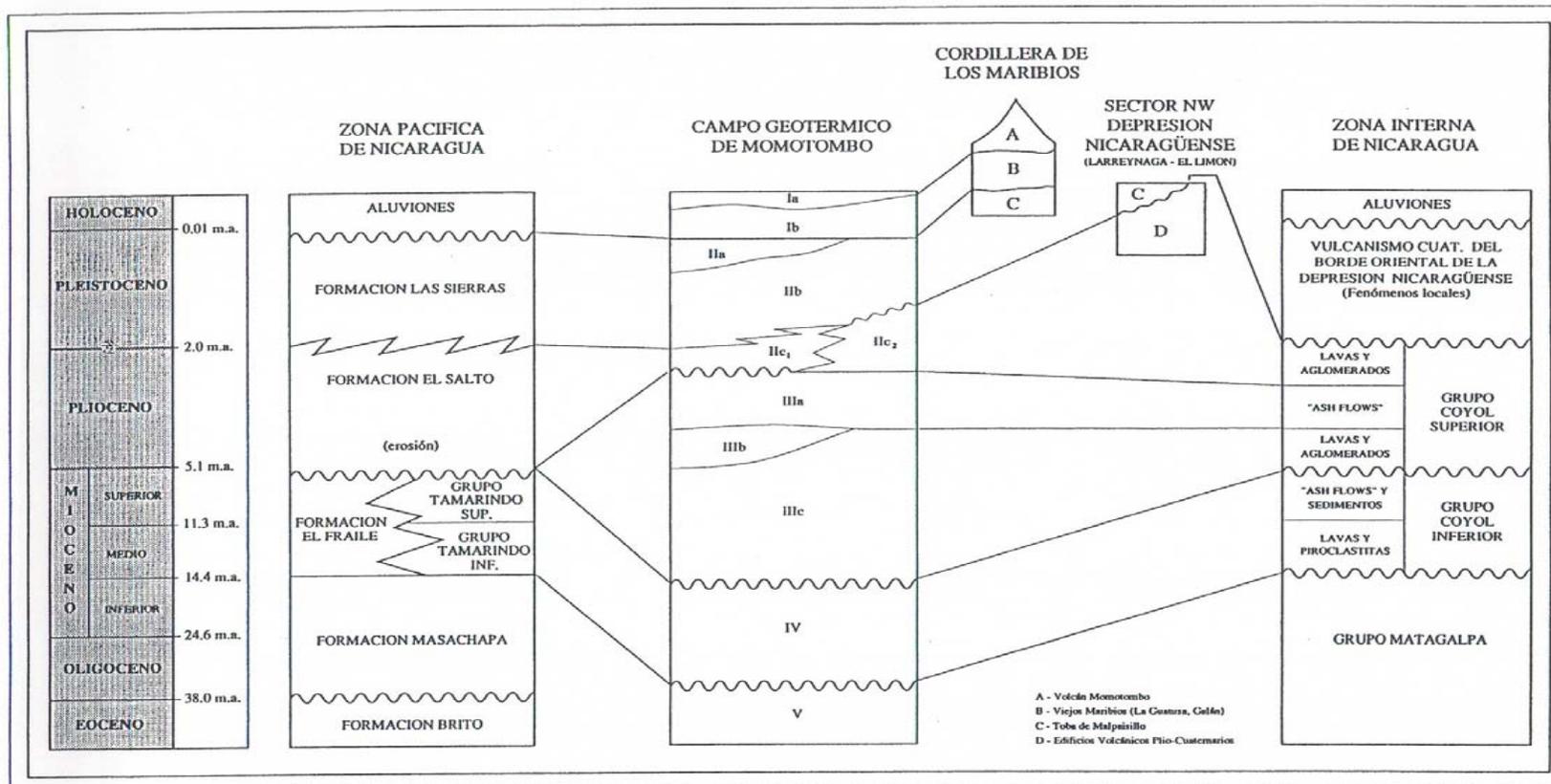
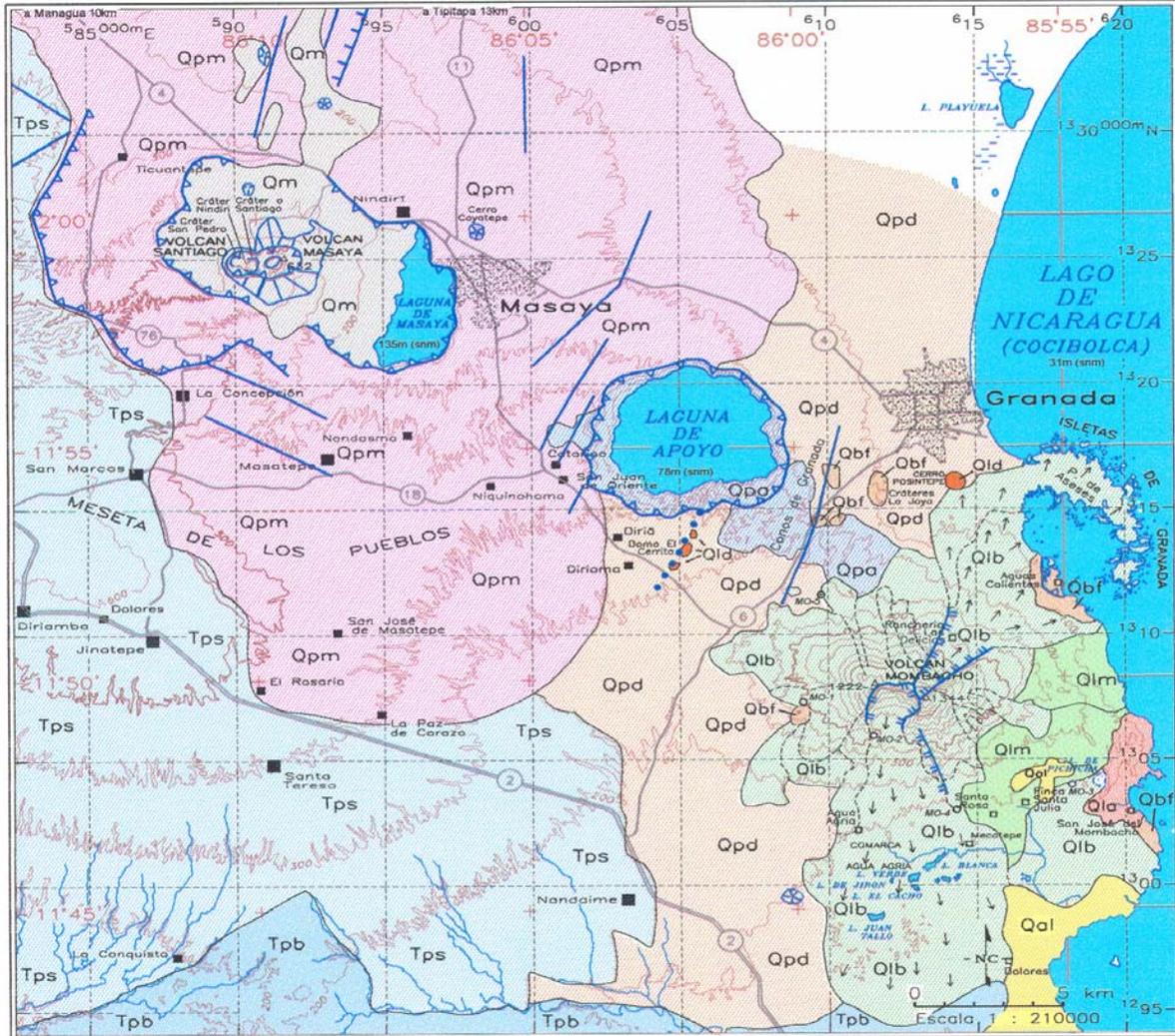
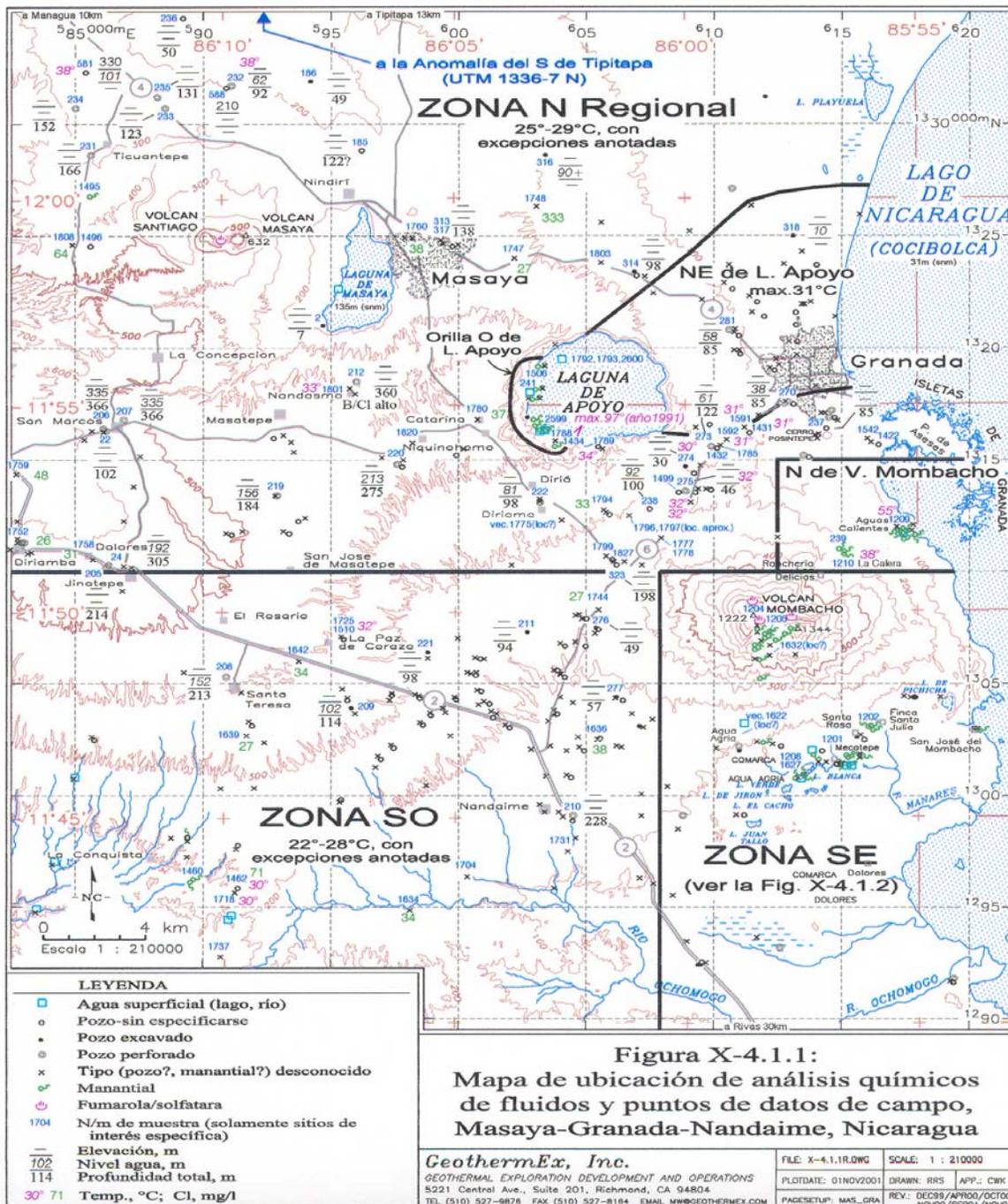
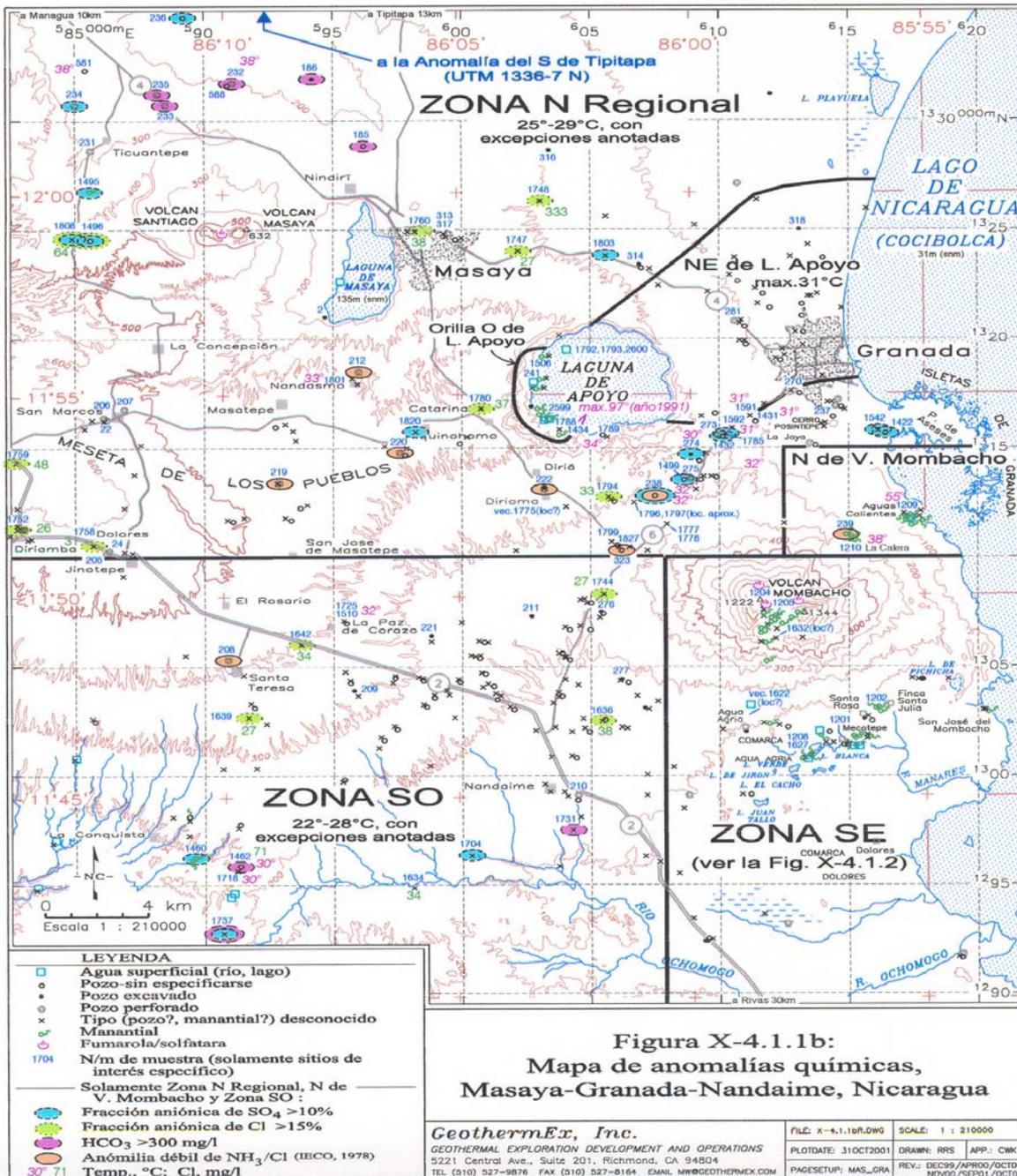
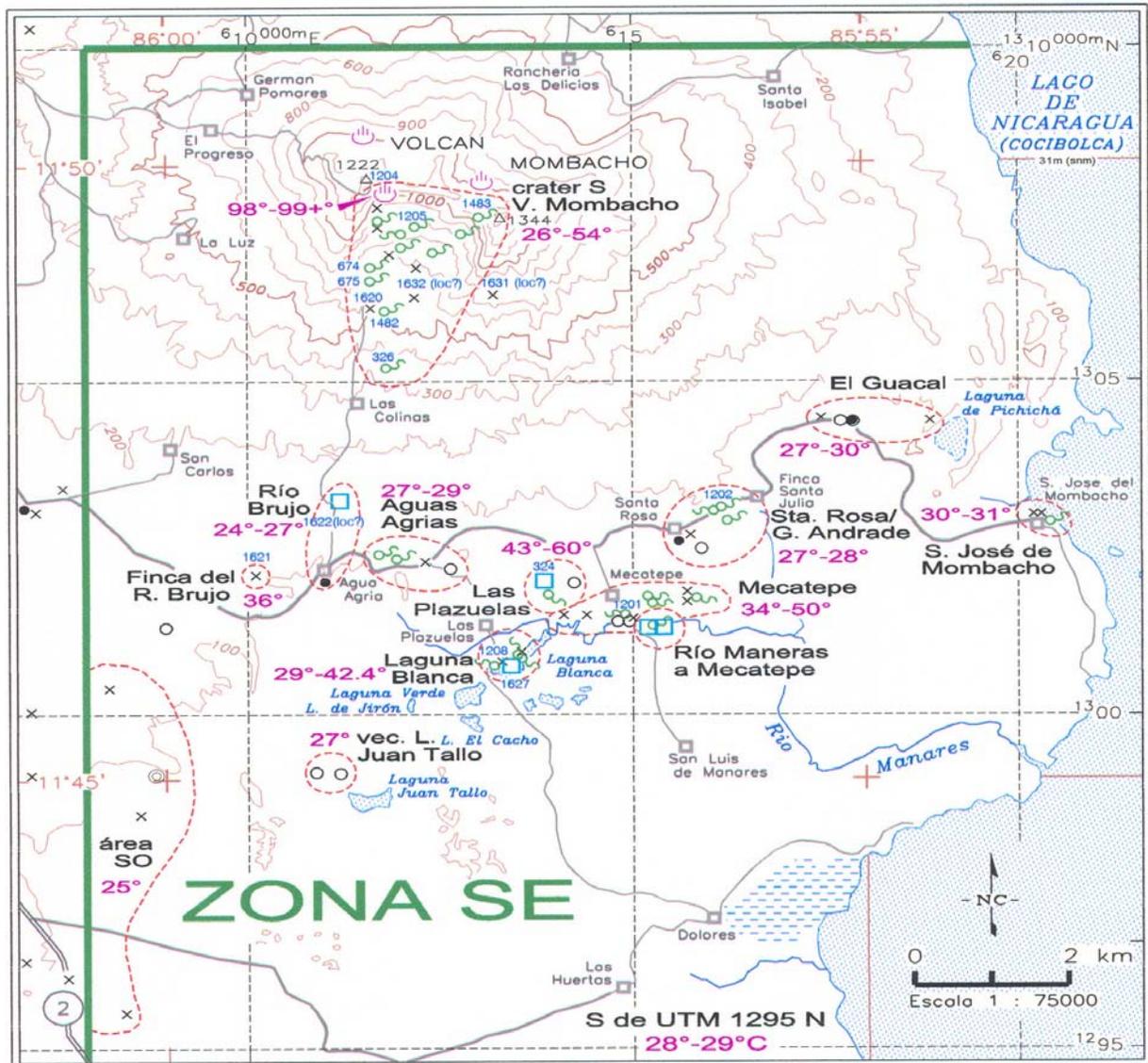


