



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

**PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO DE  
NICARAGUA**

**Volumen VII**

**EVALUACIÓN DEL AREA DE MOMOTOMBO**

**OCTUBRE DE 2001**



# COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## CONTENIDO

<b>ILUSTRACIONES</b> .....	5
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	8
<b>1. DESCRIPCION DEL AREA</b> .....	20
1.1 LOCALIZACIÓN .....	20
1.2 EXTENSIÓN DEL ÁREA .....	20
1.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS .....	21
<b>2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE</b> .....	23
2.1 CONCESIONES .....	23
2.2 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN .....	23
2.2.1 <i>Estudios Existentes</i> .....	23
2.2.2 <i>Estudios del Plan Maestro-2000</i> .....	29
2.3 PERFORACIÓN DE EXPLORACIÓN Y DE DESARROLLO .....	32
2.4 PRODUCCIÓN .....	36
2.5 ESTADO ACTUAL .....	37
<b>3. ASPECTOS GEOLÓGICO, VULCANOLÓGICO E HIDROGEOLOGICO</b> .....	39
3.1 MARCO GEOLÓGICO .....	39
3.1.1 <i>Marco Geológico Regional</i> .....	39
3.1.2 <i>Marco Geológico Local</i> .....	49
3.2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA .....	55
3.3 HIDROLOGÍA .....	58
3.4 RIESGOS GEOLÓGICOS .....	60
3.4.1 <i>Riesgo Sísmico</i> .....	61
3.4.2 <i>Riesgo Volcánico</i> .....	63
3.4.3 <i>Riesgo de Derrumbe</i> .....	64
3.4.4 <i>Riesgo de Inundaciones y Aluviones</i> .....	64
<b>4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL</b> .....	66
4.1 MANIFESTACIONES TERMALES .....	66
4.1.1 <i>Tipo, Localización y Extensión</i> .....	66
4.1.2 <i>Quimismo y Geotermometría</i> .....	69
4.2 INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS .....	71
4.2.1 <i>Tipo</i> .....	71



# COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

4.2.2	<i>Cobertura</i> .....	72
4.2.3	<i>Resultados</i> .....	73
4.3	RESULTADOS DE POZOS GEOTÉRMICOS .....	76
<b>5.</b>	<b>NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO</b> .....	<b>78</b>
5.1	LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE CALOR .....	78
5.2	ZONAS DE ASCENSO.....	79
5.3	DIRECCIÓN DE MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS .....	79
5.4	TEMPERATURA.....	81
5.5	QUÍMICA DEL FLUIDO .....	81
<b>6.</b>	<b>ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS</b> .....	<b>83</b>
6.1	RESERVAS DE LA CATEGORÍA 1 .....	84
6.1.1	<i>Definición de Parámetros</i> .....	84
6.1.2	<i>Cálculo de Reservas</i> .....	86
6.1.3	<i>Comentarios</i> .....	87
6.2	RESERVAS DE LA CATEGORÍA 3 .....	89
6.2.2	<i>Calculo de Reservas</i> .....	91
6.2.3	<i>Comentarios</i> .....	91
<b>7.</b>	<b>ASPECTOS AMBIENTALES</b> .....	<b>93</b>
7.1	INFORMACIÓN EXISTENTE.....	93
7.2	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES .....	94
7.2.1	<i>Aspectos Socioeconómicos</i> .....	94
7.2.2	<i>Aspectos Abióticos</i> .....	98
7.2.3	<i>Aspectos Bióticos</i> .....	101
7.3	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES .....	103
7.3.1	<i>Situación Ambiental General</i> .....	103
7.3.2	<i>Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico</i> .....	103
<b>8.</b>	<b>ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS</b> .....	<b>106</b>
8.1	ACCESO .....	106
8.2	USO DE LA TIERRA.....	107
8.3	DISPONIBILIDAD DE SITIOS PARA PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN .....	107
8.4	DISPONIBILIDAD DE AGUA.....	108
8.5	FACTIBILIDAD DE REALIZAR TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y DESARROLLO .....	109
<b>9.</b>	<b>OPCIONES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO</b> .....	<b>110</b>



# COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

<b>10. REFERENCIAS</b> .....	115
<b>T A B L A S</b> .....	122
<b>F I G U R A S</b> .....	133
<b>ANEXO A: ESTUDIO GEOQUIMICO E HIDROGEOLOGICO</b> .....	160
A.1    ALCANCE.....	160
A.2    METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	161
A.2.1 <i>Programa de Actividades de Campo</i> .....	161
A.2.2 <i>Base de Datos de Hidrogeología y Química de Fluidos</i> .....	161
A.3    RECOPILACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	164
A.3.2 <i>Muestras de Gases</i> .....	167
<b>T A B L A S</b> .....	169
<b>F I G U R A S</b> .....	206
<b>ANEXO B: ANALISIS PETROGRAFICO DE ROCAS Y DATACIÓN DE ROCAS</b> .....	212
B.1    INTRODUCCIÓN.....	212
B.2    DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS.....	212
B.3    DATACIÓN DE ROCAS VOLCÁNICAS.....	213
<b>T A B L A S</b> .....	217
<b>F I G U R A S</b> .....	222



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### ILUSTRACIONES

#### Tablas

- VII-4.1 Investigaciones Geofísicas en el Área de Momotombo
- VII-6.1 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 1), Área de Momotombo
- VII-6.2 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3), Área de Momotombo
- VII-7.1 Características Químicas de los Cuerpos Hídricos Superficiales en el Área de Momotombo
- VII-7.2 Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas Más Cercanas al Área de Momotombo
- VII-7.3 Lista de Especies de Flora para el Área Protegida Complejo Momotombo (FUNDENIC-SOS, 1999)
- VII-7.4 Lista de Especies de Animales para el Área Protegida Complejo Momotombo (FUNDENIC-SOS, 1999)
- VII-7.5 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Momotombo
- VII-9.1 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para la Exploración Adicional, Área de Momotombo

#### Figuras

- VII-1.1 Mapa de ubicación, Momotombo, Nicaragua
- VII-1.2 Imagen Landast, Momotombo, Nicaragua
- VII-2.1 Área de concesión geotérmica, Momotombo, Nicaragua
- VII-2.2 Mapa de ubicación de pozos, campo geotérmico de Momotombo



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

- VII-2.3 Generación geotermoeléctrica 1984-1998, campo geotérmico de Momotombo, Nicaragua
- VII-3.1 Esquema tectónico de la región Centroamericana y del Caribe (Weinberg, 1992)
- VII-3.2 Provincias fisiográficas de Nicaragua (McBirney *et al.*, 1965)
- VII-3.3 Estratigrafía y evolución tectónica de la parte occidental de Nicaragua
- VII-3.4 Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)
- VII-3.5 Esquema estratigráfico y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)
- VII-3.6(a) Esquema geológico del área Momotombo, Nicaragua
- VII-3.6(b) Leyenda del esquema geológico del área Momotombo, Nicaragua
- VII-3.7 Bosquejo general del escudo ignimbrítico del Malpaisillo (van Wyk de Vries, 1993)
- VII-4.1.1 Ubicación y características de las manifestaciones termales, Momotombo, Nicaragua
- VII-4.1.2 Mapa de ubicación y características químicas de los pozos geotérmicos, campo geotérmico de Momotombo, Nicaragua
- VII-4.2.1 Mapa de anomalías de Bouguer, Momotombo-El Hoyo- Monte Galán, Nicaragua (OLADE, 1982)
- VII-4.2.2 Mapa de ubicación de líneas dipolo-dipolo geoelectricas, y del área de sondeos de frecuencia, Momotombo-El Hoyo- Monte Galán, Nicaragua
- VII-4.2.3 Mapa de ubicación de anomalías de baja resistividad, Momotombo, Nicaragua
- VII-4.2.4 Sección electroestratigráfica, Momotombo, Nicaragua (ELC-Electroconsult, 1975)
- VII-5.1 Modelo geotérmico conceptual, Momotombo, Nicaragua



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

- VII-6.1 Histograma de capacidad energética, Momotombo
- VII-6.2 Probabilidad acumulativa de capacidad energética, Momotombo
- VII-6.3 Cálculo de reservas, Volcán Momotombo.
- VII-7.1 Reservas naturales vigentes, Momotombo, Nicaragua
- VII-7.2 Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS, (1999), Momotombo, Nicaragua
- VII-8.1 Elementos infraestructurales, Momotombo, Nicaragua



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El campo geotérmico de Momotombo se encuentra ubicado en el extremo SE de la Cordillera de los Marrabios, a unos 40 km al NO de la ciudad de Managua, a orillas del Lago de Managua y en la ladera meridional del Volcán Momotombo. El acceso al campo se hace a través de la carretera que une el poblado de la Paz Centro de Malpaisillo, a partir de la cual se separa un camino que bordea la base del edificio volcánico.

La extensión actual del campo (incluyendo pozos y planta de generación) es de unos dos km<sup>2</sup>, pero, para fines del presente estudio, se tomó en consideración un área de 80 km<sup>2</sup> que incluye todo el macizo del Volcán Momotombo. Inmediatamente al NO de esta área yace el área de El Hoyo- Monte Galán. Toda la zona se encuentra escasamente poblada, pero su vegetación ha sido intensamente afectada por la intervención humana, de tal manera que la cobertura boscosa actual en condiciones naturales es bastante reducida.

Todos los trabajos de exploración, desarrollo y operación del campo fueron realizados por el Gobierno de Nicaragua a través del ente eléctrico nacional (inicialmente ENALUF, luego INE y actualmente ENEL) con la colaboración de varias instituciones internacionales y países cooperantes. En 1999 el Gobierno asignó la operación comercial del campo a la Empresa Ormat Momotombo, mientras que la empresa Generadora Momotombo, S.A. (GEMOSA), derivada del proceso de segmentación de ENEL, quedó como propietaria de los derechos de explotación del recurso.

Momotombo es el área geotérmica más estudiada de Nicaragua. La primera investigación geotérmica se realizó en 1966, y en 1974 se perforó el primer pozo exploratorio profundo. La



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

primera unidad de generación de 35 MW entró en operación en 1983, y en 1989 fue completada la instalación con una unidad adicional de 35 MW.

Actualmente, en el campo existe un total de 44 pozos de diámetro comercial, 32 de los cuales fueron perforados en el período 1974 – 1978, y 12 en los años 1982 – 1997. Entre los 44 pozos, 27 tienen profundidades comprendidas entre 328 m y 1,500 m, 11 son de profundidad variable entre 1,500 m y 2,000 m, y 6 son entre 2,000 y 2,500 m. Aproximadamente el 40% de los pozos ha resultado productivo, con potenciales iniciales de hasta 12 – 15 MW. El restante 60% no resultó comercial debido a condiciones de baja temperatura, baja permeabilidad, o daños ocurridos durante la perforación.

Durante la explotación del campo varios de los pozos productores han cambiado sus condiciones, reduciendo su productividad e inclusive tornándose improductivos debido a varias razones dentro de las cuales se encuentran: daños estructurales, incrustaciones, enfriamiento y otros procesos relacionados con la evolución de un reservorio en condiciones de intensa explotación. La perforación realizada en el período 1992-97 tuvo como objetivo recuperar la producción del vapor, que en los últimos años había decaído drásticamente, y los últimos pozos fueron programados para alcanzar una porción del reservorio a profundidades mayores de 1,700 – 1,800 m en la zona O del campo. Tres de estos pozos resultaron productivos con capacidad moderada o baja, pero en su mayoría no cumplieron completamente con el objetivo de explorar las condiciones del reservorio a profundidades mayores de 1,800 m.

Actualmente, los pozos que producen comercialmente son un número muy reducido, y otros no producen, o producen sólo parcialmente, debido a problemas técnicos, tales como obstrucciones, incrustaciones o causas desconocidas. La empresa ORMAT inició a mediados del año 2000 un nuevo programa que incluye varias investigaciones científicas del área, reparación y



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

rehabilitación de pozos existentes y nuevas perforaciones profundas, para evaluar las posibilidades de recuperar la producción de vapor.

Durante el período 1983-87 la producción de vapor del campo mantuvo la generación en un nivel más o menos estable, cercano a la capacidad nominal instalada de 35 MW, aparte de frecuentes oscilaciones de corto plazo debidas a problemas en el campo y la planta. Entre 1987 y 1989 se observó una declinación hasta niveles de 20 a 30 MW. En 1989 entró en operación la segunda unidad y se registró por un período muy corto de tiempo, una generación máxima de casi 70 MW; luego la generación empezó a declinar hasta alcanzar valores inferiores a los 15 MW en 1999. Todo este proceso ha sido causado por una declinación de la producción de vapor del campo geotérmico, lo cual a su vez, ha originado una reducción en la eficiencia de la planta, ya que ésta debe operar bajo condiciones de flujo y presión de entrada a las turbinas inferiores a las de diseño.

El Volcán Momotombo es un impresionante cono de forma casi simétrica, que se eleva desde el Lago de Managua (39 m s.n.m.) hasta los 1,297 m s.n.m. Es un estrato-volcán de composición principalmente lávica variable entre basáltica y andesítico-basáltica, con intercalaciones de tefra, brechas volcánicas, material tobáceo y epiclástico de la misma composición. Todo el edificio volcánico puede haberse formado en un período inferior a los 50,000 años, con una primera etapa que culminó con la formación de un amplio cráter, sobre el cual creció sucesivamente el cono que está actualmente en actividad. Sus erupciones importantes más recientes ocurrieron en 1886 y en 1906 (ambas originaron flujo lávicos en la ladera N), y el volcán mantiene actualmente una actividad fumarólica con temperatura de hasta 750°C en el cráter. Al O, el volcán sobreyace el margen de la Caldera de Monte Galán, la cual se estima se formó hace unos 50,000 años. Al SE y al E, el cono del Momotombo sobreyace rocas volcánicas datadas por radiometría en el rango 0.6 – 0.78 M.a..



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Los pozos del campo geotérmico penetran una secuencia de rocas volcánicas y sedimentos vulcanoclásticos que pueden ser correlacionadas con unidades volcánicas expuestas en la región. Hasta aproximadamente los 250 m b.n.m., hay productos de la actividad volcánica cuaternaria de la Cordillera de los Marrabios, provenientes del Volcán Momotombo y de otros edificios adyacentes. Por debajo, hasta unos 2,000 m b.n.m., se encuentra una secuencia de unidades volcánicas progresivamente más antiguas, hasta la época del Mioceno. Finalmente, los pozos más profundos han encontrado a profundidades mayores de 2,000 m b.n.m. secuencias sedimentarias constituidas por areniscas, lutitas fosilíferas y tufitas que han sido correlacionadas con formaciones de edad del Mioceno Inferior y Medio.

Excluyendo el cráter del Volcán Momotombo, las únicas manifestaciones termales superficiales del área se ubican en la ladera meridional del volcán, a elevaciones que varían entre 40 y 400 m s.n.m., las cuales coinciden con la ubicación del campo geotérmico. Se trata del área termal más extensa y llamativa de todo el país, que incluye fumarolas con temperaturas de hasta 100°-101°C, zonas con intensa alteración hidrotermal, suelos calientes y, en las zonas más bajas (Punta Las Salinitas y otros sitios en la orilla del lago), manantiales termales hirvientes que representan la descarga natural del sistema hidrotermal. La explotación comercial del campo ha causado una marcada reducción y en algunos casos la extinción total de las emisiones fumarólicas y de los manantiales termales.

Todas las manifestaciones termales del campo geotérmico están controladas por fallas o lineamientos tectónicos de rumbo N-S Y NO-SE, lo cual indica que, por lo menos a niveles someros, estos elementos tectónicos controlan la circulación de los fluidos termales. Por otro lado, la naturaleza de las estructuras profundas y el control que las mismas ejercen sobre el movimiento de los fluidos no se conocen a fondo.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Fuera del campo geotérmico, pero dentro del área investigada para el Estudio Plan Maestro, existen datos, derivados de pozos someros, que indican la existencia de una anomalía térmica moderada en la planicie situada al NE del volcán (temperatura máxima de 43°C a 150 m), otra anomalía situada en la base de la ladera SO del volcán (temperatura máxima de 40°C a 150 m), y una tercera anomalía situada en la base de la ladera O del volcán (hasta 53°C en el pozo de la Hacienda Boquerón o San Cayetano). El origen de estas anomalías no se conoce a fondo.

En la misma área se han realizado levantamientos geofísicos (gravimetría, magnetometría y sondeos geoelectricos de tipo Schlumberger, dipolo-dipolo axial, electromagnéticos y audiomagnetotelúricos) en seis diferentes ocasiones entre 1970 y 1995. Estos han sido parte de estudios a nivel de reconocimiento, prefactibilidad, y factibilidad, y los más recientes corresponden a los estudios dirigidos a la recuperación de la producción de vapor.

Los datos gravimétricos existentes son poco adecuados para detectar anomalías que puedan existir y tener un significado geotérmico, para la definición de las cuales seria necesario tener una densidad de estaciones mucho mayor. Tampoco son de utilidad los datos magnetométricos existentes. La mayoría de los estudios geoelectricos proporcionaron solamente información general, identificando consistentemente la presencia de una anomalía de baja resistividad (menor de 2-3 ohm-m) en correspondencia con la zona termal al S del volcán. Sin embargo, un levantamiento de tipo SEV Shlumberger (efectuado en 1975) y un estudio de sondeos de frecuencia (efectuado en 1995) proporcionaron modelos electroestratigráficos que mostraron una cierta correspondencia con la conformación del yacimiento explotado y eran consistentes con los resultados de los pozos, pero no proporcionaron información suficientemente clara sobre la distribución y la magnitud del recurso a mayores profundidades.



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Los pozos del campo se distribuyen en un área de aproximadamente tres km<sup>2</sup>, pero el 90% de ellos (40) están concentrados en un sector de poco más de 1.5 km<sup>2</sup>. Como consecuencia, la delimitación, la estructura y la efectiva extensión del sistema hidrotermal no están totalmente definidos, debido a la escasez, o ausencia de pozos en las zonas marginales y de posible extensión del recurso.

La fuente de calor del sistema hidrotermal es, muy probablemente, una importante cámara magmática activa ubicada por debajo de la porción central del cono volcánico y emplazado a niveles relativamente someros. La zona de ascenso del fluido geotérmico está ubicada en el sector occidental del área explotada, por su extensión no está bien definida.

El fluido geotérmico que asciende por el sector occidental del campo corresponde a fluidos con temperaturas de 325°-330°C, con pH neutro y de tipo Na-Cl (sodio-cloruro) con unos, 2,700 mg/l, típicos de sistemas hidrotermales con temperatura moderadamente alta y desarrollados en rocas volcánicas jóvenes. Los fluidos se desplazan lateralmente hacia E, a una profundidad de 300-500 m, enfriándose progresivamente hasta 230°-240°C (antes de empezar la explotación comercial). Todos los pozos localizados en el sector oriental del campo presentan una marcada inversión de temperatura que define la presencia de un flujo de agua caliente que se desplaza lateralmente comprendido entre masas de agua de menor temperatura.

La explotación comercial del recurso ha inducido fenómenos de ebullición por caída de presión en el reservorio, así como procesos de dilución por mezcla con agua fría, de procedencia somera, por lo cual, el rango de salinidad del agua producida por los pozos es muy variable. Al inicio de la explotación comercial, el reservorio contenía en su mayoría agua en fase líquida, con una capa superior de vapor presente solamente a una elevación de unos 325 m b.n.m. Durante la explotación comercial esta capa de vapor ha crecido significativamente.



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

La concentración de gases en el vapor de los pozos de producción se ha mantenido típicamente en el rango de 1 – 3 % en peso, mientras que la concentración de gases en las aguas profundas del yacimiento es solamente de 0.1 % en peso aproximadamente. La composición del gas seco incluye un 93 a 98% en Volumen de CO<sup>2</sup> (dióxido de carbón), 1.5 a 6.5 % en Volumen de H<sub>2</sub>S (sulfuro de hidrógeno) y trazas de otros componentes.

En cuanto a los riesgos naturales presentes en el área, la actividad del Volcán Momotombo es probablemente la amenaza de mayor consideración. La evolución y los antecedentes del volcán sugieren que el riesgo principal se deriva de erupciones moderadamente efusivas y explosivas, con respecto a las cuales el campo geotérmico presenta cierto grado de protección, ya que el cráter actual se abre hacia el N (dirigiendo principalmente los productos piroclásticos hacia el O). También existe cierta amenaza volcánica relacionada con el Volcán el Hoyo, ubicado a unos pocos kilómetros al NO.

Existen también cierto riesgo, desconocido pero posiblemente alto, de derrumbes de los flancos empinados del volcán, especialmente en la ladera meridional donde existen pendientes escarpadas e inestables debido al fracturamiento tectónico. En la zona del campo geotérmico la presencia de amplias zonas alteradas por procesos hidrotermales constituyen un factor ulterior que podría facilitar el deslizamiento. En las zonas bajas del área existe cierto riesgo de inundaciones y, en 1998-1999, a raíz del Huracán Mitch y del sucesivo invierno de copiosas lluvias, este fenómeno provocó la inundación de amplios sectores alrededor del Volcán, incluyendo también las zonas más bajas del campo geotérmico. El riesgo sísmico corresponde al riesgo general que predomina en la zona Pacífica del país y, además, se observa que la zona comprendida entre el Momotombo y el Volcán el Hoyo es a menudo sede de crisis sísmicas de moderada y baja intensidad.



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Las reservas energéticas del sistema geotérmico en el campo de Momotombo han sido estimadas como reservas de Categoría 1, de acuerdo a la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. El valor promedio de la distribución probabilística de las reservas es de aproximadamente 142 MW para un plazo de 30 años, con una desviación estándar de 46 MW. El 10° percentil de la distribución es de aproximadamente 87 MW (es decir, hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor). El valor mediano (50 percentil) de la capacidad en MW es de aproximadamente 137 MW y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es de aproximadamente 30 MW/km<sup>2</sup>.

El cálculo volumétrico probabilístico indica que las reservas de calor geotérmico en el sistema de Momotombo son adecuadas para alimentar la capacidad de generación instalada de 70 MW durante un período de 30 años y que pueden sustentar una instalación aún mayor. Sin embargo, el cálculo de las reservas de energía por medio del método volumétrico no asegura que dichas reservas se puedan extraer económicamente para la producción de energía eléctrica. Con el fin de recuperar la energía almacenada en el sistema, es necesario que se perforen pozos productivos para explotar las diferentes partes del Volumen del yacimiento. Hasta el momento, la parte del yacimiento del Momotombo que yace por debajo de los 2,000 m de profundidad no ha sido desarrollada de manera significativa, y la perforación de pozos profundos no ha resultado en un éxito consistente.

Tanto el historial operativo del campo como la estimación de las reservas de calor, indican que la explotación de las partes someras del yacimiento (hasta profundidades de 1,000 a 1,500 m) es insuficiente para sostener la capacidad instalada de 70 MW. Asimismo se debe anotar que una parte de la energía del yacimiento geotérmico, particularmente en los niveles más someros, ya ha sido explotada durante el período de operación de la planta y, además, las reservas de calor en algunas partes del campo pueden haberse degradado por efectos de la explotación, como sería el



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

caso de una invasión de agua más fría en algunas zonas del yacimiento. No es posible calcular cuantitativamente el nivel de abatimiento que ha ocurrido a partir de los datos disponibles. Sin embargo, considerando el historial de producción del campo, y la extensión original de las reservas energéticas estimadas en el presente estudio, el abatimiento ocurrido hasta el presente debe corresponder a una fracción bastante reducida con respecto a la cantidad total de reservas potenciales.

En forma separada, DAL (1994) realizó una estimación del potencial energético del campo geotérmico de Momotombo. Dicha estimación fue derivada a partir del modelo numérico de simulación del reservorio geotérmico, el cual se basó a su vez en resultados provenientes de los pozos que habían sido perforados en este campo hasta el momento de realizar dicha estimación. Esta estimación indicaba un potencial probado de 50 MW, un potencial probable de 90 MW y un potencial posible de 150 MW para un período de vida adicional del proyecto de 10 años (contados a partir de 1994).

Debido a que la metodología de estimación de potencial del campo realizada por DAL (1994), difiere sustancialmente del método probabilístico volumétrico que se utilizó en el presente estudio para estimar las reservas recuperables de energía en Momotombo, las dos estimaciones no pueden ser comparadas directamente. En particular, la estimación del DAL (1994) considera únicamente el potencial esperado de los pozos que hasta ese momento habían sido perforados en el campo, así como un número de pozos adicionales a perforar bajo un escenario específico que había sido propuesto para el desarrollo del campo. Por lo tanto, esta estimación o considera la recuperación máxima de energía del campo bajo un escenario de desarrollo en el cual un número mayor de pozos es perforado con el fin de obtener la mayor extracción posible de la energía térmica del sistema.



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Las reservas potenciales asociadas con la totalidad del complejo volcánico de Momotombo han sido estimadas como reservas de Categoría 3. Sumando las reservas potenciales asociadas con el complejo magmático, se obtiene una estimación de reservas totales de 190 MW, basadas en el valor promedio de la distribución probabilística. Estos resultados son una representación estadística del potencial del área en total, pero la cantidad efectiva de las reservas comercialmente explotables debe ser demostrada en última instancia, mediante la perforación de pozos. Las reservas de Categoría 1 no aumentan el potencial máximo indicado por las estimaciones de la Categoría 3, pero conllevan un mayor nivel de certeza, en lo que se refiere a la precisión del cálculo y a la localización del recurso geotérmico.

Existen una serie de factores logísticos y ambientales que hacen muy favorable la realización de futuras actividades de exploración y desarrollo geotérmico en esta área. Estos aspectos se resumen como sigue:

- relativa cercanía y facilidad de acceso desde la ciudad de Managua;
- buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país;
- facilidad de obtención de agua para las operaciones de perforación;
- bajo potencial de conflictos de carácter social;
- problemas limitados o restricciones relacionadas con la disponibilidad de los terrenos;
- existencia de la línea de transmisión de 138 kV que conecta la Planta Geotérmica de Momotombo con la subestación de Los Brasiles (en Ciudad Sandino); y
- no se anticipan problemas ni costos importantes derivados de la atenuación adecuada de los potenciales impactos ambientales negativos.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- presencia de la Reserva Natural del Volcán Momotombo que ocupa toda el área;
- riesgos naturales, de tipo volcánico, sísmico, de estabilidad de las laderas y de inundaciones (en las zonas próximas al lago); y
- dificultad de acceso local, sobre todo en el sector NE del macizo volcánico.

La evaluación global permite apreciar que, aunque existan algunos problemas, no se reconocen limitaciones de tipo logístico, de infraestructura y socioeconómico que afecten en forma significativa la viabilidad de nuevos proyectos de exploración y desarrollo, ya sea en correspondencia con el campo geotérmico existente, como en otros sectores del macizo volcánico de Momotombo.

Con base en los datos que se encuentran disponibles, la capacidad máxima a la cual se puede explotar el campo de Momotombo dependerá de los siguientes factores:

- el éxito con el que se logre recuperar el calor de los niveles más profundos del reservorio por medio de pozos productores profundos (en general por debajo de 2,000 m de profundidad);
- el grado en que el área en la que se localizan los pozos pueda ser incrementada por medio de perforaciones exitosas de ampliación del campo (particularmente en los estratos más profundos); y
- el manejo optimizado de los procesos de producción e inyección en el campo y la periodicidad de mantenimiento de los pozos, con el fin de minimizar los problemas



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

relacionados con el enfriamiento del reservorio, la declinación de la presión, la incrustación y la ocurrencia de daños mecánicos en los pozos.

Actualmente, Ormat Momotombo se encuentra en el proceso de implementar un programa de rehabilitación del capo y hasta el momento ha logrado restaurar con éxito una parte de la capacidad perdida del campo. Debido a que este programa está siendo planeado y ejecutado por un operador de tipo privado, no se incluyen recomendaciones específicas sobre el desarrollo adicional y el manejo del campo de Momotombo como parte del presente estudio.

La realización de estudios de exploración adicionales, fuera del campo conocido de Momotombo podrían justificarse, con el fin de determinar la existencia de otros sistemas hidrotermales explotables en el área. Los sectores este y noreste del área de estudio (incluyendo la Loma La Guatusa y los flancos del Volcán Momotombo) representan una extensa zona en la cual se ha realizado una cantidad muy reducida de estudios de exploración. El sector oeste del Volcán Momotombo muestra alguna evidencia de gradientes altos de temperatura y podría justificar que se efectúen investigaciones adicionales.

Los nuevos levantamientos que podrían resultar de mayor efectividad para evaluar el potencial geotérmico del área fuera del campo conocido de Momotombo incluyen. Sondeos de tipo geoelectrico, con una densidad de estaciones de moderada a alta, con el fin de definir la estructura resistiva en estos sectores del campo; y la perforación de una serie de agujeros con el fin de definir una mejor manera la distribución de los gradientes térmicos en todo el sector. El costo de tales actividades podría ser al orden de \$1.0 a \$1.2 millones, durante un período de 11 meses.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **1. DESCRIPCION DEL AREA**

### **1.1 Localización**

El campo geotérmico de Momotombo se ubica en el flanco SO de la Cordillera de los Marrabios, en la base de la ladera meridional del Volcán Momotombo, a orillas del Lago de Managua. Desde el punto de vista administrativo el área se encuentra en el Departamento de León y es parte del Municipio de La Paz Centro.

Toda la zona alrededor del Volcán Momotombo es muy poco poblada y el único centro habitado de cierta importancia es Puerto Momotombo, ubicado a orillas del Lago de Managua, 8 km al O del campo geotérmico. Los centros importantes más cercanos son La Paz Centro y Malpaisillo, respectivamente ubicados unos 18 km al SO y unos 25 km al NO. La ciudad de Managua se encuentra unos 40 km al SE, mientras que la ciudad de León unos 30 km al O.

El acceso al campo geotérmico de Momotombo es a través de la carretera que une La Paz Centro con Malpaisillo, a partir de la cual se separa un camino que bordea la base del edificio volcánico Monte Galán - Momotombo hasta llegar al campo geotérmico (ver **Figura VII-1.1**).

### **1.2 Extensión del Área**

La extensión actual del Campo Geotérmico de Momotombo, incluyendo la superficie ocupada por los pozos de producción y inyección y por la planta de generación, es de aproximadamente 2 km<sup>2</sup>. La concesión geotérmica actualmente vigente, bajo la cual está siendo explotado el campo, cubre una superficie de 9 km<sup>2</sup>; es decir, la zona actualmente explotada más una zona periférica de aproximadamente 1 km de ancho (ver mayores detalles en la sección 2.1 del presente volumen).



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Para los fines del presente estudio y en términos de evaluación geológica general, se tomó en consideración todo el macizo del Volcán Momotombo y especialmente su sector meridional y oriental, cubriendo una superficie de aproximadamente 80 km<sup>2</sup> (ver **Figura VII-1.1**). En la base de la ladera NO del Volcán Momotombo se encuentra la Caldera de Galán que es parte de la área vecina (y concesión geotérmica) de El Hoyo - Monte Galán, la cual es tratada en el Volumen VI del Estudio Plan Maestro. El área de estudio se encuentra dentro del mapa topográfica de INETER de La Paz Centro (2853-II), escala 1: 50,000.

### 1.3 Características Fisiográficas

Como se puede observar en las **Figuras VII-1.1** y **VII-1.2**, la topografía del área es dominada por el Volcán Momotombo, el cual es un impresionante cono de forma casi simétrica, que se eleva desde la superficie del Lago de Managua (39 m s.n.m) hasta los 1,297 m s.n.m. En su lado meridional la ladera volcánica baja uniformemente hasta la orilla del lago, mientras que en su sector E y NE termina en un relieve volcánico más antiguo, con elevación variable entre los 300 y los 400 m s.n.m., conocido como Loma La Guatusa. En el lado NO, la base del cono está abruptamente cortada por la Caldera de Galán, la cual es una amplia depresión con forma irregular que se extiende al interior de un borde caldérico circular con elevación variable entre los 150 y los 300 m s.n.m. El fondo de la caldera es parcialmente ocupado por coladas lávicas muy recientes del Volcán Momotombo e incluye unas lagunas de modestas dimensiones.

Al N y al O del macizo volcánico se extienden zonas de planicie ocupadas por haciendas ganaderas y agrícolas. En las laderas del volcán, existen amplios sectores cubiertos por coladas lávicas y depósitos de lapilli muy recientes, que limitan notablemente la cobertura vegetal. La vegetación en el área ha sido además intensamente afectada por la intervención humana, de tal manera que la cobertura boscosa actual en condiciones naturales es bastante reducida.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Aparte el poblado de Puerto Momotombo, que se ubica poco al O del volcán, la zona es muy poco poblada. En los relieves volcánicos no hay población residente, mientras que en las planicies de los alrededores existe solamente población dispersa en varias haciendas agrícolas.

El clima del área es de tipo tropical seco, con 1,200 mm de precipitaciones medias anuales. Las precipitaciones son esencialmente concentradas en la estación lluviosa, la cual abarca el período entre mayo y octubre y es frecuentemente irregular. La temperatura media anual es de aproximadamente 27°C.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE**

### **2.1 Concesiones**

Todos los trabajos de exploración, desarrollo y operación comercial del campo geotérmico de Momotombo han sido realizados por el Gobierno de Nicaragua a través del ente eléctrico nacional (inicialmente ENALUF, luego INE y en fin ENEL) y con la colaboración de varias instituciones internacionales y países cooperantes. En 1999 el Gobierno de Nicaragua asignó la operación comercial del campo a la empresa Ormat, mientras que la empresa Generadora Momotombo, S. A. (GEMOSA), derivada del proceso de segmentación de ENEL, quedó como propietaria de los derechos de explotación del recurso.

La explotación del recurso geotérmico en Momotombo está actualmente regida por una concesión de explotación que tiene una superficie de 9 km<sup>2</sup> (ver **Figura VII-2.1**), pero Ormat (a través de GEMOSA) está gestionando una ampliación del área de concesión con el Instituto Nicaragüense de Energía. Poco al NO del área de Momotombo (**Figura VII-2.1**) se encuentra la concesión de exploración geotérmica denominada El Hoyo-Monte Galán, asignada a la empresa Trans-Pacific Geothermal Corporation (ver Volumen VI del Estudio Plan Maestro para mayores informaciones al respecto).

### **2.2 Trabajos de Exploración**

#### **2.2.1 *Estudios Existentes***

El área de Momotombo ha sido objeto de estudio desde las primeras investigaciones que fueron realizados sobre la geotermia en Nicaragua, a finales de los años 1960. La primera investigación geotérmica en Momotombo se realizó en 1966, y en 1974 fue perforado el primer



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

pozo exploratorio profundo. La primera unidad de generación de 35 MW entró en operación en 1983, y en 1989 fue completada la instalación de una unidad adicional de 35 MW.

Durante todo el periodo de exploración, desarrollo y operación comercial del campo, fueron efectuados estudios de carácter geológico, geoquímico, geofísico y de ingeniería del reservorio, los cuales proporcionan un amplio volumen de datos sobre las características del recurso geotérmico (ver bibliografía completa en el Capítulo 10 del presente volumen). Los estudios más importantes y las principales etapas de desarrollo del campo se resumen a continuación.

#### *Texas Instruments, Inc., 1970*

A finales de los años 1960, el Gobierno de Nicaragua encargó a esta compañía la ejecución de un estudio sobre el potencial geotérmico del País, el cual terminó con la producción de un informe con título *Proyecto de Recursos Geotérmicos, Etapa Uno*. En el ámbito de este estudio Texas Instruments llevó a cabo importantes investigaciones en la zona del Volcán Momotombo, la cual fue identificada como la más atractiva.

Texas Instruments realizó estudios geológicos, hidrogeoquímicos y geofísicos en todo el sector meridional del Volcán Momotombo, y principalmente alrededor de la amplia zona de manifestaciones termales que, en ese entonces, fue definida Volcán Momotombo Sur. Sucesivamente, Texas Instruments perforó 8 pozos someros de gradiente (con profundidad máxima de 60 m) y concluyó el trabajo de exploración con la perforación de un pozo exploratorio de diámetro reducido, con profundidad de 608 m. Todos los resultados obtenidos fueron muy prometedores y el pozo exploratorio, aunque no encontró permeabilidad, confirmó la presencia de temperaturas de interés comercial a profundidades relativamente someras.

#### *Naciones Unidas, 1974*



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

A principio de los años 70, este organismo, a través del “Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo” (PNUD), llevó a cabo estudios sobre el aprovechamiento de recursos geotérmicos en Nicaragua, con particular atención a las áreas de Momotombo y San Jacinto, consideradas prioritarias sobre la base de los anteriores estudios de Texas Instruments (1970)

En la zona de Momotombo, fueron efectuados estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos adicionales y la exploración fue extendida también hacia el O, abarcando el sector que fue definido “Tierras Bajas entre Momotombo y El Hoyo”, el cual coincide con el área actualmente conocida como El Hoyo - Monte Galán. El proyecto siguió con la perforación de cuatro pozos de diámetro comercial y la sucesiva realización de un estudio de factibilidad que fue realizado por la compañía ELC-Electroconsult.

### *ELC-Electroconsult, 1976-1977*

Entre 1974 y 1977, la compañía ELC-Electroconsult, por cuenta de la Empresa Nacional de Luz y Fuerza (ENALUF), efectuó estudios geocientíficos, asesoró la perforación de los primeros cuatro pozos (MT-1 a MT-4) y llevó a cabo un estudio de factibilidad para el desarrollo comercial del campo geotérmico de Momotombo. Los pozos fueron perforados por la contratista Foraki-Foramines, y tuvieron resultados muy satisfactorios ya que dos de ellos (MT-2 y MT-3) encontraron un yacimiento con temperaturas de 240-250°C a profundidad de tan sólo 300-400 m.

El estudio de factibilidad realizado por ELC fue terminado en 1977 y concluyó que era viable la instalación de una primera unidad de 35 MW. Sin embargo, ya a partir de finales de 1975, antes de la terminación del pozo MT-4, ENALUF había tomado la decisión de llevar adelante un programa agresivo de desarrollo del campo, para el cual contrató a la empresa de perforación Energéticos S.A. y a la compañía consultora California Energy Company.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

*California Energy Company Inc. (C.E.C.I.), 1975-1978*

A partir de 1975 y hasta 1978, la empresa de perforación Energéticos, S.A, bajo la dirección de California Energy Company (C.E.C.I.), perforó un total de 28 pozos en Momotombo (del MT-5 al MT-32), con profundidades variables entre los 328 y los 2,251 m. Paralelamente a los trabajos de perforación y estudio de los resultados de los pozos, C.E.C.I. llevó a cabo también estudios geofísicos adicionales, que fueron realizados por la compañía Phoenix Geophysics Inc. Como conclusión de todo el trabajo, en 1978, C.E.C.I. efectuó una evaluación del recurso y determinó una capacidad de desarrollo comercial de 105 MW.