Figura X-3.5: Esquema estratigráfico y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)





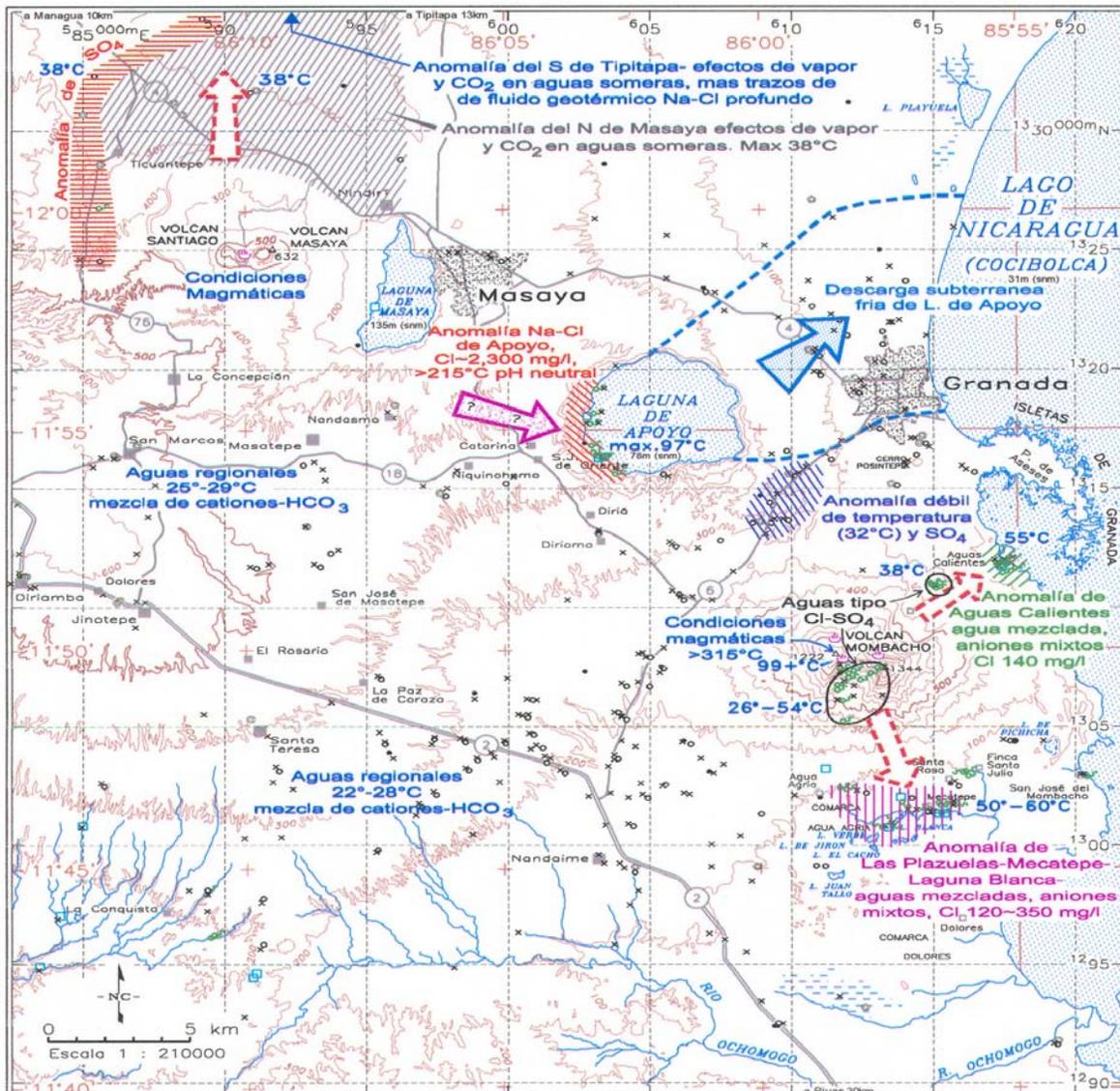




LEYENDA	
	Agua superficial (río, lago) 324
	Pozo sin especificarse (solamente sitios de interés específico)
	Pozo excavado
	Pozo perforado
	Manantial
	Fumarola/solfatará
	Tipo de muestra (pozo?, Mecatepe geográfica y manantial?) desconocido
	N/m de muestra (solamente sitios de interés específico)
	(loc?) ubicación incierto
	25° Temperatura, °C
	Subdivisión geográfica y su nombre

Figura X-4.1.2: Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, detalles de la Zona SE, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

GeothermEx, Inc.		FILE: X-4.1.2.DWG	SCALE: 1 : 75000
GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 31OCT2001	DRAWN: RRS
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGES: 1	APP.: CWK
TEL. (916) 927-9878 FAX (916) 927-9184 EMAIL MW@GOTHEMEX.COM		PAGESETUP: ZONA SE	REV.: MAR_SEP/OCT00/ JUL_02/01

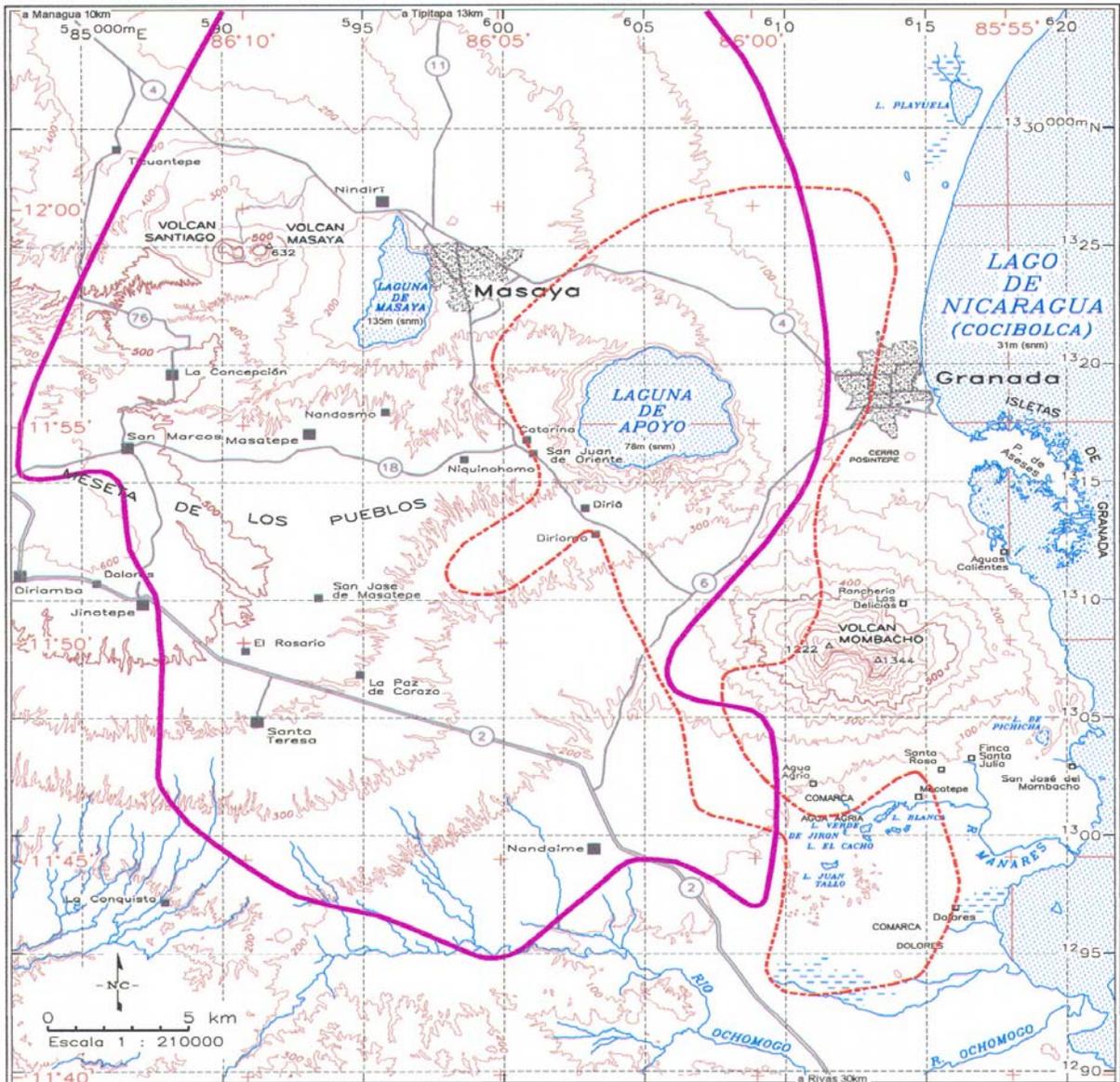


LEYENDA

	Flujo profundo de agua geotérmica tipo NaCl
	Flujo somero de agua meteórica calentada
	Flujo somero de agua fría
	Puntos de muestreo (ver leyenda Figura 4.1.1)

Figura X-4.1.3:
Mapa hidroquímico de síntesis,
Masaya-Granada-Nandaime, 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 MWB@GEOTHERMEX.COM	FILE: X-4.1.3.DWG PLOTDATE: 31OCT2001 PAGESETUP: MAS_GRA	SCALE: 1 : 210000 DRAWN: JRS APP: CRK REV: 08/09/NOV00/JUL01 OCT01
--	--	--

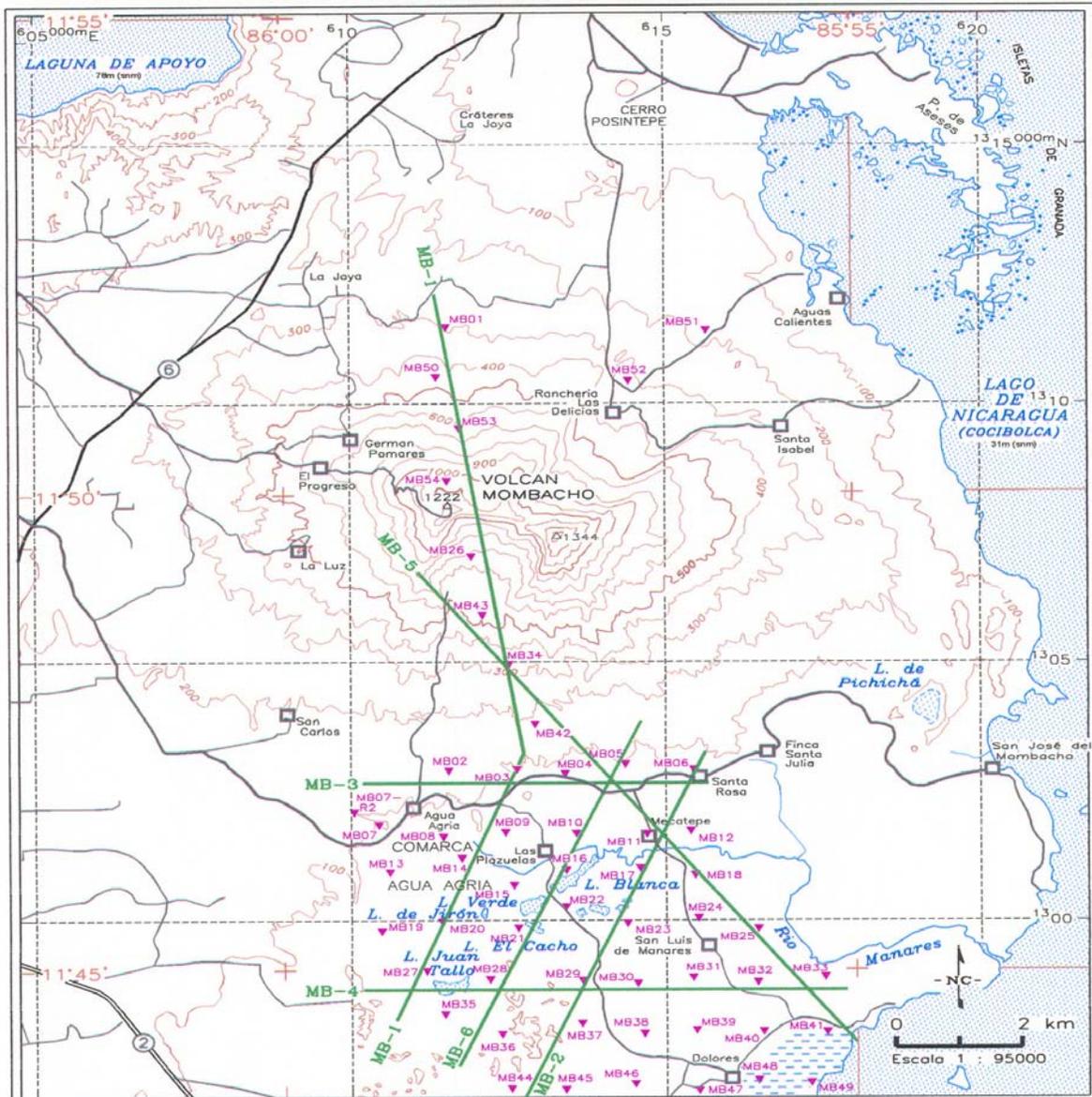


LEYENDA	
	Límite del levantamiento de Electrodyne Surveys (1980)
	Límite del levantamiento de la S.P.E.G. (1983) (Société de Prospection et d'Etudes Géothermiques)
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m) Datos topográficos: INETER (1988)

Figura X-4.2.1: Mapa de los límites de los levantamientos geoelectricos de Electrodyne Surveys (1980) y de S.P.E.G. (1983), Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (010) 527-9876 FAX (010) 527-8164 EMAIL MW@GEOOTHERMEX.COM

FILE: X-4.2.1.DWG	SCALE: 1 : 210000
PLOTDATE: 31OCT2001	DRAWN: RRS APP: RWG
PAGESETUP: MAS_GRA	REV: SEP/OCT00/JUL/OCT01



LEYENDA

Levantamientos realizados por GeothermEx en el año 2000.

▼ Estación magnetotelúrica

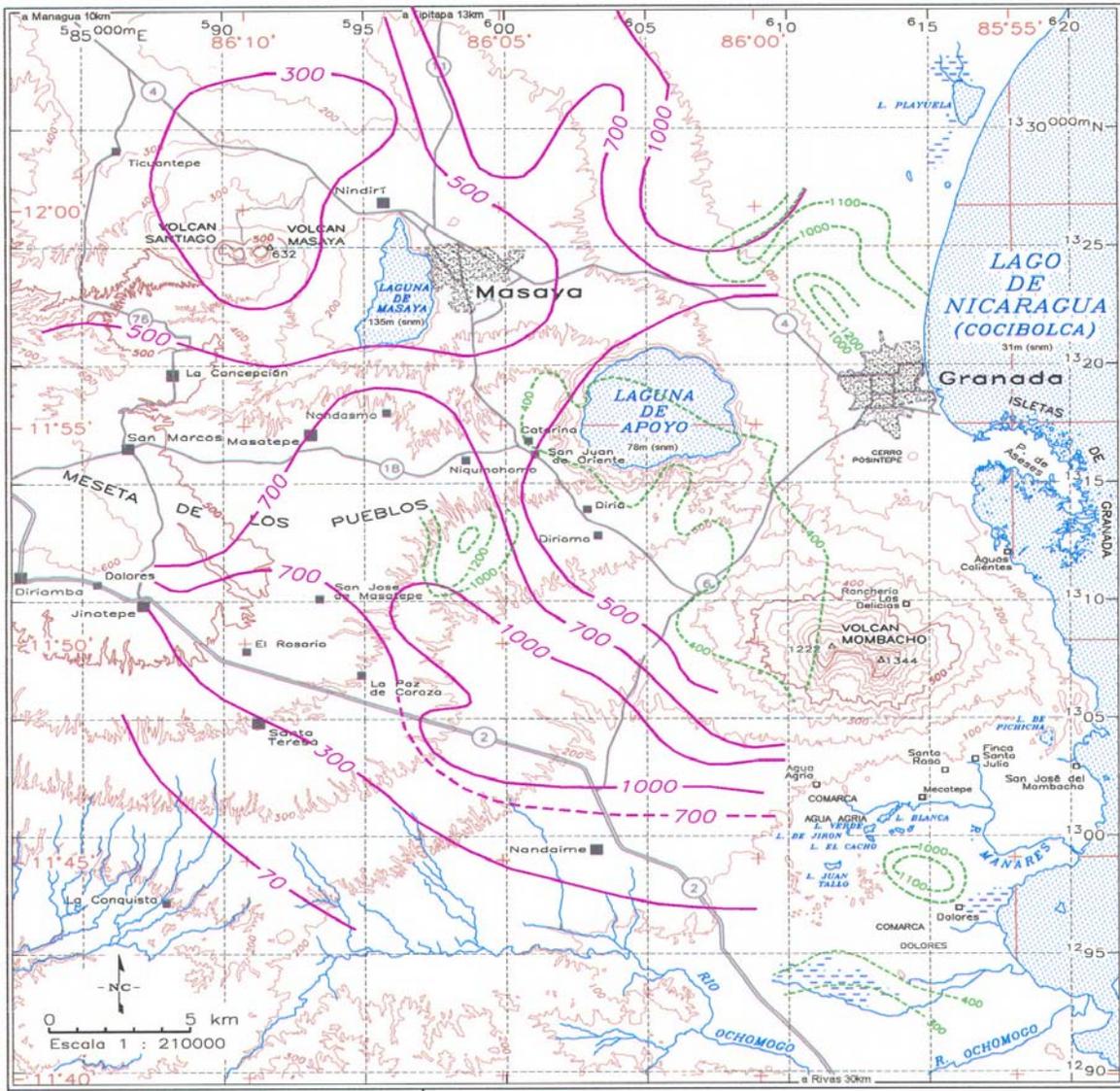
MB-2 — Línea de perfil

— 100 — Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)