*ELC-Electroconsult, 1980-1982*

Entre 1980 y 1982, ELC fue nuevamente contratada por el ente eléctrico de Nicaragua (Instituto Nicaragüense de Energía, a partir de 1979) para evaluar la situación del campo de Momotombo en vista de la construcción de una primera unidad de generación de 35 MW y para definir la posibilidad de instalaciones adicionales. ELC llevó a cabo un programa de pruebas y mediciones sobre los pozos existentes y realizó estudios sobre el yacimiento geotérmico. El modelo del recurso obtenido, junto con los resultados de los estudios de ingeniería de reservorio, llevó a la conclusión que el recurso de Momotombo podía soportar la operación de la planta de 35 MW, ya en construcción a partir de 1981, y otra adicional de 35 MW. La alimentación de la segunda unidad tenía, sin embargo, que ser basada sobre nuevos pozos a ser perforados en las zonas profundas de ascenso del fluido geotérmico.

*OLADE, 1982*

A principios de los años 1980 la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) promocionó la ejecución de nuevas investigaciones geotérmicas en Nicaragua, las cuales fueron llevadas a cabo por la compañía Geotérmica Italiana srl. Estos estudios fueron principalmente de



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

reconocimiento regional y dedicaron particular atención a las zonas de San Jacinto y El Hoyo - Monte Galán. El complejo del Volcán Momotombo fue, sin embargo, incluido en los estudios geo-vulcanológicos y geofísicos generales, y OLADE realizó un estudio petrográfico y estratigráfico sobre los pozos más profundos del campo geotérmico de Momotombo (MT-16, MT-10 y MT-30) para conocer la secuencia estratigráfica del subsuelo del área.

### *INE, 1982-1989*

En 1981 iniciaron las obras de construcción de la primera unidad de la planta geotérmica de Momotombo, la cual entró en operación comercial en 1983. En los años sucesivos el Instituto Nicaragüense de Energía llevó a cabo las perforaciones recomendadas en el estudio de factibilidad de ELC (1983) y procedió a la construcción de la segunda unidad de generación de 35 MW, la cual fue terminada en 1989. Los pozos perforados en este período (MT-34 hasta MT-37; RMT-1 y RMT-2) fueron realizados con asesoría de la compañía Société de Prospection et d' tudes G othermiques (S.P.E.G.).

### *DAL SpA, 1989 - 1994*

En 1989, en concomitancia con la terminación de los trabajos de construcción de la segunda unidad de generación en Momotombo, el INE contrató a la empresa DAL SpA para realizar una evaluación del estado del campo y optimizar su explotación en visión de la entrada en operación de la unidad adicional de 35 MW (DAL, 1989). La asesoría de DAL SpA continu  luego (aunque no continuamente) hasta 1994 e incluyó la ejecución de estudios de actualización del modelo conceptual del recurso, modelación numérica del yacimiento y mejoras en la planta de generación (DAL SpA, 1991a, 1991b, 1991c, 1994).

### *Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 1995*



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

En 1995, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) promocionó un estudio de revisión global del campo de Momotombo, cuyo título fue *Estudio de Evaluación del Potencial Energético, Factibilidad de Estabilización y de la Tercera Unidad Geotermoeléctrica*, y fue realizado por el consorcio de compañías DAL SpA, ELC-Electroconsult y ENEL (DAL/ ELC/ ENEL, 1995).

A partir de la entrada en operación comercial de la segunda unidad de generación, la producción de vapor había decaído sensiblemente, por lo tanto el principal objetivo de este estudio fue evaluar la posibilidad de recuperar la capacidad de generación de la planta geotermoeléctrica hasta los 70 MW nominales, y señalar las acciones requeridas para alcanzar tal meta. Una primera fase fue enfocada en determinar las posibilidades de explotar sectores más profundos del campo y llegó a la programación de una operación de perforación con pozos de hasta 2,500 m de profundidad, para comprobar la producción comercial de un yacimiento profundo supuesto sobre base geocientífica a profundidades superiores a los 1700-1800 m. La segunda fase estaba planificada para evaluar los resultados de los nuevos pozos profundos y efectuar los estudios de ingeniería de reservorio correspondientes, pero no se realizó a causa de la suspensión de las actividades en Momotombo por parte de ENEL en 1997.

### *ENEL, 1996-2000*

En el período 1996-1997, con financiamientos del Fondo de Inversiones Venezolano (FIV), la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) perforó 4 pozos en el campo de Momotombo, que terminaron a profundidades variables entre los 1,700 m y los 2,500 m (MT-40 hasta MT-43). La empresa DAL SpA efectuó estudios sobre la estratigrafía y la alteración hidrotermal, y evaluó los resultados de estas nuevas perforaciones (DAL, 1997)



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

A mediados de 1997, la empresa Nicaragüense de Electricidad decidió suspender el programa de perforación en Momotombo, el cual preveía un último pozo, y tomó la decisión de ceder la operación del campo a una empresa privada. La licitación correspondiente fue adjudicada, en 1999, a la empresa Ormat, la cual está actualmente operando el campo y acaba de empezar un nuevo programa de perforaciones. Ormat realizó estudios adicionales sobre el recurso de Momotombo, pero sus resultados no son de dominio público.

### *2.2.2 Estudios del Plan Maestro-2000*

El Campo Geotérmico de Momotombo es probablemente el área geotérmica más estudiada de Nicaragua. Cuenta con pozos de hasta 2,500 m de profundidad y está en explotación comercial desde 1983. La empresa Ormat, que está operando el campo, inició a mediados del 2000 un nuevo programa de perforaciones profundas, reparaciones de pozos y otras actividades para evaluar las posibilidades de recuperar la producción de vapor, que en los últimos años ha decaído drásticamente.

Considerando todo esto, en el ámbito del Estudio Plan Maestro se llevó a cabo esencialmente una recolección, evaluación y re-interpretación de la información existente y disponible, con el objetivo de analizar los aspectos generales del campo geotérmico y establecer las posibilidades de desarrollo geotérmico existentes en toda el área del Volcán Momotombo. Paralelamente a los estudios geocientíficos se recopiló también información general sobre los aspectos infraestructurales y logísticos del área. Además, se analizó la situación del medio ambiente local, la cual ha sido resumida en un marco de referencia ambiental. Los estudios que se han llevado a cabo en el ámbito del Estudio Plan Maestro se describen a continuación.

### *Geología-Vulcanología*



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

El trabajo geológico ha sido principalmente dedicado a la identificación y caracterización de las estructuras geológicas presentes en el área y al estudio de los centros volcánicos y de otros aspectos relacionados con el vulcanismo reciente. Se efectuó una recopilación y revisión crítica de toda la información geológica, estructural, vulcanológica y petrológica existente en la literatura acerca del complejo volcánico de Momotombo, para luego proceder a un estudio fotogeológico complementario, basado sobre fotografías aéreas (INETER, 1996, escala 1:40,000) e imágenes de satélite (Landsat 5, 6 de Enero 1997). El trabajo ha sido luego completado por medio de chequeos de campo, dirigidos a la verificación de los principales aspectos geológicos y estructurales, antes de pasar a la elaboración de un mapa geológico de síntesis.

#### *Hidrología - Hidrogeoquímica*

Se recolectó y organizó en una base de datos toda la información geoquímica procedente de los estudios anteriores. Al mismo tiempo, se recopiló también la información disponible sobre la hidrología y la hidrogeología del área, con el fin de obtener un marco de referencia general para la interpretación de los datos hidrogeoquímicos.

Debido a la abundancia de información existente no se realizaron muestreos adicionales en la zona de Momotombo; solamente se evaluaron y reinterpretaron los datos químicos disponibles, relativos a manantiales y pozos someros y a los pozos geotérmicos existentes en el campo de Momotombo. La metodología y los resultados de este estudio son ampliamente reportados en el Anexo A del presente volumen.

#### *Geofísica*



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

El trabajo geofísico fue limitado a la evaluación y revisión crítica de la información generada por los estudios anteriores. La información geofísica existente resultó ser abundante y completa, incluyendo datos geoelectrónicos, gravimétricos y magnetométricos. Sin embargo, en su mayoría estos datos son derivados de investigaciones efectuadas en los años 1970 y 1980, cuyas técnicas de medición y métodos de interpretación ahora son considerados, proporcionan solamente informaciones cualitativas. En el caso de los levantamientos gravimétricos y magnéticos, los datos fueron adquiridos con baja densidad de medición o con distribución muy heterogénea de las estaciones, así que no se consideran suficientemente representativos para definir situaciones muy localizadas, como pueden ser los sistemas geotérmicos. Se efectuó, sin embargo, un análisis crítico y comparativo de toda la información disponible, para elaborar una síntesis de los aspectos más importantes a ser utilizada en la elaboración del modelo geotérmico del área.

#### *Síntesis de la Información*

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

#### *Estudios Ambientales*



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Paralelamente a las investigaciones de carácter geocientífico, se recopiló una serie de informaciones ambientales, con el objetivo de establecer un marco de referencia ambiental y para identificar eventuales situaciones conflictivas que pudieran surgir durante el desarrollo geotérmico en el área. Los estudios ambientales han sido basados sobre la información pre-existente; además, han sido complementados con observaciones adicionales efectuadas durante los trabajos de campo del Plan Maestro. Los aspectos analizados en este estudio incluyen aspectos socio-económicos (población; sitios culturales, turísticos y científicos; áreas protegidas), aspectos abióticos (topografía; hidrología y aspectos físico-químicos de los cuerpos hídricos; clima), y aspectos bióticos (flora, fauna).

#### *Análisis de Aspectos Infraestructurales y Logísticos*

Se completó el estudio con un análisis de la situación logística general y de las condiciones infraestructurales del área alrededor del Volcán Momotombo. Los datos correspondientes han sido en parte obtenidos de información existente y luego han sido ampliamente verificados y completados con observaciones efectuadas durante las investigaciones de campo del Plan Maestro.

Se puso particular atención en la identificación y evaluación de todos los aspectos que pueden afectar o favorecer el desarrollo de actividades geotérmicas como son: accesibilidad y condiciones de los caminos, uso de la tierra, disponibilidad de sitios para la perforación y la construcción, disponibilidad de agua, infraestructura eléctrica y eventuales otros aspectos que pueden afectar positivamente o negativamente la continuación del desarrollo del proyecto geotérmico.

### 2.3 Perforación de Exploración y de Desarrollo



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

La perforación en Momotombo empezó en 1970 y se desarrolló en diferentes fases que correspondieron a la exploración del recurso, a las sucesivas fases de desarrollo del campo y, en fin, a la recuperación de la producción de vapor, ya que esta ha decaído sensiblemente en los últimos años. En la **Figura VII-2.2** se indican las ubicaciones de todos los pozos de diámetro completo, perforados en el campo hasta fines del año 1999.

Las primeras perforaciones efectuadas en el campo geotérmico de Momotombo fueron pozos de gradiente realizados en el ámbito del primer proyecto de evaluación de los recursos geotérmicos de Nicaragua, llevado a cabo por Texas Instruments, Inc. en 1970. Se trató de 8 pozos someros (con profundidad máxima de 60 m) distribuidos en un área de aproximadamente 2 km<sup>2</sup> en correspondencia de la zona termal ubicada en la base de la ladera meridional del Volcán Momotombo. Sucesivamente, la misma compañía perforó en la misma zona un pozo exploratorio de diámetro reducido hasta 608 m de profundidad.

Los resultados satisfactorios obtenidos por los pozos de Texas Instruments establecieron las bases para un programa de perforación exploratoria con pozos de diámetro comercial, el cual fue iniciado por el ente eléctrico de Nicaragua (ENALUF) en 1974. Este programa incluyó 4 pozos que fueron perforados por la empresa Foramines, S. A., bajo la supervisión de ELC-Electroconsult, en el período 1974-1976. Se trató de los pozos MT-1 a MT-4, con profundidades comprendidas entre los 310 y los 1,435 m. Dos de estos pozos (MT-2 y MT-3) resultaron exitosos por haber encontrado un yacimiento con temperaturas de 230-240°C a profundidad de tan sólo 300-400 m, uno (MT-1) resultó no productivo y el otro (MT-4) encontró temperaturas muy elevadas (>300°C) pero tuvo una erupción descontrolada y fue cerrado sin evaluarse.

En 1975 ENALUF contrató a la empresa de perforación Energéticos, S. A. y a la compañía consultora California Energy Co., para continuar con el desarrollo comercial del campo



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

geotérmico de Momotombo. Entre finales de 1975 y finales de 1978 fueron perforados 28 pozos (MT-5 a MT-32), con profundidades variables entre los 320 y los 2,250 m e incluidos en una área triangular de aproximadamente 2 km<sup>2</sup>, coincidente con la zona termal en la base de la ladera meridional del Volcán Momotombo. Un solo pozo (MT-16) fue perforado afuera de esta zona, aproximadamente 1 km al NO. Un pozo más (MT-33) fue iniciado y abandonado por problemas técnicos a los 30 m de profundidad, en septiembre de 1978. Varios de los pozos perforados en esta etapa, especialmente los más someros en la zona central del campo, resultaron buenos productores y constituyeron la base para la instalación de la primera unidad de generación geotermoeléctrica.

En el mismo período fueron también efectuadas operaciones de reparación en el pozo MT-1, que fue profundizado desde los 795 hasta los 1,890 m, y en el MT-4, que fue reparado de los daños ocurridos durante la erupción descontrolada ocurrida al final de su perforación en 1976. Además, fueron perforados varios pozos de gradiente en zonas aledañas al macizo volcánico de Momotombo, la mayoría ubicada en la cercana área de El Hoyo - Monte Galán (ver detalles en el Volumen VI de este informe), algunos en la base de la ladera SO del Volcán Momotombo, y otros al lado opuesto del volcán, en la planicie del Río Sinecapa. Entre estos pozos, los ubicados alrededor del Volcán Momotombo no proporcionaron resultados muy significativos (California Energy Co., 1978).

Los años sucesivos a 1978 fueron un periodo de estudio y prueba de los pozos existentes, en preparación a la entrada en operación de la primera unidad de generación de 35 MW, cuya construcción se realizó entre 1981 y 1983. Las operaciones de perforación se reactivaron nuevamente en 1982 cuando fueron perforados dos pozos de inyección (RMT-1 y RMT-2) para completar el esquema de operación de la primera unidad de generación. Inmediatamente después, entre 1983 y 1985, fueron perforados cuatro nuevos pozos de producción (MT-34 hasta



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

MT-37), según las sugerencias del estudio de factibilidad de la segunda unidad realizada por ELC-Electroconsult en 1983. Dos de estos pozos (MT-35 y MT-36) resultaron productivos, uno (MT-37) fue casi impermeable y no productivo, y uno (MT-34) fue productivo inicialmente, pero colapsó y quedó con una obstrucción a los 200 m a pesar de un intento de haber reparaciones. Todos estos pozos fueron perforados directamente por el Instituto Nicaragüense de Energía (INE, que sustituyó ENELUF en 1979) con limitada asesoría de la Société de Prospection et d'Études Géothermiques (S.P.E.G.).

Las actividades de perforación quedaron luego paradas hasta 1992, cuando, a raíz de la entrada en operación de la segunda unidad de 35 MW (en 1989), se empezó a observar una reducción de la producción de vapor. En 1992 el INE perforó un pozo de producción adicional (MT-38) y sucesivamente, entre 1993 y 1994, perforó el pozo MT-39 al margen SO del campo. El MT-39 fue planificado como pozo desviado y fue perforado en tres diferentes direcciones sin encontrar zonas productivas. Al final fue terminado de forma vertical a la profundidad de 2,019 m, donde encontró temperatura muy elevada pero sin permeabilidad. También los pozos MT-38 y MT-39 fueron perforados directamente por el INE, esta vez con limitada asesoría de la compañía DAL SpA.

La mayor caída de producción que se estaba dando en la planta originó sucesivamente un más amplio programa de perforación, que fue financiado por el Fondo de Inversión Venezolano (FIV). Paralelamente a este, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) promovió la ejecución de un estudio sobre la recuperación de la producción del vapor (DAL-ELC-ENEL, 1995) y fue determinada la necesidad de perforar pozos con el objetivo de alcanzar un supuesto yacimiento a profundidades mayores de 1,700-1,800 m. En este programa fueron planificados 5 pozos hasta una profundidad máxima de 2,500 m. Al final fueron perforados 4 pozos (MT-40 hasta MT-43), de los cuales solamente uno (MT-43) alcanzó la profundidad programada,



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

mientras que los otros, por varias razones, fueron terminados a profundidades entre los 1,700 y los 2,100 m. Tres de ellos resultaron productivos, aunque si con capacidad de producción moderada o baja. A mediados de 1997, la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL, que en 1994 sucedió al INE en el manejo del campo), decidió suspender las actividades de perforación en Momotombo, para dar inicio a un proceso de licitación internacional y asignar el manejo del campo a un operador privado.

Actualmente en el campo geotérmico de Momotombo existen en total 45 pozos, con profundidad variable entre los 328 y los 2,500 m (**Figura VII-2.2**). Los pozos que producen en términos comerciales son sin embargo un número muy reducido, aparentemente menos de 10, y varios otros pozos no son, o son sólo parcialmente, accesibles por problemas técnicos, como obstrucciones, incrustaciones o causas desconocidas.

La empresa Ormat, que está operando el campo desde mediados de 1999, ha planificado e iniciado un programa de operaciones de recuperación de pozos existentes y de perforación de nuevos pozos. Sin embargo, no se conocen los detalles de los programas correspondientes.

#### 2.4 Producción

En el campo geotérmico de Momotombo existe una planta constituida por dos unidades de generación geotermoeléctrica de 35 MW cada una, por un total de 70 MW instalados. La primera unidad entró en operación comercial a finales de 1983, mientras que la segunda a mediados de 1989.

La gráfica de la **Figura VII-2.3** presenta la generación de la planta geotérmica de Momotombo a partir de 1984 hasta 1998. Se observan claramente las dos etapas principales de generación: con una sola unidad hasta 1989 y con dos unidades en el período sucesivo. Se puede también



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

observar que la producción ha sido bastante irregular, con frecuentes oscilaciones de corto plazo debidas a varios factores, como pueden ser problemas en el campo (pozos dañados, entrada de nuevos pozos) y en la planta (falla temporánea de algún componente; los datos del historial detallado de la planta no fueron disponibles para este estudio).

A parte las oscilaciones menores, se observa que durante los primeros años la producción de vapor mantuvo la generación en un nivel más o menos estable, cerca de la capacidad nominal de 35 MW. Entre 1987 y 1989, la generación declinó, manteniéndose entre los 20 y 30 MW, en parte a causa de problemas en la planta pero aparentemente también a causa de una disminución de la producción de vapor. En 1989 entró en operación la segunda unidad y se registró un pico de generación hasta casi 70 MW, pero, inmediatamente después, la segunda unidad salió de servicio para una reparación que duró aproximadamente 5 meses. Cuando la segunda unidad reanudó su actividad (en abril de 1990) la producción se estableció en aproximadamente 65 MW, y luego empezó a declinar con un proceso que se mantuvo ininterrumpidamente hasta en los últimos años. El declino en la generación tuvo una breve fase con cierta estabilización alrededor de los 55 MW, en los años 1992-1993, luego bajó constantemente hasta alcanzar valores inferiores a los 20 MW en 1998.

Todo este proceso ha sido causado por un decaimiento de la producción de vapor en el campo geotérmico. Este ha, a su vez, originado una reducción en la eficiencia de la planta, por estar operando a condiciones de flujo y presión de entrada a las turbinas inferiores a aquellas de diseño, contribuyendo ulteriormente a determinar la evolución reportada en la **Figura VII-2.3**.

## 2.5 Estado Actual

Como ya se mencionó en las secciones anteriores, en 1999 la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) adjudicó, a través de una licitación pública, la operación del campo y de la



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

planta geotérmica de Momotombo a la empresa Ormat, mientras que la empresa Generadora de Momotombo S.A. (GEMOSA, derivada de la segmentación de ENEL) quedó propietaria de los derechos de explotación del recurso. Cuando Ormat tomó posesión del campo la generación había bajado a niveles inferiores a los 15 MW y el contrato existente entre Ormat y ENEL prevé que el operador realice actividades para la recuperación de la generación eléctrica. La empresa Ormat ha efectuado estudios sobre el área de Momotombo y, como se mencionó anteriormente, ha iniciado un programa de recuperación de pozos existentes y la perforación de pozos adicionales.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### **3. ASPECTOS GEOLÓGICO, VULCANOLÓGICO E HIDROGEOLOGICO**

#### **3.1 Marco Geológico**

##### *3.1.1 Marco Geológico Regional*

###### Aspectos Generales

El área de Momotombo se ubica en el sector SO de Nicaragua, en la parte meridional del Bloque Chortis, que es una unidad de corteza principalmente continental perteneciente a la Placa Caribe. Más precisamente, el área se ubica al interior de la Depresión Nicaragüense, la cual es una amplia zona de subsidencia desarrollada paralelamente a la costa del Pacífico y a la Fosa Mesoamericana (ver **Figura VII-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 está representada en el área por la Cordillera de los Marrabios, cuya extremidad SE está representada por el complejo volcánico de Momotombo. La Depresión está flanqueada hacia el SO por la planicie y relieves costeros del Pacífico y hacia el NE por al Altiplano del Interior, donde afloran formaciones volcánicas y sedimentarias del Terciario (ver **Figura VII-3.2**).

La Zona Costera del Pacífico presenta una secuencia continua de sedimentos neríticos, en mayoría volcano-clásticos, que se depositaron entre el Cretácico Tardío y el Mioceno Superior. La 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 carbonatadas y sedimentos clásticos del Plioceno (Formación El Salto) y por las vulcanitas Plio-Cuaternarias de la Formación Las Sierras. En el sector NO de la Zona Costera del Pacífico afloran también delgadas capas ignimbríticas y secuencias de lavas



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

conocidas como Grupo Tamarindo, el cual es heterópico con la Formación El Fraile y es correlacionado con las porciones inferiores del Grupo Coyol, que aflora más ampliamente en el Altiplano del Interior (McBirney *et al.*, 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 diversa 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 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 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



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

- 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 Grupo Coyol.
- Fase del Plioceno - Pleistoceno Inferior. A partir del Plioceno ocurrieron marcados cambios en el patrón general de esfuerzos tectónicos, que resultaron en la formación de estructuras de extensión de rumbo NE-SO, acompañadas por una migración del vulcanismo 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 (1992) como un semi-graben limitado en su lado SO 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, caracterizado por una componente principal de compresión N-S, la cual genera fallas de corrimiento lateral NE-SO y NO-SE y fallas normales de rumbo N-S. Las estructuras más evidentes son depresiones tectónicas de tipo “pull-apart”, la más importante de las cuales se ubica en correspondencia de la ciudad capital y es conocida como “Graben de Managua”.

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



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

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 Sur 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 la zona 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 transversal a la Depresión Nicaragüense (Elming *et al.*, 1997) evidencian un gradual aumento de espesor de la corteza desplazándose desde la costa del Pacífico hacia el Este. Además existe una sustancial diferencia en la composición litosférica al NE y SO de la Depresión Nicaragüense, con una corteza de tipo continental debajo del Altiplano del Interior y una situación geotectónica de tipo “accreted terrain” (terreno aumentado por yuxtaposición) en la Zona Pacífica. La Depresión Nicaragüense escondería por lo tanto el contacto entre dos importantes unidades de la corteza. Los mismos estudios geofísicos han evidenciado un adelgazamiento de la corteza en correspondencia de la Depresión, asociado con la presencia de una zona conductiva anómala, que ha sido interpretada como una capa de material derretido o un conjunto de cámaras magmáticas. Esta se ubica 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 de Nicaragua e incluye una cadena volcánica cuaternaria que se extiende en sentido NO-SE desde el Volcán



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

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 VII-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 la “Cuenca Sandino”, la cual tiene características de una cuenca de tipo avan-arco (“Fore-arc”). Se supone que la transición sea de tipo heterópico con interdigitaciones de productos volcánicos y sedimentarios y con graduales cambios laterales de facies, como por otro lado se puede observar en el sector NO de Nicaragua, donde la transición entre ambiente marino y continental está representada por las Formaciones Tamarindo y El Fraile (van Wyk de Vries, 1990, 1993).

No existen muchas informaciones directas acerca de la estratigrafía al interior de la Depresión. Datos geofísicos (Elming *et al.*, 1997) evidencian la presencia de un basamento resistivo y con elevada densidad alrededor de los 2 km de profundidad, cubiertos 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 y muy cerca del área El Hoyo - Monte Galán.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

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 reabajado 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 VII-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 estructura 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 *et al.*, 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 *et al.*, 1965; Weyl, 1980), o por un originario sistema de fallas normales que en tiempos recientes ha evolucionado a un sistema de fallas con movimiento lateral derecho (Cruden, 1989). Otros autores (Weinberg, 1992) han interpretado la Depresión como un semi-graben delimitado en su margen SO por un sistema de fallas normales, entre las cuales la Falla de Mateare sería el elemento más significativo. A raíz de un análisis global de la



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

situación geológica y estructural regional, van Wyk de Vries (1993) observa 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 a procesos de ajuste isostático 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 en complejos volcánicos. Estos representan unidades morfológicas distintas y generalmente separadas entre sí por sectores con ausencia o presencia muy reducida de actividad volcánica. La causa de estas agrupaciones no ha sido todavía determinada, pero es probable que dependa de condiciones estructurales profundas que originaron una génesis no uniforme y diferentes modalidades de subida de los magmas.

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

- Escudos-volcánicos. Son generalmente ubicados en proximidad de zonas de fallas 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 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



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

complejo, mientras que los productos piroclásticos son esencialmente limitados a la zona alrededor de los cráteres.

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

Stoiber *et al.* (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



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Volcán Momotombito, en el Lago de Managua, (incluyendo al complejo volcánico de Momotombo), y el otro, definido Nicaragua Oriental, que se extiende por 215 km desde la zona de Managua hasta el Volcán Maderas, en el Lago de Nicaragua. La zona de contacto entre estos dos segmentos se caracteriza por una importante estructura tectónica de rumbo N-S, transversal al eje volcánico y asociada con volcanismo fisural explosivo. En correspondencia de esta zona de contacto se observa también un desplazamiento lateral del eje volcánico de 15-20 km.

El segmento de Nicaragua Occidental (que incluye el área de Momotombo), con respecto a lo observado en los segmentos adyacentes de El Salvador y Guatemala, se caracteriza por una mayor inclinación del plano de subducción el cual, debajo de Nicaragua Occidental, tiene un ángulo de  $65^\circ$ , contra los  $55^\circ$  del segmento salvadoreño y los  $40^\circ$  de los segmentos guatemaltecos. En el segmento de Nicaragua Oriental la inclinación del plano de subducción aumenta ulteriormente alcanzando los  $75^\circ$ . Según Carr (1984), los segmentos nicaragüenses parecen además coincidir con una corteza de unos 30 km de espesor (20 km según estudios geofísicos más recientes de Elming *et al.*, 1997), que representa el valor mínimo en América Central, donde se observa un espesor de 38 km debajo del arco de Costa Rica y mayor de 40 km debajo 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 calco-alcalino. 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



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

interacción con la corteza y con porciones de sedimentos marinos involucrados en la subducción. La influencia de sedimentos marinos pelágicos en el magma está también reflejada por el contenido de  $^{10}\text{Be}$ , 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 el ámbito de 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 interpretado los basaltos con alto contenido de Ti como generados por fusión de porciones del manto que incluyen venas enriquecidas que se formaron durante anteriores procesos magmáticos, en condiciones de retroarco. 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , tienen bajo contenido en MgO y presentan secuencias de diferenciación de tipo calco-



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

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

Todo esto evidencia que los productos de los volcanes a 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 estratos-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 ambos casos, por lo tanto, las diferencias se deben a procesos que ocurren en la corteza y que van Wyk de Vries (1993) atribuye a las diferentes situaciones estructurales que caracterizan los volcanes a escudo y los estratos-volcanes. Las importantes estructuras tectónicas que ocurren en correspondencia de los escudos-volcánicos facilitarían la subida del magma desde la zona de origen hacia la superficie, limitando el desarrollo de procesos de diferenciación, mientras que la corteza menos fracturada que se encuentra debajo de los estrato-volcanes representaría condiciones más difíciles 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*



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

El macizo volcánico de Momotombo se ubica en el sector central de la Depresión Nicaragüense, y constituye la extremidad SE de la Cordillera de los Marrabios. El cono del Volcán Momotombo creció sobre formaciones lávicas más antiguas, que afloran principalmente en los relieves de la Loma La Guatusa, ubicados inmediatamente al SE y al E del volcán Momotombo, y parcialmente sobre el edificio volcánico de la Caldera de Galán que se encuentra en la base de su ladera NO del volcán. Alrededor del volcán, ya sea en la zona al N como en la región al SO del mismo, aflora ampliamente una formación de tobas y pómez generalmente conocida como Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo (van Wyk de Vries, 1993). En base a los datos de geología del subsuelo en el campo geotérmico de Momotombo, este se extiende por debajo de las lavas de la Loma a Guatusa, por lo tanto representa la formación más antigua aflorante en la zona.

La situación geológica local se presenta en la **Figura VII-3.6**, que es un bosquejo geológico general del área. Los principales aspectos morfológicos, vulcanológicos y estructurales del área se pueden observar también en la imagen Landsat de la **Figura VII-1.2**. Las principales unidades geo-vulcanológicas presentes en el área se describen a continuación, a partir de la más joven hasta la más antigua, considerando también la situación estratigráfica encontrada en los pozos del campo geotérmico de Momotombo (ver la **Figura VII-3.5**), la cual ha sido ampliamente estudiada por varios autores (OLADE, 1982; DAL-ELC-ENEL, 1995; DAL, 1997).

### *El Volcán Momotombo*

El Momotombo es un estrato-volcán que abarca un área de aproximadamente 65 km<sup>2</sup> y se eleva hasta 1,297 m s.n.m. En su cumbre presenta un pequeño cráter, abierto hacia el NE, el cual mantiene una significativa actividad fumarólica, con temperaturas superiores a los 700°C (Smithsonian Institution, 1999). En su ladera meridional, a una elevación de aproximadamente 900 m s.n.m., se observa el borde de una estructura cratérica anterior, casi totalmente cubierta por el cono sucesivo que conforma la actual cumbre del volcán. En las laderas del edificio



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

volcánico, especialmente en el sector meridional, se reconocen porciones de un cono anterior, que se relaciona con el viejo cráter anteriormente mencionado, las cuales presentan una morfología un poco más accidentada y son cubiertas por una delgada capa de tefra procedente de la actividad más reciente del volcán. El cono más viejo ha sido generalmente denominado Momotombo Viejo (DAL-ELC-ENEL, 1995).

Las evidencias morfológicas apreciables en las laderas del volcán parecen indicar que el cráter del Momotombo Viejo es una estructura bastante amplia, de aproximadamente 1.5-2 km de diámetro, así que se asume pueda haber sido generado por alguna erupción explosiva. No se conoce, sin embargo, con suficiente detalle la estratigrafía del edificio para establecer con precisión la evolución de la actividad volcánica.

La composición del edificio volcánico es principalmente lávica con composición variable entre basáltica y andesítico-basáltica, con intercalaciones de tefra, brechas volcánicas, material tobáceo y epiclástico de la misma composición. Varias coladas lávicas se extienden hasta la base del edificio volcánico en todas sus laderas, pero las más recientes se derramaron en su sector N y NO. Entre estas se encuentran el flujo de 1886, que entró ampliamente en la caldera de Galán, y el flujo de 1905 que cubrió un amplio sector en la base de la ladera septentrional del volcán (Wheelock *et al.*, 2000). Estos flujos son evidentes en la imagen Landsat de la **Figura VII-1.2**.

### *La Loma La Guatusa*

Al SE y al E del cono de Momotombo se encuentran unos relieves principalmente constituidos por lavas andesíticas y subordinadamente andesítico-basálticas y dacíticas (DAL-ELC-ENEL, 1995) que alcanzan su mayor elevación en la Loma La Guatusa (445 m s.n.m.) Las evidencias morfológicas indican que esta unidad (que incluye la Loma la Guatusa) constituye el basamento



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

sobre el cual creció sucesivamente el edificio del Volcán Momotombo, el cual la cubrió ampliamente con sus productos más recientes. La morfología de la Loma La Guatusa se caracteriza por una marcada erosión y deformación por fallas, lo que indica una edad relativamente antigua. La datación radiométrica con el método K/Ar de tres muestras de lava de la Loma La Guatusa ha proporcionado edades variable entre 0.6 y 0.7 Ma (DAL *et al.*, 1995).

#### *El Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo*

Al NE y al SO de la extremidad meridional de la Cordillera de los Marrabios, que incluye los complejos volcánicos de El Hoyo y Momotombo, aflora un amplio “plateau” constituido por tobas y depósitos de pómez, generalmente conocido como “Toba de Malpaisillo” (OLADE, 1981) o “Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo” (van Wyk de Vries, 1993). Este se extiende por un radio de unos 20-25 km, ocupando todo el ancho de la Depresión Nicaragüense. Dicho escudo está asociado con una serie de estructuras caldéricas, más o menos conservadas, que aparecen dispuestas según un alineamiento aproximadamente N-S, que cruza el eje de la Cordillera de los Marrabios entre los complejos volcánicos de El Hoyo y de Momotombo (ver **Figura VII-3.7**).

La presencia de una caldera de grandes dimensiones se infiere en la planicie inmediatamente al NE del Volcán El Hoyo, donde aparece una amplia depresión circular (10-11 km de diámetro) rodeada por relieves suaves de tobas pomáceas, la cual es generalmente conocida como Caldera de Malpaisillo. Otros indicios de estructuras caldéricas se observan en el margen oriental de la estrecha planicie que separa el complejo de El Hoyo desde aquel de Momotombo, los cuales han sido denominados Caldera de San Juan (OLADE, 1981) o Caldera de San Fernando (van Wyk de Vries, 1993; **Figura VII-3.7**). Un poco más al S se encuentra la Caldera de Galán, la cual es una estructura muy bien conservada y coincidente con el eje volcánico cuaternario. Más al S todavía,



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

en la planicie al N de Puerto Momotombo, se observa una forma circular que podría reflejar la presencia de alguna estructura caldérica sumergida, y van Wyk de Vries (1993) sugirió que otras estructuras podrían encontrarse debajo del Lago de Managua.

Los productos del Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo yacen debajo de los volcanes de la Cordillera de los Marrabios, pero en la zona San Juan-Galán parece que la actividad ignimbrítica tuvo reactivaciones sucesivas y los productos más recientes se intercalaron con las secuencias de la cordillera. En el sector inmediatamente al N de la Caldera de Malpaisillo los productos ignimbríticos cubren la base de edificios volcánicos que son considerados del Plioceno Tardío o del Pleistoceno (van Wyk de Vries, 1993), así que la actividad del Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo parece haber ocurrido esencialmente durante el Cuaternario.

En el Campo Geotérmico de Momotombo, los productos del Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo se encuentran debajo de las secuencias lávicas de la Loma La Guatusa, las cual tiene una edad en el rango 0.6-0.7 Ma (DAL *et al.*, 1995). Desde el punto de vista estratigráfico, el Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo puede ser correlacionado con la Formación Las Sierras, o mejor con el análogo escudo volcánico de Las Sierras-Chiltepe que se extiende más al S, en la Zona de Managua.

### *Estratigrafía del Subsuelo*

La perforación en el campo geotérmico de Momotombo ha permitido conocer la secuencia estratigráfica en el subsuelo hasta profundidades de 2,200-2,500 m. DAL *et al.* (1995) y DAL (1977) efectuaron los estudios más recientes y detallados sobre las formaciones encontradas en el subsuelo, estableciendo también correlaciones con la situación estratigráfica regional (ver **Figura VII-3.5**). El significado regional de la situación estratigráfica encontrada en el subsuelo del campo geotérmico de Momotombo ya ha sido discutido en la anterior sección 3.1.1.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Los productos correspondientes a la actividad volcánica cuaternaria de la Cordillera de los Marrabios, incluyendo al Volcán Momotombo y a los subyacentes edificios de la Loma La Guatusa y de Caldera de Galán, se extienden hasta aproximadamente los 250 m b.n.m., con secuencias de lavas andesítico-basálticas y andesíticas intercaladas con tefra, material epiclástico y raras tobas. Por debajo, se encuentra una secuencia principalmente constituida por tobas y material tobáceo retrabajado, con espesor variable entre 340 y 600 m, la cual ha sido correlacionada con el Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo y la Formación Las Sierras. Luego siguen depósitos clásticos arenosos y conglomeráticos, con intercalaciones de lavas andesítico-basálticas y escasas andesitas, los cuales han sido correlacionados con la Formación El Salto, de edad plio-pleistocénica.

Entre los 600-850 m b.n.m. y los 1,500-1,700 m b.n.m. se presenta una unidad completamente distinta. En la parte superior aparecen tobas heterogéneas y cineríticas finas, intercaladas con lavas andesítico-basálticas, andesíticas y andesítico-dacíticas y luego sigue una secuencia de sedimentos vulcanoclásticos (lutitas, areniscas y brechas) con escasas intercalaciones de tobas finas y de lavas. Esta unidad ha sido correlacionada con la Formación Coyol superior, del Plioceno.

Por debajo de los 1,500-1,700 m b.n.m. se presenta un grueso paquete (>500 m de espesor) formado por tobas finas masivas de tipo ignimbrítico, con algunas intercalaciones de sedimentos vulcanoclásticos arenosos y lutíticos. Sus características son similares al Grupo Tamarindo y a la porción superior del Grupo Coyol Inferior, unidades éstas atribuidas al Mioceno (ver sección 3.1.1 del presente volumen). Los pozos más profundos superaron también esta formación ignimbrítica, encontrando a profundidades mayores de 2,000 m b.n.m. secuencias sedimentarias



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

constituidas por areniscas, lutitas fosilíferas y tufitas que han sido correlacionadas con las Formaciones El Fraile y Masachapa de edad Mioceno Inferior y Medio.

### *Marco Estructural*

En todo el macizo de Momotombo, la abundante extensión de productos piroclásticos y lávicos muy recientes cubre o “suaviza” muchas de las evidencias morfológicas de las dislocaciones tectónicas, las cuales resaltan principalmente en las porciones más viejas del complejo volcánico, como por ejemplo en la Loma La Guatusa y en la ladera meridional del Momotombo. En este sector se identifica un grupo de fallas normales de rumbo aproximadamente N-S, las cuales representan los elementos tectónicos más evidentes en toda el área (**Figura VII-3.6**).