Datos topográficos, INETER (1988)

Figura X-4.2.2: Mapa de ubicación de sondeos y perfiles magnetotelúricos, sub-área de Volcán Mombacho, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

GeothermEx, Inc.	FILE: X-1.2.2.DWG	SCALE: 1 : 95000
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL. (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MWW@GEOTHERMEX.COM	PLTDATE: 31OCT2001	DRAWN: RRS APP: RWG
	PAGES: MOMBACHO	REV: MAR, SEP, OCT00, NOV01, OCT01

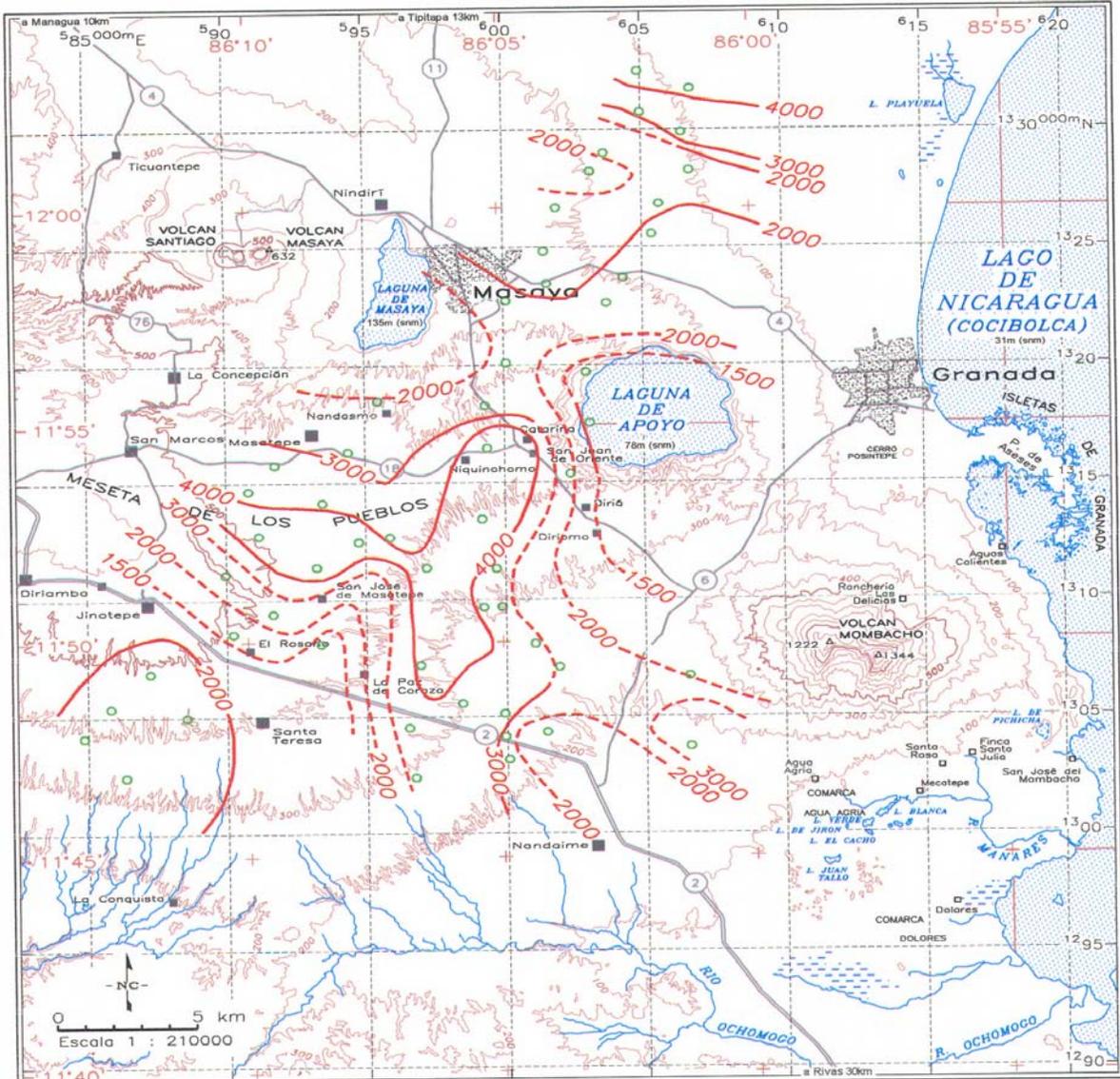


LEYENDA

	500	Conductancia (mhos) según Electrodyne Surveys (1980)
	1000	Conductancia (mhos) según Societe de Prospection et d'Etudes Géothermiques (1983)
	300	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m) Datos topográficos: INETER (1988)

Figura X-4.2.3: Mapa de isovalores de conductancia eléctrica, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

GeothermEx, Inc.		FILE: X-4.2.3.DWG	SCALE: 1 : 210000
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PLOTDATE: 30OCT2001	DRAWN: RRS APP: RWG
TEL (510) 527-8876 FAX (510) 527-8164 EMAIL: WWW@GEOTHERMEX.COM		PAGESETUP: MAS_GRA	REV: DEC09/OCT00/JUL01 OCT01

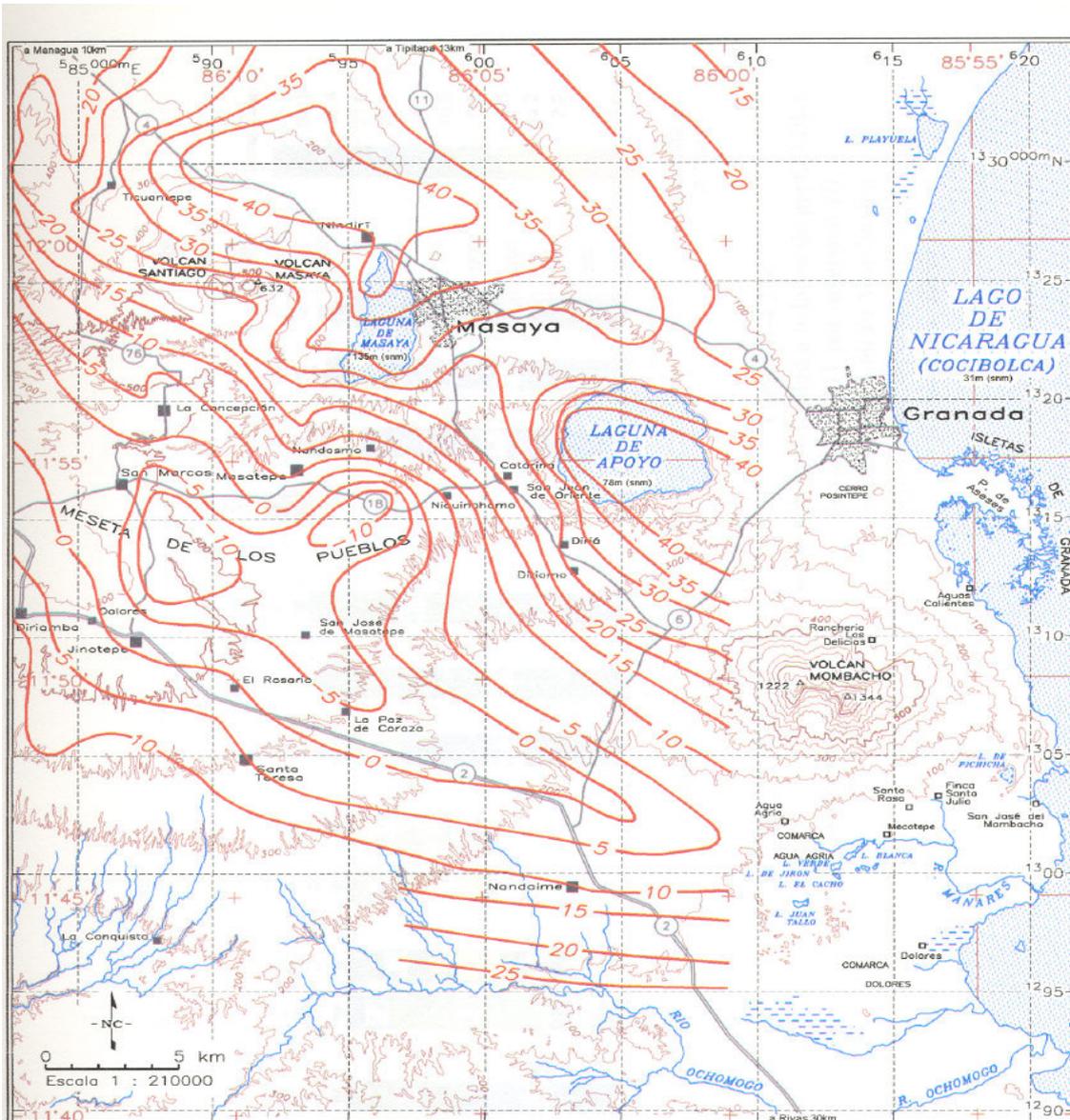


LEYENDA

	— 2000 —	Contorno de profundidad (metros)
	○	Estación de medición
	- 100 -	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
Datos topográficos: INETER (1988)		

Figura X-4.2.4: Mapa de la profundidad del basamento eléctrico, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua (Electrodynne Surveys, 1980)

GeothermEx, Inc.		FILE: X-4.2.4.DWG	SCALE: 1 : 210000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 30OCT2001	DRAWN: RRS
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		TITLE: MAS_GRA	APP: RWC
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOHERMEX.COM		PAGESETUP: MAS_GRA	REV: DEC99/OCT00/ JUL01/OCT01

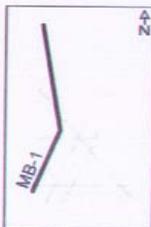
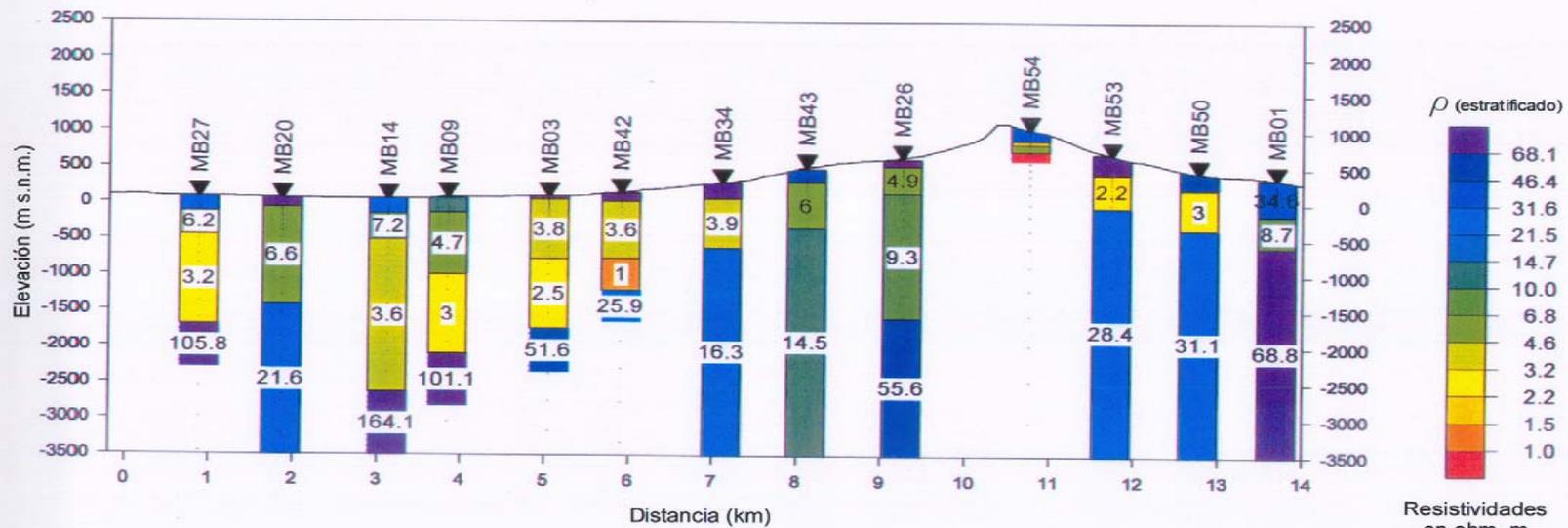


LEYENDA	
	Equidistancia entre las curvas 5 mgal
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
Data topográficos: INETER (1988)	
	Carretera Panamericana
	Carretera nacional
	Camino secundario

Figura X-4.2.5: Mapa preliminar de las anomalías de Bouguer, Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua (Parsons Corporation, 1972)

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8184 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: X-4.2.5.DWG	SCALE: 1 : 210000
PLOTDATE: 30OCT2001	DRAWN: RRS APP: RWG
PAGESETUP: MAS_GRA	REV: DEC03/FEB/OCT05/JUL01/OCT01

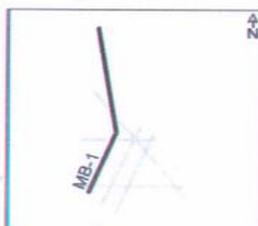
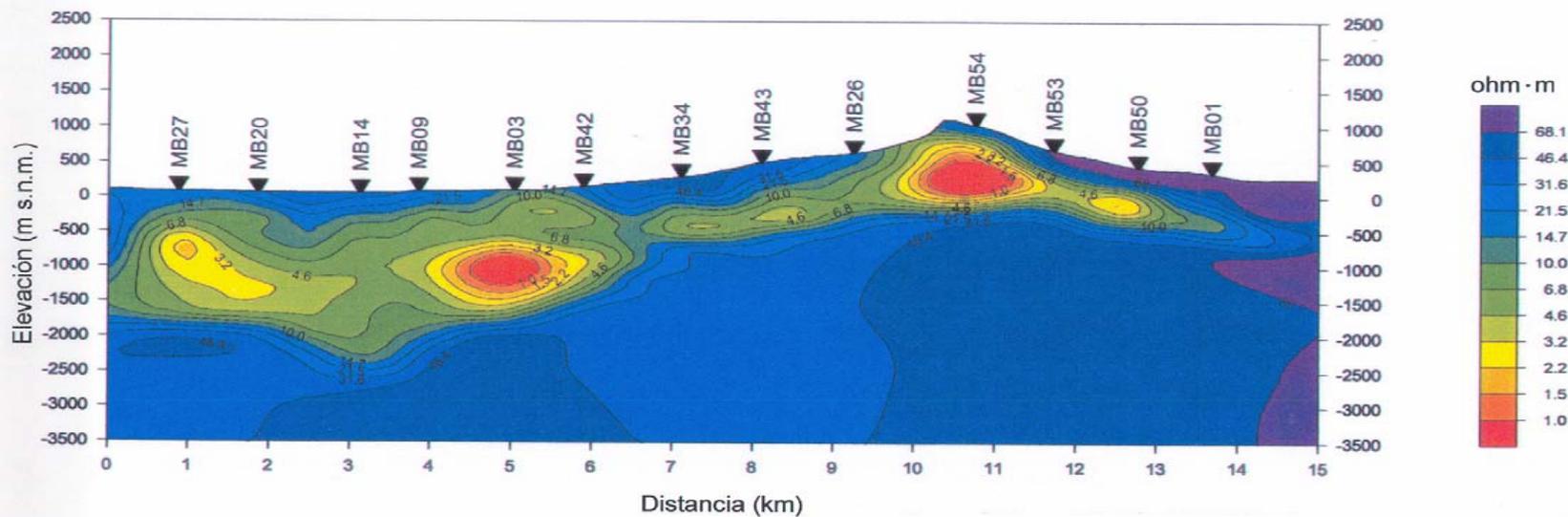


Escala horizontal 1 : 75000
Escala vertical 1 : 75000

Exageración Vertical = 1

Figura X-4.2.6:
Sección de resistividad a lo largo de perfil MB-1
de sondes MT por inversión 1D,
sub-área de Volcán Mombacho,
Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
(Geosystem, 2000)

2000, GeothermEx, Inc.

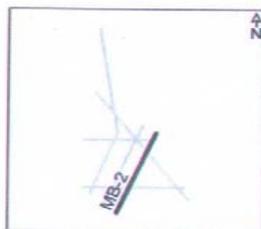
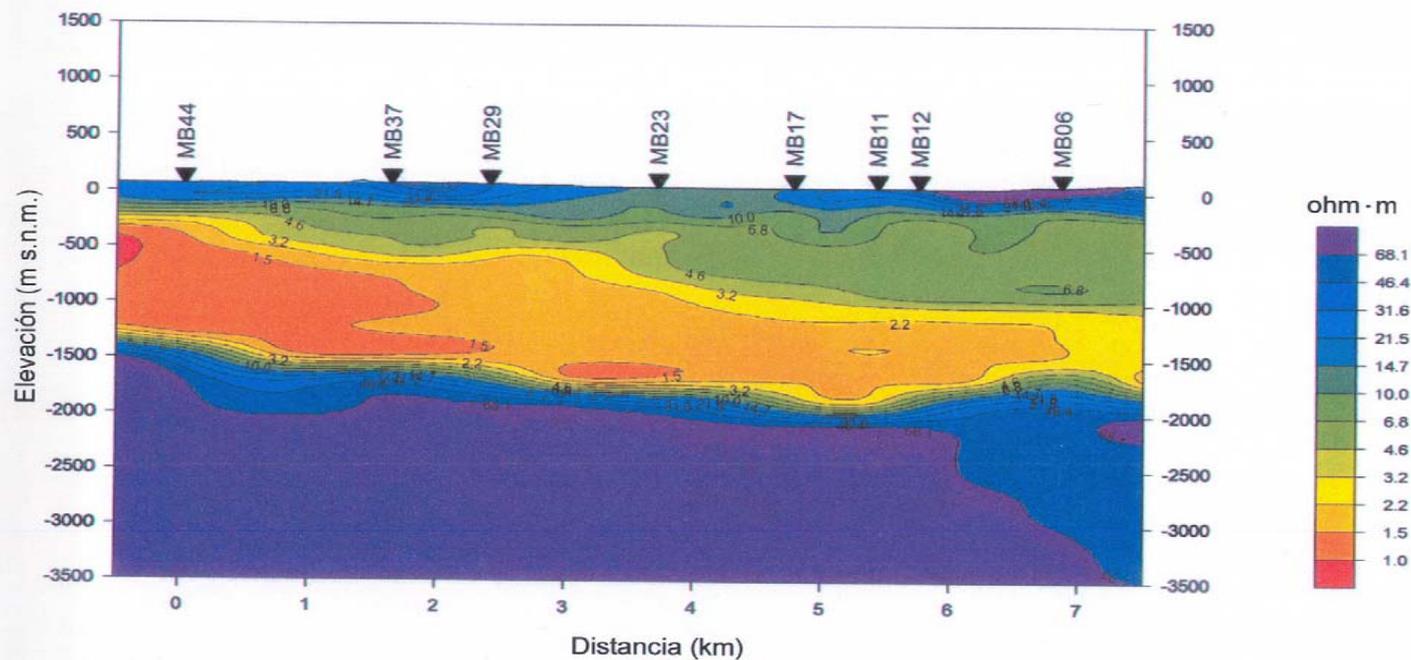


Escala horizontal 1: 75000
 Escala vertical 1: 75000
 Exageración vertical = 1

Nota:
 La inversión 2D de los datos MT supone que el perfil es perpendicular a la dirección. Debido a que este perfil es en parte paralelo a la dirección los resultados anotados deben ser tratados con reserva.

Figura X-4.2.7:
Sección de resistividad a lo largo de perfil MB-1
de sondeos MT por inversión 2D,
sub-área de Volcán Mombacho,
Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
(Geosystem, 2000)

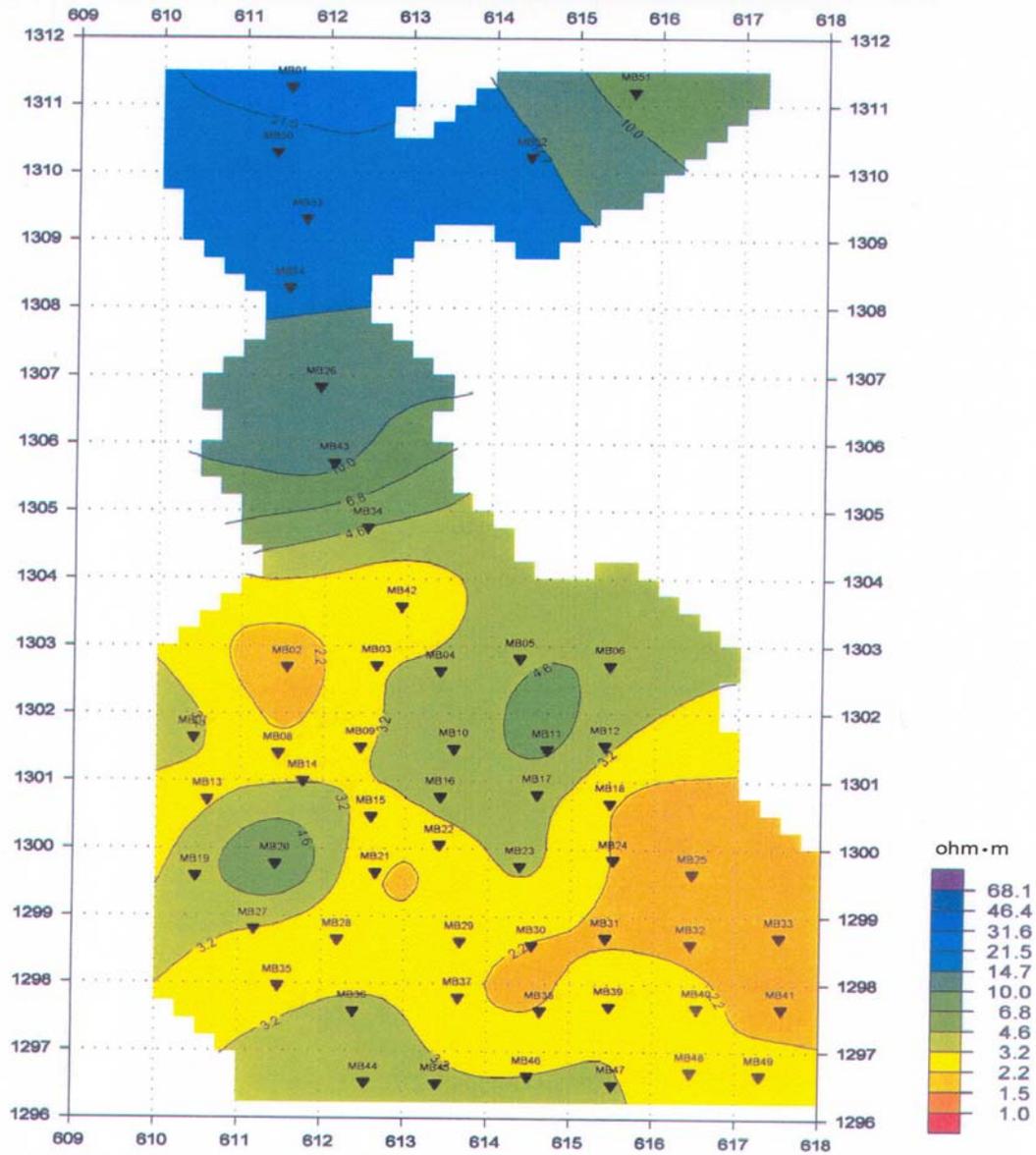
2000, GeothermEx, Inc.