En la zona del campo geotérmico de Momotombo se identifica también una marcada falla y algunos otros lineamientos paralelos de orientación NO-SE los cuales parecen ser parte de un elemento tectónico más extenso que corta abruptamente el edificio de la Loma La Guatusa hacia el SO y corre a lo largo de toda la base SO del edificio volcánico de Momotombo. Este sistema de falla controla el borde del Lago de Managua y representa el margen NE de una estructura hundida generalmente conocida como Graben de Puerto Momotombo, la cual es ocupada por un brazo del Lago de Managua y por la colindante planicie de Puerto Momotombo. Otros lineamientos tectónicos presentes en el área tienen orientación NE-SO o ENE-OSO. (**Figura VII-3.6**)

### 3.2 Actividad Volcánica

Como ya mencionado en la sección anterior, la actividad volcánica en el área de Momotombo se desarrolló en el período cuaternario y sus productos son representados por tres edificios principales, que son la Caldera de Monte Galán, la Loma La Guatusa y el Volcán Momotombo,



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

este último todavía activo. El edificio de la caldera de Galán y La Loma La Guatusa constituyen la base sobre la cual se formó sucesivamente el Volcán Momotombo, aparentemente pasando por una primera etapa (Momotombo Viejo) culminada con la formación de un amplio cráter, sobre el cual creció sucesivamente el cono que está todavía en actividad.

Las lavas que afloran en la Loma La Guatusa y en las paredes internas de la caldera de Galán han sido datadas por DAL *et al.* (1995) obteniendo valores consistentes en el rango 0.6-0.8 M, edad ésta que constituye el límite inferior para la formación del sucesivo edificio del Volcán Momotombo. Se observa, sin embargo, que los aspectos morfológicos generales del Momotombo atestiguan una edad mucho más reciente y, posiblemente, todo el edificio volcánico puede haberse formado en un período inferior a los 50,000 años.

La edad de la Caldera de Galán es también bastante reciente, como demostrado por la buena conservación del borde caldérico (van Wyk de Vries, 1993, reporta una edad de 50,000 años), y la datación de una muestra de basalto-andesítico proveniente del borde SO de la Caldera en unos 16,000 años (ver Anexo B del presente Volumen, muestra VM-1). Se asume que el hundimiento de la caldera haya ocurrido a raíz de alguna erupción explosiva y autores anteriores interpretaron la existencia de una gran cámara magmática a profundidad máxima de 8 km debajo de la Caldera de Galán (OLADE, 1982). La actividad volcánica del edificio de Galán ha sido, sin embargo, poco investigada y se necesitan ulteriores estudios para aclarar algunos importantes aspectos de su evolución vulcanológica, como se describe en el Volumen VI del Estudio Plan Maestro Geotérmico, al cual se hace referencia para ulteriores informaciones.

El viejo edificio volcánico que aflora en la Loma la Guatusa parece constituido esencialmente por productos lávicos de composición variable entre andesítica y basáltica, pero DAL *et al.* (1995) reportó también la presencia de algunas porciones constituidas por lavas dacíticas. Buena



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

parte del originario edificio volcánico está cubierto por el Volcán Momotombo, por lo tanto se conoce muy poco de su actividad, aunque su morfología general y su composición litológica parecen sugerir que se trató de un escudo-volcánico.

El Volcán Momotombo es un típico estrato-cono compuesto por coladas lávicas andesítico-basálticas y basálticas intercaladas con escorias, tefra y depósitos epiclásticos. La actividad parece haber sido principalmente de tipo estromboliano con emisión de coladas de moderadas extensiones, que generalmente se han acumulado en las laderas y en la base del edificio. Algunas de las erupciones han sido, sin embargo muy violentas, como la que generó el amplio cráter del Momotombo Viejo, que todavía se reconoce en parte en el flanco S y SO del edificio a elevaciones variables entre los 600 y 900 m s.n.m. Debido al efecto de los vientos predominantes desde el E, los productos piroclásticos recientes (cenizas y lapilli) del Momotombo cubren amplios sectores al occidente del volcán, encontrándose en toda la planicie de Puerto Momotombo.

El Volcán Momotombo ha tenido una intensa actividad en tiempos históricos y, según los datos existentes, ha tenido erupciones o período de marcada actividad al interior del cráter en los años 1524, 1578, 1605, 1609, 1736, 1764, 1849, 1852, 1854, 1858, 1870, 1878, 1882, 1886, 1902 y 1905, 1912, 1918 (Mooser *et al.*, 1958; Decker, 1999; Wheelock *et al.*, 2000). La actividad parece haber sido generalmente caracterizada por explosiones de moderada intensidad, asociadas con fuertes sismos y con emisión de columnas de cenizas y lapilli, cuyos productos han ampliamente afectado la región al occidente del volcán, alcanzando a menudo la ciudad de León. En 1886 y en 1905 el volcán produjo dos amplias coladas lávicas que se derramaron en la ladera NO y N del volcán, la primera entrando hasta el fondo de la caldera de Galán y la segunda extendiéndose ampliamente en la base septentrional del edificio. La actividades sucesivas a 1905 han sido de muy limitada intensidad con pequeñas columnas de humo y cenizas, pero el



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

volcán ha continuamente mantenido una intensa actividad fumarólica en el cráter, donde las temperaturas han recientemente superado los 600-700°C (Smithsonian Institution, 1999).

### 3.3 Hidrología

El Lago de Managua representa el principal cuerpo hídrico presente en el área y rodea todo el lado meridional y oriental del macizo de Momotombo. En la planicie al NE del macizo volcánico, a una distancia de 10-15 km del Volcán Momotombo, corre el Río Sinecapa, que procede del Altiplano del Interior, es de régimen permanente y representa una de las principales fuentes de alimentación superficial del Lago de Managua. Unos 6-7 km al O del centro del macizo volcánico, en la planicie de Puerto Momotombo, se encuentra el Río Obraje que es el principal eje de drenaje superficial del valle entre el Volcán El Hoyo y la Caldera de Galán y desemboca en el Lago de Managua, en correspondencia de la Ensenada de El Boquerón (San Cayetano). La porción inferior de este río, por un tramo de unos 5 km entre la Loma la Chistata y la desembocadura en el lago, tiene régimen permanente debido al continuo aporte de agua de un grupo de manantiales termales y al afloramiento del acuífero freático en la zona El Obraje - La California.

El Lago de Managua representa el segundo cuerpo hídrico más importante de Nicaragua (después del Lago de Nicaragua). Tiene una superficie de 1,040 km<sup>2</sup> y una cuenca hidrográfica de 4,800 km<sup>2</sup>. La profundidad máxima, con referencia a su nivel promedio de 39 m s.n.m., es de 28 m, pero la mayoría de la cuenca lacustre, en particular toda la zona cercana al área bajo examen, tiene profundidad menor, entre los 5 y 10 m.

El lago es alimentado por algunos ríos y por los acuíferos freáticos que lo rodean ya que este actúa como zona de descarga regional para el flujo subterráneo en todas las direcciones (Krásný *et al.*, 1998). Su descarga superficial es hacia el Lago de Nicaragua, a través del Río Tipitapa.



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

El desagüe por el Río Tipitapa es sin embargo irregular y ocurre solamente después de precipitaciones extremadamente copiosas, como en el reciente caso del Huracán Mitch, en 1998.

La anterior descarga superficial a través del Río Tipitapa ocurrió en 1955. El flujo subterráneo es otra componente de descarga del Lago de Managua, que ocurre principalmente en correspondencia del Río Tipitapa, en cuanto este representa también el eje de descarga del acuífero regional (Krásný *et al.*, 1998).

Resulta por lo tanto que el Lago de Managua tiende a caracterizarse como una cuenca cerrada, con un balance hidrológico muy delicado y con una elevada componente de evaporación. A raíz de todo esto, el lago presenta significativas variaciones de nivel, dependiendo de las condiciones climáticas y de la ocurrencia de precipitaciones anómalas. En los últimos 70 años (INETER, 1998; Krásný *et al.*, 1998) el nivel fluctuó generalmente entre los 36 y los 39 m s.n.m. y se registraron esporádicos eventos con subidas hasta los 43-44 m s.n.m., como ocurrió en 1998-1999 a raíz del Huracán Mitch.

Desde el punto de vista hidrogeológico general, y según la clasificación regional propuesta por Krásný *et al.* (1998), el parteaguas de la cordillera de Los Marrabios separa dos sistemas hidrogeológicos distintos, respectivamente denominados Sistema del Acuífero Noreste y Sistema del Acuífero Sudoeste. El primer sistema comprende las planicies al N del Lago de Managua, del río Tipitapa y del Lago de Nicaragua. El Sistema del Acuífero Sudoeste se extiende entre el Lago de Nicaragua y las planicies de Chinandega, quedando incluidos en él la planicie de La Paz Centro y el Lago de Managua.

El Sistema del Acuífero Noreste, al cual pertenece todo el sector septentrional del área de Momotombo, recibe, además de la recarga natural por las precipitaciones en la cuenca, el aporte de arroyos y ríos (como el Sinecapa) que entran a la planicie desde las montañas situadas al NE.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

La parte del Sistema del Acuífero Sudoeste, al cual pertenece la porción meridional del edificio de Momotombo, es ulteriormente denominada Subsistema Mateare-Puerto Momotombo y corresponde a una cuenca estrecha que se extiende entre la parte SO del Lago de Managua y el flanco SO del complejo volcánico de Momotombo - Galán.

Todos estos sistemas hidrogeológicos con caracterizados por formaciones litológicas (volcánicas y aluvionales recientes) muy permeables, las cuales favorecen la infiltración de las precipitaciones en el subsuelo y limitan notablemente el corrimiento superficial. Las líneas equipotenciales de flujo subterráneo son generalmente dirigidas hacia el Lago de Managua, que representa la zona de descarga de todos los acuíferos. No hay mucha información sobre el área específica de Momotombo, debido a que la zona es muy poco poblada y, por ende, hay muy pocos pozos de referencia para conocer las condiciones hidrológicas del subsuelo. Los datos regionales, derivados de los estudios de Krásný *et al.* (1998) y de OLADE (1982), indican en general que el complejo volcánico de Momotombo actúa como un área de recarga hidráulica del Lago de Managua de los acuíferos someros existentes en las planicies aledañas, y que el flujo subterráneo es radial con respecto a la estructura del relieve volcánico.

### 3.4 Riesgos Geológicos

El Momotombo es un volcán activo y ha tenido importantes erupciones en tiempos históricos, por lo tanto representa una amenaza significativa para toda el área aledaña. La zona, análogamente a todo la región del Pacífico de Nicaragua, presenta además riesgos sísmicos relacionado ya sea con las estructuras tectónica regionales y locales como con la misma actividad volcánica. Otros riesgos en el área son relacionados con la inestabilidad de las empinadas laderas del cono volcánico y con la presencia de sectores colindantes con el Lago de Managua, los cuales son sujetos a inundaciones.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

No existen muchos estudios sobre los riesgos naturales en el área y, en particular, no se conocen estudios detallados sobre el riesgo volcánico, que constituye probablemente la amenaza natural de mayor consideración. INETER en 1995 publicó un mapa de amenaza volcánica de la República de Nicaragua, a escala 1:400,000, pero este clasifica solamente los rasgos generales de la actividad volcánica en la cordillera cuaternaria y no proporciona información de mucho detalle para el área bajo examen. Durante la exploración del campo geotérmico de Momotombo realizada por las Naciones Unidas en los años 1970, fue efectuado un estudio sobre el riesgo volcánico, pero el informe correspondiente (Sigurgeirsson, 1975) no fue encontrado durante la ejecución de este estudio. Por lo que se refiere al riesgo sísmico, existe un estudio realizado en 1978 por la compañía Dames & Moore, para el ente eléctrico de Nicaragua (ENALUF en ese entonces), durante la fase inicial del desarrollo comercial del campo geotérmico de Momotombo, el cual constituye una interesante referencia y fuente de información.

A continuación se reportan los aspectos más importantes acerca de las principales clases de riesgos naturales existentes en el área, interpretados sobre la base de la información existente y de observaciones adicionales efectuadas durante las investigaciones del Estudio Plan Maestro.

### *3.4.1 Riesgo Sísmico*

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



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

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

De hecho la zona de Momotombo ha sido nota históricamente por los sismos que a principios de 1600 destruyeron la ciudad de León, en ese entonces ubicada en las cercanías del actual Puerto Momotombo. Además, toda la zona comprendida entre el Volcán El Hoyo y el Volcán Momotombo resulta ser un sector particularmente activo, en el cual se registran a menudo crisis sísmicas de moderada y baja intensidad (Wheelock *et al.*, 2000).

Dames & Moore (1978) identificó e utilizó en la evaluación del riesgo sísmico para la planta geotérmica de Momotombo, estructuras tectónicas regionales y locales ubicados en un radio de hasta 100 km desde el sitio de la planta. Estas estructuras incluyen la zona de subducción del margen continental del Pacífico, las principales fallas en la Depresión Nicaragüense, y las fallas locales en la zona de Momotombo. Para ellas fue estimado un potencial de generación de sismos que varían desde magnitud Richter 7.5 a 8.5, en el caso de la zona de subducción, a magnitud 6.25 para estructuras locales de limitada extensión. Al final estimó que en la zona de Momotombo y en un tiempo de 50 años, la aceleración máxima esperada del subsuelo es de 0.3-0.4 g.

Cabe en fin recordar que la presencia de por lo menos tres volcanes activos en la zona (Momotombo, El Hoyo y Cerro Negro) puede ser también fuente de movimientos telúricos relacionados con actividad eruptiva. Se observa, en este respecto, que los sismos que han destruido y causado el abandono de León Viejo en 1609 fueron asociados con un período de fuerte actividad del Volcán Momotombo (Wheelock *et al.*, 2000).



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### 3.4.2 Riesgo Volcánico

El Momotombo es un volcán activo que mantiene una constante actividad fumarólica de temperaturas que pueden exceder los 750°C en su cráter (Smithsonian Institution, 1999). La última erupción importante fue en 1905, con emisión de una gran colada lávica, que ocupó buena parte de su ladera septentrional; luego el volcán mantuvo una fuerte actividad fumarólica en su cumbre y ocurrieron varios episodios de emisión de humo y cenizas acompañados por actividad sísmica (en 1912, 1913, 1918, 1919 y 1955; Wheelock *et al.*, 2000; Mooser *et al.*, 1958).

Considerando la evolución vulcanológica general y los antecedentes históricos del volcán, parece que el principal riesgo proviene de erupciones moderadamente explosivas y efusivas. La caída de cenizas y lapilli, que fue a menudo documentada durante los últimos 5 siglos, representa un riesgo de cierta importancia, sobre todo en los sectores a occidente del cráter, donde los vientos predominantes desde el E tienden a acumular la mayoría de los productos piroclásticos.

Debido a la actual forma del cráter, que presenta un alto baluarte en su sector O y SO y está completamente abierto hacia el N, la zona más expuesta a los efectos de coladas lávicas parece ser la ladera septentrional del volcán. Se observa, sin embargo, que el volcán ha demostrado tener cierta propensión a erupciones moderadamente explosivas, las cuales podrían causar variaciones drásticas en la forma del cráter o originar otros puntos de emisión, creando así las condiciones para que coladas lávicas puedan derramarse también en otros sectores del edificio volcánico.

Se recuerda, en fin, que en las cercanías de Momotombo existe también el Volcán el Hoyo, el cual es activo y representa una amenaza volcánica con cierto potencial de erupciones explosivas, las cuales afectarían también al área de Momotombo y a su camino de acceso (ver Volumen VI de este informe). Además hay que considerar también la Caldera de Galán, la cual, aunque parezca



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

ser un sistema apagado y su proceso de formación no resulta completamente aclarado, siempre representa las consecuencias de alguna erupción fuertemente explosiva ocurrida en tiempos relativamente recientes (50,000 años según van Wyk de Vries, 1993).

### *3.4.3 Riesgo de Derrumbe*

El cono del Volcán Momotombo presenta flancos empinados, con muy poca vegetación y cubiertos por material suelto que puede deslizarse fácilmente, especialmente en correspondencia de fuertes lluvias o movimientos sísmicos. En particular, se llama la atención a la presencia, en el sector O y SO del cono, de espesas acumulaciones de cenizas y lapilli, las cuales durante fuertes lluvias pueden fácilmente originar lahares o flujos de lodo.

Otra situación de cierto riesgo se reporta en la ladera meridional del Volcán Momotombo y de la Loma la Guatusa, donde existen pendientes escarpadas e inestables debido al fracturamiento tectónico. La situación se pone inclusive más delicada en la zona del campo geotérmico de Momotombo, donde la presencia de amplias zonas alteradas por procesos hidrotermales constituye un ulterior factor que puede facilitar el deslizamiento y, en efecto, en la zona oriental del campo geotérmico existen depósitos de material caótico derivado de antiguos derrumbes. Esta situación debe de ser tomada en seria consideración, ya que la experiencia indica que la inestabilidad generada por procesos de alteración hidrotermal puede a veces evolucionar en deslizamientos de dimensiones catastróficas.

### *3.4.4 Riesgo de Inundaciones y Aluviones*

Buena parte del área colinda con el Lago de Managua, amplios sectores de la planicie de Puerto Momotombo, y partes de la planicie inmediatamente al N del volcán presentan elevaciones de pocos metros superiores al nivel medio del lago (39 m s.n.m) y por lo tanto son fuertemente



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

sujetos a fenómenos de inundación. La planicie al N está además surcada por el Río Sinecapa, que tiene una amplia cuenca de alimentación en el Altiplano del Interior (**Figura VII-3.2**).

Los registros de los últimos 70 años indican que el nivel del lago presentó en varias ocasiones crecimientos de nivel relacionados con fenómenos meteorológicos excepcionales y se registraron subidas hasta los 43-44 m s.n.m., como ocurrió también en 1998-1999 a raíz del Huracán Mitch y del sucesivo invierno de copiosas lluvias (INETER, 1998). Este fenómeno provocó la inundación de amplios sectores alrededor del Volcán Momotombo, incluyendo también las zonas más bajas del campo geotérmico.

En todo el relieve volcánico no existen cursos de agua superficiales y el drenaje ocurre principalmente en subsuelo. En ocasión de las fuertes precipitaciones, como generalmente ocurre durante los varios huracanes y tormentas tropicales que afectan Nicaragua durante la estación invernal, se activa también un corrimiento de agua en superficie, el cual genera significativos fenómenos de erosión y consiguiente transporte de material clástico desde las laderas volcánicas hacia el lago y las planicies adyacentes. Es común que las corrientes de agua, al llegar en las porciones inferiores de las laderas, desborden de los limitados cauces inundando y depositando arena y lodo, lo que constituye otro riesgo a ser tomado en consideración, especialmente en la construcción de caminos y otras obras de ingeniería civil.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL**

### 4.1 Manifestaciones Termales

Con exclusión de las fumarolas volcánicas de alta temperatura existentes en el cráter del Momotombo, las únicas manifestaciones termales superficiales existentes en el área se ubican en la ladera meridional del volcán, a elevaciones variables entre aproximadamente 40 y 400 m s.n.m. Estas han sido generalmente conocidas como Fumarolas del Volcán Momotombo Sur (Texas Instruments, 1970) y ahora coinciden con la ubicación del campo geotérmico de Momotombo. Se trata del área termal más extensa y llamativa de todo Nicaragua e incluye fumarolas, zonas con intensa alteración hidrotermal, suelos calientes y manantiales termales.

La explotación comercial del campo geotérmico de Momotombo ha causado una marcada reducción y en algunos casos la extinción de las emisiones fumarólicas; también secó los manantiales termales originariamente presentes en esta zona. La ubicación y distribución de las manifestaciones termales presentes en el área se presenta en la **Figura VII-4.1.1**.

#### *4.1.1 Tipo, Localización y Extensión*

##### *Fumarolas del Cráter del Volcán Momotombo*

Al interior del cráter del Volcán Momotombo existe una intensa actividad fumarólica, distribuida alrededor de su ladera SO y, limitadamente, en su borde septentrional. Se trata de manifestaciones típicamente volcánicas con temperatura variable entre los 300°C y 750°C, o inclusive mayor en algunos casos (Smithsonian Institution, 1999). Estas fumarolas presentan variaciones temporales de intensidad y de temperatura relacionadas con procesos climáticos estacionales y procesos magmáticos.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### *Fumarolas del Volcán Momotombo Sur*

Como ya mencionado anteriormente, la explotación comercial del campo geotérmico de Momotombo ha causado una marcada reducción y en algunos casos la extinción de las emisiones fumarólicas y también secó los manantiales termales presentes en la base de la ladera meridional del Volcán Momotombo. Las infraestructuras del campo geotérmico (caminos, plataformas) cubren en varios puntos las originarias zonas alteradas, mientras que las obras de excavación y nivelación efectuadas en el área han, a veces, puesto en evidencia zonas alteradas inactivas que son cubiertas por depósitos de tefra inalterados. Las condiciones naturales (antes del desarrollo y explotación del campo geotérmico) de las manifestaciones termales en la zona Volcán Momotombo Sur, fueron estudiadas por Thigpen (Texas Instruments, 1970), al cual se hace ampliamente referencia en la descripción a continuación.

Las manifestaciones termales ocurrían en 5 diferentes zonas (ver **Figura VII-4.1.1**), con una superficie total de 0.75 km<sup>2</sup>, incluidas en un área de aproximadamente 2 km<sup>2</sup> que se extiende desde la orilla del Lago de Managua (39 m s.n.m.) hasta una elevación máxima de unos 400 m s.n.m. Las fumarolas, con temperaturas de hasta 100-101° C, eran en general de limitada intensidad, con emisión esparcida de vapor desde el suelo en correspondencia de áreas intensamente alteradas y, a menudo, con presencia de sublimados de azufre.

En la orilla del Lago de Managua, Thigpen identificó distintos puntos de descarga de agua termal, los principales ubicados en la porción más meridional del área, en correspondencia de la Punta Las Salinitas, con una temperatura de 100-101°C y un flujo total estimado en 375 lpm. Estas descargas termales son actualmente inactivas y estaban asociadas con modestos depósitos de sinter silíceo que son todavía reconocibles en el área. Otras descargas de agua termal, con



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

caudal muy limitado y a menudo de tipo estacional, fueron identificadas en varios puntos al NO de la Punta Las Salinitas, a lo largo de la orilla del lago.

### *Otros Indicios de Actividad Termal*

Fuera de las manifestaciones termales presentes en el cráter y el flanco S del Volcán Momotombo, no se tiene conocimiento de otras manifestaciones termales significativas en toda el área, si se excluyen el manantial de El Obraje y las fumarolas del Cerro Colorado, y suelos calientes adentro de la Caldera de Monte Galán, que son parte de la contigua área El Hoyo-Monte Galán (ver Volumen VI de este informe). Se observa, por otro lado, que toda la zona alrededor del Volcán Momotombo es prácticamente despoblada y casi no existen pozos de aprovechamiento hídrico que en muchas ocasiones ayudan en revelar la presencia de anomalías térmicas y/o químicas en el acuífero freático relacionadas con procesos hidrotermales. Uno de los pocos pozos existentes, reportado por Thigpen (Texas Instruments, 1970) en la localidad El Cardón, a orillas del Lago de Managua, unos 6 km al E del cráter del Volcán Momotombo, tiene una temperatura de 32° C.

California Energy Co. (1978) perforó algunos pozos de gradiente térmico en la planicie unos 5-10 km al NE del Volcán Momotombo (zona de El Papalonal) y en la base de la ladera SO del volcán. En la planicie aluvial de El Papalonal fueron perforados 5 pozos, con profundidad de 150 m, cubriendo un área de aproximadamente 25 km<sup>2</sup>. Las temperaturas máximas medidas variaron entre los 38°C y los 43°C aproximadamente y los gradientes térmicos calculados fueron entre los 67 y los 140°C/km, lo que indica la presencia de una moderada anomalía térmica. En la base de la ladera SO del Volcán Momotombo fueron perforados dos pozos con profundidad de 150 m, los cuales registraron temperaturas máximas de 35.5 y 39.9°C con un gradiente prácticamente isotérmico.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

#### 4.1.2 *Quimismo y Geotermometría*

Los aspectos químicos de las manifestaciones termales y de las aguas superficiales y subterráneas presentes en el área de Momotombo han sido esencialmente analizados sobre la base de la información existente, la cual es bastante abundante, aunque no siempre de buena calidad analítica y, a veces, con problemas de definición. Junto con estos datos han sido tomados en consideración también los datos químicos más representativos de los pozos de producción del campo geotérmico de Momotombo. Los detalles del estudio geoquímico son ampliamente reportados en el Anexo A del presente volumen, mientras que a continuación se presenta una síntesis de los aspectos más importantes, los cuales se resumen también en la **Figura VII-4.1.2**.

El yacimiento geotérmico de Momotombo contiene un agua con pH neutro, de tipo Na-Cl. El agua es típica de sistemas hidrotermales con temperatura moderadamente alta desarrollados en rocas volcánicas jóvenes. La explotación comercial del recurso ha inducido fenómenos de ebullición en el yacimiento y procesos de dilución del fluido geotérmico por mezcla con agua fría de procedencia somera, así que el rango de salinidad del agua producida por los pozos es muy variable. En muestras recolectadas al vertedero de los pozos (después de hervir en condiciones atmosféricas) el valor mínimo de Cl (cloruro) ha sido de aproximadamente 1,000 mg/l y el máximo ha sido de aproximadamente 4,200 mg/l, con valores ocasionales de hasta 5,000 mg/l. La alcalinidad, expresada como HCO<sub>3</sub> (bicarbonato), tiende a ser uniforme, alrededor de los 50 mg/l. El sulfato es más variable, con valores desde casi nulos hasta unos 250 mg/l, probablemente como resultado de procesos de enfriamiento, que permiten una mayor solubilidad de la anhidrita (sulfato de calcio, CaSO<sub>4</sub>), y/o oxidación del sulfuro de hidrógeno por el oxígeno disuelto en el agua de recarga somera y, posiblemente, en el agua de inyección.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Al inicio de la explotación comercial, en 1983, el yacimiento geotérmico contenía principalmente agua en su fase líquida, con una capa superior de vapor presente solamente a una elevación de unos -325 m s.n.m. Durante la explotación comercial la capa de vapor ha crecido y el fluido del yacimiento ha aumentado su salinidad y se ha vuelto muy heterogéneo, en respuesta a los procesos de ebullición e infiltración de agua fría y diluida.

La distribución de los datos químicos en una gráfica de entalpía - SiO<sub>2</sub> (sílice) indica que el fluido geotérmico profundo que asciende hacia el volumen explotado del yacimiento tiene una temperatura de unos 300°C y lleva aproximadamente 2,700 mg/l de Cl (ver Figura VII-A.3.1.2 en el Anexo A). La temperatura indicada es consistente con la mayoría de las mediciones realizadas en los pozos profundos del extremo occidental del campo geotérmico, pero se observa que en algunos pozos (como MT-4 y MT-43) fueron medidas temperaturas, en condiciones anteriores a la explotación, de hasta 325° - 330°C. En el ámbito del presente estudio no se dispuso de análisis químicos de la fase líquida de estos pozos más calientes, sin embargo la relación entalpía - SiO<sub>2</sub> parece indicar que el líquido con 325° - 330°C se enfría, hasta temperaturas de aproximadamente 300°C, antes de alimentar la mayoría de la zona explotada del yacimiento.

Los datos de isótopos estables disponibles (ENEL, 1998c) evidencian que la composición inicial del agua del yacimiento correspondió a aquella del agua meteórica local, la cual fue sucesivamente afectada por una variación de <sup>18</sup>O causada por reacciones agua-roca a alta temperatura. La máxima variación del <sup>18</sup>O, causada por reacciones agua-roca a alta temperatura es de + 4 ‰, mientras que la dilución máxima de esta agua por infiltración de agua meteórica resulta ser de aproximadamente un 25%.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Desde el inicio de la producción, el rango de composiciones de isótopos estables ha cambiado continuamente. El rango de valores del  $^{18}\text{O}$  se ha ampliado hasta alcanzar valores más altos y más bajos, y el deuterio ha cambiado generalmente hacia valores más bajos. Estas variaciones se explican con combinaciones de: a) ebullición y separación de vapor desde el líquido; b) mezcla adicional con agua meteórica de infiltración; c) reflujos hacia el sistema más profundo del agua de descarga acumulada en la zona de los manantiales, y; d) la posible mezcla con agua de infiltración del Lago de Managua.

Los geotermómetros químicos aplicados a las aguas del yacimiento dan resultados consistentes con las temperaturas medidas en los pozos. Las temperaturas obtenidas con los geotermómetros de la sílice cubren un amplio rango de valores, desde unos  $270^{\circ}\text{C}$  hasta  $140^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas proporcionadas por el geotermómetro Na-K-Ca (sodio-potasio-calcio), cubren el rango de  $236^{\circ}$  a  $287^{\circ}\text{C}$ .

La concentración de gases en el vapor de los pozos de producción de Momotombo ha estado típicamente en el rango 1 - 3 % en peso, mientras que la concentración de gases en las aguas profundas del yacimiento es solamente 0.1 % en peso aproximadamente. La composición del gas seco incluye un 93 a 98 % en volumen de  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono), 1.5 a 6.5 % en volumen de  $\text{H}_2\text{S}$  (sulfuro de hidrógeno) y trazas de otros componentes. Los análisis de gases disponibles no incluyen todas las especies menores, por lo tanto se pueden aplicar solamente unos pocos geotermómetros químicos, los cuales dan resultados generalmente consistentes con las temperaturas conocidas del yacimiento.

## 4.2 Investigaciones Geofísicas

### 4.2.1 *Tipo*



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

La información recopilada indica que en el área de Momotombo han sido realizadas campañas de investigación geofísica en 6 diferentes períodos entre 1970 y 1995. Estas investigaciones han sido parte de estudios a nivel de reconocimiento, pre-factibilidad y factibilidad. Los más recientes corresponden a estudios relacionados con la recuperación de la producción de vapor en el campo geotérmico. Todos los estudios realizados son resumidos en la Tabla VII-4.2.1.

Las investigaciones geofísicas incluyeron levantamientos gravimétricos y magnetométricos, e investigaciones geoelectricas con levantamientos dipolares (dipolo-dipolo), sondeos Schlumberger, electromagnéticos y audiomagnetotelúricos. En este informe el término “dipolo-dipolo” se refiere a dipolos axiales distribuidos a lo largo de una línea.

Las investigaciones gravimétricas fueron efectuadas por ELC-Electroconsult (1976) y por OLADE (1982). Las investigaciones magnetométricas fueron realizados por Texas Instruments (1970) y por OLADE (1982). Los trabajos geoelectricos fueron llevados a cabo por las compañías Group 7 (para Texas Instruments, 1970), Scintrex (para Naciones Unidas, 1973), ELC-Electroconsult (1975), Phoenix Geophysics (para California Energy Co., 1977), e Intergeoterm (para DAL-ELC-ENEL, 1995).

#### *4.2.2 Cobertura*

La mayoría de los estudios geofísicos y en particular las investigaciones geoelectricas, fueron concentrados en el sector meridional del Volcán Momotombo, en una faja paralela a la orilla del lago y alrededor del área termal donde se ubica actualmente el campo geotérmico. Los levantamientos dipolo-dipolo de Phoenix Geophysics (1977) se extendieron también en la región al E y al O del Volcán Momotombo hasta alcanzar distancias de 15-20 km desde el campo geotérmico. Los estudios gravimétricos fueron de carácter regional y cubrieron todo el macizo



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

volcánico de Momotombo - Galán y áreas aledañas. Las áreas cubiertas por los diferentes estudios se presentan en las Figuras VII-4.2.1 y VII-4.2.2.

#### 4.2.3 Resultados

##### *Gravimetría*

El mapa de anomalía de Bouguer elaborado por OLADE (1982) está basado sobre una distribución muy inadecuada de las estaciones de medición; prácticamente ninguna de ellas se ubica en las laderas de los volcanes (ver Figura VII-4.2.1). El levantamiento anterior, efectuado por ELC-Electroconsult (1976), fue basado sobre una distribución de las estaciones que localmente fue un poco mejor, como por ejemplo en la base SO del Volcán Momotombo (aunque siempre muy irregular). En la zona de Momotombo ambos mapas muestran un alto gravimétrico en el flanco S del volcán y una zona con gradiente que baja rápidamente hacia el O y SO en correspondencia del campo geotérmico. La distribución de las estaciones de medición genera incertidumbre acerca de la efectiva orientación del gradiente gravimétrico; sin embargo, se observa que el gradiente es muy inclinado y sugiere la presencia de un control estructural.

Los datos gravimétricos disponibles son realmente poco adecuados para detectar anomalías locales e inclusive regionales que pueden tener un significado geotérmico, como aquellas producidas por desplazamientos a lo largo de fallas o zonas con deposición de minerales hidrotermales.

##### *Magnetometría*

La investigación magnetométrica regional realizada por OLADE (1982) resultó en la delineación de varias anomalías, las cuales son de limitada amplitud y, por lo tanto, dificultan la identificación de anomalías profundas. Los datos magnetométricos de Texas Instruments (1970)



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

corresponden a un solo perfil a lo largo de la orilla del Lago de Managua y proveen muy poca información.

### *Estudios Geoeléctricos*

Por lo que se refiere a los estudios geoeléctricos, la mayoría de ellos proporcionaron solamente información general identificando consistentemente la presencia de una anomalía de baja resistividad (<2-3 ohm-m) en correspondencia de la zona termal al S del Volcán Momotombo. Los resultados más significativos son probablemente aquellos proporcionados por el levantamiento con SEV Schlumberger efectuado por ELC-Electroconsult en 1975, y el levantamiento con sondeos de frecuencia de DAL-ELC-ENEL (1995).

El trabajo de ELC-Electroconsult proporcionó el modelo electroestratigráfico presentado en la **Figura VII-4.2.4** (ver ubicación del perfil en la **Figura VII-4.2.3**). Este modelo evidencia una capa superficial de 100 a 350 m de espesor, con resistividades variables pero generalmente muy altas, con locales puntos de baja resistividad en correspondencia de zonas con manifestaciones termales superficiales. A esta capa le subyace una unidad conductiva intermedia con valores muy bajos de resistividad (1-5 ohm-m) en correspondencia de la zona termal, y un poco más elevados (10 a 40 ohm-m) en las extremidades NO y SE del perfil, externas a la zona termal. Por debajo fue detectada una capa resistiva con tope a 300 a 400 m de profundidad en la zona termal, y a profundidades mayores (hasta 800-1,000 m) fuera de la misma. El levantamiento del basamento resistivo en correspondencia de la zona con manifestaciones termales superficiales fue interpretado como originado por la existencia de una zona fracturada con posible ascenso de fluidos hidrotermales.

El levantamiento con sondeos de frecuencia efectuado en 1995 por DAL-ELC-ENEL utilizó líneas paralelas de dipolos de transmisión y recepción, con el dipolo de transmisión conectado a



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

un generador AC con frecuencias de 0.07 a 312 Hz. El estudio fue realizado en un área de aproximadamente 10 km<sup>2</sup>, la cual cubre la zona actualmente explotada del campo geotérmico de Momotombo y una faja de 1-2 km alrededor de la misma. Las mediciones fueron efectuadas a lo largo de 12 perfiles orientados NNE-SSO que tuvieron en total 22 km de longitud. El área cubierta por los perfiles se muestra en la **Figura VII-4.2.2**.

Los resultados se presentaron en 12 secciones de resistividad aparente y en 7 mapas a diferentes profundidades. Los datos de la resistividad aparente fueron comparados con la secuencia estratigráfica y con la distribución de las zonas permeables encontradas por los pozos. La interpretación presentada por DAL-ELC-ENEL presenta tres unidades electro-estratigráficas sobrepuestas:

- Unidad 1 - una unidad superficial correspondiente con las lavas y productos del volcanismo cuaternario reciente, que se caracterizan por resistividad aparente relativamente elevada (mayor de 15-20 ohm-m);
- Unidad 2 - subyacente a la Unidad 1 y constituida por una espesa capa de depósitos piroclásticos y arenáceos muy poco resistivos (< 10 ohm-m); y
- Unidad 3 - la unidad más profunda detectada, correspondiente a capas ignimbríticas y secuencias volcano-sedimentarias con resistividades aparentes superiores a los 11-15 ohm-m, la cual fue considerada representar el basamento eléctrico.

La Unidad 2 presenta las resistividades aparentes más bajas (2 a 5 ohms-m) en la porción más interna, en correspondencia con espesas capas de sedimentos tobáceos y arenosos profundamente arcillificados. Las zonas con más alta conductividad eléctrica resultaron corresponder con capas de muy baja permeabilidad.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### *Conclusiones*

Las principales informaciones geofísicas acerca del área de Momotombo derivan de las investigaciones geoelectricas, las cuales han demostrado claramente una fuerte anomalía de baja resistividad, con valores inferiores a 5 ohm-m, en un amplio sector del flanco meridional del Volcán Momotombo. La anomalía ocurre, en particular, en correspondencia de la zona afectada por manifestaciones termales superficiales, la cual corresponde al área del recurso somero actualmente explotado en el campo geotérmico de Momotombo. La investigación electrostratigráfica del subsuelo ha también proporcionado informaciones sobre la extensión en profundidad del recurso, por otro lado consistentes con los resultados de los pozos, pero no ha proporcionado información suficientemente clara acerca de la distribución y la magnitud del recurso a mayores profundidades.

#### 4.3 Resultados de Pozos Geotérmicos

Entre 1974 y 1997 en el campo geotérmico de Momotombo fueron perforados 44 pozos de diámetro comercial, con fines de exploración, desarrollo e inyección. Los detalles de los varios programas de perforación efectuados en el campo se describen en la sección 2.3 de este informe. La profundidad de los pozos varía entre los 313 y los 2,500 m, sin embargo la mayoría de los pozos (el 62%) tiene profundidades menores de 1,500 m y solamente un 13% (6) de ellos supera los 2,000 m de profundidad.

El conjunto de estos pozos ha permitido obtener una enorme cantidad de información acerca del yacimiento de Momotombo y explotar el recurso geotérmico a partir de 1983, produciendo desde una zona de ascenso, a profundidades variables entre los 800 y los 1500 m, y desde un yacimiento somero, a profundidad de 300-500 m. Los pozos se distribuyen en un área de



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

aproximadamente 3 km<sup>2</sup>, pero el 91% de ellos (40) se encuentra incluido en un sector de poco más de 1.5 km<sup>2</sup>, que incluye la zona de explotación comercial (producción y inyección) del campo geotérmico de Momotombo (ver **Figura VII-2.2**).

En el Capítulo 3 de este informe se resumen los datos de las condiciones geológicas subterráneas que han proporcionado los pozos, mientras que la información sobre las características químicas del yacimiento geotérmico se discuten en la sección 4.1.2 y el Anexo A. A pesar del elevado número de pozos existentes, la delimitación, la estructura y la efectiva extensión del sistema hidrotermal no resultan completamente aclarados. Esto se debe al hecho de que los pozos son concentrados en la zona de producción, mientras que son muy escasos, o ausentes, en las zonas marginales y de posible extensión del recurso (ver mayores detalles en el siguiente Capítulo 5).

Aproximadamente el 40% de los pozos perforados ha resultado productivo, con potenciales iniciales de hasta 12-15 MW, como es el caso de los pozos MT-31 y MT-27 (DAL-ELC-ENEL, 1995). El restante 60% de los pozos no resultó productivo (o con productividad sub-comercial) debido a baja temperatura y/o baja permeabilidad. Los pozos no productivos por baja permeabilidad incluyen casos de pozos dañados durante la perforación, como demuestra el hecho de que algunos pozos inicialmente considerados no productivos (ejemplo MT-4, MT-8, MT-31), con el tiempo resultaron tener permeabilidad de interés comercial y fueron inclusive conectados a la planta.

Durante la explotación comercial del campo varios de los pozos productivos han cambiado sus condiciones, reduciendo su productividad e inclusive volviéndose improductivos debido a varias razones, incluyendo daños estructurales, incrustaciones, enfriamiento y otros procesos relacionados con la evolución del yacimiento en condiciones de intensa explotación.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **5. NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO**

### **5.1 Localización de la Fuente de Calor**

El sistema magmático localizado debajo del Volcán Momotombo constituye indudablemente una importante fuente de calor que es, muy probablemente, el principal responsable de la activación del sistema hidrotermal explotado en el campo geotérmico de Momotombo. Otros cuerpos magmáticos relacionados con edificios volcánicos más antiguos (aunque siempre de edad inferior al millón de años) como la Loma La Guatusa y el edificio de la Caldera de Galán, que se desarrollaron en el área anteriormente al Volcán Momotombo, pueden también contribuir a crear condiciones térmicas anómalas. La información disponible no es, sin embargo, suficiente para aclarar la efectiva importancia de estos cuerpos magmáticos más antiguos en la activación y desarrollo del sistema hidrotermal de Momotombo.

El Volcán Momotombo es un típico estrato-volcán, muy joven y activo, con un solo foco de emisión central, que se ha mantenido constante en el tiempo. Se puede, por lo tanto, asumir que el sistema de alimentación del magma sea esencialmente desarrollado por debajo de la porción central del cono volcánico.

No existen estudios petrológicos específicos sobre los aspectos termo-barométricos de los magmas en el área de Momotombo, así que no hay información acerca de la profundidad y de la temperatura de las cámaras magmáticas correspondientes. Se puede, sin embargo, observar que el Volcán Momotombo ha mantenido en tiempos históricos una consistente actividad de tipo estromboliano, con frecuentes episodios explosivos de moderada intensidad, acompañados por abundantes emisiones de tefra y cenizas y, en algunas ocasiones, por extensas coladas andesítico-



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

basálticas. Todo esto es consistente con la presencia de una importante cámara magmática activa, emplazada a niveles relativamente someros debajo del edificio volcánico, posiblemente alrededor de los 4-5 km de profundidad, que corresponden al nivel de equilibrio de densidad entre el magma y las rocas crustales. Después de su último paroxismo eruptivo (en 1905) el volcán ha mantenido una intensa actividad fumarólica en su cumbre, la cual, en tiempos recientes ha alcanzado temperaturas mayores de 750°C, indicando que, en la chimenea volcánica, el magma se encuentra a un nivel muy somero.

## 5.2 Zonas de Ascenso

Los resultados de la perforación en el campo geotérmico de Momotombo han evidenciado una situación bastante complicada de circulación de los fluidos en el subsuelo, pero la distribución de las isotermas y los modelos conceptuales elaborados por California Energy Co. (1978), ELC-Electroconsult (1983), DAL SpA (1991) y DAL-ELC-ENEL (1995) evidencian claramente que existe una zona de ascenso ubicada en el sector occidental del área explotada (ver **Figura VII-5.1**).

La efectiva extensión de la zona de ascenso no resulta completamente definida, especialmente en sentido N-S, pero parece que, a las profundidades máximas de investigación hasta la fecha (cerca de -2,000 m s.n.m.), la principal zona de subida de los fluidos sea ubicada en el sector comprendido aproximadamente entre los pozos MT-10, MT-36, MT-38 y MT-35. Desde esta zona profunda, los fluidos ascienden en el yacimiento y, además, fluyen gradualmente hacia el E, así que la zona de ascenso a niveles intermedios (entre -1,500 y -500 m aproximado) se encuentra en el sector comprendido entre los pozos MT-35, MT-36, MT-2 y MT-26 (**Figura VII-5.1**).

## 5.3 Dirección de Movimiento de los Fluidos



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Como se mencionó en la sección anterior, una tendencia de flujo hacia el E ocurre dentro de la zona de ascenso en el sector occidental del campo. La distribución de la temperatura en el yacimiento y el conjunto de los datos químicos de los fluidos indican, a niveles aun más someros (arriba de unos -500 m s.n.m.), que esta tendencia se pone mucho más pronunciada (ver Anexo A y sección 4.2.1 del presente volumen). A profundidades entre 300-500 m en el campo, casi todo el movimiento de fluido es hacia el E, dentro de un yacimiento somero extensivo en el cual la temperatura originalmente excedía los 200°C (ver **Figura VII-5.1**). Todos los pozos perforados en la zona oriental del campo (MT-1, MT-18, RMT-1, RMT-2, MT-30) presentan un perfil térmico caracterizado por una marcada inversión de temperatura que define la presencia de un flujo de agua caliente que se desplaza lateralmente comprendido entre masas de agua más fría.

Los datos térmicos en el sector NE del campo (California Energy Co, 1978; ELC-Electroconsult, 1983) parecen además indicar la presencia de un flujo que procede desde el NE, a partir de una posible zona de ascenso desconocida, y confluye hacia el volumen de yacimiento somero actualmente explotado. Un análisis detallado de la distribución de temperatura a nivel del yacimiento somero, efectuado por DAL SpA, (1991), evidenció una situación térmica bastante complicada, la cual sugiere la presencia de diferentes flujos de alimentación a nivel del yacimiento somero: uno desde el O, a partir de la zona de ascenso interceptada por los pozos en la porción occidental del campo, uno desde el NE (zona del pozo MT-29), alimentado por una posible zona de ascenso ubicada afuera del sector explorado con la perforación, y uno desde el S, en la zona al O del pozo MT-15. Estos flujos, si existen, confluyen en la zona explotada del campo, la cual presenta una descarga general hacia el E. Toda esta situación evidencia que, a pesar del elevado número de pozos existentes en el campo (en su mayoría incluidos en un sector de menos de 2 km<sup>2</sup>) el sistema geotérmico de Momotombo no está completamente delineado.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

#### 5.4 Temperatura

La temperatura original del fluido en el yacimiento geotérmico de Momotombo, medida en los varios pozos productivos anteriormente a su explotación comercial varía entre aproximadamente 230-240°C en el yacimiento somero del campo, a profundidades de 300-500 metros, y los 325-330°C medidos en los pozos MT-4 y MT-43, en la zona de ascenso, a profundidades de 1,400 m y 2,500 m respectivamente. El enfriamiento del fluido durante su ascenso y flujo lateral parece ocurrir por procesos de conducción y ebullición, y posiblemente por mezcla con fluidos de menor temperatura.

La explotación del campo ha afectado en cierto grado los procesos que regulan la temperatura en el yacimiento, y por eso hay evidencia de que la distribución de temperatura ha cambiado con el tiempo en ciertos sectores del campo. Sin embargo, por ser confidenciales la mayoría de los datos de temperatura, no se encontraron disponibles para este estudio suficientes mediciones recientes para caracterizar la distribución actual de temperatura en el yacimiento.

#### 5.5 Química del Fluido

El yacimiento geotérmico de Momotombo es de tipo “agua dominante” y contiene un fluido de tipo Na-Cl con pH neutro. La explotación comercial del recurso ha inducido fenómenos de ebullición en el yacimiento y procesos de dilución del fluido geotérmico por mezcla con agua fría de procedencia somera, así que el rango de salinidad y las características del fluido producido por los pozos es muy variable. En muestras recolectadas al vertedero de los pozos



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

productores (después de hervir en condiciones atmosféricas) el valor mínimo de Cl es de aproximadamente 1,000 mg/l y el máximo de aproximadamente 4,200 mg/l, con valores ocasionales de hasta 5,000 mg/l. La alcalinidad, expresada como  $\text{HCO}_3$ , tiende a ser uniforme, alrededor de los 50 mg/l. El sulfato es más variable, con valores desde casi nulos hasta unos 250 mg/l, probablemente como resultado de procesos de enfriamiento, que permiten una mayor solubilidad de la anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), y/o oxidación del sulfuro de hidrógeno por el oxígeno disuelto en el agua de recarga somera y, posiblemente, en el agua de inyección.

Los estudios químicos efectuados en el ámbito del Estudio Plan Maestro (ver el Anexo A) indican que el fluido geotérmico profundo que asciende hacia el volumen explotado del yacimiento tiene una temperatura de unos 300°C y contiene aproximadamente 2,700 mg/l de Cl (ver Anexo A y sección 4.1.2 del presente volumen). Como mencionado anteriormente, en algunos pozos (como MT-4 y MT-43) fueron medidas temperaturas de hasta 325° - 330°C, pero en el ámbito del presente estudio, por ser confidenciales los datos no se dispuso de análisis químicos de la fase líquida de estos pozos más calientes. La relación entalpía -  $\text{SiO}_2$  derivada de los datos químicos más significativos de los pozos de producción parece, sin embargo, indicar que el líquido con 325°-330°C se enfría, hasta una temperatura de aproximadamente 300°C, antes de alimentar la mayoría de la zona explotada del yacimiento.

La concentración de gases en el vapor de los pozos de producción de Momotombo, ha estado típicamente en el rango 1 - 3 % en peso, mientras que la concentración de gases en las aguas profundas del yacimiento es solamente 0.1 % en peso aproximadamente. La composición del gas seco incluye un 93 a 98 % en volumen de  $\text{CO}_2$ , 1.5 a 6.5 % en volumen de  $\text{H}_2\text{S}$ , y trazas de otros componentes.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **6. ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS**

El área de Momotombo consta principalmente de edificio del Volcán Momotombo, que, según se ha discutido en el Capítulo 5, representa una importante fuente potencial de calor magmático. La fuente de calor del campo geotérmico de Momotombo, explotado en forma comercial desde 1983, probablemente se deriva de la actividad magmática del volcán.

Los numerosos pozos perforados en el campo del Momotombo suministran suficiente información como para estimar con razonable confianza las reservas recuperables de calor presente en el sistema geotérmico. Sin embargo, el campo geotérmico ocupa solamente una parte del sector Sur del volcán y aunque todavía no se han identificado otros recursos explotables en otras áreas de Momotombo, la reciente actividad del complejo volcánico sugiere la posibilidad de que puedan estar presentes otros sistemas potencialmente explotables. Por tal razón, las reservas recuperables de energía geotérmica en el área de Momotombo se han estimado como sigue:

- Las reservas del sistema geotérmico desarrollado en el Momotombo han sido estimadas como reservas de Categoría 1, de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I.
- Las reservas potenciales asociadas con la totalidad del complejo volcánico de Momotombo has sido estimadas como reservas de Categoría 3, utilizando la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## 6.1 Reservas de la Categoría 1

### 6.1.1 *Definición de Parámetros*

Las distribuciones probabilísticas para los parámetros críticos que se necesitan para el cálculo volumétrico de las reservas en el sistema geotérmico de Momotombo se han estimado basándose en el modelo conceptual presentado en el Capítulo 5, y en la distribución original de temperatura en el yacimiento, tal como se infirió a partir de mediciones de temperatura en el fondo de los pozos. La base para estimar estos parámetros se describe más adelante. A ciertos parámetros que son comunes a todas las áreas del Estudio Plan Maestro, o demasiado inciertas para ser estimadas específicamente, se les han asignado valores típicos o por omisión descritos en el Volumen I, Anexo B. Dentro de estos se incluyen: la capacidad de calor volumétrico de la roca del yacimiento, la porosidad de la roca, vida útil de la planta eléctrica, el factor de capacidad de la planta, factor de utilización y la temperatura de salida. Todos los parámetros usados en el cálculo de las reservas en el sistema del Momotombo se resumen en la Tabla VII-6.1.

#### *Localización y Extensión del Yacimiento*

Los pozos del campo Momotombo definen un yacimiento cuya zona más caliente yace en el extremo Oeste del campo, a profundidades por debajo de los 1,000 m (ver **Figura VII-5.1**). En esta zona, las temperaturas en forma local exceden los 300°C, y existe una amplia zona donde la temperatura es superior a los 200°C, la cual se ha asumido como la temperatura mínima del yacimiento para efectos de calcular las reservas recuperables. Aún a niveles tan someros como de varios cientos de metros, la temperatura excede los 200°C en una área considerable. (**Figura VII-5.1**).

La estimación del área del yacimiento es complicada debido a las variaciones en la forma y en el tamaño de la zona de alta temperatura a diferentes profundidades. Además, la distribución de



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

temperatura no está completamente definida con los datos que existen, especialmente a niveles de mayor profundidad. Particularmente, hay incertidumbre en cuanto a lo lejos que se puede extender el yacimiento hacia el Norte del campo que ya se ha desarrollado. No obstante, con los datos que existen se puede estimar el área mínima, la más probable y la máxima para diferentes niveles.

Basándose en el análisis de la distribución de temperatura a diferentes niveles, se ha definido una distribución probabilística triangular para el área del yacimiento. El valor mínimo de la distribución es de 2.3 km<sup>2</sup>, y el valor máximo es de 7.0 km<sup>2</sup>. El valor más probable para el área del yacimiento es de 5.2 km<sup>2</sup>. Como puede verse en la **Figura VII-5.1** el área mínima estimada es aproximadamente igual a la de la parte más densamente desarrollada del campo, mientras que los valores de la temperatura más probable y máxima son inferencias basadas en la distribución conocida de temperaturas, según las cuales el yacimiento se extiende hacia zonas menos desarrolladas o no desarrolladas del todo, principalmente hacia el Norte del campo de pozos.

#### *Espesor del Yacimiento*

Los pozos que se han perforado hasta la fecha en el campo del Momotombo han demostrado que las temperaturas altas y las zonas de permeabilidad se extienden desde profundidades que van desde unos pocos cientos de metros hasta más de 2,000 m. Por lo tanto, se puede asumir conservadoramente que el espesor mínimo del yacimiento es de 2,000 m. Todavía no se han hecho suficientes perforaciones a niveles más profundos como para poder determinar el espesor máximo, aunque es razonable asumir, basándose en la distribución conocida, que las temperaturas altas persisten hasta por lo menos 3,000 m, y probablemente a mayor profundidad. Se ha seleccionado una distribución probabilística rectangular, con valores mínimo y máximo de 2,000 m y 3,000 m respectivamente, para representar el espesor del yacimiento.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### *Temperatura Promedio del Yacimiento*

La distribución estimada de temperatura suministra un método confiable para estimar la temperatura promedio del yacimiento (dentro del volumen del yacimiento que exceda los 200°C), por lo menos dentro de la zona para la cual hay datos disponibles de los pozos. Se evaluó la distribución de temperatura a diferentes niveles en el yacimiento para poder estimar la temperatura promedio en todo el volumen del mismo. Asumiendo que la distribución de temperatura es bastante similar en la zona del yacimiento que se localiza en las afueras del campo de pozos existente, la temperatura promedio se ha estimado entre 250°C y 285°C. Estas cifras se han seleccionado como los límites de la distribución probabilística rectangular de la temperatura.

#### *6.1.2 Cálculo de Reservas*

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

El valor medio de la distribución probabilística es de aproximadamente 142 MW, con una desviación estándar de 46 MW. El 10° percentil de la distribución es de aproximadamente 87 MW; en otras palabras, hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor, con base a las suposiciones usadas (**Figura VII-6.2**). El valor medio de la capacidad



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

es de 137 MW, aproximadamente, y el valor medio de la energía recuperable por unidad de área es alrededor de 30 MW/km<sup>2</sup>

### *6.1.3 Comentarios*

El cálculo volumétrico probabilístico indica que las reservas de calor geotérmico en el sistema del Momotombo son adecuadas para alimentar la capacidad de generación instalada de 70 MW durante un periodo de 30 años, y que puede ser capaz de sustentar una instalación aún mayor. Sin embargo, tal como se ha discutido con mayor detalle en el Anexo B del Volumen I, la presencia de reservas de energía calculadas por el método volumétrico no asegura que las reservas se puedan extraer económicamente para la producción de energía geotérmica. Con el fin de recuperar la energía en el sitio, es necesario que se perforen pozos productivos para explotar las diferentes partes del volumen del yacimiento. Hasta el momento, la parte del yacimiento del Momotombo que yace por debajo de los 2,000 m de profundidad no ha sido desarrollada de manera significativa mediante pozos profundos, ni se ha demostrado un éxito consistente mediante la perforación de pozos productivos profundos.

Tanto el historial operativo del campo Momotombo (ver sección 2.4) como la estimación de las reservas de calor, indican que la explotación de las partes someras del yacimiento (hasta profundidades de 1,000 a 1,500 m) es insuficiente para soportar la capacidad instalada de 70 MW. Desde hace un tiempo se ha aceptado que es necesaria la explotación sistemática de los niveles más profundos del yacimiento para restaurar la producción a niveles más altos.

Asimismo se debe anotar que una parte de la energía del yacimiento geotérmico, particularmente en los niveles más someros, ya ha sido explotada durante el periodo de operación de la planta, y



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

además, las reservas de calor en algunas partes del campo pueden haberse degradado por efectos de la explotación, como sería el caso de una incursión de agua más fría en algunas zonas del yacimiento. Es decir, la metodología de explotación del sistema geotérmico que se ha utilizado hasta el presente en el campo de Momotombo, ha abatido hasta cierto grado el Volumen de reservas recuperables de energía. No es posible calcular cuantitativamente el nivel de abatimiento que ha ocurrido a partir de los datos disponibles. Sin embargo, considerando el historial de producción del campo, y la extensión original de las reservas energéticas estimadas en el presente estudio, el abatimiento ocurrido hasta el presente debe corresponder a una fracción bastante reducida con respecto a la cantidad total de reservas potenciales. La declinación que ha sido observada en la productividad de la planta de generación eléctrica de Momotombo no representa en realidad el abatimiento real de las reservas de calor, sino que refleja el historial del manejo y desarrollo del proyecto.

En forma separada, DAL (1994) realizó una estimación del potencial energético del campo geotérmico de Momotombo. Dicha estimación fue derivada a partir del modelo numérico de simulación del reservorio geotérmico, el cual se basó a su vez en resultados provenientes de los pozos que habían sido perforados en este campo hasta el momento de realizar dicha estimación. Esta estimación indicaba un potencial probado de 50 MW, un potencial probable de 90 MW y un potencial posible de 150 MW para un período de vida adicional del proyecto de 10 años (contados a partir de 1994).

Debido a que la metodología de estimación de potencial del campo realizada por DAL (1994), difiere sustancialmente del método probabilístico volumétrico que se utilizó en el presente estudio para estimar las reservas recuperables de energía de Momotombo, las dos estimaciones no pueden ser comparadas directamente. En particular, la estimación del DAL (1994) considera únicamente el potencial esperado de los pozos que hasta ese momento habían sido perforados en



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

el campo, así como un número de pozos adicionales a perforar bajo un escenario específico que había sido propuesto para el desarrollo del campo. Por lo tanto, esta estimación no considera la recuperación máxima de energía del campo bajo un escenario de desarrollo en el cual un número mayor de pozos es perforado con el fin de obtener la mayor extracción posible de la energía térmica del sistema.

## 6.2 Reservas de la Categoría 3

Los parámetros críticos usados para calcular las reservas de Categoría 3 asociadas con el Volcán Momotombo se resumen en la Tabla VII-6.2 y se discuten más adelante. A los otros parámetros requeridos para el cálculo se les asignaron valores estándar usados en todas las áreas, que se describen en el Anexo B del Volumen I.

### *Volumen de la Cámara Magmática*

El volumen de la cámara magmática / complejo intrusivo asociado con el complejo volcánico se estimó de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. El complejo del Momotombo está formado principalmente por el mismo cono compuesto del Momotombo. No obstante, se debe anotar que el área también ha sido el sitio de actividad volcánica anterior al Volcán Momotombo actual, actividad que incluye a aquella asociada con la de Loma La Guatusa, más antigua que el Momotombo.

El volumen de la cámara magmática / complejo intrusivo asociado con el Volcán Momotombo se estimó basándose en el volumen de los productos eruptivos, evidenciados por el volumen total del edificio volcánico. Como parte del Estudio Plan Maestro se ha calculado un volumen de 14 km<sup>3</sup> para el edificio. Independientemente, Carr (1984) estimó un volumen total de 18 km<sup>3</sup>, por lo



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

que la estimación de  $14 \text{ km}^3$  es razonablemente conservadora. Se ha asumido un valor de  $14 \text{ km}^3$  como límite inferior de la distribución probabilística del volumen del magma emplazado, y un límite superior de dos veces este volumen, o sean  $36 \text{ km}^3$ .

### *Profundidad de la Cámara Magmática*

Hay muy poca o ninguna información directa con la cual se pueda estimar confiablemente la profundidad del magma emplazado debajo del Volcán Momotombo. En ausencia de información más específica para estimar con mayor precisión la profundidad del magma, se ha usado el rango “estándar” de 3 a 7 km, para definir los límites de la distribución probabilística rectangular.

### *Edad de Emplazamiento*

La actividad histórica, así como la forma general del volcán y otras informaciones, indican que en el área ha habido una actividad magmática sostenida en tiempos recientes. No se ha podido determinar con precisión la edad a la cual se inició la construcción del actual edificio del Momotombo, así como el correspondiente emplazamiento del magma. Sin embargo, haciendo una comparación con otros volcanes y estimaciones basadas en razones eruptivas típicas (por ejemplo, McKnight *et al.* 1997) dan una edad que va, desde por lo menos 10,000, hasta varios cientos de miles de años. Considerando las incertidumbres en cuanto a la edad del emplazamiento del magma, se ha asumido una distribución rectangular que va desde los 10,000 a los 40,000 años para la edad de la cámara de magma.

### *Temperatura del Magma*

Se ha estimado un rango de  $900^\circ$  a  $1,100^\circ\text{C}$  para la temperatura original del magma emplazado dentro del complejo volcánico. Este es el mismo rango asumido para otras áreas en las cuales se



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

ha aplicado la misma metodología, en ausencia de información adicional a partir de la cual se puedan estimar las temperaturas del magma.

### *6.2.2 Calculo de Reservas*

Las reservas potenciales de energía recuperable asociada con el Volcán Momotombo se han estimado con base a los parámetros descritos anteriormente y con la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I. Los resultados de esta estimación se resumen en la Tabla VII-6.2. La **Figura VII-6.3** describe gráficamente la distribución de reservas como función de la distancia al centro del volcán, con el rango de incertidumbre indicado por la desviación estándar del cálculo de las reservas. Sumando las reservas potenciales asociadas con el complejo magmático, se tiene una estimación de reservas totales de 190 MW, basadas en el valor medio de la distribución probabilística..

### *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 presentados anteriormente son una representación estadística del potencial del área, cuando se comparan con los cálculos de la Categoría 1, que representan una estimación de las reservas de un sistema geotérmico específico e identificado. La capacidad de utilizar el calor representado comercialmente por las reservas de Categoría 3 depende de la existencia de un volumen suficiente de roca permeable que permita la convección de fluido y el desarrollo de un yacimiento explotable.

Las reservas de categoría 1 calculadas para el sistema geotérmico de Momotombo son, en efecto, un subconjunto mejor definido de las reservas indicadas por la metodología de la Categoría 3. Es decir, las reservas de Categoría 1 no aumentan el potencial máximo indicado por lo estimado en



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

la Categoría 3. Sin embargo, las reservas de Categoría 1 conllevan un mayor nivel de certeza que aquellas de Categoría 3, en cuanto a la precisión del cálculo y en la localización inferida del recurso geotérmico.

Una comparación de las estimaciones de Categoría 1 y Categoría 3 indica que la presencia del campo de Momotombo no excluye la posibilidad de que puedan existir otros sistemas geotérmicos explotables en el área. Sin embargo, existe una buena posibilidad de que el sistema Momotombo explotado actualmente sea el recurso más grande presente en el área, tomando en consideración que parece representar una fracción considerable de las reservas que pueden asociarse con la actividad volcánica local.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **7. ASPECTOS AMBIENTALES**

### **7.1 Información Existente**

En 1999 FUNDENIC-SOS llevó a cabo, por parte del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARENA), un estudio de evaluación y redefinición del sistema de áreas protegidas de Nicaragua, el cual incluye la Reserva Natural del Volcán Momotombo. Este estudio presenta información general sobre todas las componentes ambientales del área, con particular referencia a los aspectos ecológicos, y constituye una de las principales fuentes utilizadas para la elaboración del presente capítulo.

En la segunda mitad de los años 1990 la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) empezó a efectuar estudios y a implementar operaciones de control ambiental en el Campo Geotérmico de Momotombo, en el ámbito de un proyecto promocionado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Los estudios realizados han proporcionado varia información ambiental sobre el campo geotérmico y sectores aledaños (disponible en informes internos de ENEL), la cual ha sido también utilizada para la elaboración del presente documento.

Por lo que se refiere a las condiciones climáticas, existen algunos datos de temperatura del aire que son corrientemente medidos en la planta geotérmica de Momotombo y algunas otras informaciones correspondientes a una estación climática instalada por ENEL durante los estudios ambientales mencionados en el párrafo anterior. Las estaciones meteorológicas del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), que registran todos los parámetros climatológicos y tienen largos períodos de observación, están en su mayoría localizadas en las principales ciudades y centros poblados, por lo tanto no proporcionan datos específicos en las



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

áreas de los volcanes. En el caso de Momotombo, las estaciones meteorológicas más cercanas se ubican en Managua, unos 50 km al SE, y en León, unos 35 km al O, cuyos registros son por lo tanto tomados como referencia climática principal. Informaciones adicionales se obtuvieron de los mapas regionales de parámetros climáticos publicados por INETER, los principales de los cuales son el Mapa de Precipitación Media Anual y el Mapa de Temperatura Media Anual (INETER, 1997a, 1977b).

La situación socioeconómica en general ha sido descrita tomando como referencia los resultados del último Censo Nacional, efectuado en 1995, obtenidos en el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), y otros datos derivados de los estudios efectuados por ENEL. Además de toda la información derivada de las fuentes anteriormente mencionadas, en el presente informe se incluyeron observaciones sobre la situación ambiental en el área efectuadas por el personal que trabajó en el campo durante la ejecución de los estudios del Plan Maestro.

## 7.2 Características Ambientales

### 7.2.1 *Aspectos Socioeconómicos*

#### *Población*

El área del Volcán Momotombo es muy poco habitada. En los relieves del volcán prácticamente no existe población residente, y muy pocas personas viven alrededor del mismo. En el campo geotérmico de Momotombo permanecen solamente los empleados de la planta y no hay personas que residan permanentemente en el sitio.

La zona poblada más cercana se ubica unos 8-10 km al O del campo geotérmico, donde existe el poblado de Puerto Momotombo y otras pequeñas comunidades, o haciendas agrícolas, dispersas



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

en la planicie aledaña. Del último Censo Nacional (INEC, 1995) resulta que Puerto Momotombo es un centro de 1,518 habitantes mientras que otras 400-500 personas viven en la zona aledaña.

La población de la zona es muy pobre y la economía local está basada sobre el trabajo en las haciendas agrícolas y ganaderas existentes en la zona y sobre una pequeña actividad pesquera. El campo geotérmico de Momotombo, especialmente durante sus fases de construcción, ha también representado una importante fuente de trabajo, para la población local.

La población cuenta, en Puerto Momotombo, con centros educativos a nivel de primaria y secundaria, mientras que el centro de salud más cercano se encuentra en La Paz Centro y proporciona servicio de atención médica básica a la población de la toda la región. Las enfermedades más comunes en la zona son: malaria, dengue, enfermedades del sistema respiratorio y de la piel, estas últimas aparentemente relacionadas con el uso del agua del Lago de Managua, la cual es bastante contaminada.

#### *Uso de la Tierra*

Todo el macizo volcánico de Momotombo es un área en estado natural, aunque el bosque originario haya sido en muchos lugares profundamente degradado por la intervención humana (principalmente extracción de leña). Amplios sectores del cono volcánico, hasta en las porciones inferiores de sus laderas, son cubiertos por coladas lávicas y depósitos de arenas volcánicas recientes, por lo tanto, presentan una vegetación natural muy reducida y no son aptos para las actividades agrícolas.

Las planicies aledañas al volcán son principalmente ocupadas por haciendas agrícolas, muchas de ellas de grandes dimensiones, principalmente dedicadas a la ganadería y subordinadamente a la



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

agricultura, con cultivos de granos básicos, soya y ajonjolí. El 80% de las tierras en el área son de propiedad privada.

### *Sitios Culturales y Arqueológicos*

Las ruinas de León Viejo, ubicadas al margen meridional del poblado de Puerto Momotombo, son el único sitio de interés cultural presente en la zona. Este sitio histórico representa los restos de la originaria ciudad colonial de León, la cual fue la primera capital española en Nicaragua. Esta fue aparentemente destruida por un sismo, que determinó su abandono entre 1609 y 1610 y, sucesivamente, fue afectada por caídas de cenizas volcánicas y aludes que cubrieron ampliamente sus restos. Buena parte de la estructura principal de la antigua ciudad ha sido recientemente puesta a la luz y valorizada a fines culturales y turísticos.

No se conoce la existencia de sitios arqueológicos en todo el macizo del Volcán Momotombo, pero en la Isla Momotombito, ubicada en el Lago de Managua unos 6 km al SE del campo geotérmico, ha sido reportada la existencia de petroglifos y esculturas precolombinas, las cuales no han sido todavía investigadas y valoradas.

### *Centros Turísticos*

El único sitio de atracción turística actualmente presente en el área es León Viejo (Puerto Momotombo), con sus ruinas de la antigua ciudad colonial que constituyó la primera capital de Nicaragua. Este sitio es fácilmente accesible y constituye un objetivo de visita para el turismo nacional (escolar principalmente) y, en menor medida, internacional.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

El área tiene un interesante potencial para el turismo naturalístico, relacionado con los atractivos escénicos de los edificios volcánicos presentes en la zona. El cono casi perfecto del Volcán Momotombo, con sus amplias coladas recientes, representa un atractivo muy interesante, pero su accesibilidad es muy difícil por falta de caminos y de estructuras de apoyo.

### *Áreas Protegidas*

El Decreto 1320-83 del Gobierno de Nicaragua, instituyó como Reserva Natural todo el macizo del Volcán Momotombo y la Isla Momotombito, a partir de los 40 m s.n.m. (sobre este punto la Ley no es muy clara, en cuanto dicha elevación corresponde a aquella del Lago de Managua y, por consiguiente, no es posible trazar el límite de la reserva sencillamente siguiendo la curva de nivel de los 40 m). Un área de aproximadamente 9 km<sup>2</sup>, que incluye el campo geotérmico de Momotombo, el cual ya estaba en una fase adelantada de desarrollo al momento de instituirse la Reserva, quedó excluida del área protegida (ver **Figura VII-7.1**).

La evaluación técnica de las Reservas Naturales, realizada bajo la dirección del MARENA (FUNDENIC-SOS, 1999), reporta interesantes elementos faunísticos y ecológicos en la zona del Volcán Momotombo. Debido a la reciente y frecuente actividad del Volcán Momotombo, con emisión de coladas lávicas y grandes volúmenes de lapilli, los bosques que cubren el edificio volcánico no son muy densos o desarrollados, pero un 71% del área presenta un nivel de intervención mínimo y un 13% adicional se caracteriza por vegetación de arbustos que, si es adecuadamente manejada, puede permitir la recuperación del bosque natural. Entre la fauna, la cual ha sido ampliamente afectada por la deforestación, la caza y los incendios forestales, se reporta todavía la existencia del Lagarto (*Crocodylus acutus*), el cual es una especie protegida en peligro de extinción. Todo esto ha llevado a la sugerencia de elevar esta Reserva Natural al



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

rango de Parque Nacional (FUNDENIC-SOS, 1999). Esta redefinición conlleva cambios menores en los límites y la definición de una amplia zona de amortiguamiento al N del edificio volcánico, como se muestra en la **Figura VII-7.2**. Esta propuesta está actualmente en fase de evaluación por parte de las instituciones competentes.

### 7.2.2 Aspectos Abióticos

#### *Topografía*

Como se puede observar en las **Figuras VII-1.1** y **VII-1.2**, la topografía del área es principalmente caracterizada por el Volcán Momotombo, el cual es un cono con forma regular y casi simétrica, que se eleva desde la superficie del Lago de Managua (39 m s.n.m) hasta los 1,297 m s.n.m. En su lado meridional la ladera volcánica baja uniformemente hasta la orilla del lago, mientras que en su sector E y NE termina en un relieve volcánico más antiguo con elevación variable entre los 300 y los 400 m s.n.m, conocido como Loma La Guatusa. En el lado NO la base del cono está abruptamente cortada por la caldera de Monte Galán, la cual es una amplia depresión con forma irregular que se extiende al interior de un borde caldérico con elevación variable entre los 150 y los 300 m s.n.m. El fondo de la caldera es parcialmente ocupado por coladas lávicas muy recientes del Volcán Momotombo e incluye lagunas de modestas dimensiones.

#### *Hidrología*

Las características hidrológicas del área del Volcán Momotombo se describen en detalle en la sección 3.3. El Lago de Managua representa el principal cuerpo hídrico superficial presente en el área y rodea todo el lado meridional y oriental del macizo de Momotombo. En la planicie al



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

NE del macizo volcánico, a una distancia de 10-15 km del Volcán Momotombo, corre el Río Sinecapa, que procede del Altiplano del Interior, es de régimen permanente y representa una de las principales fuentes de alimentación superficial del Lago de Managua. Hacia el O del macizo volcánico, en la planicie de Puerto Momotombo, se encuentra el Río Obraje que es el principal eje de drenaje superficial del valle entre el Volcán El Hoyo y la Caldera de Galán y desemboca en el Lago de Managua, en correspondencia de la Ensenada de El Boquerón (San Cayetano). La porción inferior de este río, por un tramo de unos 5 km, entre la Loma la Chistata y la desembocadura en el lago, tiene régimen permanente debido al continuo aporte de agua de un grupo de manantiales termales y al afloramiento del acuífero freático en la zona El Obraje - La California.

El Lago de Managua representa el segundo cuerpo hídrico más importante de Nicaragua (después del Lago de Nicaragua), es alimentado por algunos ríos y por los acuíferos freáticos que lo rodean y descarga en superficie es hacia el Lago de Nicaragua, a través de Río Tipitapa. El desagüe por el Río Tipitapa es sin embargo irregular y ocurre solamente después de precipitaciones extremadamente copiosas. Resulta por lo tanto que el Lago de Managua tiende a caracterizarse como una cuenca cerrada, con un balance hidrológico muy delicado y con una elevada componente de evaporación. A raíz de todo esto, el lago presenta significativas variaciones de nivel, dependiendo de las condiciones climáticas y de la ocurrencia de precipitaciones anómalas.

Desde el punto de vista hidrogeológico general, las formaciones (volcánicas y aluvionales recientes) presentes en el área son muy permeables, favorecen la infiltración de las precipitaciones en el subsuelo y limitan notablemente el corrimiento superficial. Las líneas equipotenciales de flujo subterráneo son generalmente dirigidas hacia el Lago de Managua que representa la zona de descarga de todos los acuíferos.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### *Características Físico-Químicas y Bacteriológicas de Cuerpos de Agua*

La Tabla VII-7.1 reporta algunos datos obtenidos de Krásný *et al.* (1998), que caracterizan la composición química de algunos de los cuerpos hídricos superficiales mencionados en la sección anterior. Datos químicos más completos sobre las aguas superficiales y subterráneas se encuentran en el Anexo A del presente volumen y en el Anexo D del Volumen I.

Las aguas del Lago de Managua son de tipo bicarbonatado-sódico, consistente con circulación somera en zonas de descarga (Krásný *et al.* 1998). El Río Obraje presenta aguas con una significativa componente clorurada y sulfática, que deriva de una contaminación por fluidos geotérmicos de procedencia profunda. Las aguas subterráneas del acuífero freático, según Krásný *et al.* (1998), varían en general entre los tipos bicarbonatado-sódico y bicarbonatado-cálcico en toda la zona, lo que es característico de aguas meteóricas de circulación subterránea somera.

No se encontró información específica sobre los aspectos bacteriológicos de las aguas en esta área. El Lago de Managua que, especialmente la zona de Managua, recibe abundantes descargas de aguas negras y residuos varios, es muy contaminado. Su agua no es apta para el consumo humano ni tampoco para uso domestico o balnearios.

### *Clima*

FUNDENIC-SOS (1999) identifica dos diferentes zonas climáticas en el área: una tropical seca y otra sub-tropical seca. La precipitación pluvial media anual en la zona de Momotombo es de aproximadamente 1,200 mm (INITER, 1997<sup>a</sup>) y las lluvias se concentran en la estación comprendida entre mayo y octubre. La temperatura media anual varía en el rango de 27.5° a 28°C (INITER, 1997<sup>b</sup>) y, según estimaciones de FUNDENIC-SOS (1999), se reduce



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

aproximadamente 1°C por cada 150 m de elevación en el edificio volcánico. El periodo más caliente es en los meses de abril y mayo, cuando la temperatura puede superar los 34°C, mientras que el período más fresco es enero con temperaturas mínimas alrededor de los 21°C. Mapas de isoyetas y de temperaturas medias anuales relativos a la región occidental de Nicaragua, los cuales evidencian la distribución y variación de estos parámetros en el área bajo examen, son incluidos en el Volumen I, Anexo G.

Con respecto al viento, se consideran los datos regionales registrados en las estaciones meteorológicas de INETER en Managua y León, para las cuales existen respectivamente datos registrados en el período 1987-1999 y en el período 1980-1999. En Managua, unos 50 km al SE del área bajo examen, el viento sopla predominantemente desde el E durante todo el año, mientras que en León, ubicada unos 35 km al O, la dirección del viento es variable en el año entre los cuadrantes NE, E y SE, aunque en promedio prevalezcan vientos que soplan desde el E. Los meses más afectados por el viento son enero, febrero y marzo. La velocidad media del viento varía en el año entre 0.6 m/s (en octubre) y 1.8 m/s (en marzo) en Managua y entre 1.4 m/s (en noviembre) y 2.6 m/s (en febrero) en León. La velocidad máxima del viento en el período de registro es de 4.2 m/s en Managua y de 5.7 en León (ver datos adicionales en Tabla VI-7.2). Los limitados datos sobre viento obtenidos por ENEL en el campo de Momotombo indican una situación local similar al patrón regional de las estaciones climatológicas de INETER.

### *7.2.3 Aspectos Bióticos*

#### *Flora*

La vegetación dominante en el macizo volcánico de Momotombo y zonas aledañas, es de tipo latifoliado y corresponde básicamente a la asociación vegetal típica del bosque tropical seco, como se puede observar en el listado de la Tabla VII-7-3. La mayoría de los bosques presentes



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

en el área son muy abiertos y espaciados, debido al corte selectivo de árboles para leña y a los frecuentes incendios causados intencionalmente por los cazadores. Según FUNDENIC-SOS (1999), el bosque denso y poco intervenido ocupa solamente un 2% de la superficie del edificio volcánico. En toda la porción superior del Volcán Momotombo, la amplia presencia de depósitos muy recientes de lava y lapilli, ha afectado significativamente el desarrollo de la vegetación, la cual es muy espaciada, de bajo porte, y reducida a unas pocas especies pioneras (principalmente nancite, quebracho, algunos arbustos y pastos naturales).