Escala horizontal 1 : 75000
Escala vertical 1 : 75000

Exageración vertical = 1

Figura X-4.2.8:
Sección de resistividad a lo largo de perfil MB-2
de sondeos MT por inversión 2D,
sub-área de Volcán Mombacho,
Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua
(Geosystem, 2000)



Escala 1 : 75000

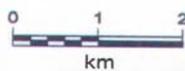
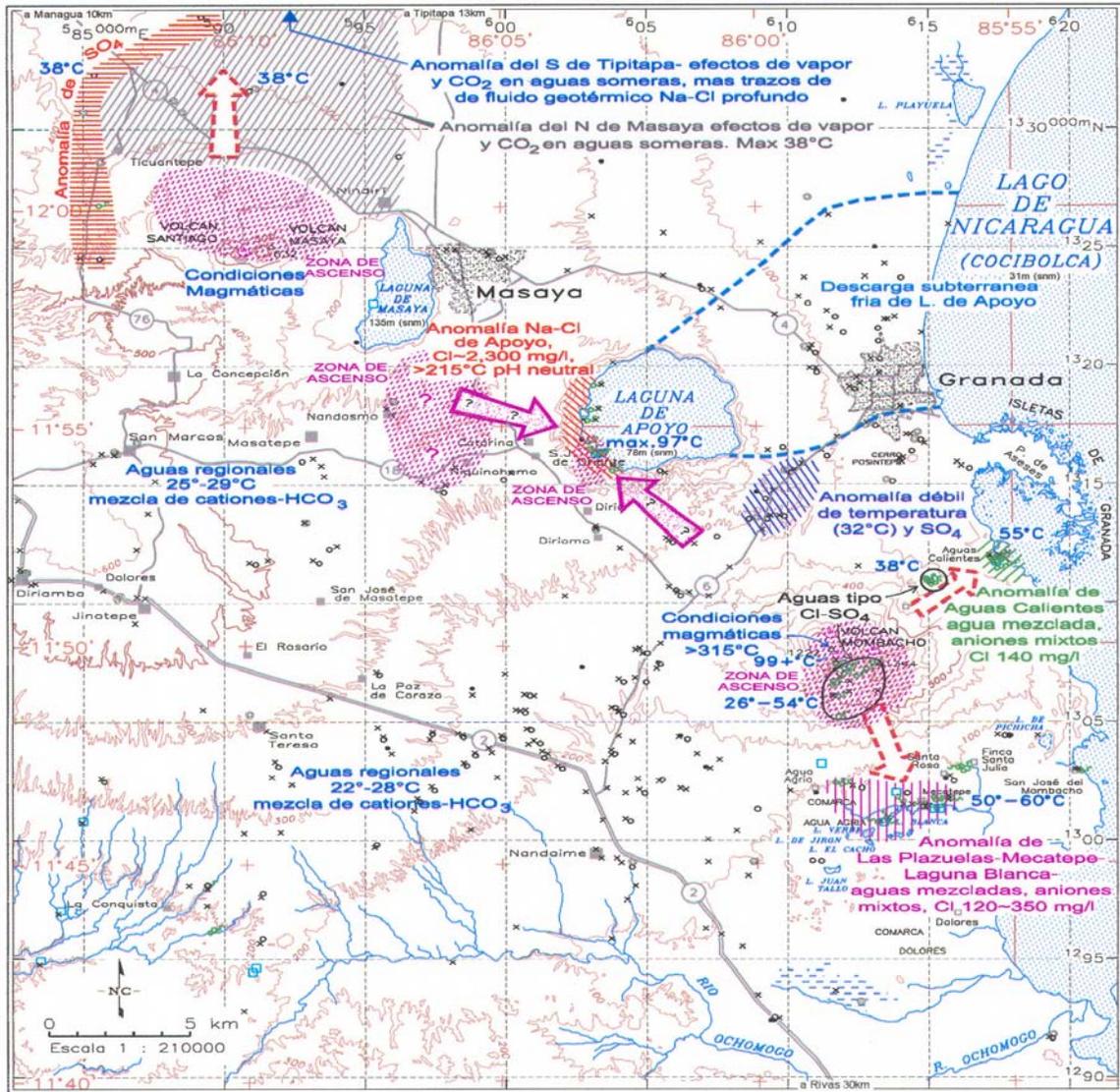


Figura X-4.2.9:
Mapa de isovalores de conductancia hasta la profundidad
de 1,000m de sondeos MT por inversión 1D, sub-áreas
de Volcán Mombacho, Masaya-Granad-Nandaime, Nicaragua
(Geosystem, 2000)



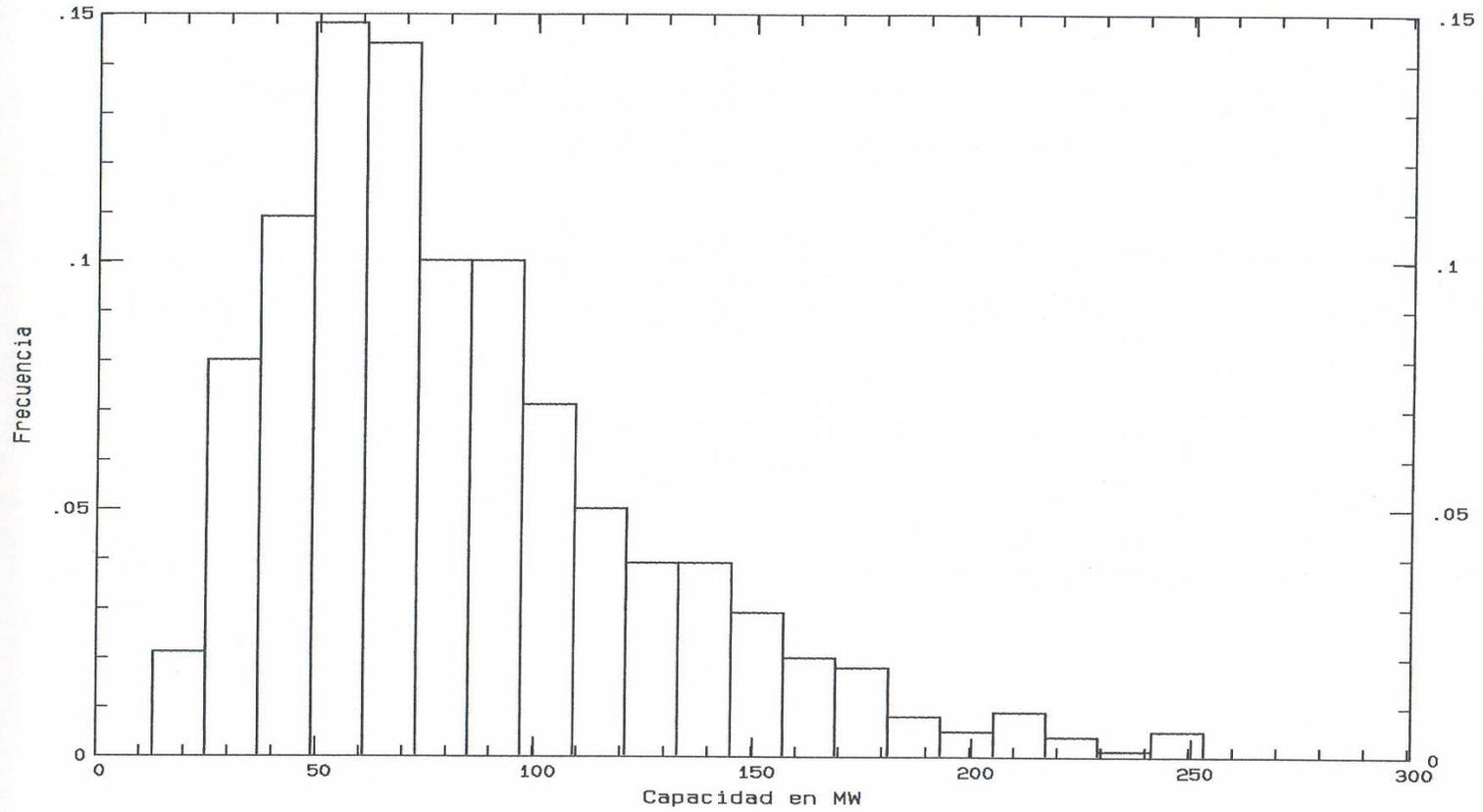
LEYENDA

	Zona de ascenso
	Flujo profundo de agua geotérmica tipo NaCl
	Flujo somero de agua meteórica calentada
	Puntos de muestreo (ver leyenda Figura 4.1.1)

Figura X-5.1:
Modelo geotérmico conceptual,
Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