### *Fauna*

Como se puede observar en el listado de la Tabla VII-7-4, el cual incluye las especies animales identificadas por FUNDENIC-SOS (1999) en el área del Volcán Momotombo, la fauna es bastante reducida con respecto a otros sectores análogos de la Cordillera de Los Murrabios. Esto se debe a la caza indiscriminada y al avanzado deterioro de los hábitats naturales causado por la deforestación y los frecuentes incendios forestales.

Entre los mamíferos se encuentran algunos, coyotes, cusucos, guardatinajas, chuchos (Zorro Espín), conejos, zorros miones y pizotes. Entre los reptiles son frecuentes las iguanas y los garrobos, muy perseguidos por los cazadores, y sobresale el cascabel por su abundancia. En algunas ensenadas del Lago de Managua y en las cercanas lagunas de la Caldera de Monte Galán todavía existen algunos ejemplares de lagarto (*Crocodylus acutus*), especie en peligro de extinción (Apéndice I CITES, 1977). Las aves son bastante numerosas incluyendo varias de las especies típicas del bosque tropical seco, y aves acuáticas que proliferan en las orillas del Lago de Managua. En el lago se encuentran varias especies de peces (guapotes y mojarra principalmente), los cuales son explotados por pescadores del cercano Puerto Momotombo.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### 7.3 Análisis de las Condiciones Ambientales

#### 7.3.1 *Situación Ambiental General*

El macizo del Volcán Momotombo es un área prácticamente despoblada. A pesar de ser una zona de reserva natural, sus características ambientales han sido afectadas por intervenciones humanas, como son la deforestación, la caza y los frecuentes incendios forestales, debido a la falta de una adecuada protección, control y manejo. El desarrollo geotérmico realizado en el campo geotérmico de Momotombo ha también contribuido a la degradación ambiental del área, sobretodo a través de la descarga descontrolada de efluentes geotérmicos en el Lago de Managua.

#### 7.3.2 *Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico*

Como mencionado anteriormente, en la zona de Momotombo, la población es muy reducida y, prácticamente, no existen habitantes en los relieves del Volcán Momotombo y de la Loma La Guatusa. Por lo tanto, no se considera que el desarrollo de actividades geotérmicas en el área, incluyendo la expansión del campo geotérmico actual y el desarrollo de posibles otros sitios alrededor del volcán, implique importantes impactos negativos sobre la población.

Se observa, por otro lado, que, durante todo el proyecto geotérmico de Momotombo no ha sido registrado ningún problema de tipo social u oposición por parte de los habitantes del área. Más bien, los habitantes del cercano Puerto Momotombo se han beneficiado significativamente de las fuentes de trabajo generadas por el desarrollo geotérmico y, en general, han esperado ansiosos una reactivación de los trabajos geotérmicos en el área.

No hay muchos impactos posibles de actividades y obras geotérmicas que podrían ser importantes en las actividades planteadas o propuestas de exploración y desarrollo (ver la Tabla VII-7.5). Sobre la flora y la fauna, se considera que, debido a la limitada densidad del bosque,



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

éstos sean limitados y, de toda forma, fácilmente mitigables. La construcción de obras en las laderas volcánicas puede por otro lado implicar problemas de estabilidad y erosión del terreno, que será necesario evaluar detenidamente en cada situación, para aplicar las correspondientes medidas de mitigación y prevención.

Los recursos hídricos presentes en del área, con exclusión del Lago de Managua, se encuentran en estado natural y, por lo tanto, tienen un elevado valor ecológico y ambiental, que debe ser adecuadamente protegido de cualquier proceso de contaminación. El Lago de Managua es por lo contrario fuertemente contaminado ya sea por las grandes descargas de aguas negras que recibe en la zona de la ciudad capital, como por descargada natural de aguas geotérmicas, como por las aguas geotérmicas residuales de la producción que han sido descargadas por largo tiempo, y que en parte siguen descargándose, en el campo de Momotombo.

En resumen de los impactos negativos, medidas de atenuación y el monitoreo ambiental asociados con la exploración y desarrollo adicional del área de Momotombo se presenta en la Tabla VII-7.5. La mayoría de las medidas de atenuación representan la aplicación de diseños y buenas prácticas de ingeniería civil, hidráulica, de perforación y de yacimientos. Como consecuencia, no tienen una valoración económica adicional a 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 los Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro. Igualmente, los gastos típicos para la preparación de Estudios de Impacto Ambiental se presentan en el capítulo 9 y en más detalle en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro.

Un aspecto de particular importancia a ser considerado es la existencia de la Reserva Natural del Volcán Momotombo, establecida por el Decreto 1320/83 y actualmente en fase de re-evaluación por parte del MARENA (FUNDENIC-SOS, 1999). El artículo 3 del decreto constitutivo de



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

dicha reserva está dirigido a la prevención de mayor deterioro de las condiciones ecológicas y prohíbe la ejecución de varias actividades en las mismas, incluyendo cualquier trabajo de ingeniería. Un análisis más completo de este problema se reporta en el Volumen I, Anexo G, del presente estudio.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **8. ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS**

### 8.1 Acceso

El campo geotérmico de Momotombo está conectado por medio de un camino de tierra con el camino que une La Paz Centro con Malpaisillo (ahora en fase de pavimentación con adoquines) y tiene una buena accesibilidad durante todo el año. En La Paz Centro el camino se conecta con la Carretera Nacional No. 28, la cual constituye el principal eje de comunicación vial entre Managua, las otras ciudades del occidente del Nicaragua y los cercanos países de Honduras y El Salvador. La misma carretera sirve de comunicación con Corinto, el principal puerto comercial de Nicaragua. La distancia entre Momotombo y La Paz Centro es de 20 km, mientras que la distancia por carretera entre Momotombo y Managua es de aproximadamente 70 km (ver el Anexo A, Mapa de Síntesis del Estudio Plan Maestro).

La vía de acceso a Momotombo se separa del camino La Paz Centro - Malpaisillo en correspondencia de la Loma La Chistata y bordea toda la base del edificio volcánico Monte Galán - Momotombo hasta llegar al campo geotérmico. En un tiempo también fue posible acceder al campo geotérmico pasando por el poblado de Puerto Momotombo, pero la subida de nivel del lago después de Huracán Mitch (1998) ha cortado en varios puntos el tramo de camino entre Puerto Momotombo y San Cayetano (ver **Figura VII-1.1**). El acceso al campo geotérmico es restringido por razones de seguridad en la localidad San Cayetano, donde existe una garita de control y es necesario un permiso de GEMOSA o de Ormat para poder pasar.

En la zona del Volcán Momotombo no existen otros caminos fácilmente transitables con vehículos y solamente algunas trochas, generalmente en muy mal estado, que se adentran limitadamente en las porciones inferiores de las laderas volcánicas. El mismo camino que lleva



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

al campo geotérmico sigue hacia el E contornando la base de la Loma la Guatusa y bordeando la orilla del lago, pero ha sido dañado y localmente inundado durante el Huracán Mitch y actualmente es impracticable. En la planicie al NE del Volcán Momotombo existe un camino que conecta las comunidades locales con Malpaisillo, también en su lado NE pocas trochas se se adentran en el macizo del Volcán Momotombo.

## 8.2 Uso de la Tierra

El uso de la tierra en el área de estudio se describe en el Capítulo 7. Todo el macizo volcánico de Momotombo es un área en estado natural, aunque el bosque originario haya sido en muchos lugares profundamente degradado por la intervención humana (principalmente extracción de leña). La explotación de leña y madera y la caza son posiblemente las principales actividades en las laderas del Volcán Momotombo, las cuales ocurren sin ningún control a pesar de ser una zona de reserva natural. Las planicies aledañas al volcán son principalmente ocupadas por haciendas agrícolas, a veces de grandes dimensiones, principalmente dedicadas a la ganadería y subordinadamente a la agricultura. El 80% de las tierras en el área son de propiedad privada.

## 8.3 Disponibilidad de Sitios para Perforación y Construcción

El área de Momotombo es esencialmente una zona rural, en su mayoría despoblada y, en general, caracterizada por relieves no muy accidentados. Se observa sin embargo que la porción más elevada del edificio de Momotombo (especialmente la porción superior a los 500 m s.n.m.) y algunos sectores de la ladera meridional de la Loma La Guatusa presentan declives empinados que no permiten la ubicación de plataformas de perforación e implicar restricciones muy fuertes para cualquiera otra actividad de desarrollo geotérmico. En varios sectores de la ladera del volcán existe además un significativo riesgo relacionado con posibles derrames lávicos y caída de espesas capas de cenizas y lapilli, el cual deberá ser tomado adecuadamente en consideración



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

antes de ubicar en el área cualquier obra civil significativa. La mayoría de los terrenos en el área son de propiedad privada, por lo tanto no se pueden excluir posibles conflictos con dueños de terrenos.

Cabe en fin mencionar la existencia de la Reserva Natural del Volcán Momotombo, la cual se extiende en todo el macizo del Volcán. Esta zona de reserva presenta significativos impactos generados por la intervención humana y están actualmente en fase de redefinición por parte del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARENA). Las efectivas restricciones generadas por estas áreas protegidas dependerán del criterio de protección que aplicará el MARENA con el proceso de redefinición y del conjunto de políticas ambientales y energéticas que implementará el Gobierno de Nicaragua. Información adicional acerca de este problema se encuentra en el Capítulo 7 del presente volumen y en el Anexo G del Volumen I.

### 8.4 Disponibilidad de Agua

El Lago de Managua garantiza una amplia disponibilidad de agua en superficie con relativa facilidad de acceso. De hecho, el lago ha sido ampliamente utilizado durante los trabajos de perforación y construcción en el campo geotérmico de Momotombo. Se observa, sin embargo, que la experiencia en Momotombo sobre el uso del agua del Lago de Managua, indica que esta no es recomendable para la cementación de tuberías de ademe, mientras que no existen problemas significativos para la confección de lodo a base de bentonita.

El agua del Lago de Managua no es adecuada para el consumo humano, debido a su elevada salinidad y contaminación, así que para los usos domésticos es posiblemente necesario prever la perforación de pozos en el acuífero freático o el transporte de agua desde áreas cercanas.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

### 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 ulteriores actividades de exploración y desarrollo geotérmico en el área del Volcán Momotombo.

Los aspectos favorables se resumen como sigue:

- Relativa cercanía y facilidad de acceso desde la ciudad de Managua, con todas las correspondientes ventajas de tipo logístico.
- Buena conexión con toda la infraestructura principal de transporte del país.
- Facilidad de aprovechamiento hídrico para las operaciones de perforación.
- Bajo potencial de conflictos de carácter social.
- Limitados problemas o restricciones de disponibilidad de terreno.
- Existencia de la línea de transmisión de 138 kV que conecta la Planta Geotérmica de Momotombo con la subestación de Los Brasiles en Ciudad Sandino (**Figura VII-8.1**).

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- Presencia de la Reserva Natural del Volcán Momotombo que ocupa toda el área.
- Riesgos naturales, de tipo volcánico, sísmico, de estabilidad de las laderas y de inundaciones (en proximidad del lago).
- Dificultad de acceso local, sobretodo en el sector NE del macizo volcánico.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

La evaluación global permite apreciar que, aunque existan ciertos problemas, no se reconocen limitaciones de tipo logístico, infraestructural y socioeconómico que afecten significativamente la viabilidad de nuevos proyectos de exploración y desarrollo ya sea en correspondencia del campo geotérmico ya existente como en otros sectores del macizo volcánico de Momotombo.

### **9. OPCIONES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO**

Según se discutió en el Capítulo 6, el mínimo de las reservas energéticas asociadas con el sistema geotérmico de Momotombo han sido estimadas como equivalentes al calor que se requiere para mantener la capacidad de una planta generadora de 70 MW por un período de tiempo igual al período de vida normal de la planta.

Sin embargo, hasta el momento no ha sido posible mantener en forma sostenida la generación eléctrica de la planta de Momotombo con una potencia instalada cercana a los 70 MW. Esto se debe primordialmente a que el desarrollo del campo se ha enfocado más que nada a explorar los niveles someros y medios del reservorio geotérmico. En estos niveles es posible obtener producción de vapor en forma relativamente fácil, por medio de la perforación de pozos de moderada profundidad, pero que explotan zonas en las cuales las reservas de calor son limitadas, y por lo tanto el reservorio es más susceptible de verse afectado por procesos que pueden degradar su capacidad productiva, tales como la declinación rápida de la presión y la invasión de fluidos de menor temperatura.

En el pasado se han realizado esfuerzos para explorar y desarrollar la producción de los estratos más profundos del reservorio geotérmico, en donde se pueden esperar temperaturas más altas y en donde se infiere que las reservas existentes de calor son más extensas. Dichos esfuerzos han rendido resultados poco alentadores, ya que se ha logrado obtener la producción limitada de



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

fluidos geotérmicos, pero no se ha logrado demostrar la existencia de un reservorio de alta productividad.

Con base a los datos de campo disponibles, la capacidad máxima de explotación que se puede obtener del campo de Momotombo dependerá de los siguientes factores:

- la posibilidad de que los pozos productores profundos logren extraer con éxito el calor proveniente de los niveles más profundos del reservorio (en general, a partir de niveles que se encuentran por debajo de los 2,000 m de profundidad);
- el nivel al cual es posible expandir el área comercialmente explotable del campo, perforando con éxito pozos de ampliación del campo (en particular pozos terminados en los niveles más profundos); y
- la optimización de la perforación del campo por medio de un programa de manejo de la producción e inyección de los fluidos y del mantenimiento de los pozos productores existentes, con el fin de minimizar los problemas relacionados con fenómenos de enfriamiento del reservorio, declinación excesiva de la presión y los daños en los pozos provocados por la incrustación y por problemas mecánicos.

La firma Ormat Momotombo, quien tomó la operación del campo a partir del año 2000, se encuentra actualmente en el proceso de implementar un programa de rehabilitación del campo. Este programa ha probado tener éxito al recobrar una porción de la capacidad perdida del campo, por medio de esfuerzos que incluyen la perforación de nuevos pozos, terminados en los niveles más profundos del reservorio, así como también implementando un programa de mantenimiento y limpieza de los pozos existentes e instalando sistemas de inhibición de carbonatos en algunos de los pozos productores cuya tendencia a la incrustación es mayor. Dado que este programa está



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

siendo planeado y ejecutado por un operador privado, en coordinación con GEMOSA, en este informe no se hacen recomendaciones específicas sobre el desarrollo adicional y el manejo del campo de Momotombo.

Las actividades de exploración que han sido conducidas hasta la fecha en el área general de Momotombo, aparte del campo que se encuentra actualmente en explotación, no han logrado identificar un recurso geotérmico explotable adicional. Los datos disponibles sugieren que el recurso más importante existente en el área es el campo de Momotombo. Sin embargo, se justifica realizar estudios de exploración adicional, con el fin de determinar la existencia de otros sistemas hidrotermales de carácter comercial en el área.

Los sectores este y noreste del área (incluyendo la Loma La Guatusa y los flancos del Volcán Momotombo) representan una zona muy extensa, en la cual se han realizado actividades de exploración en forma muy limitada, y que no van más allá de las investigaciones de tipo básico (ver Capítulo 4). El sector oeste del Volcán Momotombo muestra alguna evidencia de gradientes elevados de temperatura (ver **Figura VII-4.1.1**), lo cual podría ameritar la realización de estudios adicionales de investigación; sin embargo, cabe anotar que la extensión del área que yace entre el campo de Momotombo y El Hoyo – Monte Galán es limitada.

La exploración en estos sectores podría ser conducida con el objetivo de mejorar la definición de zonas en donde la actividad hidrotermal podría estar presente. En los sectores este y noreste, las investigaciones deberían abarcar un área mayor, por lo menos en las etapas iniciales, dado que hasta el momento no ha sido posible identificar zonas importantes de anomalía térmica o geofísica en estos sectores. Dentro de los estudios a conducir y que posiblemente resultarían más efectivos en la elevación del potencial geotérmico en el área fuera del campo de Momotombo, están los siguientes:



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

- Levantamientos de tipo geoelectrico con una densidad de estaciones entre moderada y alta, con el fin de definir mejor la estructura resistiva en estos sectores. La aplicación de técnicas más modernas que las utilizadas en el pasado para la obtención, proceso e interpretación de los datos, podría rendir resultados más cuantitativos y conclusivos. Los levantamientos podrían planearse para cubrir áreas más generales, seguido de otros levantamientos de detalle, a desarrollar en las zonas en donde se logren identificar anomalías importantes.
- La perforación de una serie de agujeros que sirvan para definir mejor la distribución de los gradientes someros de temperatura en el sector en estudio. Considerando las condiciones topográficas e hidrológicas del área, una profundidad entre los 100 m y 300 m podría resultar adecuada para complementar la información existente con medidas confiables de gradiente. Debe de notarse que los accesos a los sectores este y noreste del área de Momotombo son relativamente limitados y por lo tanto, cualquier esfuerzo que requiera de la movilización de equipos dentro del área tenderá a ser difícil y de mayor costo.

Ejemplos detallados de actividades y de costos requeridos para otros proyectos de exploración similares se presentan en los Anexos J y K del volumen I del Estudio del Plan Maestro. Las estimaciones de costos y tiempo descritos aquí se basan en ejemplos específicos de otros lugares, haciendo los ajustes correspondientes para las condiciones locales del área de Momotombo. Para el caso de Momotombo, se presenta en la Tabla VII-9.1 un resumen de costos y cronograma de las actividades básicas requeridas. Se presenta el caso de perforar 10 pozos con una profundidad promedio de 200 m a un precio de \$ 250 por metro. El análisis completo y síntesis de los resultados no es un estudio completo de pre-factibilidad, por lo cual el costo de esta tarea se estima que sea un poco menor de lo típico.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

## **10. REFERENCIAS**

Burbach, G. V., C. Frohlich, W. D. Pennington, y T. Matumoto, 1984. Seismicity and tectonics of the subducted Cocos Plate. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, pp. 7719-7735.

California Energy Co., 1978. Feasibility report: Momotombo geothermal field expansion to 105 MW. Part I, Summary and recommendations. Preparado para Empresa Nacional de Luz y Fuerza, October, 1978, por California Energy Company, Inc..

California Energy Co., 1978. Feasibility report: Momotombo geothermal field expansion to 105 MW. Part II, Geology and temperature distribution of the Momotombo geothermal field. Por California Energy Company, Inc..

California Energy Co., 1978. Temperature gradient hole investigations conducted by California Energy Co. - ENALUF in the Vicinity of El Hoyo and Momotombo Volcanoes, 1976-1977. Por California Energy Company, Inc..

Carr, M. J., 1984. Symmetrical and segmented variation of physical and geochemical characteristics of the Central American volcanic front. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 20, No. 3-4, pp.231-252.

Carr, M. J., M. D. Feingenson, y E. A. Bennet, 1990. Incompatible element and isotopic evidence for tectonic control of source mixing and melt extraction along the Central American arc. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, Vol. 105, pp. 369-380.

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.



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

- Cruden, A., 1989. The structure of south-western Nicaragua. A preliminary assessment. University of Upsala. Swedish Cooperation, INMINES/SAREC Project. ID-nr: URAP 89001, Date 1989-02-07 (Informe no publicado).
- DAL / ELC / ENEL, 1995. Estudios de evaluación del potencial energético, factibilidad de la estabilización y de la tercera unidad geotermoeléctrica del campo geotérmico de Momotombo, Fase IA - investigaciones geocientíficas: informe ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad) Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia. ELC – Electroconsult, Milano, Italia.
- DAL Spa, 1997. Proyecto geotérmico Momotombo. Optimización del sistema campo-planta, informe final. Informe interno ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL SpA, 1991. Campo Geotérmico de Momotombo: Estudio de factibilidad de la tercera unidad. Actualización del modelo del campo. Informe interno ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL SpA, 1994. Campo Geotérmico de Momotombo: estudio de factibilidad de la tercera unidad. Modelado del campo. Informe interno ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL SpA, 1995. Proyecto geotérmico San Jacinto-Tizate, Informe de factibilidad, Vol. 1, Evaluación del recurso e ingeniería, Agosto de 1995. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL Spa, 1997. Proyecto geotérmico Momotombo, Pozo MT-43. Perforación, datos geológicos, mediciones y pruebas. Informe interno ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL, 1997. Proyecto geotérmico Momotombo: resumen de los resultados de las perforaciones del Programa FIV. Informe interno ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad) Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Dames & Moore, 1978. Report on seismic risk assessment for the proposed geothermal power plant, Volcán Momotombo field, Nicaragua. Job No. 10899-001-03. September 1, 1978.

Decreto No. 1320, del 8 de Septiembre de 1983. Creación de Reservas Naturales en el Pacífico de Nicaragua. Publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 213 del 19 de Septiembre de 1983.

ELC, 1975. Prospezione geoelettrica per ricerche geotermiche sulle falde meridionali del vulcano Momotombo (Nicaragua), rapporto finale, Gennaio 1975. Preparado por S.G.A. s.r.l., Milano, Italia, para ELC – Electroconsult, Milano, Italia.

ELC, 1976. Estudio de factibilidad de la primera planta geotérmica en Nicaragua. Momotombo geothermal field gravimetric survey. Informe no publicado. Prepara por ELC-Electroconsult, Milano, Italia, para ENALUF – Empresa Nacional de Luz y Fuerza, Managua, Nicaragua, C.A. Mayo de 1976, GNI-D-3772.

ELC, 1977. Estudio de factibilidad de la primera planta geotérmica en Nicaragua, Momotombo geothermal field feasibility report, Septiembre de 1977. Por ELC-Electroconsult, Milano, Italia, para ENALUF – Empresa Nacional de Luz y Fuerza, Managua, Nicaragua, C.A..

ELC, 1983. Segunda unidad de la planta geotérmica de Momotombo. Estudio de Factibilidad. Informe no publicado.

Elming, S. A. y T. Rasmussen, 1997. Results of magnetotelluric and gravimetric measurements in western Nicaragua, Central America. Geophysical Journal International, Vol. 128, No. 3, pp. 647-658.

ENEL 1998c. Informe Trimestral Oct. - Dic. 1998. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte A. Geoquímica Isotópica en Pozos de Producción del Campo



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Momotombo. Oct/Dic 1998. 17 de Diciembre de 1998. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad) Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Managua, Nicaragua.

ENEL 1998c. Informe Trimestral Oct. - Dic. 1998. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte A. Geoquímica Isotópica en Pozos de Producción del Campo Momotombo. Oct/Dic 1998. 17 de Diciembre de 1998.

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

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

INETER, 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.

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

INETER, 1998. Las lluvias del siglo en Nicaragua. El Huracán Mitch, las lluvias y otros eventos ciclónicos y su recurrencia en Nicaragua. 1892 - 1998

Krásný, J. y G. Hecht, 1998. Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la región del Pacífico de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Dirección de Recursos Hídricos, Departamento de Hidrogeología, Managua, Nicaragua, 1998.

McBirney A.R. and H. Williams, 1965. Volcanic history of Nicaragua. University of California Publications in Geological Sciences, Vol. 55, pp. 1-65.



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

- Mooser, F., H. Meyer-Abich and A.R. Mc Birney, 1958. Catalogue of the active volcanoes of the world including solfataras fields. Part VI, Central América. Publicación de la “International Volcanological Association”.
- Naciones Unidas, 1974. Aprovechamiento de recursos geotérmicos, Nicaragua. Conclusiones y recomendaciones del proyecto. Informe no publicado. Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo, Naciones Unidas, Nueva York DP/UN/NIC-71-510/1.
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua. Diciembre 1981. OLADE – Organización Latino Americana de Energía.
- OLADE, 1982. Aprovechamiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua. Estudio de prefactibilidad del área El Hoyo-San Jacinto.
- Ostapenko, S. V., S. V. Spektor and Y. P. Netesov, 1998. San Jacinto-Tizate geothermal field, Nicaragua: exploration and conceptual model. *Geothermics*, Vol. 27, No. 3, pp. 361-378.
- Phoenix Geophysics, 1977. Dipole-dipole resistivity survey of the Momotombo geothermal field, Nicaragua. Informe no publicado, preparado para California Energy Company Inc.
- Reagan, M. K., J. D. Morris, E. A. Herrstrom, y M. T. Murrell, 1994. Uranium series and beryllium isotope evidence for an extended history of subduction modification of the mantle below Nicaragua. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 58, No. 19, pp. 4199-4212.
- Scintrex, Ltd. 1973(?). Figura 3, Proyecto Geotérmico, Momotombo y Vecinidad: La Paz Centro - Puerto Momotombo - Malpaisillo, Perfiles de Isoresistividad (ohm-m); Figura 5, Proyecto Geotérmico, San Jacinto - Tizate - Ñajo, Perfiles de Isoresistividad (ohm-m).



## COMISION NACIONAL DE ENERGIA

TELEFONO: (505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Sigurgeirsson T, 1975. Report on volcanic risk involved in the Momotombo geothermal project. U.N. consultant report, October 1975, Managua, Nicaragua/74/003.

Smithsonian Institution, 1999. Global Volcanism Program, Volcanic Activity Reports. Website URL <http://www.nmnh.si.edu/gvp/volcano/region14...>

Stoiber, R.E. y M.J. Carr, 1973. Quaternary volcanic and tectonic segmentation of Central America. In: Symposium on volcanism in Mexico and Central America, R.W. Decker et al, eds., Bulletin Volcanologique; Vol. 37, No. 3, pp. 304-325.

Texas Instruments, 1970. Proyecto de recursos geotérmicos, etapa una. Informe no publicado.

van Wyk de Vries, B., 1990(?). Preliminary report on the geology of the Managua aquifer. Sections for hydrogeological modeling. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Departamento de Volcanología. Informe no publicado (fecha incierto).

van Wyk de Vries, B., 1993. Tectonics and magma evolution of Nicaraguan volcanic systems. Thesis (Doctoral), Department of Earth Sciences, The Open University, September 1993, 328 pp.

Walker, J. A., M. J. Carr, M. D. Feingenson, y R. I. Kalamarides, 1990. The petrogenetic significance of interstratified high-and low-Ti basalts in central Nicaragua. J. of P., Vol. 22, pp. 1142-1163.

Weinberg, R. F., 1992. Neotectonic development of western Nicaragua. Tectonics, Vol. 11, No. 5, pp. 1010-1017.

Weyl, R., 1980. Geology of Central America. Gebrüder Borntraeger, Berlin y Stuttgart, Germany.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Wheelock J., J. Incer, L. Cardenal, y A. Rodríguez, 2000. Desastres naturales de Nicaragua. Guía para conocerlos y prevenirlos. Hispamer, Managua.

## **T A B L A S**

**Tabla VII-4.1: Investigaciones Geofísicas en el Area de Momotombo**

Empresa	Año	Método	Prof. de Invest. (m)	Distancia. Máx. AB o entre Dipolos (m)	Area (km <sup>2</sup> )	Perfiles		Número Sondeos	Número Sitios de Medición
						No.	Long. Total (km)		
Texas Instruments	1970	Gravimetría				1	6		?
		Magnetometría				1	6		?
		SEV Schlumberger	268	1,000		1	3	8	
		Mapeo dipolar	?	<3,000	8				86
		Electro-magnético	1,700					3	
		Audiomagnetotelúrico	?					16	
Naciones Unidas	1974	SEV Schlumberger		2,000		6		?	35
		Perfil Schlumberger ??				?			?
		Mapeo dipolar							?
ELC Electro-consult	1974-75	SEV Schlumberger	1,000	3,000	5			20	
		Gravimetría							
Phoenix Geophysics	1977	Dipolo-dipolo Reconoc.	1,450	3,750	300	14	200	225	
		Dipolo-dipolo Detalle		3,750	5	6	48	44	
OLADE	1982	Gravimetría Regional			1,500				
		Magnetometría Regional							
DAL/ELC/ENEL	1995	Sondeos de frecuencia			10	12			

**Tabla VII-6.1: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 1),  
Área de Momotombo**

		<b>Campo Geotérmico de Momotombo</b>		
<b>Parámetros Fijos</b>				
Capacidad volumétrica de calor (kJ/m <sup>3</sup> /°C)		2,280		
Temperatura de eyección (°C)		30		
Factor de utilización		45%		
Factor de capacidad		90%		
Vida de operación de la planta (años)		30		
<b>Parámetros Inciertos</b>		Mínimo	Más Probable	Máximo
Área del yacimiento (km <sup>2</sup> )		2.30	5.20	7.00
Espesor del yacimiento (m)		2,000		3,000
Porosidad de la roca		3.0%		7.0%
Temperatura promedio (°C)		250.0		285.0
Factor de recuperación		10.0%		20.0%
<b>Resumen de Resultados</b>		Capacidad en MW	MW/km <sup>2</sup>	Eficiencia de Recuperación
Promedio		142.3	29.5	1.77%
Desviación Estándar		45.6	7.0	0.34%
25 percentil		108.7	24.1	1.48%
50 percentil		137.1	28.8	1.77%
75 percentil		171.0	34.3	2.07%

**Tabla VII-6.2: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3),  
Area de Momotombo**

	<b>Complejo de Casita-San Cristóbal</b>	
	<b>Parámetros Fijos</b>	
Conductividad termal (kJ/m/s/°C)	0.0025	
Calor específico de la roca (kJ/kg/°C)	1.0	
Densidad de la roca (kg/m <sup>3</sup> )	2,700	
Porosidad de la roca	3.0%	
Calor de solidificación (kJ/kg/°C)	300	
Gradiente inicial de temperatura (°C/km)	50	
Límite de profundidad (km)	4.0	
Intervalo de profundidad (m)	100	
Temperatura de eyección (°C)	30	
Factor de utilización	45%	
Temperatura límite (°C)	200	
<b>Parámetros Inciertos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Volumen de magma (km <sup>3</sup> )	14	36
Profundidad de magma (km)	3	7
Edad de magma (años)	10,000	40,000
Temperatura de magma (°C)	900	1,100
Factor de recuperación	5%	10%
<b>Resumen de Resultados</b>		
Total de Reservas (MW)	190	
		<b>Desviación</b>
MW/km <sup>2</sup>	<b>Medio</b>	<b>Estándar</b>
Distancia = 0 km	11.3	13.1
0.5 km	10.8	12.4
1.0 km	9.2	10.4
2.0 km	5.0	5.1
3.0 km	2.0	1.8
5.0 km	0.5	0.1

**Tabla VII-7.1: Características Químicas de los Cuerpos Hídricos Superficiales en el Area de Momotombo**

Cuerpo Hídrico - Localidad Fecha	Carácter Químico	Composición Química (ppm)				
		TDS	Cl	NO <sub>3</sub>	B	F
Lago de Managua - El Boquerón 1987	HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	626	99	0	1.3	0.2
Lago de Managua - P. Momotombo 1970	HCO <sub>3</sub> -Na	782	207	1.8	0.2	0.8
Lago de Managua - P. Momotombo 1987	HCO <sub>3</sub> -Na	1126	226	0	2.3	0.7
Lago de Managua - Planta Geotérmica 1987	HCO <sub>3</sub> -Na	1062	190	1.15	1.8	0.9
Río Obraje 1970	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> - Na-Ca	1272	190	4.1	0	0.2
Río Obraje 1987	HCO <sub>3</sub> -Cl-Na- Mg	1147	198	0	2.75	0

Datos de Krásný *et al.* (1998)

**Tabla VII-7.2: Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas Más Cercanas al Area de Momotombo**

Mes	Estación: León Epoca: 1980-1999				Estación: Managua (aeropuerto) Epoca: 1987-1999			
	Velocidad (m/s)			Direc. Media	Velocidad (m/s)			Direc. Media
	Max.	Min.	Media		Max.	Min.	Media	
Ene	4.2	0.0	2.3	E	2.8	0.9	1.6	E
Feb	5.0	0.1	2.6	NE	3.5	1.0	1.7	E
Mar	4.7	0.0	2.5	E	3.8	0.9	1.8	E
Abr	5.7	0.0	2.2	E	4.2	0.9	1.7	E
May	4.3	0.1	2.0	E	3.0	0.4	1.2	E
Jun	3.7	0.0	1.7	SE	2.0	0.2	1.0	E
Jul	4.8	0.0	2.0	E	2.1	0.7	1.1	E
Ago	3.3	0.0	1.7	E	1.2	0.5	0.8	E
Sep	4.8	0.0	1.6	SE	3.0	0.3	0.8	E
Oct	4.7	0.0	1.7	SE	0.9	0.2	0.6	E
Nov	3.5	0.2	1.4	NE	1.5	0.3	0.8	E
Dic	3.5	0.0	1.9	NE	1.5	0.7	1.0	E
Año	3.7	0.3	2.0	E	2.2	0.7	1.2	E

Datos de INETER, 2000

**Tabla VII-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo Momotombo (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Annonaceae	<i>Annona reticulata</i> L.	Anona
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i> L.	Sacuanjoche
	<i>Thevetia ovata</i>	Chilca De Monte
Araceae	<i>Lemma minor</i>	
Arecaceae	<i>Acrocomia vinifera</i> Oerst.	Coyol
	<i>Sabal mexicana</i>	Palma Paceaña
Asteraceae	<i>Montanoa</i> sp.	
Bignoniaceae	<i>Crescentia alata</i> HBK	Jicaro Sabanero
	<i>Tabebuia ochracea</i> A. Gentry	Cortez
	<i>Tabebuia rosea</i> (Vertol.) DC.	Roble Macuelizo
	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex HBK	Sardinillo
Bombacaceae	<i>Bombacopsis quinatum</i> (Jacq.) Dugard	Pochote
	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth	Ceiba
Boraginaceae	<i>Cordia collococca</i> L.	Muñeco
	<i>Cordia gerascanthus</i> L.	Laurel Hembra
Bromeliacea	<i>Tillandsia</i> sp	Gallito
	<i>Bromelia karatas</i>	Piñuela
Burseraceae	<i>Bursera gavelens</i> (HBK) Triana & Planch.	Caraña
Cactaceae	<i>Acanthocereus horridus</i>	Tionoste
	<i>Cereus undatus</i> Haworth	Cardón
Caesalpinaceae	<i>Haematoxylon brasiletto</i> Karst	Brasil
	<i>Caesalpinia eriostachys</i> Benth	Pintadillo
	<i>Bauhinia pauletia</i> Pers.	Uña De Gato
	<i>Cassia grandis</i> L.	Carao
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	Papaya De Monte
Cecropiaceae	<i>Cecropia peltata</i> (L.)	Guarumo
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Poro-Poro
Convolvulaceae	<i>Ipomoea pes. caprae</i> (L.) Sweet	Jitamo-Campanita De Playa, Bejuco De Playa
	<i>Operculina</i> sp.	
	<i>Ipomoea nil</i>	Batatilla
Ebenaceae	<i>Diospyros nicaraguensis</i> Standl.	Chocoyo
Euphorbiaceae	<i>Jatropha urens</i>	Chichicaste Blanco
Fabaceae	<i>Andira inermis</i> (W. Wright) DC	Almendro De Río
	<i>Myrospermum frutescens</i>	Chiquirin
	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i> (Donn. Smith)	Chaperno Negro
Malpighiaceae	<i>Banisteria argentea</i>	
	<i>Gaudichaudia</i> sp	

**Tabla VII-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo Momotombo (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Malvaceae	<i>Abutilon sp.</i> <i>Hibiscus sp.</i>	
Mimosaceae	<i>Albizia caribaea (Urban) B. &amp; R.</i> <i>Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb.</i> <i>Lysiloma spp.</i> <i>Acacia costarricensis Schenck</i> <i>Pithecellobium saman (Jacq.) Benth.</i> <i>Prosopis juliflora (Sw.) DC.</i>	Guanacaste Blanco Guanacaste Negro Quebracho Cachito De Aronio Genizaro Agujote
Moraceae	<i>Brasium alicastrum Swartz</i> <i>Chlorophora tinctoria (L.) Gaud</i>	Ojoche Mora
Rhamnaceae	<i>Karwinskia calderoni Standl.</i>	Guilliguiste
Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum (Vahl.) DC.</i> <i>Hamelia patens (Jacq.)</i>	Madroño Canilla De Venado
Sapindaceae	<i>Thouinidium decandrum (Humb. y Bonpl.) Radlk.</i>	Melero
Sapotaceae	<i>Mastichodendron capiri Var. tempisque (pittier) Cronq.</i>	Tempisque
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulnifolia Lam.</i>	Guácimo De Ternero
Tiliaceae	<i>Luhea candida (T.C.) Mart. S Zucc</i>	Guacimo De Molenillo
Ulmaceae	<i>Phyllostylon brasiliensis Capan</i>	Escobillo
Verbenaceae	<i>Lippia cardiostegia Benth.</i> <i>Rhedia trinervis (Blake) Mold.</i>	Tacote Blanco, Juanislama Bambayán, Chicharrón Blanco

**Tabla VII-7.4: Lista de Especies Animales para el Area Protegida Complejo Momtombo (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Grado de Amenaza (Apendice CITES)
<b>REPTILES</b>			
Crocodylidae	<i>Crocodylus acutus</i>	lagarto	I
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	garrobo negro	II
Iguanidae	<i>Iguana iguana</i>	iguana verde	
<b>AVES</b>			
Anatidae	<i>Anhinga anhinga</i>	Pato Aguja	III
Ardeidae	<i>Botaurus pinatus</i>	alcaravan de agua	
Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	cuaco	
Ardeidae	<i>Casmerodius albus</i>	Garza Blanca (Mollera)	III
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	zopilote	
Columbridae	<i>Zenaida asiatica</i>	Palomas alas blancas	
Corvidae	<i>Calocitta formosa</i>	urraca	
Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>	chachalaca	
Cracidae	<i>Crax rubra</i>	Pavón	
Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	Pájaro León	
Falconidae	<i>Polyborus cheriway</i>	Querque	
Pelecaniformes	<i>Phalacrocorax olivaceus</i>	Pato chancho	
Tyrannidae	<i>Muscivora forficata</i>	tijereta	
Traupidae	<i>Tharpis episcopus</i>	Viudas (Fragatas)	
Tyrannidae	<i>Tyrannus verticalis</i>	Guiz, tirano colinegro	
Tyrannidae	<i>Tyrannus sp.</i>	Guiz	
<b>MAMIFEROS</b>			
Canidae	<i>Canis latrans</i>	coyote	III
Dasyproctidae	<i>Dasyprocta novemcinctus</i>	cusuco	
Dasyproctidae	<i>Canis paca</i>	guardatinaja	
Erethizonidae	<i>Coendu mexicanus</i>	Zorro Espín(chucho)	
Leporidae	<i>Sylvilagus floridanus</i>	conejo	
Mustelidae	<i>Spilogale augustifrons</i>	zorro mión	III
Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	pizote	

Tabla VII-7.5: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Momotombo

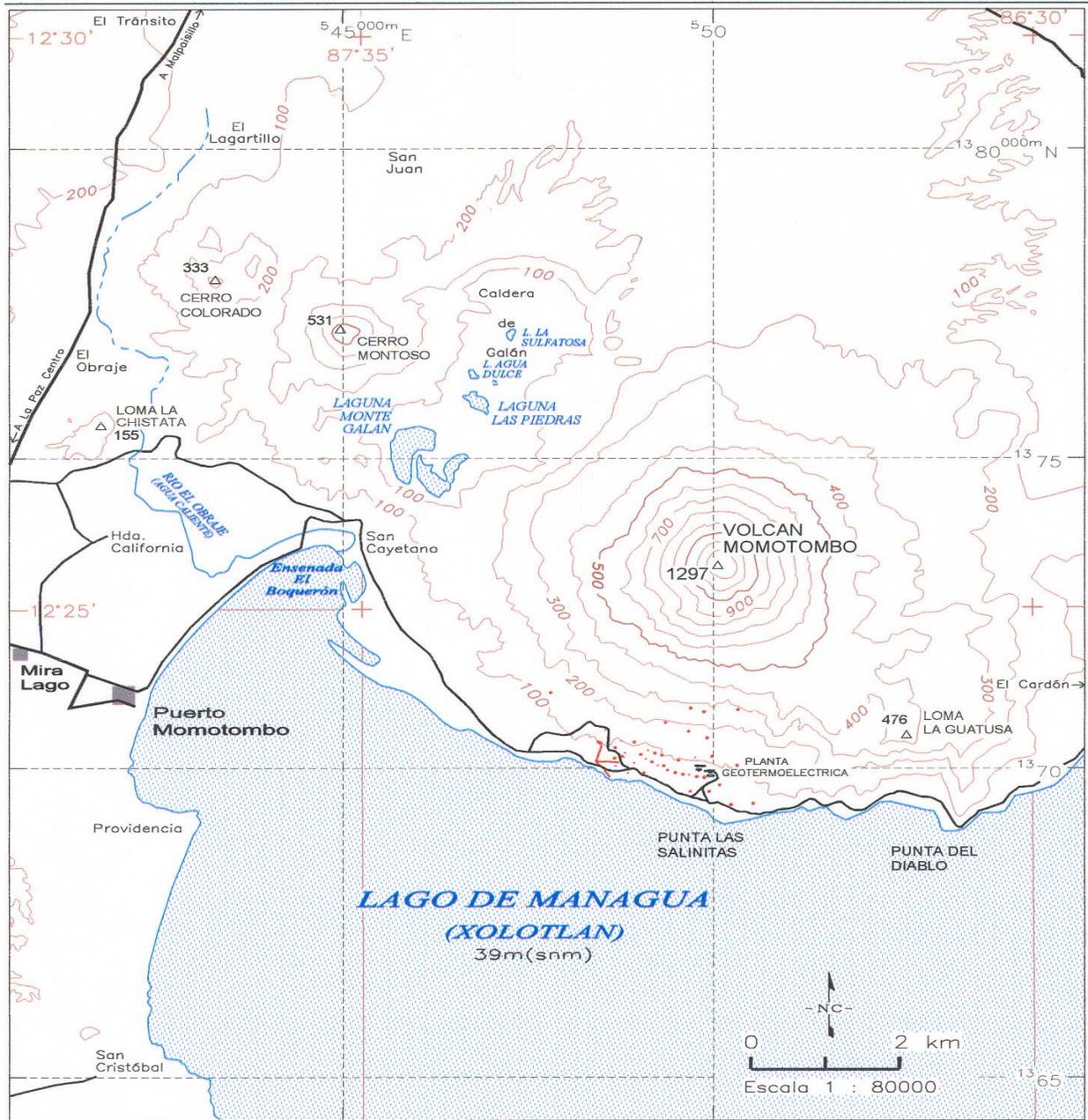
Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos	Débil (dependerá del sitio específico de la obra)	Optimización uso de caminos y plataformas ya existentes. Perforación de pozos a partir de únicas plataformas (perforación direccional).	Control ambiental durante la construcción.
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 Lago de Managua.	Débil - Moderada (El Lago de Managua ya está fuertemente contaminado por las grandes descargas de aguas negras que recibe en la zona de la ciudad capital, por las aguas geotérmicas residuales que han sido descargadas por largo tiempo, y por la descarga natural de los manantiales geotérmicos antes del desarrollo del campo)	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.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Probablemente ninguna	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.	Probablemente ninguna	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto. Si es necesario, controlar los horarios del uso de equipos ruidosos y/o controlar el ruido. Controlar la contaminación del aire con el uso de métodos y equipos adecuados.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.

Tabla VII-9.1: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para la Exploración Adicional, Área de Momotombo

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Mes →														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
I Investigaciones geoelectricas	\$200,000 a \$400,000	3 meses															
II Perforación de gradiente de temperatura																	
Suministro de agua	\$10,000	1 mes															
Caminos y plataformas	\$65,000	2 meses															
Perforación (10 pozos)	\$500,000	5 meses															
Toma de registros de temperatura	\$40,000																
III Análisis completo y síntesis de los resultados	\$85,000	3 meses															
IV Administración	\$65,000	duración															
V Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración															
VI Estudios de Impacto Ambiental para obtener la Concesión de Exploración y Permiso Ambiental de perforación de pozos de gradiente de temperatura	\$40,000	2 meses															
<b>TOTAL:</b>	<b>\$1,010,000 a \$1,210,000</b>																

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

## **FIGURAS**

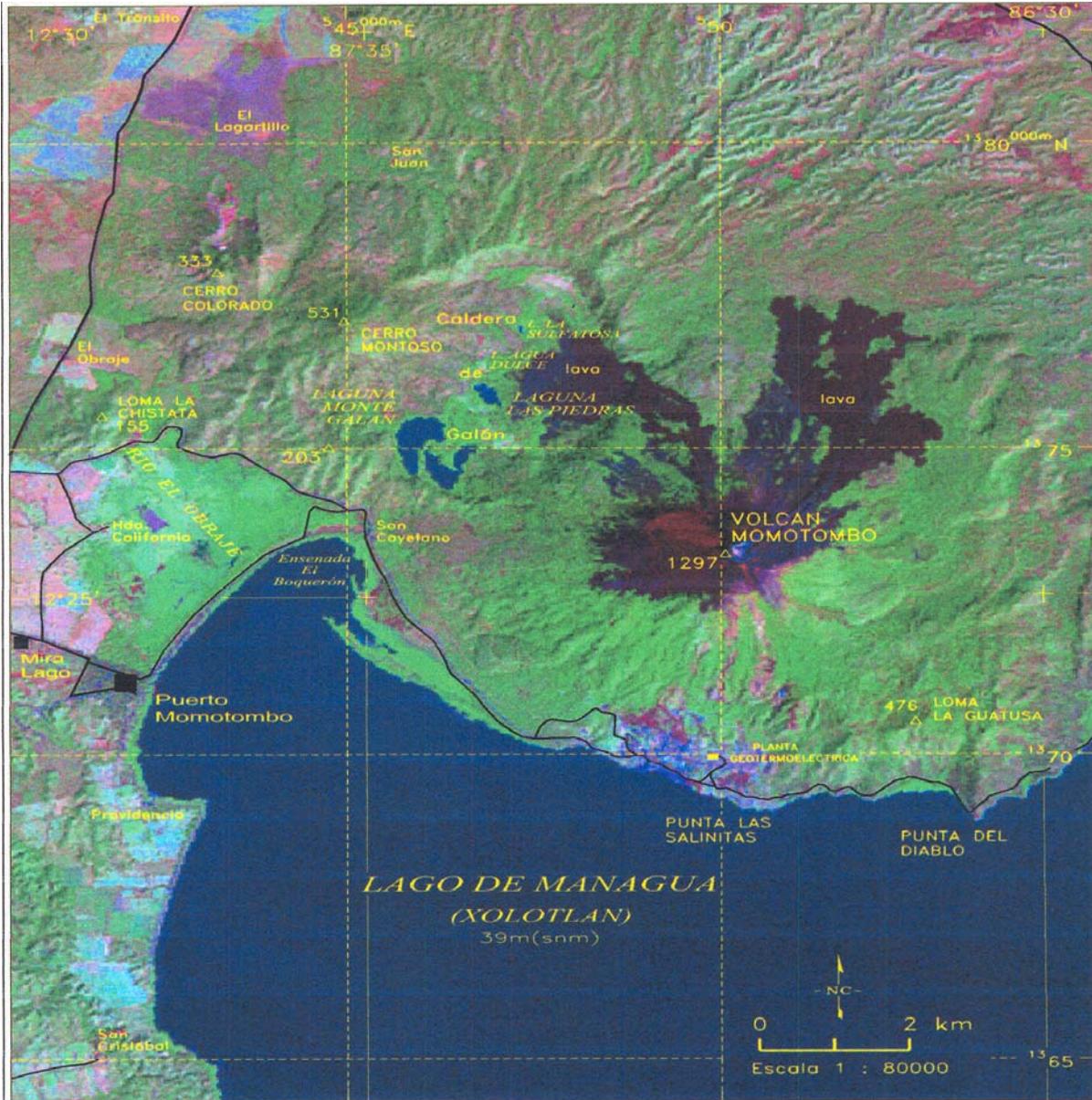


**LEYENDA**

	Poblado		Pozo geotérmico
	Camino secundario		
531	Elevación, m s.n.m.		
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100 m)		
	Datos topográficos: INETER (1988)		

**Figura VII-1.1: Mapa de ubicación, Momotombo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: VII-1.1.DWG	SCALE: 1 : 80000
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PLOTDATE: 29OCT2001	DRAWN: RRS APP.: RCH
TEL (510) 527-9878 FAX (510) 527-8184 EMAIL: MW@GEOTHERMEX.COM		PAGESETUP: MOMOT-1	REV.: NOV99/APROO/JUL00 JUN01/OCT01



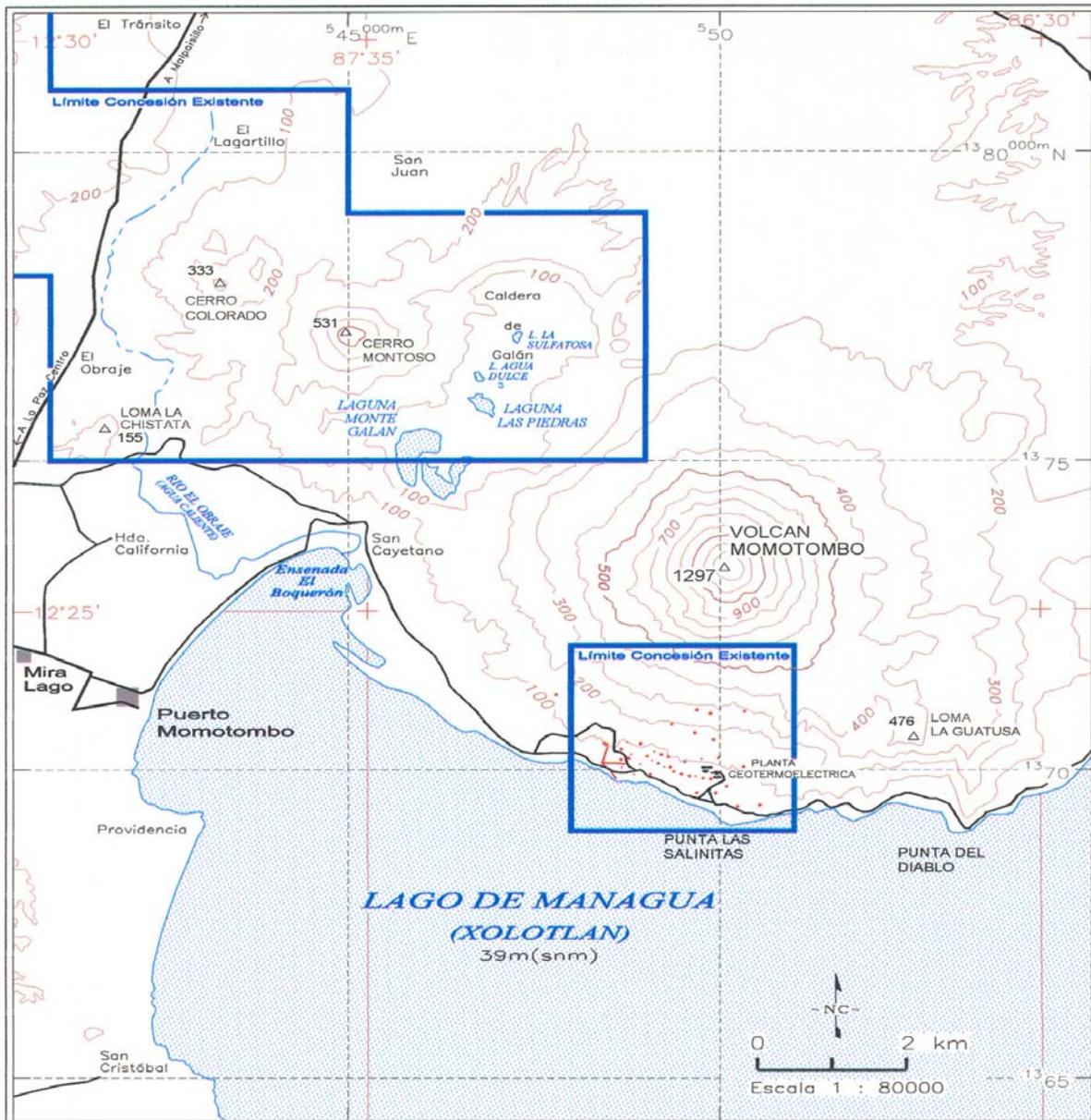
**LEYENDA**

- Poblado
- Camino secundario
- 531 Δ Elevación, m s.n.m.

Imagen satelitaria: Landsat 5, Jan 6, 1987

**Figura VII-1.2: Imagen Landsat, Momotombo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: VII-1.2.DWG	SCALE: 1 : 80000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 29OCT2001	DRAWN: RRS APP.: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGESETUP: MOMOT-1	REV.: NOV99/AMPOO/ARL00
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOHERMEX.COM			JUN01/OCT01

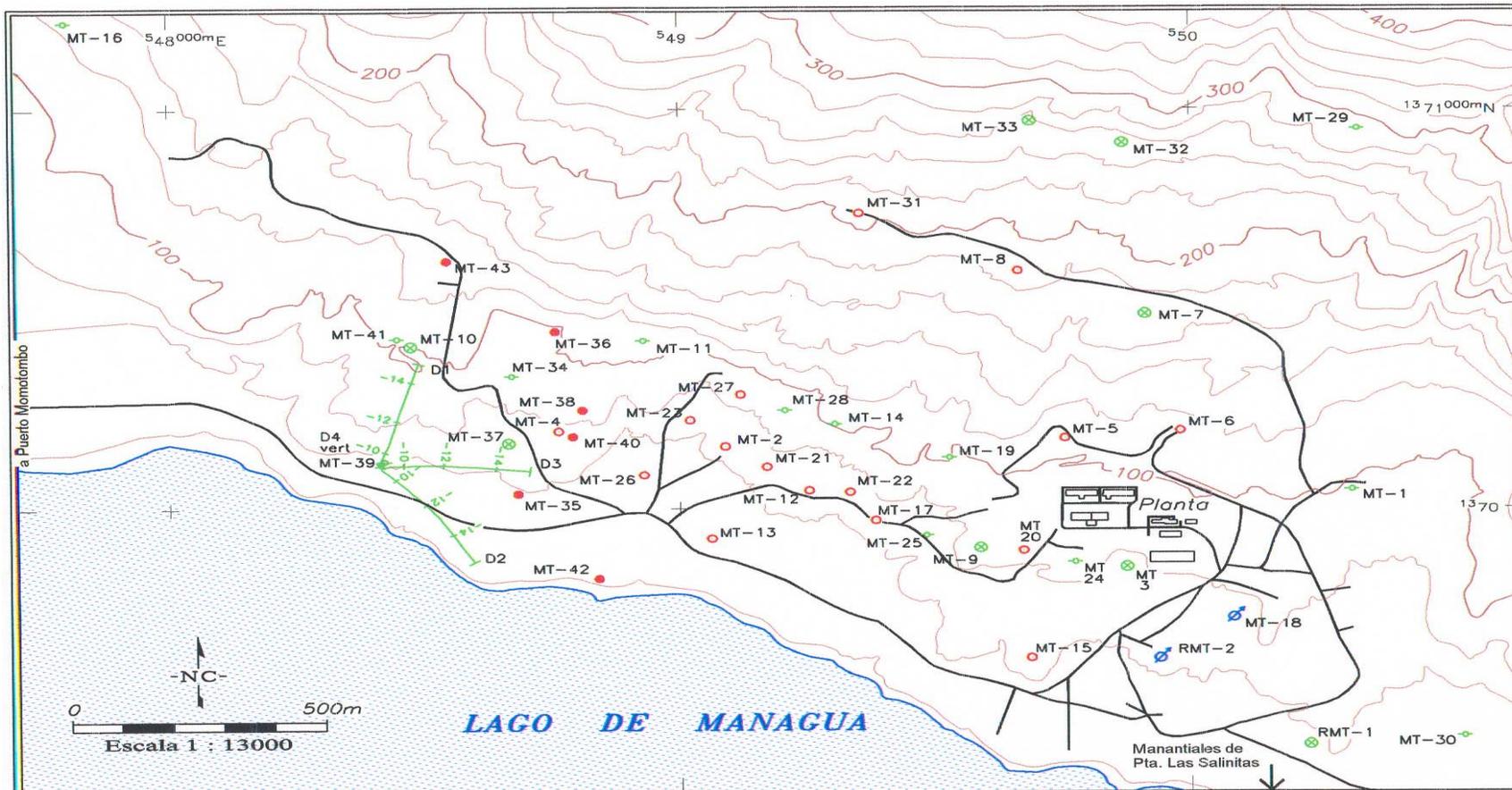


**LEYENDA**

	Area de concesión existente
	Pozo geotérmico
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100 m)
	Datos topográficos: INETER (1988)

**Figura VII-2.1: Area de concesión geotérmica, Momotombo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b> GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM	FILE: VII-2.1.10WG PLOTDATE: 29OCT2001 PAGESETUP: MOMOT-1	SCALE: 1 : 80000 DRAWN: RRS REV: NOV99/APROD/JUL00 APP: RCH JUN01/OCT01
---	---	---



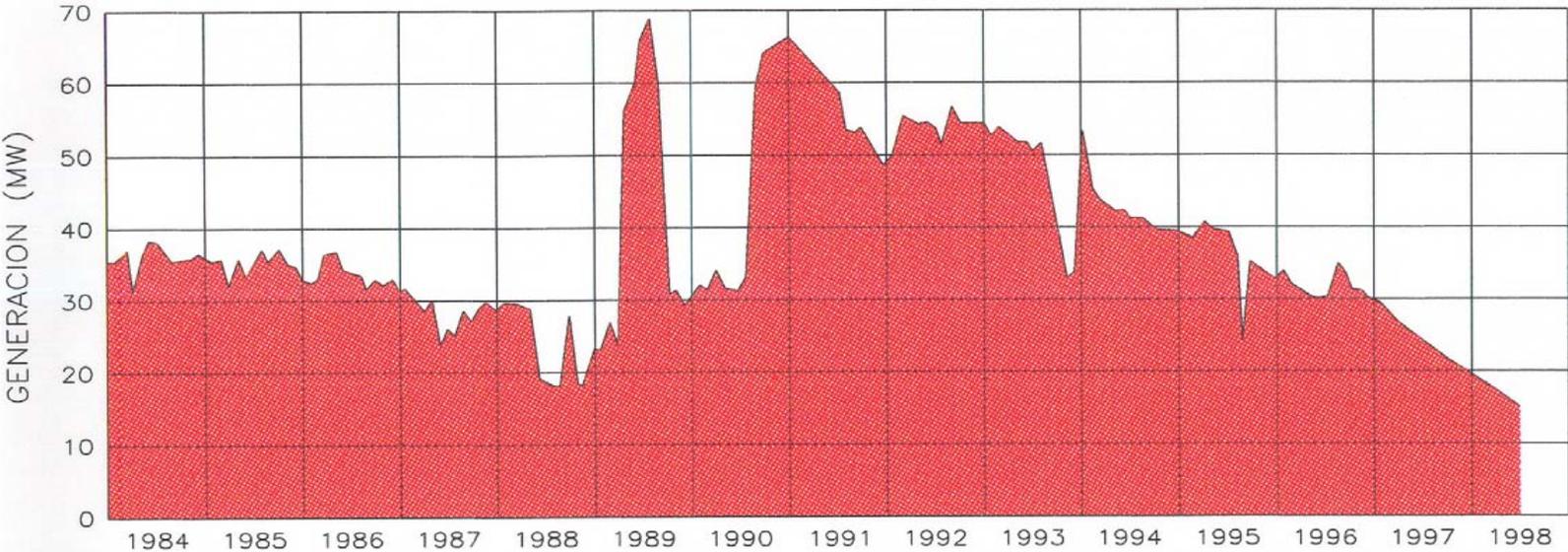
Leyenda	
<span style="color: red;">●</span>	Pozo de producción
<span style="color: blue;">●</span>	Pozo de inyección
<span style="color: red;">○</span>	Pozo cerrado
<span style="color: green;">⊗</span>	Pozo no comercial
<span style="color: green;">⊗</span>	Pozo abandonado
<span style="color: green;">⊗</span>	Pozo desviado, con elevación (en 200m)
	Camino secundario
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 20m)

**Figura VII-2.2: Mapa de ubicación de pozos, campo geotérmico de Momotombo, Nicaragua**

**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL (510) 927-9876 FAX (510) 927-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: VII-2.2.DWG	SCALE: 1 : 80000
PLOTDATE: 22JUN2001	DRAWN: RRS APP.: RCH
PAGESETUP: MOMOT-2	REV: NOV99/APR00/JUL00 JUN01

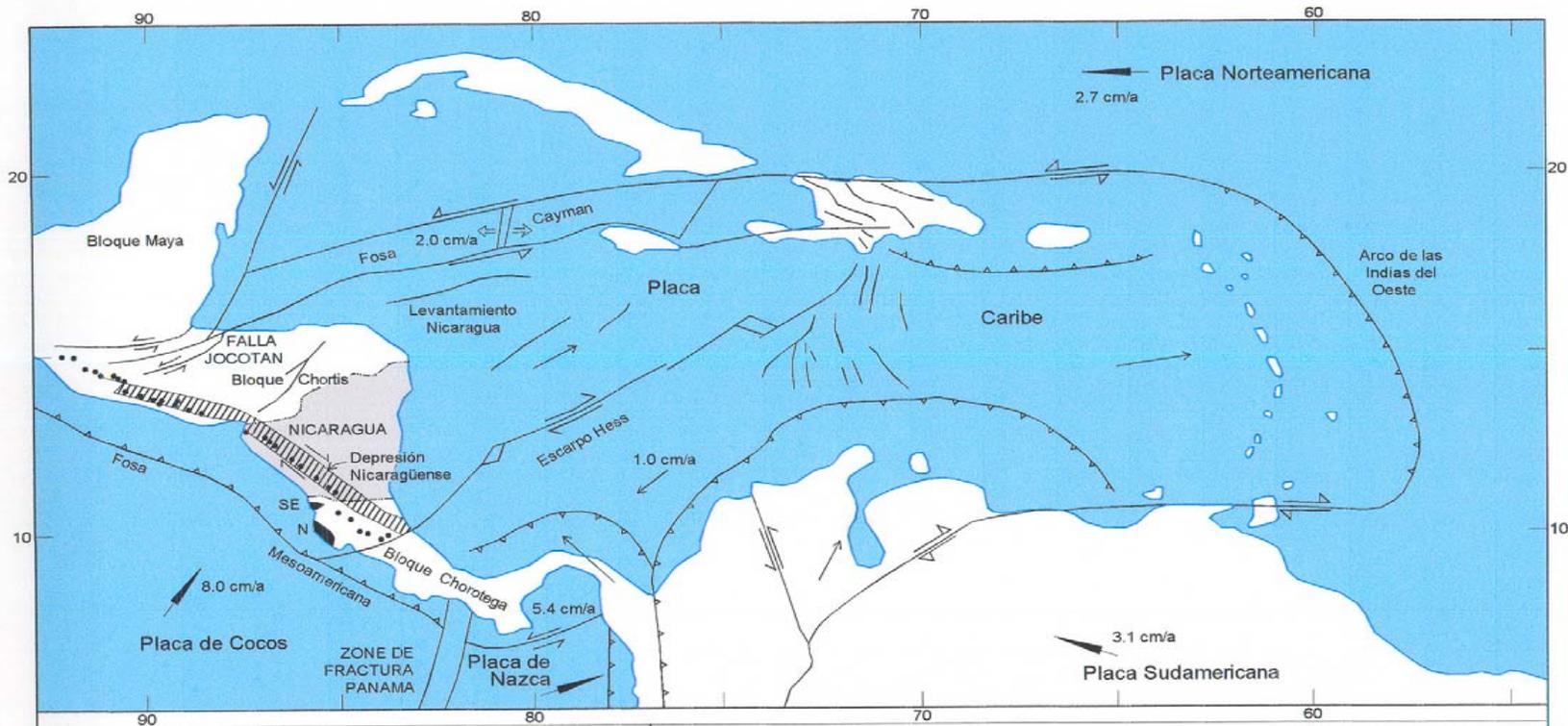
CAMPO GEOTERMICO MOMOTOMBO



**Figura VII-2.3:**  
**Generación geotermoeléctrica 1984-1998,**  
**campo geotérmico de Momotombo, Nicaragua**

**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL (510) 527-9878 FAX (510) 527-8164 EMAIL WWW@GEOTHERMEX.COM

FILE: VI-2.3.DWG	SCALE: 1 : 80000
PLOTDATE: 18/JAN/2001	DRAWN: RRS APP.: CWK
PAGESETUP: VII-2.3	REV.: NOV99/APROD/JUL00



**LEYENDA**

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

**Figura VII-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: 23OCT2001	DRAWN: RRS	APP.: CWK
FILE: VII-3.1.DWG	PAGE SETUP: FIG 3.1	

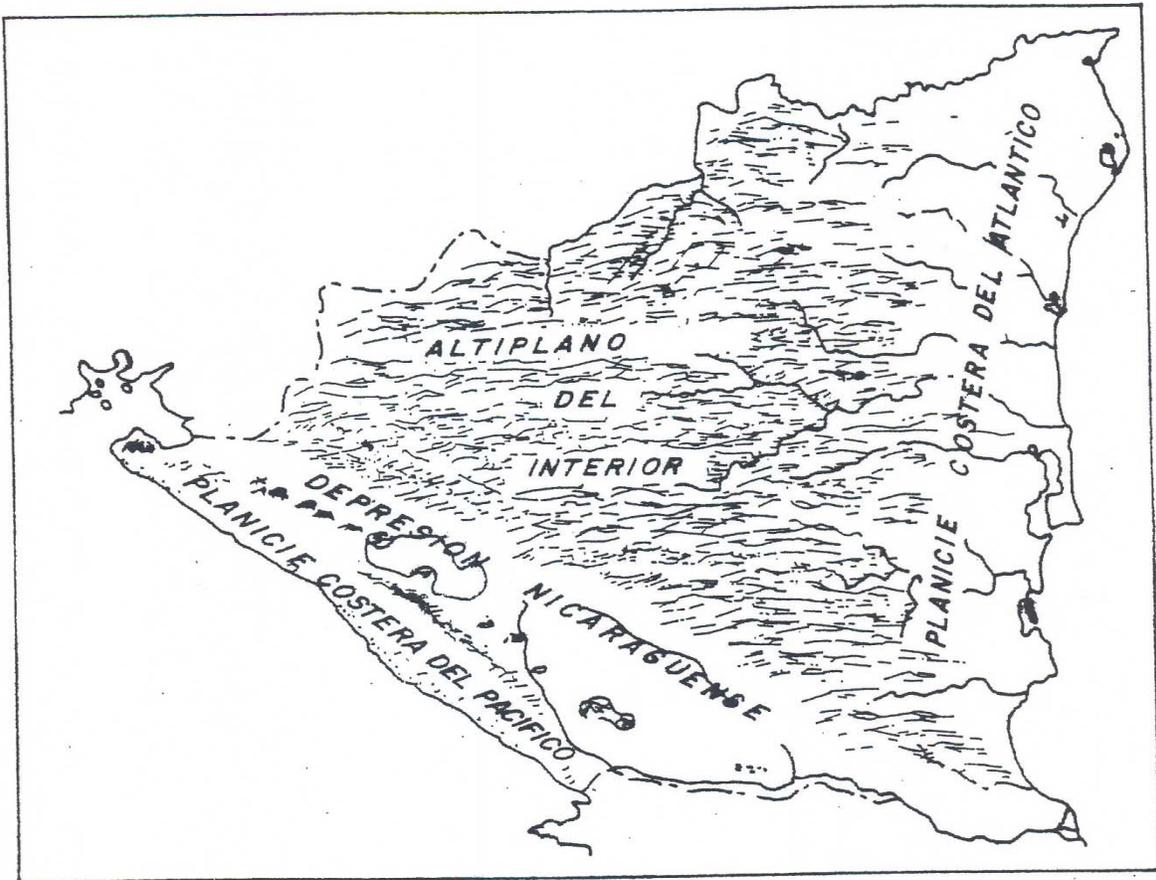
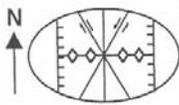
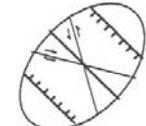
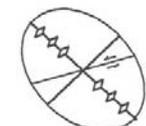


Figura VII-3.2: Provincias fisiográficas de Nicaragua  
(original de McBirney *et al.*, 1965)

**Figura VII-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 Chortís - 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
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----	<i>discordancia angular</i>	
22.5	Oligoceno			Formación El Fraile		<i>discordancia angular</i>
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----		
38	Eoceno			Formación Masachapa		Grupo Matagalpa
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----		
55	Paleoceno			Formación Brito		
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----		
65	Cretácico Superior			Formación Rivas		
		----- ? -----	----- ? -----	----- ? -----		

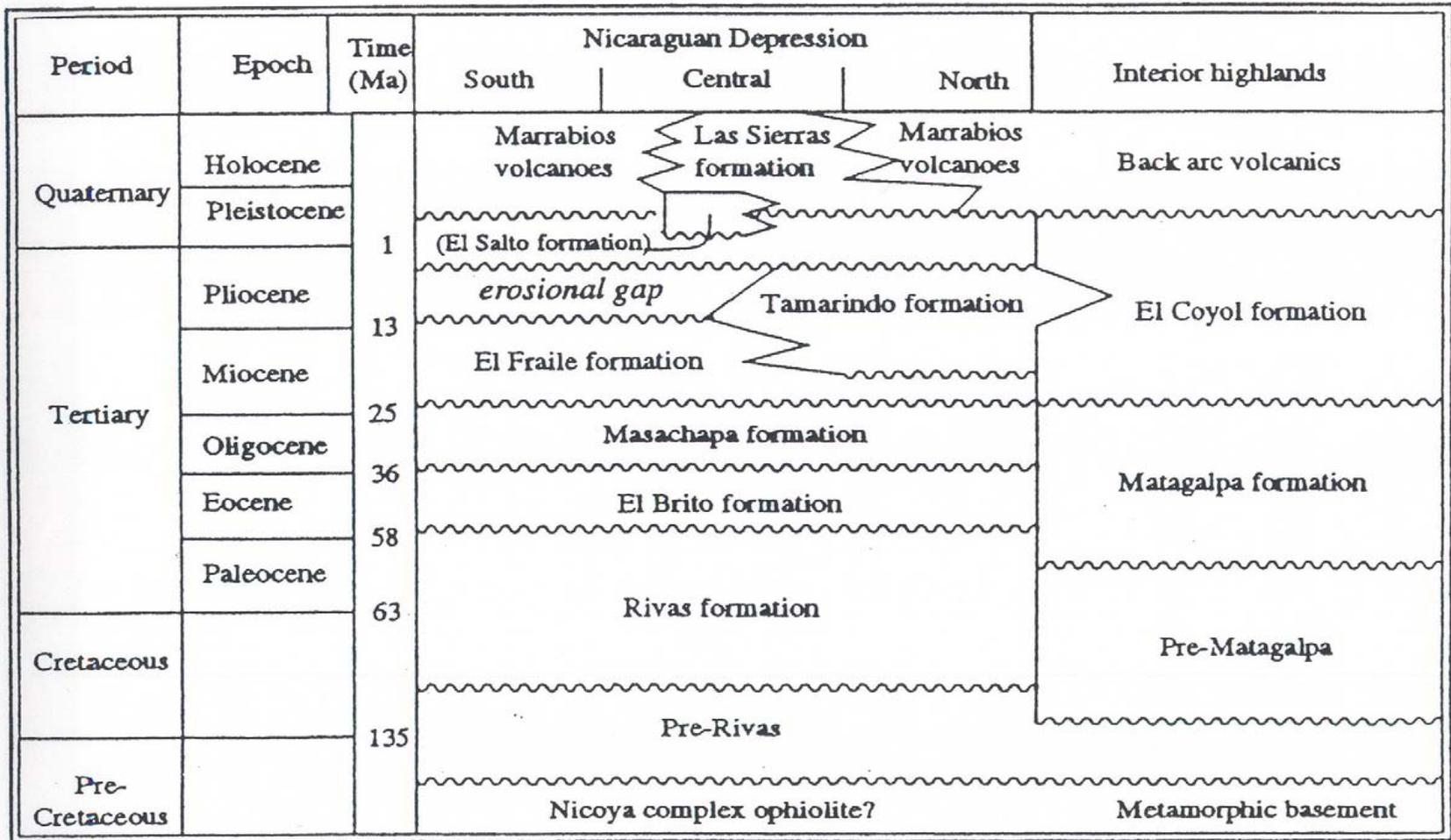


Figura VII-3.4: Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)

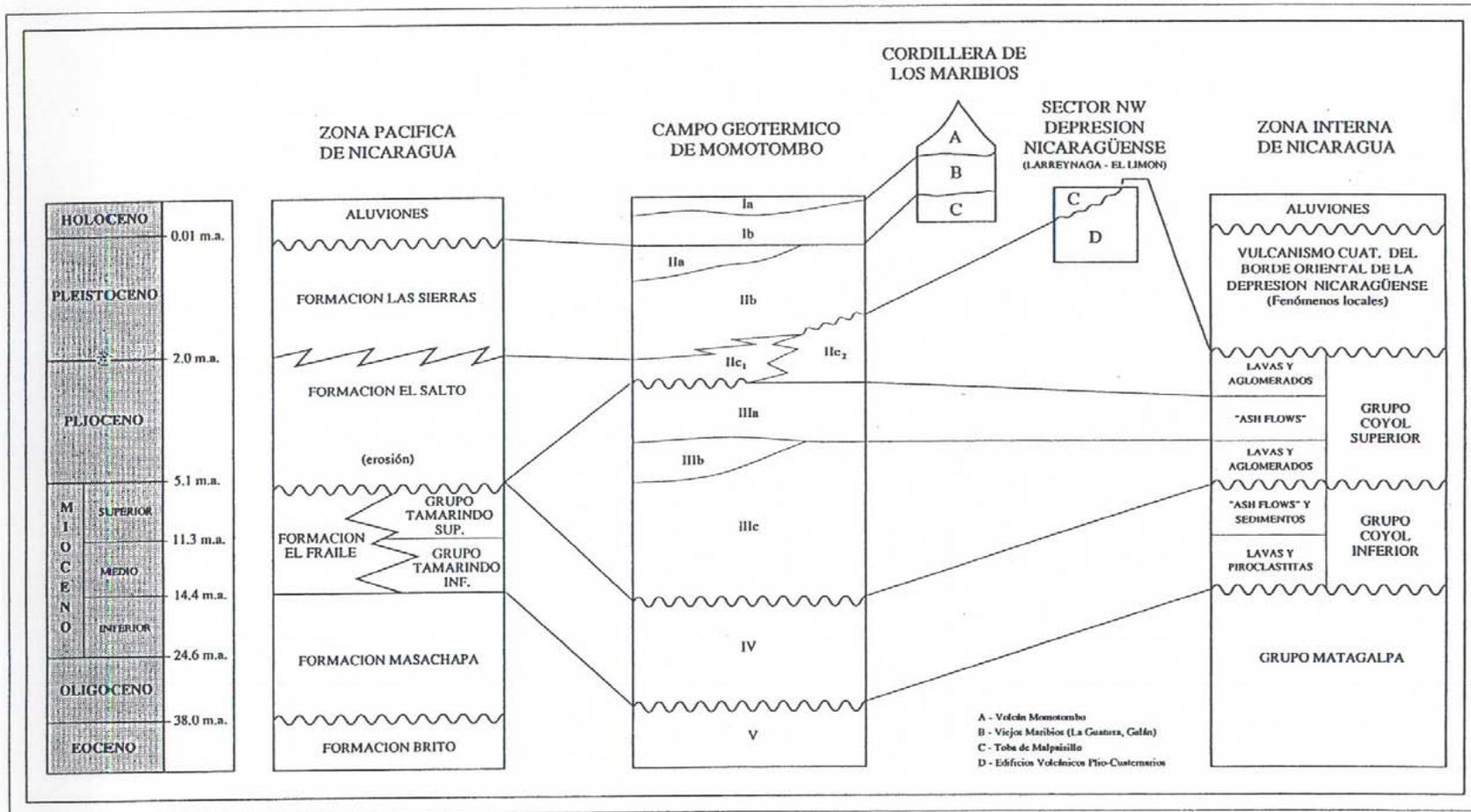
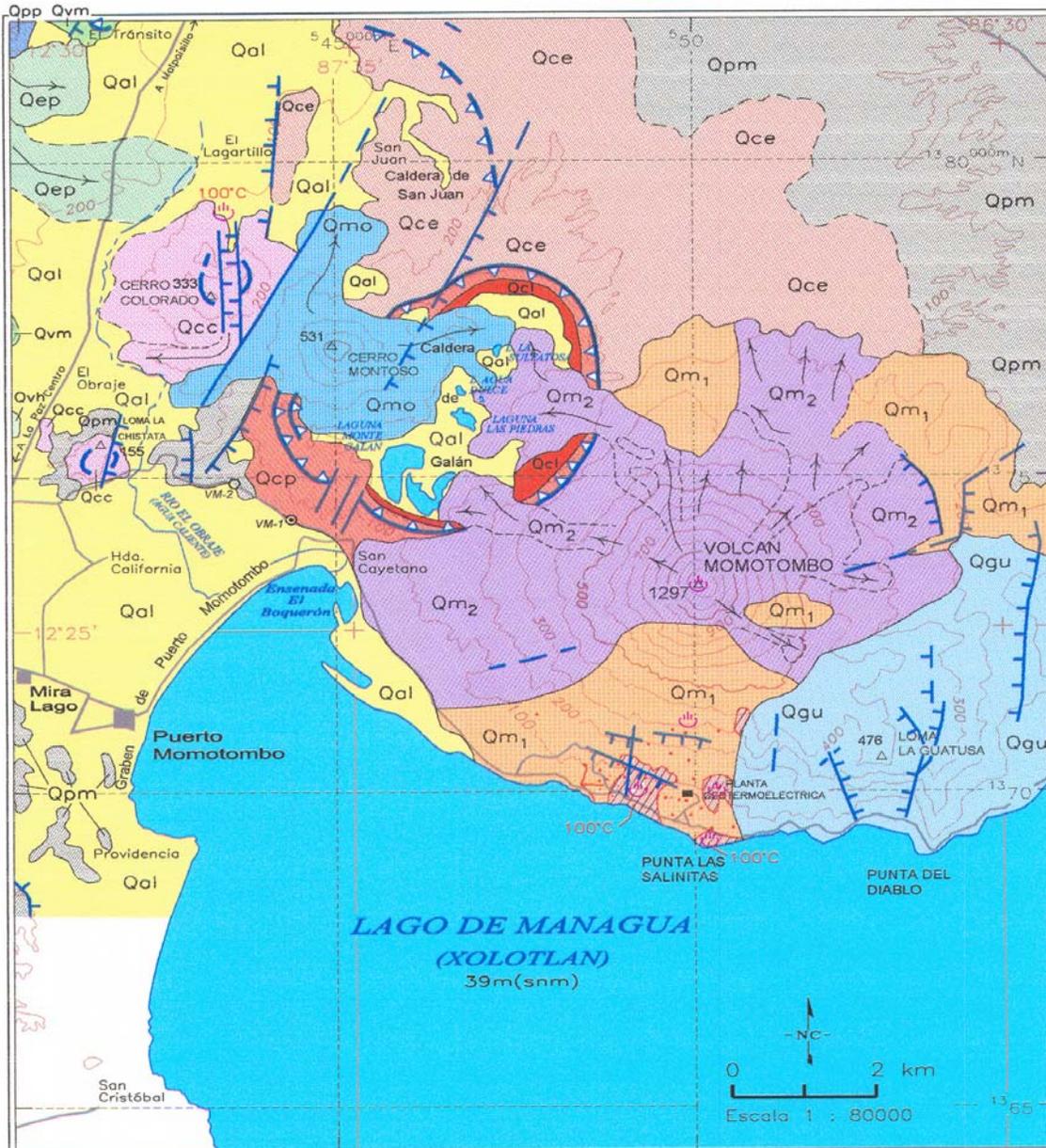