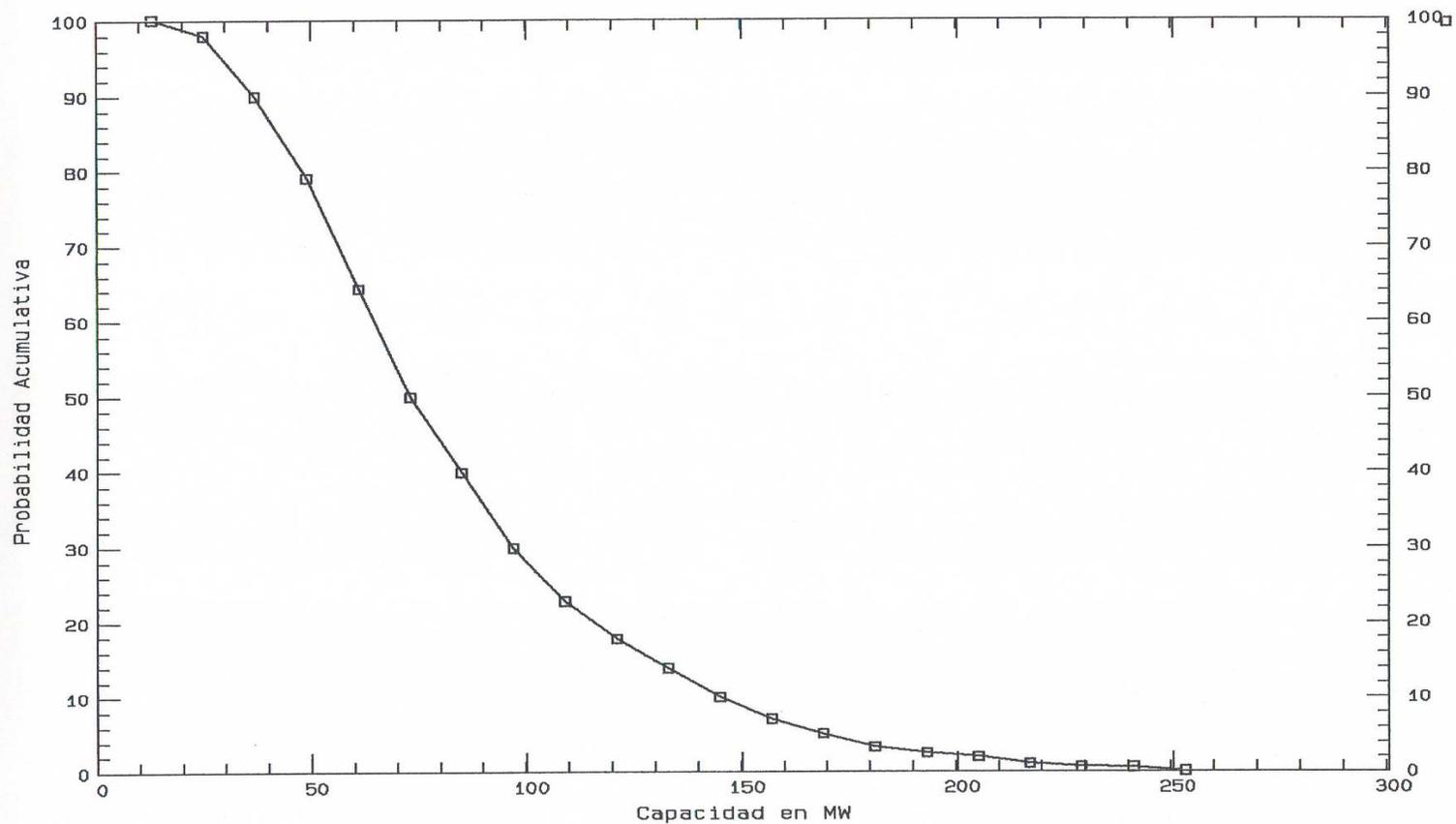
GeothermEx, Inc.	FILE: X-5.1.DWG	SCALE: 1 : 210000
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS	PLOTDATE: 30OCT2001	DRAWN: RRS
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804	TEL: (510) 527-9876	FAX: (510) 527-8164
EMAIL: MWW@GEOOTHERMEX.COM	PAGESETUP: MAS_GRA	REV: JUL01/OCT01

Figura X-6.1: Histograma de capacidad energetica, Laguna de Apoyo



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

Figura X-6.2: Probabilidad acumulativa de capacidad energetica, Laguna de Apoyo



GeothermEX, Inc.
01-19-2001 Lagu1cmp.plt

Figura X-6.3: Cálculo de reservas, Volcán Masaya

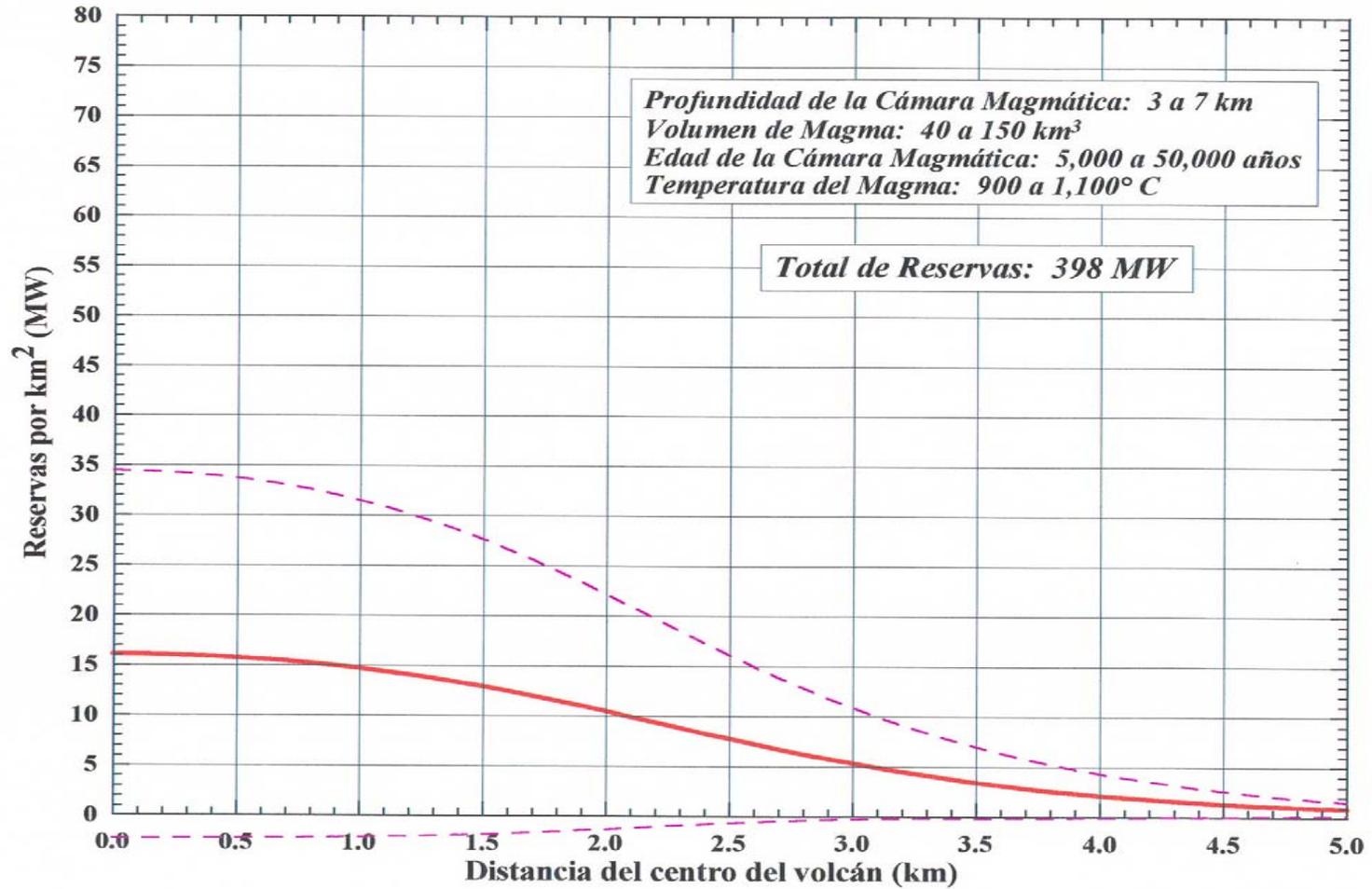
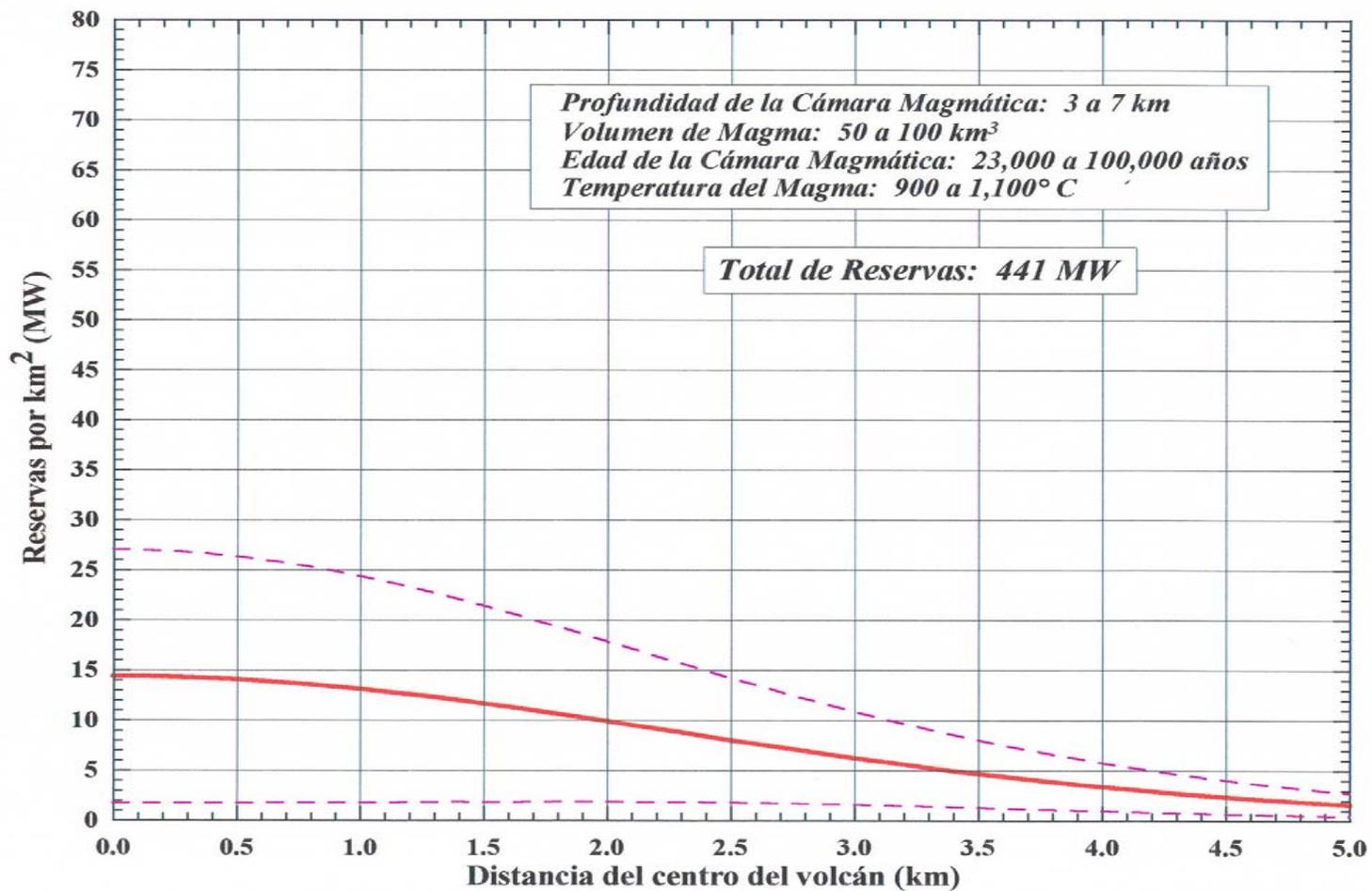
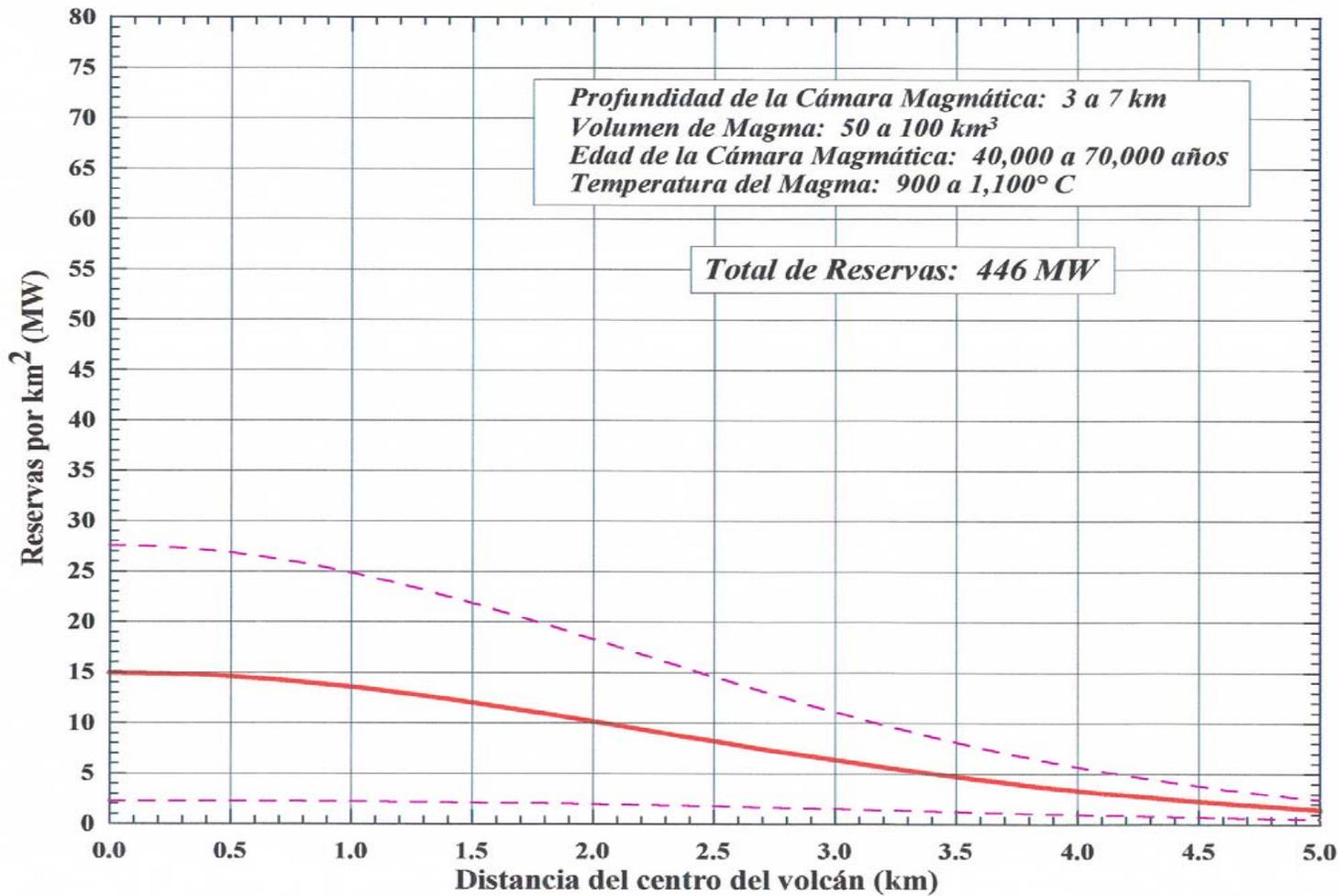


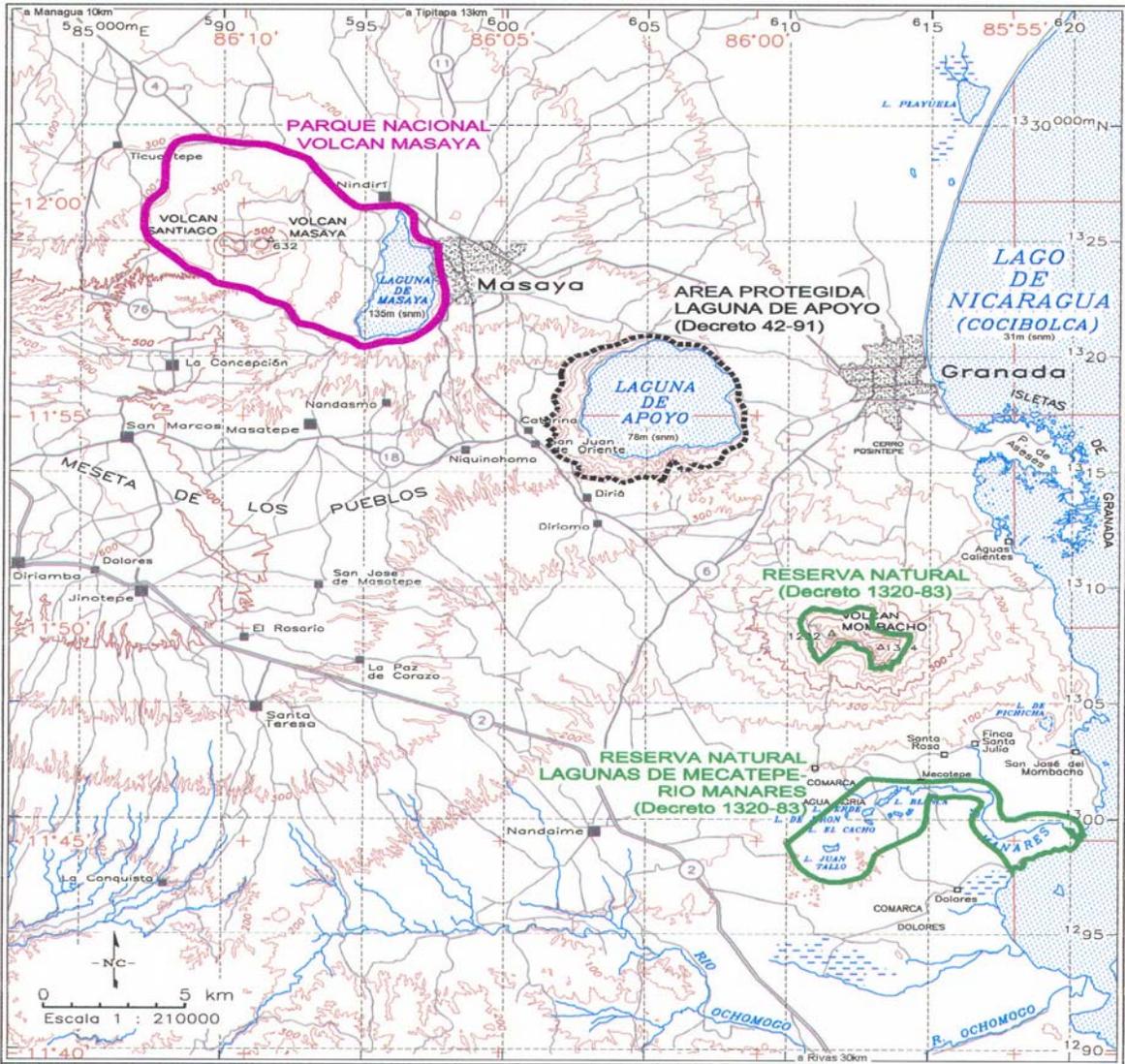
Figura X-6.4: Cálculo de reservas, Laguna de Apoyo



2000, GeothermEx, Inc.

Figura X-6.5: Cálculo de reservas, Volcán Mombacho



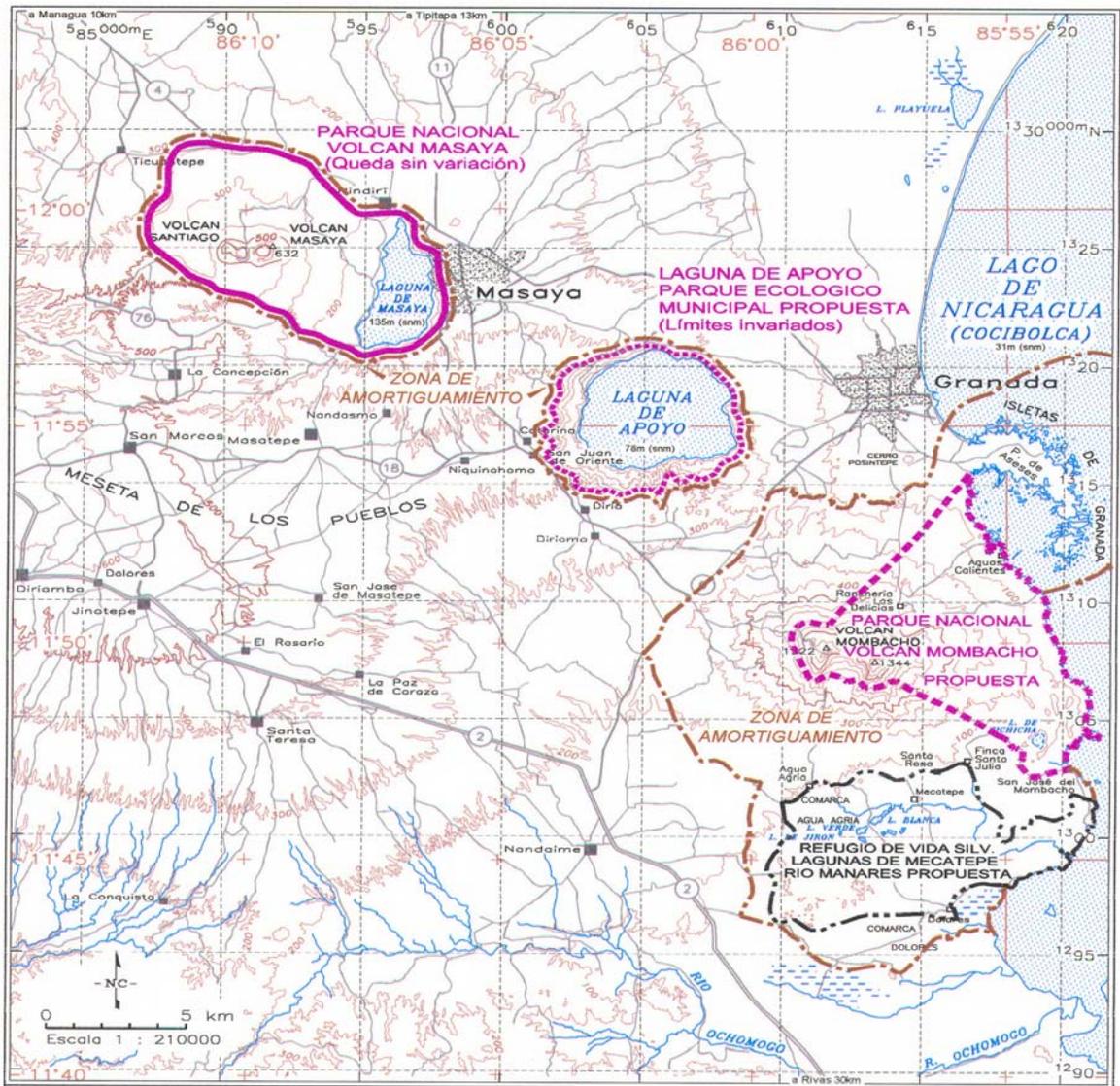


LEYENDA	
	Límite zona de parque nacional
	Límite zona de reserva natural
	Límite zona de área protegida
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
Datos topográficos: INETER (1988)	

Figura X-7.1: Reservas naturales y áreas protegidas vigentes, Masaya-Granada-Nandaime, 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@GEOHERMEX.COM

FILE: X-7.1.DWG	SCALE: 1 : 210000
PLOTDATE: 30OCT2001	DRAWN: RRS APP: RCH
PAGESETUP: MAS_ORA	REV: DEC99/AFROD/OCT00 JUL01/OCT01



LEYENDA

	Límite zona de parque nacional
	Límite propuesta para la parque nacional
	Límite propuesta para la parque ecologico municipal
	Límite propuesta para la refugio ecologico
	Límite zona de amortiguamiento

Figura X-7.2: Modificacines propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

GeothermEx, Inc. GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL. (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEO THERMEX.COM	FILE: X-7.2.DWG SCALE: 1 : 210000 PLOTDATE: 30OCT2001 DRAWN: RRS APP.: RCH PAGESETUP: MAS_GRA REV: DEC99/APPROV/OCT00 JUL01/OCT01
--	---



LEYENDA	
	69 kV
	138 kV
	230 kV
	Subestación eléctrica
	Puerto activo
	Pista de aterrizaje
	Carretera Panamericana
	Carretera nacional
	Camino secundario

Figura X-8.1:
Elementos infraestructurales,
Masaya-Granada-Nandaime, Nicaragua

GeothermEx, Inc.		FILE: X-8.1.DWG	SCALE: 1 : 210000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 31OCT2001	DRAWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGESETUP: MAS_GRA	REV: OCT00/JUL01/OCT01
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8161 EMAIL MW@GEOHERMEX.COM			