Figura VII-3.5: Esquema estratigráfico y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)



**LEYENDA**

	Poblado
	Camino secundario
531	Elevación, m s.n.m.
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100 m)
Datos topográficos: INETER (1988)	

**Figura VII-3.6(a): Esquema geológico del área Momotombo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: VI-3.6a.DWG	SCALE: 1 : 80000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 29OCT2001	DRAWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		REV.: NOV99/APR00/JUL00	
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL: WWW.GEOTHERMEX.COM		PAGESETUP: MOMOT-1 JUN01/OCT01	

## LEYENDA GEOLOGICA

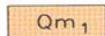
### DEPOSITOS SUPERFICIALES

 **Qal** Planicies aluvionales y lacustres; abanicos aluvionales; coluvión

### COMPLEJO VOLCANICO MOMOTOMBO GALAN

 **Qm<sub>2</sub>** Lavas y piroclásticos recientes de Momotombo

 **Qmo** Lavas y piroclásticos de Cerro Montoso

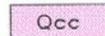
 **Qm<sub>1</sub>** Flujo lávicos antiguas de Momotombo

 **Qgu** Rocas volcánicas de Loma La Guatusa

 **Qce** Depósitos de material volcánico retrabajado

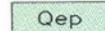
 **Qcp** Tobas del edificio de Galán

 **Qcl** Lavas precaldéricas de Galán

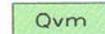
 **Qcc** Conos cineríticos de Cerro Colorado y Loma La Chistata

### COMPLEJO VOLCANICO DE EL HOYO

 **Qvh** Edificio del Volcán El Hoyo

 **Qep** Edificio de El Picacho

 **Qpp** Edificios pre-Picacho

 **Qvm** Edificios volcánicos menores

### ESCUDO IGNIMBRITICO DE MALPAISILLO

 **Qpm** Toba Malpaisillo y productos no diferenciados

### SIMBOLOS

 Contacto geológico

 Borde de caldera o cráter

 Flujo lávico

 Falla

 Lincamiento estructural

 Fumarola

 Manifestación termal

 Pozo geotérmico

 Muestra de roca análisis petrográfico (p.e. VM-2)

 Muestra de roca análisis petrográfico y datación (p.e. VM-1)

Figura VII-3.6(b):  
Leyenda del esquema geológico del área Momotombo, Nicaragua

**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: VI-3.6b.DWG

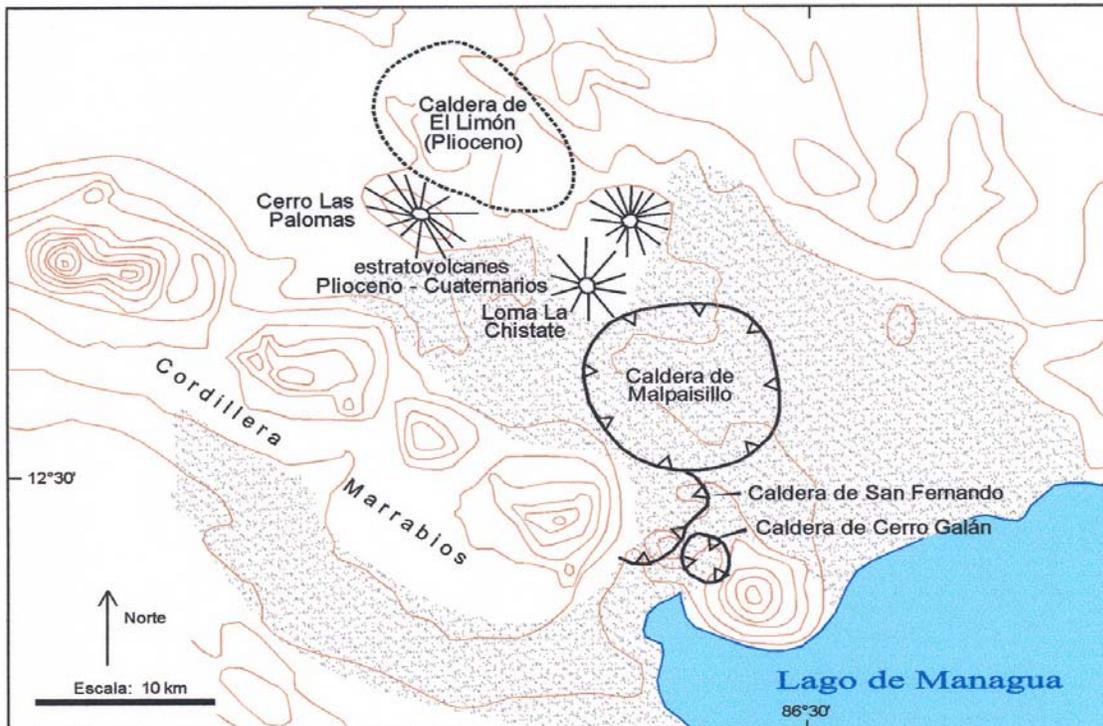
PLOTDATE: 22JUN2001

DRAWN: RRS

APP.: RCH

PAGESETUP: MOMOT-1

REV: APROO/JUL00/JAN01  
JUN01

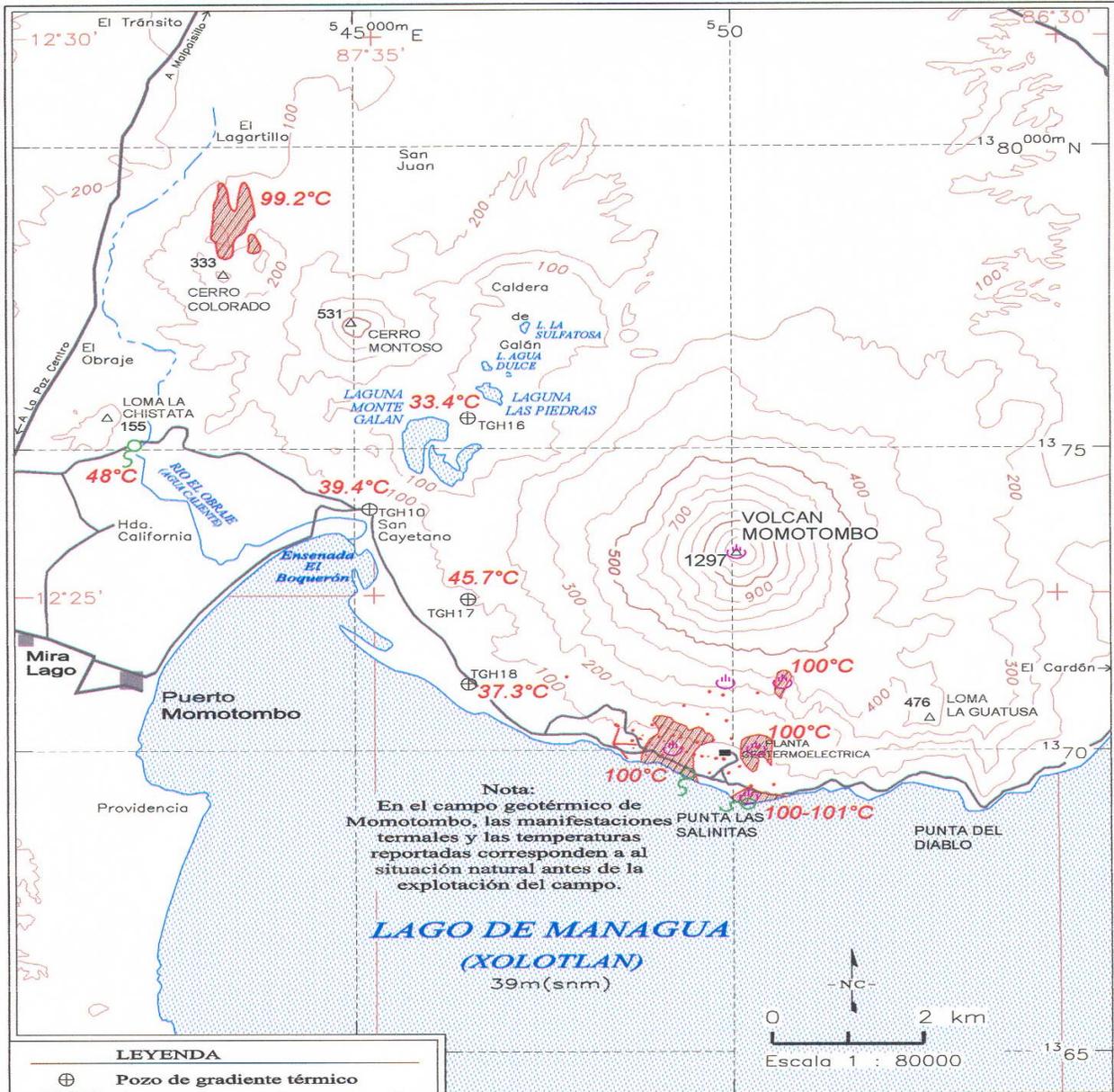



 Extensión conocida de los afloramientos superficiales y subsuperficiales de la cadena de los Marrabios

**Figura VII-3.7:**  
**Bosquejo general del escudo ignimbrítico de Malpaisillo**  
 (original de van Wyk de Vries, 1993)

**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL (510) 527-9878 FAX (510) 527-8164 EMAIL [HW@GEOTHERMEX.COM](mailto:HW@GEOTHERMEX.COM)

FILE: VII-3.7.DWG	DRAWN: RRS	APP.: CWK
PLOTDATE: 07NOV2001	PAGE SETUP: VI-3.7	

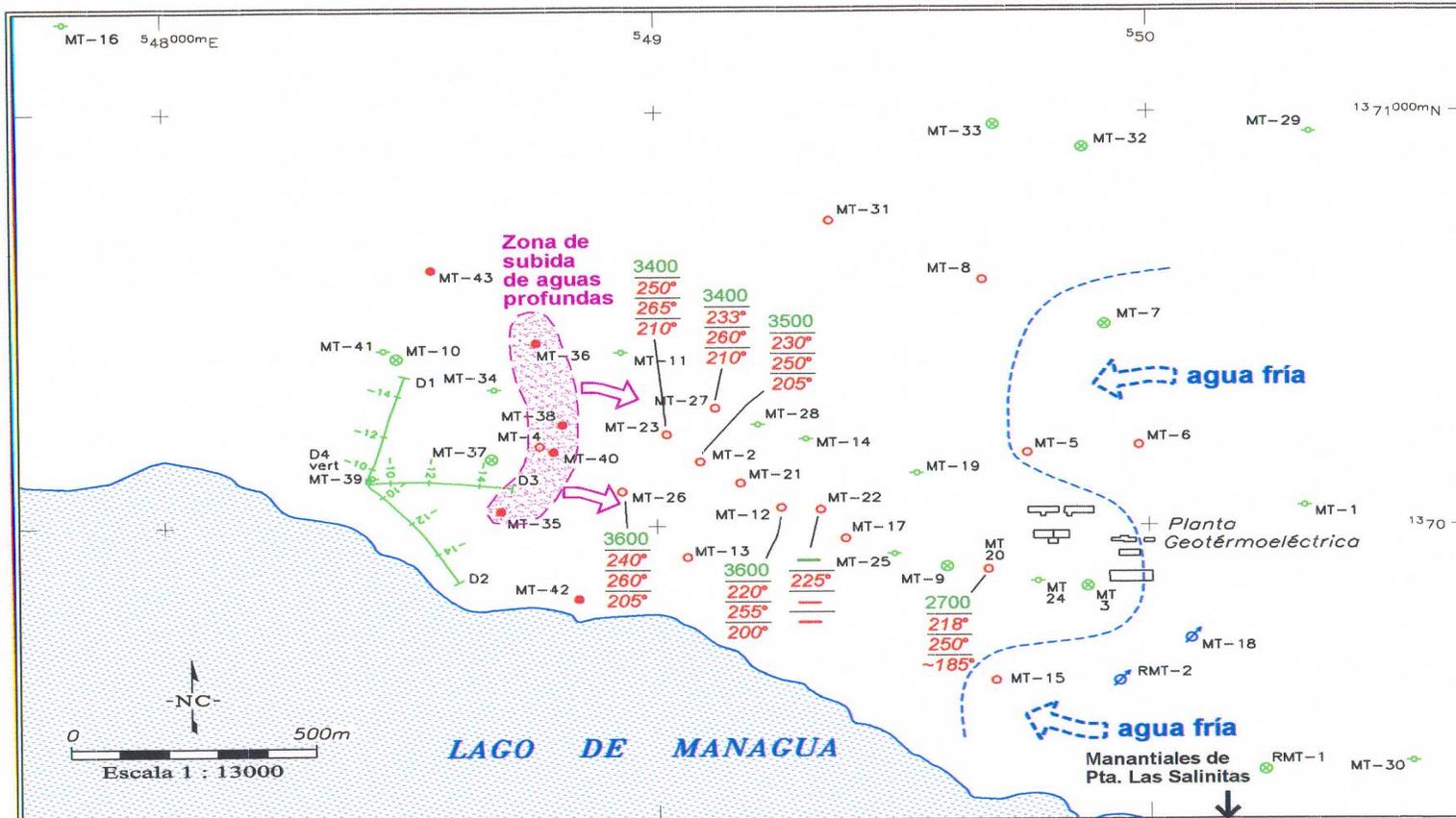


**LEYENDA**

	Pozo de gradiente térmico
45.7°C	Temperatura máxima registrada
	Area termal
	Fumarola
	Manantial
	Pozo geotérmico
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100 m)
	Datos topográficos: INETER (1988)

**Figura VII-4.1.1:**  
**Ubicación y características de las manifestaciones termales, Momotombo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: VII-4.1.1.DWG	SCALE: 1 : 80000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLATE: 19002001	DRAWN: RRS
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		DATESETUP: MOMOT-1	APP: RCH
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL NW@GEOHERMEX.COM		REV: NOV89/JUN00	REV: NOV89/JUN00



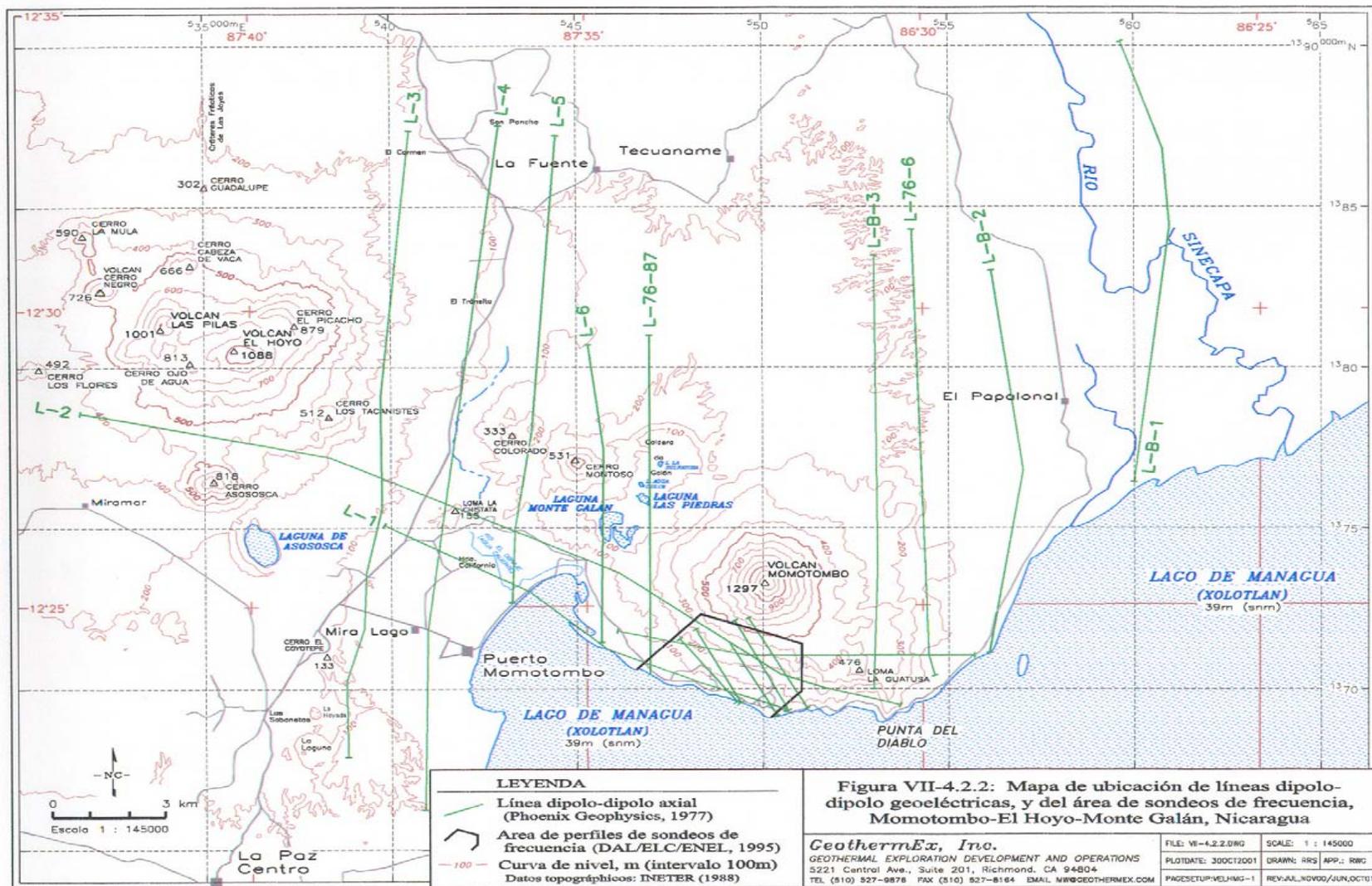
Leyenda		Condiciones en el yacimiento a inicios de producción:	
●	Pozo de producción	122	mg/l de Cl
○	Pozo de inyección	30°	T °C, fondo de pozo
○	Pozo cerrado	30°	T °C, NaKCa
⊕	Pozo no comercial	30°	T °C, cuarzo
⊗	Pozo abandonado		
⊕	Pozo desviado, con elevación (en 200m)		
→			

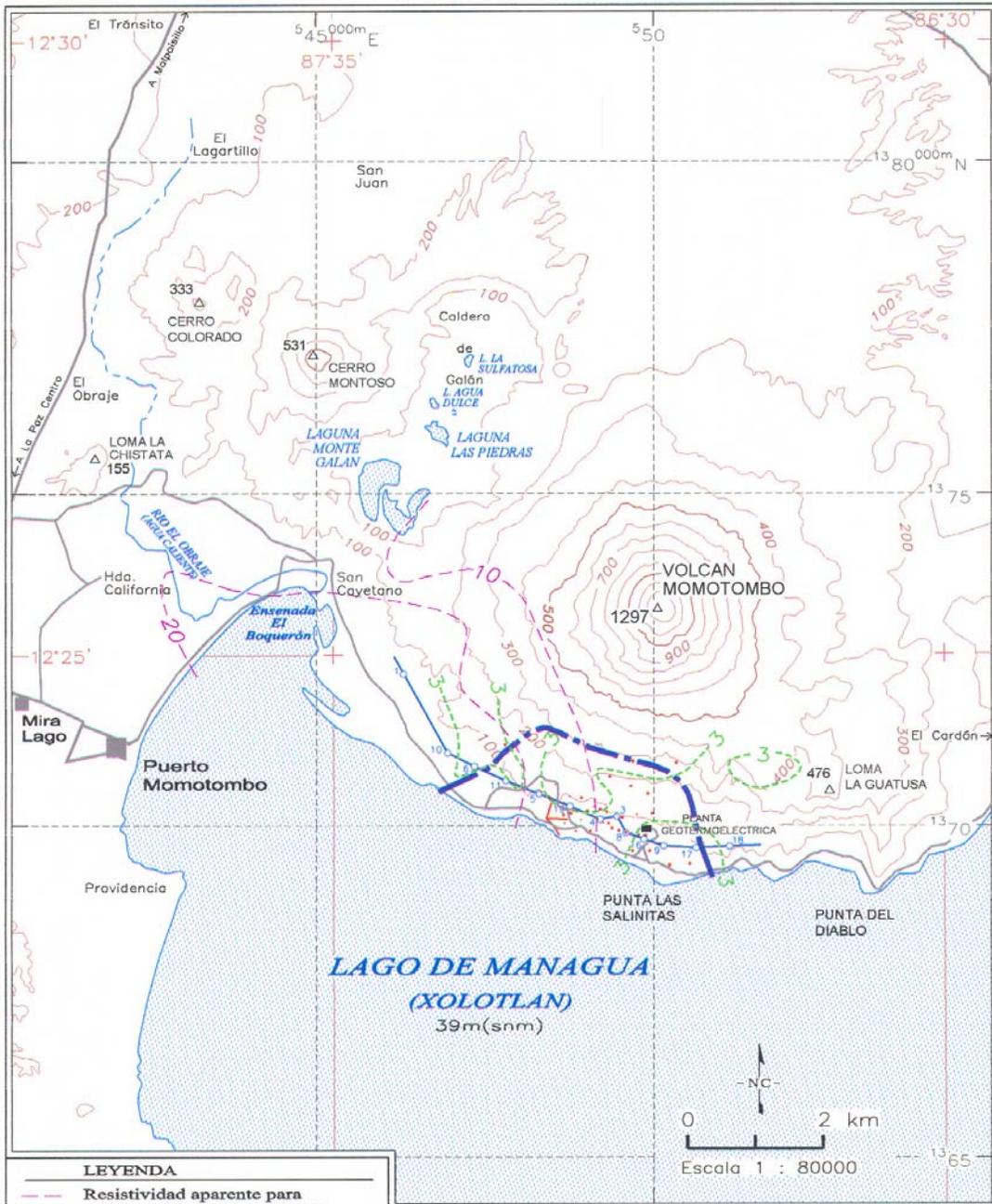
**Figura VII-4.1.2: Mapa de ubicación y características químicas de los pozos geotérmicos, campo geotérmico de Momotombo, Nicaragua**

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

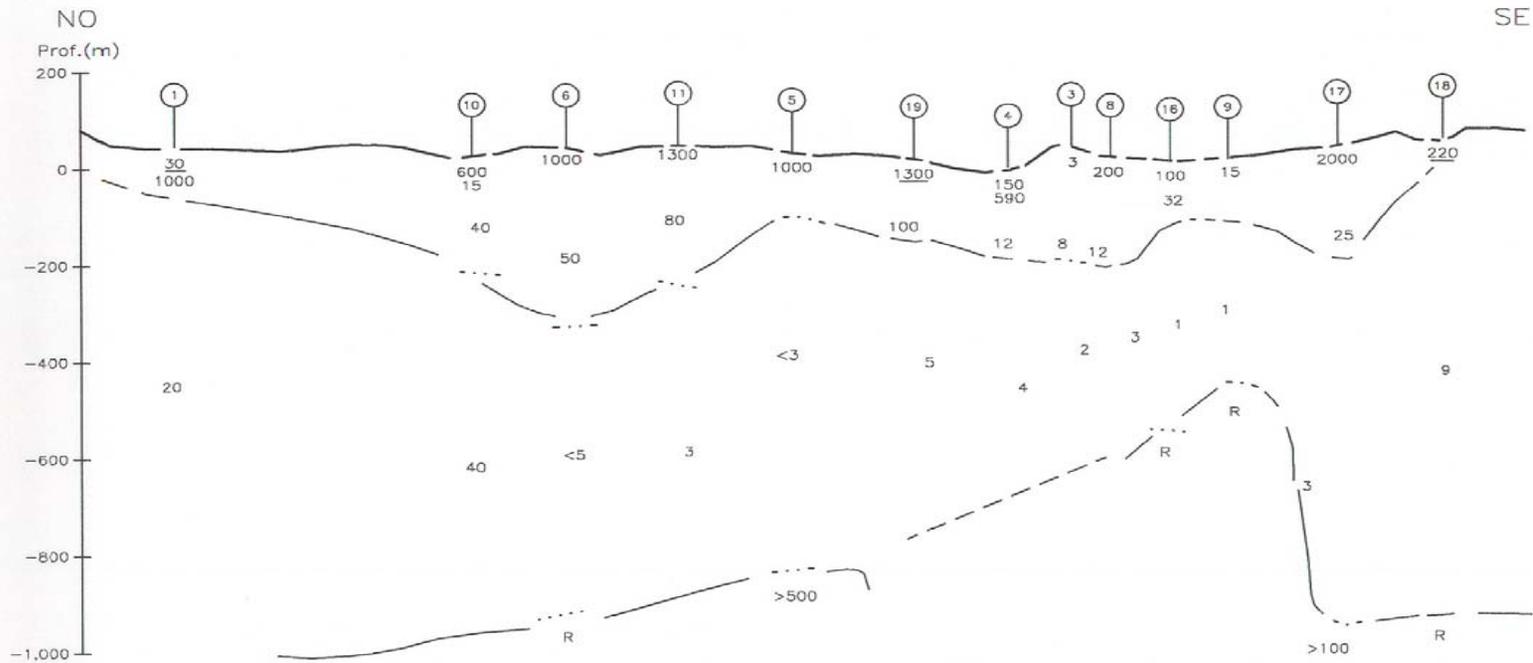
FILE: VII-4.1.2.DWG	SCALE: 1 : 80000
PLOTDATE: 27JUN2001	DRAWN: RRS APP.: CWK
PAGESETUP: MOMOT-2	REV.: NOV98/APR00/JUL00 JUN01







**Figura VII-4.2.3: Mapa de ubicación de anomalías de baja resistividad, Momotombo, Nicaragua**



Ver ubicación del perfil en la Figura VII-4.2.3

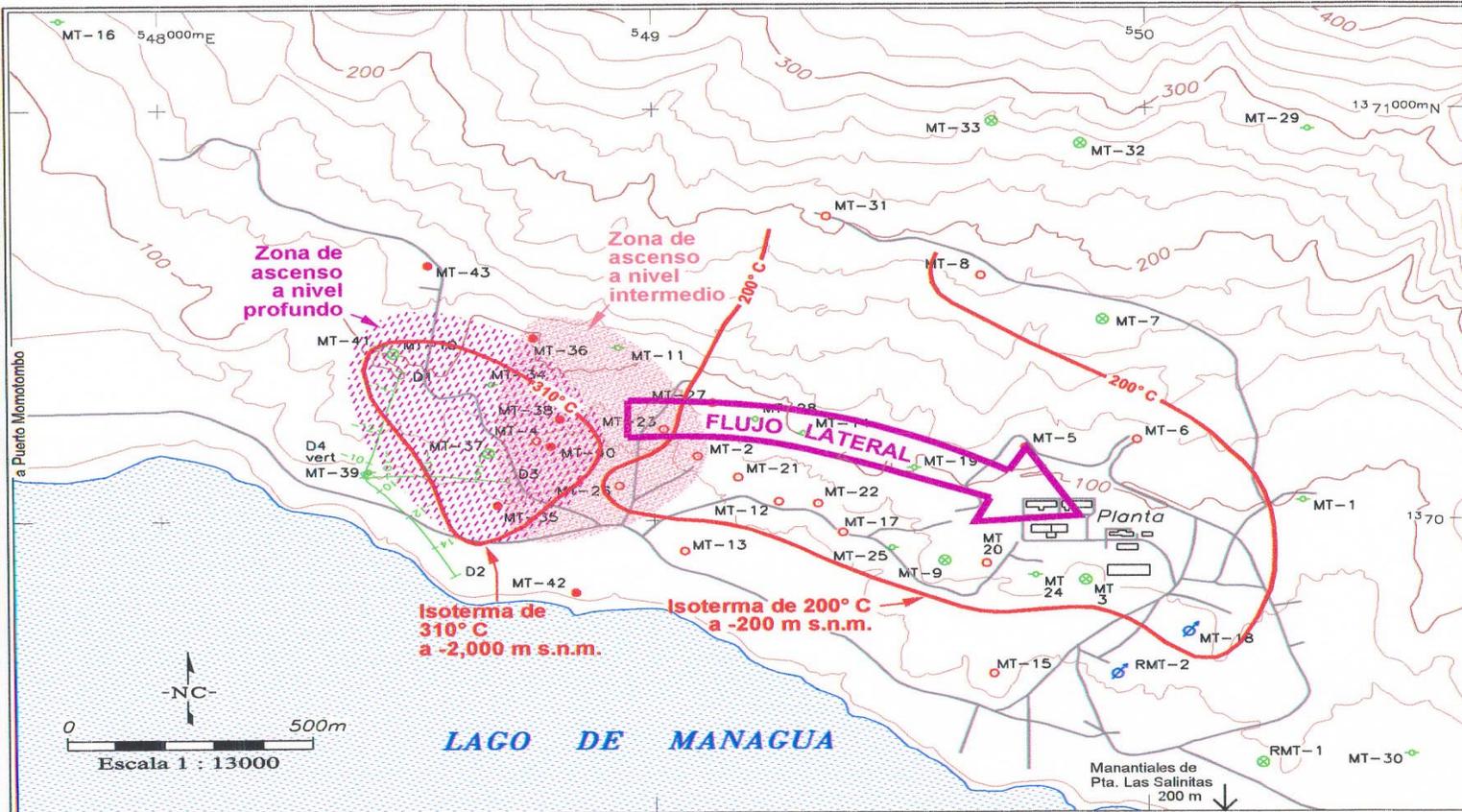
**LEYENDA**

- ⑩ Número sondeo eléctrico vertical
- Contacto electrostratigráfico
- · · · · Contacto aproximado
- 40 Valor en ohmios-metros
- R Resistivo

**Figura VII-4.2.4: Sección electrostratigráfica de Momotombo, Nicaragua (ELC Electroconsult, 1975)**

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

FILE: VII-4.2.4.DWG	NOT TO SCALE	
PLOTDATE: 16JAN2001	DRAWN: RRS	APP.: RWG
PAGE SETUP: GP-MOMO	REV: MAY00/SEP00/JAN01	

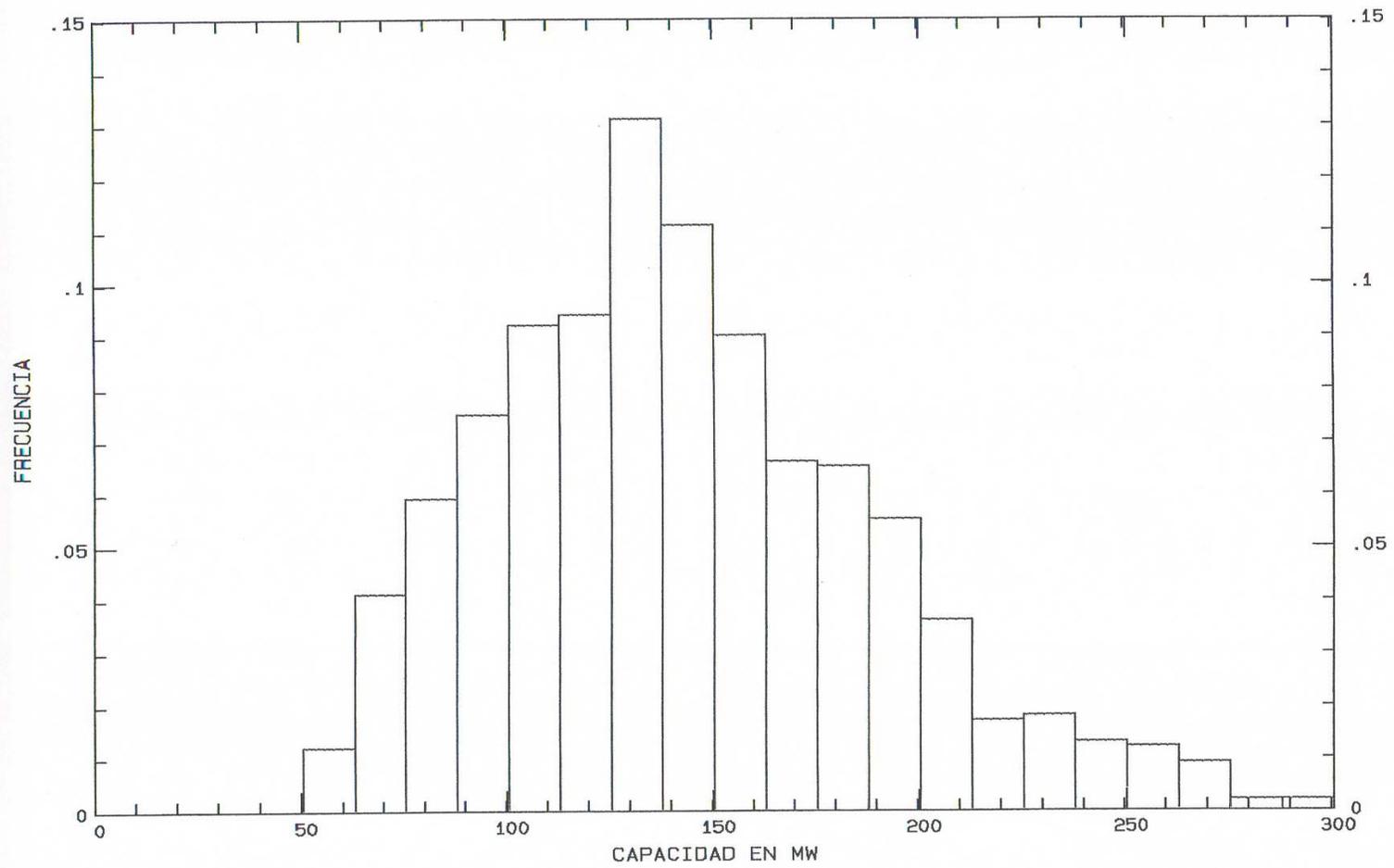


Leyenda	
<span style="color: red;">●</span>	Pozo de producción
<span style="color: blue;">○</span>	Pozo de inyección
<span style="color: red;">○</span>	Pozo cerrado
<span style="color: green;">○</span>	Pozo no comercial
<span style="color: green;">⊗</span>	Pozo abandonado
<span style="color: green;">○</span>	Pozo desviado, con elevación (en 200m)
	Camino secundario
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 20m)

**Figura VII-5.1:**  
**Modelo geotérmico conceptual,**  
**Momotombo, Nicaragua**

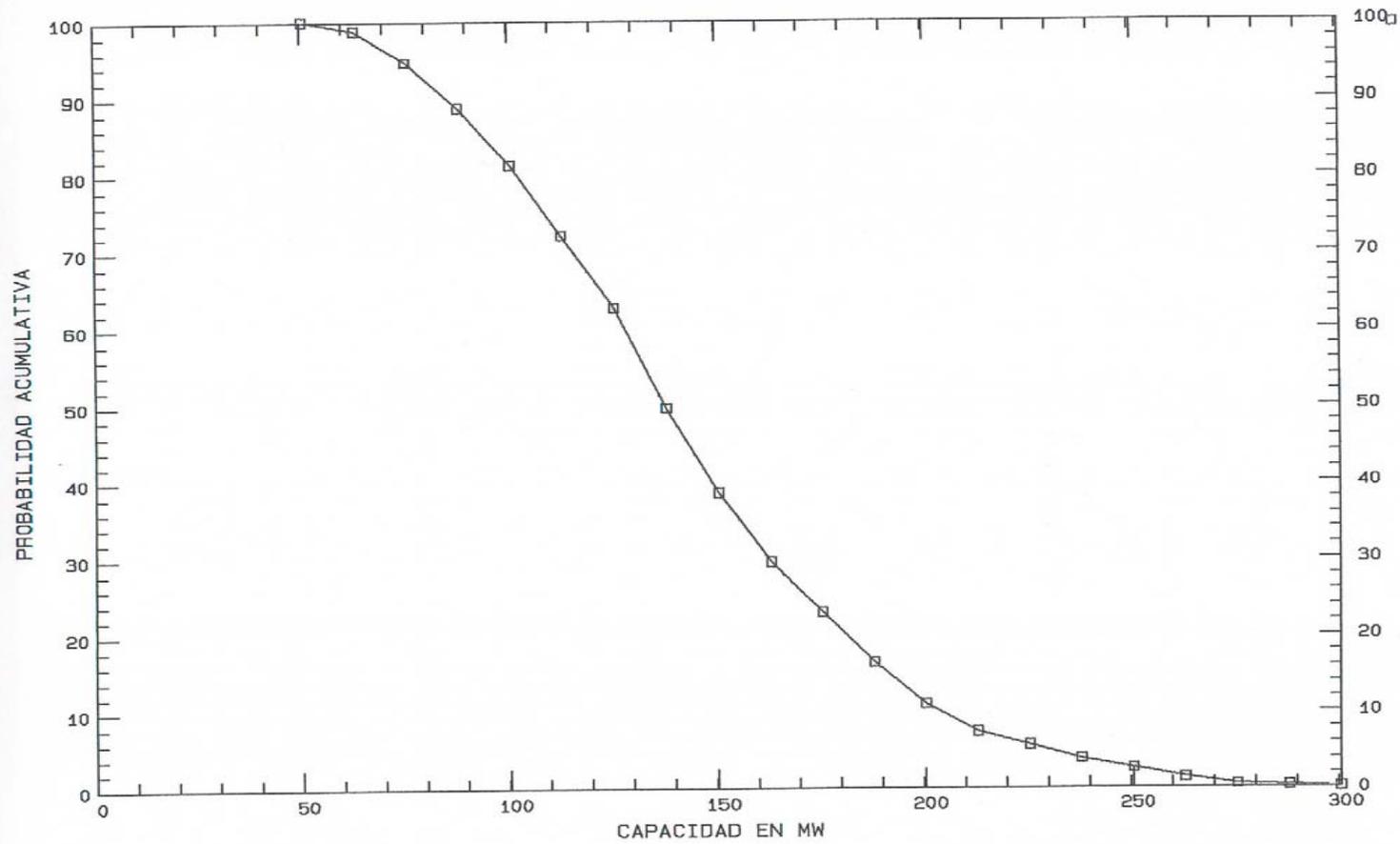
<b>GeothermEx, Inc.</b>	FILE: VII-5.1.DWG	SCALE: 1 : 80000
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS	PLOTDATE: 22JUN2001	DRAWN: RRS APP: CWK
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804	PAGESETUP: MOMOT-2	REV: NOV99/APR00/JUL00
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM		JAN01/FEB01/JUN01

Figura VII-6.1: Histograma de capacidad energética, Momotombo



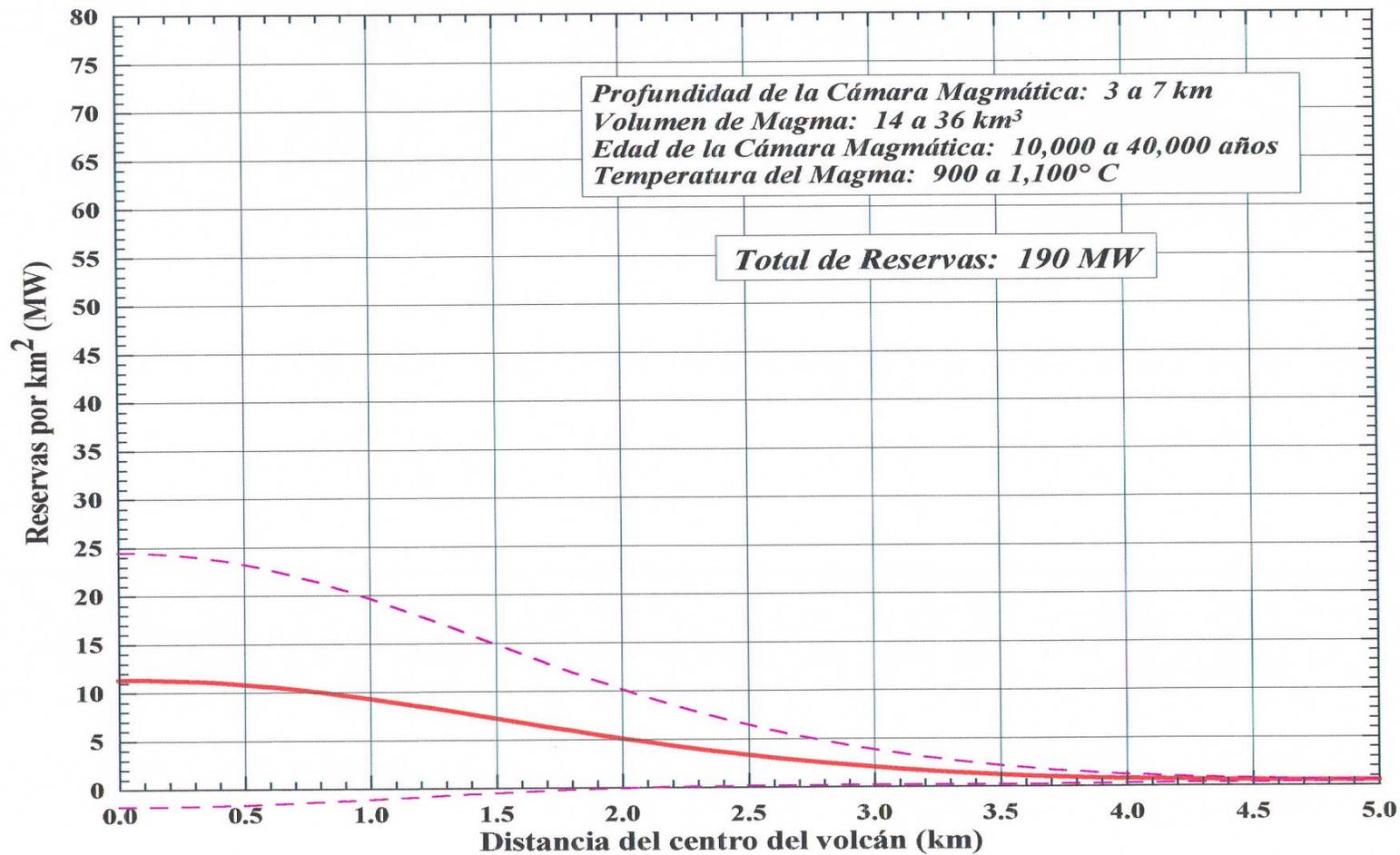
GeothermEx, Inc.  
01-16-2001 Momo1his.plt

Figura VII-6.2: Probabilidad acumulativa de capacidad energética, Momotombo

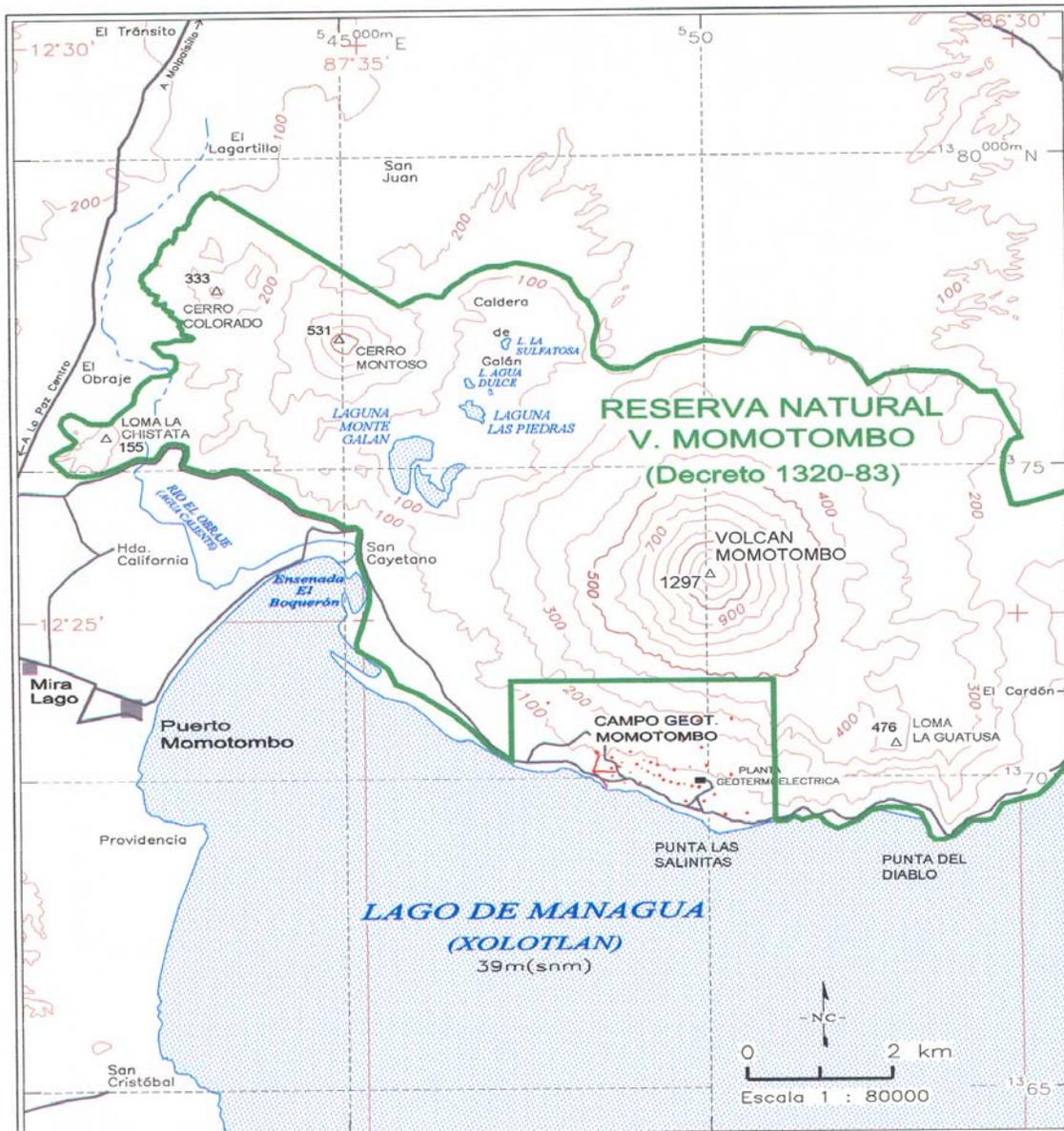


GeothermEx, Inc.  
01-16-2001 Momotomp.plt

**Figura VII-6.3: Cálculo de reservas, Volcán Momotombo**



2000, GeothermEx, Inc.

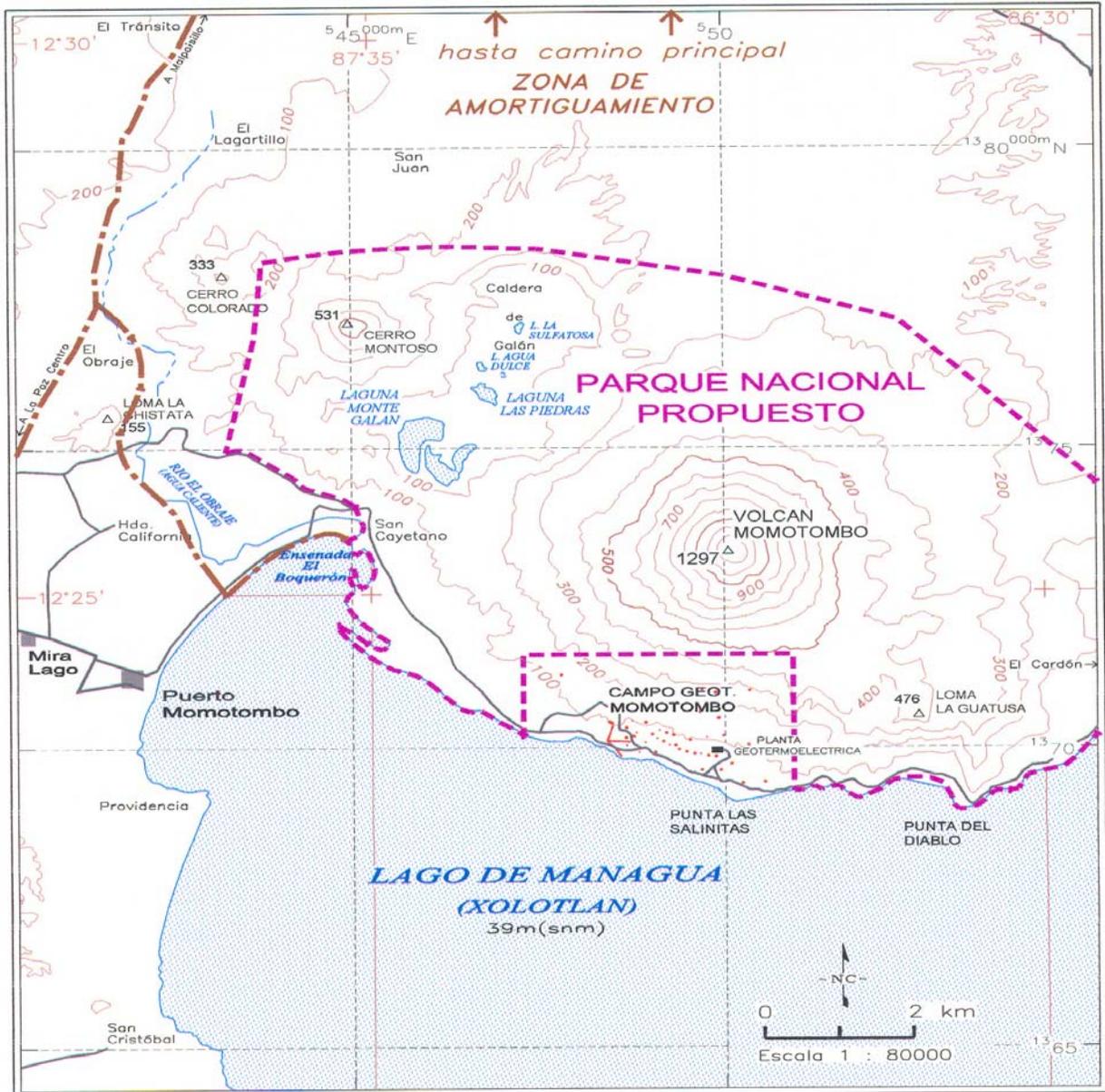


**LEYENDA**

	Límite zona de reserva natural
	Camino secundario
	Elevación, m s.n.m.
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100 m)
Datos topográficos: INETER (1988)	

**Figura VII-7.1: Reservas naturales vigentes, Momotombo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>	FILE: VI-7.1.DWG	SCALE: 1 : 80000
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS	PLOTDATE: 29OCT2001	DRAWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804	PAGESETUP: MOMOT-1	REV: NOV8/ARR80/JUL00
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM		JUN01/OCT01



**LEYENDA**

- - - Límite propuesto para la parque nacional
- - - Límite zona de amortiguamiento
- ~ Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100 m)

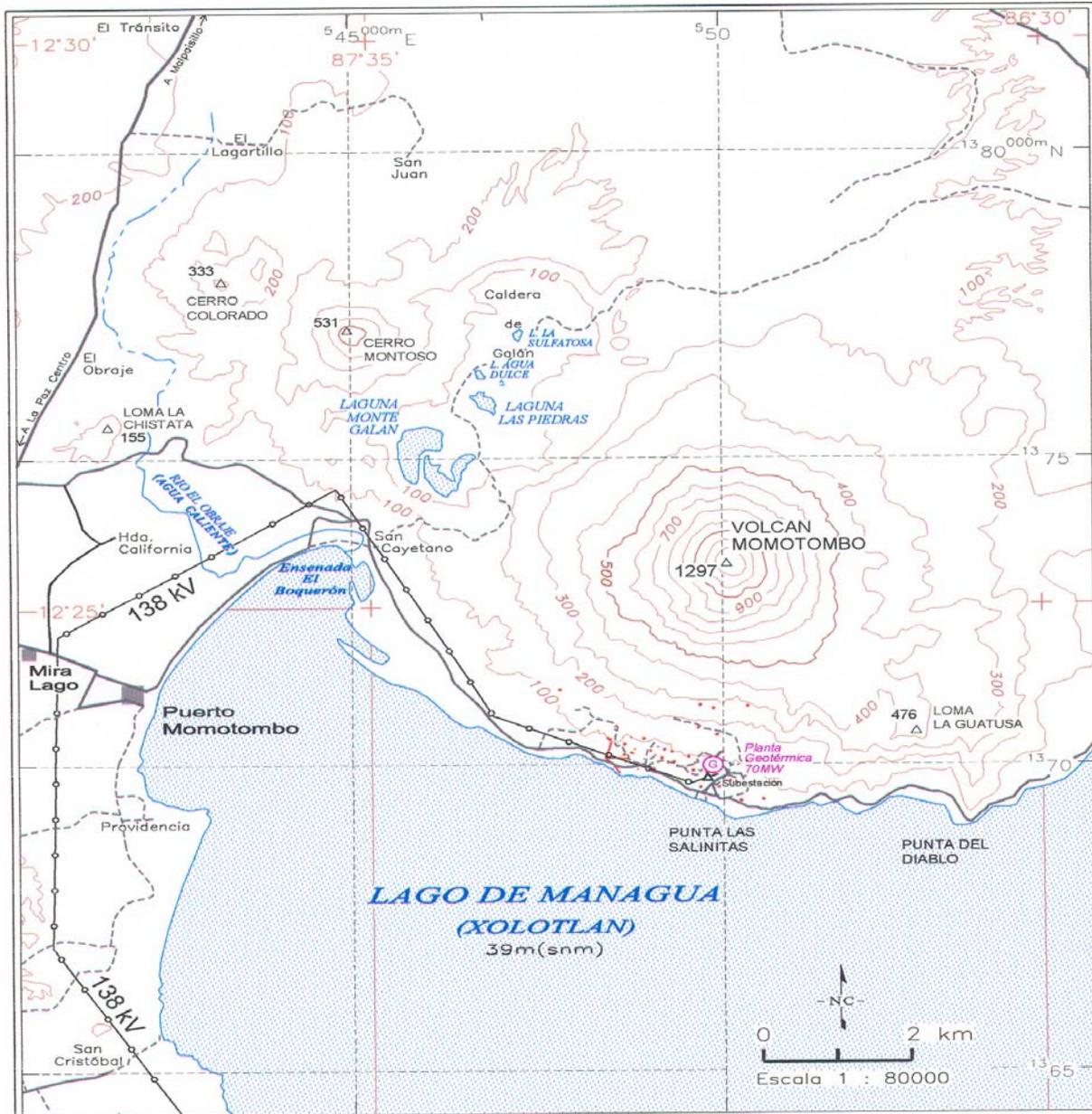
Datos topográficos: INETER (1988)

**Figura VII-7.2: Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), Momotombo, 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: VII-7.2.DWG	SCALE: 1 : 80000
PLOTDATE: 29OCT2001	DRAWN: RRS APP.: RCH
PAGESETUP: MOMOT-1	REV: NOV99/APROD/JUL00 JUN01/OCT01



LEYENDA	
	Línea de transmisión eléctrica
	Planta geotérmica
	Subestación
	Camino secundario
	Camino sin mejoras

**Figura VII-8.1: Elementos infraestructurales, Momotombo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b> GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM	FILE: VII-8.1.DWG	SCALE: 1 : 80000
	PLOTDATE: 29OCT2001	DRAWN: RRS APP.: ROH
	PAGESETUP: MOMGT-1	REV: NOV99/APROV/JUL00 JUN01/OCT01

## ANEXO A: ESTUDIO GEOQUIMICO E HIDROGEOLOGICO

### Tablas

- VII-A-1: Inventario de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, Momotombo
- VII-A.2: Base de datos químicos – líquidos parte 1 (parte2, parte 3), Momotombo
- VII-A.3: Base de datos químicos – líquidos parte 1 (parte2), Momotombo
- VII-A.4: Base de datos químicos - isótopos, Momotombo
- VII-A.5: pH y alcalinidad – mediciones de campo y laboratorio (no hay una tabla A.5 en este Volumen, puesto que no había estudios nuevos de campo).
- VII-A.6: Geotermómetros de aguas, Momotombo
- VII-A.7: Geotermómetros de gases, Momotombo

### Figuras

- VII-A.1: Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, Momotombo, Nicaragua
- VII-A.2: Mapa de ubicación de análisis y características de pozos geotérmicos, campo geotérmico de Momotombo, Nicaragua
- VII-A.3.1.1: Diagrama Piper, Momotombo, Nicaragua
- VII-A.3.1.2: Entalpía y Cl en el reservorio de Momotombo, Nicaragua
- VII-A.3.1.3: Isótopos estables, Momotombo Nicaragua

### A.1 Alcance

En el ámbito del Estudio del Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua, los aspectos hidrológicos e hidrogeoquímicos del área de Momotombo han sido analizados utilizando todos los datos

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

existentes disponibles, los cuales han sido analizados y elaborados con el propósito de proporcionar una descripción general del yacimiento geotérmico de Momotombo y de sus manifestaciones superficiales.

Los datos disponibles han sido analizados y se presentan utilizando técnicas gráficas y de computación, combinadas con descripciones y comentarios que permiten, en su conjunto, definir los aspectos hidrológicos e hidrogeoquímicos del sistema geotérmico presente en el área. Los detalles de todo el trabajo de investigación e interpretación hidrogeoquímica, son presentados en este Anexo, mientras que una síntesis de los resultados está también reportada en la parte principal del presente informe, junto con otros datos de exploración geotérmica, particularmente en las Secciones 3.3 y 4.1 y en el Capítulo 5.

## A.2 Metodología y Procesamiento de Datos

### A.2.1 *Programa de Actividades de Campo*

En el área de Momotombo no se realizaron nuevas actividades de campo en el ámbito del Estudio Plan Maestro.

### A.2.2 *Base de Datos de Hidrogeología y Química de Fluidos*

Los Anexos C y D del Volumen I del Plan Maestro (Volumen de Síntesis) incluyen la base de datos hidrogeológicos y químicos principales del Estudio Plan Maestro, en forma de un CD ROM (formato Microsoft Windows Access). Esta base de datos incluye, para nueve de los áreas de estudio, todos los datos y las informaciones de tipo hidrogeológico y químico los cuales fueron recopilados durante el proyecto y usados en el análisis de datos. La única excepción constituye los datos químicos de los pozos geotérmicos de Momotombo, los cuales son representados en el base de datos (Anexo D) solamente por medio de una selección de análisis representativos (ver a continuación).

Los datos existentes fueron incorporados en la base de datos (y subsecuentemente en tablas derivadas de la base de datos) exactamente como fueron transcritos de las fuentes de información que se citan como referencia, con pocas excepciones de corregir errores tipográficos que parecían obvios. Se ha hecho todo el esfuerzo posible para evitar errores de transcripción, lo cual se ha hecho mediante escaneo computarizado cuando ha sido posible. Los registros escaneados se verificaron luego contra los datos originales. La base de datos es muy grande (más de 2,600 registros) y contiene numerosas inconsistencias derivadas de los datos existentes, incluyendo:

- nombres con localidades ambigua (terminología y ortografía irregular),
- información incompleta,
- coordenadas UTM imprecisas, reportadas en varios de los estudios anteriores,
- desacuerdos entre coordenadas UTM y cuadrante del mapa de INETER en el cual las coordenadas mismas son supuestas estar, e
- inconsistencias en la tabulación de los mismos datos en dos o más fuentes.

Durante el Estudio Plan Maestro siempre se hicieron investigaciones para resolver los posibles errores de coordenadas y nombre de las localidades más importantes como las manifestaciones y pozos termales, pero es imposible resolver todas las inconsistencias y ambigüedades.

Con referencia específica al área de Momotombo, que corresponde al sector comprendido entre las coordenadas UTM 1364 N, 1375 N, 545 E y 555 E, (con exclusión de una sección en el NO que es parte del área de El Hoyo - Monte Galán y es presentada en el Volumen VI del Plan Maestro), en la base de datos principal se incluyó la siguiente información:

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

- una limitada cantidad de datos químicos e información general sobre los pozos de producción del campo geotérmico de Momotombo;
- todos los datos e informaciones disponibles acerca de las manifestaciones superficiales (manantiales calientes y fríos, fumarolas) presentes en el área;
- información sobre pozos de gradiente de temperatura perforados afuera del área de desarrollo comercial (no son datos químicos);
- información miscelánea y datos con identidad un tanto incierta, aunque del área de Momotombo, que se recogieron durante la recolección general de información existente.

Se observa que, durante las operaciones de perforación y prueba de los pozos, así como durante la sucesiva explotación comercial del campo geotérmico de Momotombo han sido efectuados frecuentes muestreos y análisis químicos de fluidos, los cuales proporcionan una gran cantidad de datos químicos e isotópicos (mas de 1,000 análisis completos de aguas y cientos de análisis isotópicos) que, por razones de practicidad, han sido incluidos sólo en mínima parte (los más representativos) en la base de datos químicos. El historial completo de estos datos es disponible en los archivos de ENEL (GEMOSA). Como ya mencionó anteriormente, todas las tablas de datos reportadas en este Anexo han sido extraídas directamente de la base de datos principal.

La Tabla VII-A.1 es un inventario, descripción y lista de referencia de todos los registros de la base de datos del Plan Maestro que yacen dentro del área de Momotombo (tal como se definió anteriormente) organizados en una serie de subdivisiones:

- Lago de Managua;
- Man. MT-39 (un manantial diluido cerca del pozo MT-39);

- Pozos de producción;
- Punta Las Salinitas - manantiales, solfataras y fumarolas en los puntos de descarga del yacimiento, adyacentes al lago;
- Pozos de gradiente – temperatura de agujeros de gradiente.
- Otras muestras de identidad incierta (¿pozo, manantial, lago?) incierta (incluyendo la Punta de Diablo, que pueden ser muestras de agua del lago).

La localización general de todas las muestras se presenta en la **Figura VII-A.1**, mientras que la localización más exacta de los pozos de producción en el campo geotérmico de Momotombo se muestra en la **Figura VII-A.2**. Todas las muestras aparecen identificadas por un número que corresponde al reportado en la columna "N/m" de la Tabla VII-A.1, el cual deriva, a su vez, de la base de datos principal. La columna Datos indica cuales tipos de análisis están disponibles para cada punto de información en la tabla.

Las referencias indicadas en la Tabla VII-A.1 son reportadas en detalle al final de la tabla misma, además, un listado general de referencias se encuentra también en la parte principal del presente informe (Capítulo 10).

### A.3 Recopilación de los Resultados

#### A.3.1 *Muestras de Aguas*

El yacimiento de Momotombo contiene un agua con pH neutro, de tipo Na-Cl (cloruro de sodio), típica de sistemas hidrotermales con temperaturas moderadamente altas desarrollados en rocas volcánicas jóvenes. La explotación comercial del recurso ha inducido fenómenos de ebullición en el reservorio y procesos de dilución del fluido geotérmico por mezcla con agua fría de

procedencia somera, así que el rango de salinidad del agua producida por los pozos es muy variable. En muestras recolectadas al vertedero (caja de “weir”) de pozos productores (después de hervir en condiciones atmosféricas) el valor mínimo de Cl ha sido de aproximadamente 1,000 mg/l y el máximo ha sido de aproximadamente 4,200 mg/l, con valores ocasionales de hasta 5,000 mg/l (Tabla VII-A.2 y Figuras VII-A.3.1.1 y VII-A.3.1.2). La alcalinidad, expresada como  $\text{HCO}_3$  (bicarbonato), tiende a ser uniforme, alrededor de los 50 mg/l. El sulfato ( $\text{SO}_4$ ) es más variable, con valores desde casi 0 hasta unos 250 mg/l, probablemente como resultado de dos procesos: a) enfriamiento, lo que permite una mayor solubilidad de la anhidrita (sulfato de calcio  $\text{CaSO}_4$  y b) oxidación del sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) por el oxígeno disuelto en el agua de recarga somera y en el agua de reinyección.

Se conoce muy poco la estructura del sistema geotérmico en profundidad y el patrón de movimiento del fluido, pero es bastante claro que en el extremo occidental del área explotada existe una zona de subida de agua geotérmica profunda (Figura VII-A.2). A partir de esta zona, el agua se dispersa hacia el E, en la parte más somera del yacimiento. El punto natural de descarga es un conjunto de manantiales calientes, fumarolas y solfataras ubicadas en la zona de la Punta Las Salinitas, al borde del Lago de Managua, en la extremidad oriental del campo geotérmico. (No se puede excluir la existencia posible de otros puntos de descarga mas profundos, como al fondo o por debajo del Lago.) Ninguna de las evidencias químicas e isotópicas sugiere que el yacimiento, en su estado natural (antes de la explotación) fuera recargado por agua del Lago de Managua. El enfriamiento del yacimiento ocurrido durante la explotación, por infiltración de agua meteórica somera, ha sido más pronunciado en la extremidad oriental del campo (Figura VII-A.2), donde las mediciones hechas en los pozos han mostrado que la capa de agua caliente queda comprendida entre capas de agua más fría, tanto por encima como por debajo.

Al inicio de la explotación comercial, en 1983, el reservorio geotérmico contenía en su mayoría agua en fase líquida, con una capa superior de vapor presente solamente a una elevación de unos -325 m s.n.m. Durante la explotación comercial la capa de vapor ha crecido y el fluido del yacimiento ha aumentado su salinidad y se ha vuelto muy heterogéneo, en respuesta a los procesos de ebullición e infiltración de agua fría y diluida procedente de la parte superior y del Este.

La **Figura VII-A.3.1.2** muestra el rango de temperaturas del agua del yacimiento, determinada con el geotermómetro basado sobre la solubilidad del cuarzo (sílice) y expresada como entalpía (que es el contenido calórico en Joules por gramo). La distribución de los puntos en la gráfica se explica si el fluido más profundo que asciende hacia el volumen explotado del yacimiento tiene una temperatura de unos 300°C y lleva aproximadamente 2,700 mg/l de Cl. Esta temperatura es consistente con la mayoría de las mediciones realizadas en los pozos más profundos del extremo Oeste del campo geotérmico. Adicionalmente, existen registros de hasta 325° - 330°C en los pozos MT-4 (pozo dañado) y MT-43 (pozo productor), y de 305°C en el MT-39 (pozo seco no-comercial). Del Estudio Plan Maestro no se disponen de análisis químicos del fase líquido de estos tres pozos, pero pareciera de la **Figura VII-A.3.1.2** que el líquido a 325°-330°C se enfría, hasta temperaturas de aproximadamente 300°C, antes de alimentar la mayoría de la zona explotada del yacimiento.

La **Figura VII-A.3.1.3**, basada sobre datos de ENEL (1998c) presenta algunos datos de isótopos estables y evidencia que la composición inicial del agua del yacimiento correspondió a aquella del agua meteórica local, la cual fue sucesivamente afectada por una variación de  $^{18}\text{O}$  causada por reacciones agua-roca a alta temperatura. El agua meteórica local está representada por el manantial ubicado cerca del pozo MT-39. La máxima variación del  $^{18}\text{O}$ , causada por reacciones agua-roca a alta temperatura fue de + 4 o/oo. La dilución máxima de esta agua por infiltración de agua meteórica fue de aproximadamente 25%.

Desde el inicio de la producción, el rango de composiciones de isótopos estables ha cambiado continuamente. El rango de  $^{18}\text{O}$  se ha ampliado a valores más altos y más bajos (es decir, oxígeno más pesado y oxígeno más liviano) y el D ha cambiado generalmente a valores más bajos (es decir, hidrógeno más liviano). Estas variaciones se explican con combinaciones de: a) ebullición y separación de vapor del líquido; b) mezcla adicional con agua meteórica de infiltración; c) reflujos al sistema más profunda del agua de descarga en la zona de los manantiales, y; d) la posible mezcla con agua de infiltración del lago.

Los geotermómetros químicos aplicados a las aguas del yacimiento dan resultados consistentes con las temperaturas medidas en los pozos (Tabla VII-A.6). Las temperaturas obtenidas con los geotermómetros de la sílice cubren un amplio rango de valores, desde unos 270°C hasta 140°C, como lo refleja la temperatura y el eje de la entalpía de la [Figura VII-A.3.1.2](#). Las temperaturas proporcionadas por el geotermómetro Na-K-Ca aplicado a los ejemplos tabulados, cubren el rango de 236° a 287°C (algunos valores a 172°C y 317°C se deben probablemente a datos malos, particularmente de K). Las temperaturas proporcionadas por el geotermómetro K-Mg son de 148° a 330°C, pero los valores de 148°C y 330°C se deben probablemente también a datos malos. El rango de K-Mg más razonables es de 189° - 264°C, que corresponde al rango de valores Na-K-Ca pero con efectos menores de enfriamiento.

### *A.3.2 Muestras de Gases*

La Tabla VII-A.3 contiene ejemplos de análisis químicos de gases de los pozos de producción del campo geotérmico de Momotombo y de las fumarolas del cráter del Volcán Momotombo.

En los pozos de producción de Momotombo, la concentración de gases en el vapor ha estado típicamente en el rango 1 - 3 % en peso aproximadamente, mientras que la concentración de gases en las aguas profundas del yacimiento es solamente 0.1 % en peso aproximadamente. La

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

composición del gas seco incluye un 93 a 98 % en vol. de CO<sub>2</sub>, 1.5 a 6.5 % en vol. de H<sub>2</sub>S, y trazas de otros componentes (ver la Tabla VII-A.3). Los análisis de gases disponibles no incluyen todas las especies menores, por lo tanto se pueden aplicar solamente unos pocos geotermómetros químicos (ver Tabla VII-A.3) los cuales dan resultados generalmente consistentes con las temperaturas conocidas del yacimiento.

Algunas muestras de gas (Momo. MT-17, N/m 944 y 945) presentan un contenido de nitrógeno anómalamente elevado (11.5 % en vol.), que indicaría una contaminación con aire. Los análisis no incluyen, sin embargo, la determinación del oxígeno así que no se puede determinar si dicha contaminación ocurrió en la superficie, durante el muestreo, o si no se trata de una mezcla subterránea de gas geotérmico y aire, como la que se puede encontrar en el agua de inyección, que ha perdido oxígeno por reacción con rocas calientes. (Se nota que generalmente las aguas inyectadas de Momotombo vienen de circuitos cerrados, en los cuales el agua se separa del vapor y va directamente a la inyección, sin posibilidades de contaminación con el aire.)

Las fumarolas del cráter tienen temperaturas supercalentadas muy altas de 550° a 727°C y emiten aparente una mezcla de aire y gases volcánicos o geotérmicos. Los geotermómetros de gases no son aplicables a estas muestras, o dan resultados sin sentido.

## **T A B L A S**

**Tabla VII-A.1 : Inventario de Análisis Químicos de Fluidos y Puntos de Datos de Campo**  
**Momotombo**

N/m	Coordenadas		Cuad. <sup>(2)</sup> Elev.(m)	Tipo <sup>(3)</sup> NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos <sup>(4)</sup>	Nombre	Fecha	Referencia <sup>(5)</sup>	Notas
	utm-E	utm-N								
<b>Zona o Región: L. Managua</b>										
642	550.4	1369.1	la paz centro	lago/na	34.0 674	w	L. Managua		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#24	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas
643	550.4	1369.1	la paz centro	lago/na	36.0 535	w	L. Managua		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#25	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas
644	550.4	1369.1	la paz centro	lago/na	32.0 448	w	L. Managua		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#26	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas. Duplicado de TEXAS(1970) #27
645	550.4	1369.1	la paz centro	lago/na	32.0 448	w	L. Managua		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#27	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas. Duplicado de TEXAS(1970)#26
646	550.4	1369.1	la paz centro	lago/na	34.0 248	w	L. Managua		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#28	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas
647	550.4	1369.1	la paz centro	lago/na	30.0 228	w	L. Managua		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#29	Lago de Managua adyacente al manatíal S19A de TEXAS(1970).
2641	544.000	1372.000	la paz centro	lago/na		i	Lago Managua 2	11-Ene-96	ENEL(1998b)	
2642	552.500	1368.000	la paz centro	lago/na		i	Lago Managua 3	11-Ene-96	ENEL(1998b)	
2640	545.000	1369.250	la paz centro	lago/na		i	Lago. Managua 1	11-Ene-96	ENEL(1998b)	
<b>Zona o Región: Man. MT-39</b>										
2657	548.150	1370.200	la paz centro	manant		i	Man. MT-39	19-Nov-94	ENEL(1998b)	
2670	548.150	1370.200	la paz centro	manant		i	Man. MT-39	21-Nov-94	ENEL(1998b)	
2673	548.150	1370.200	la paz centro	manant		i	Man. MT-39	15-Dic-94	ENEL(1998b)	
2674	548.150	1370.200	la paz centro	manant		i	Man. MT-39	15-Ene-96	ENEL(1998b)	
<b>Zona o Región: Pozo de Producción</b>										
2628			la paz centro	pozogt-sp		w	MT-02	25-Jun-90	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
2636			la paz centro	pozogt-sp	4786	g	MT-02	25-Jun-90	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
2678			la paz centro	yacimiento	25.0	i	MT-04	02-Feb-83	OIEA(1996), Tabla 4	

Jueves, 07 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Cuadrante y Elevación, metros sobre nivel del mar. (3) Tipo de fuente (ver códigos al final de la tabla). Nivel de Agua (en pozo), metros, Profundidad Total (de pozo), metros. (4) Datos analíticos disponibles: w = análisis de agua, g = análisis de gas, i = análisis de isótopos, (blanco) = existen solamente datos de campo. (5) Fecha de muestreo; si no hay, no se conoce.

Inventario de Análisis Químicos de Fluidos y Puntos de Datos de Campo

Momotombo

Pág 1 de 8

(1) N/m	Coordenadas		Cuad.(2) Elev.(m)	Tipo(3) NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos (4)	Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
2629			la paz centro	pozogt-sp		wg	MT-12	03-Feb-87	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
					3728					
2682			la paz centro	yacimiento	16.0	i	MT-12	13-Mar-89	OIEA(1996), Tabla 4	
2679			la paz centro	yacimiento	70.0	i	MT-13	02-Feb-83	OIEA(1996), Tabla 4	
2680			la paz centro	yacimiento	67.0	i	MT-14	02-Feb-83	OIEA(1996), Tabla 4	
944	548.7	1370.8	la paz centro	pozogt-sp		g	MT-17	29-Dic-80	OLADE(1982b), número 14	Aparentemente es el promedio de dos muestras.
945	548.7	1370.8	la paz centro	pozogt-sp		g	MT-17	29-Dic-80	OLADE(1982b), número 15	Aparentemente es el promedio de dos muestras.
2688			la paz centro	yacimiento	10.0	i	MT-17	12-Dic-89	OIEA(1996), Tabla 4	
2630			la paz centro	pozogt-sp		wg	MT-17	15-Jun-92	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
					1414					
2631			la paz centro	pozogt-sp		w	MT-20	03-Feb-87	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
					3373					
2683			la paz centro	yacimiento	06.0	i	MT-20	12-Mar-89	OIEA(1996), Tabla 4	
2681			la paz centro	yacimiento	08.0	i	MT-22	02-Feb-83	OIEA(1996), Tabla 4	
2632			la paz centro	pozogt-sp		w	MT-23	12-Ago-80	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
					4083					
2684			la paz centro	yacimiento	41.0	i	MT-23	13-Mar-89	OIEA(1996), Tabla 4	
2686			la paz centro	yacimiento	34.0	i	MT-26	12-Jun-89	OIEA(1996), Tabla 4	
2685			la paz centro	yacimiento	33.0	i	MT-27	12-Jun-89	OIEA(1996), Tabla 4	
2633			la paz centro	pozogt-sp		w	MT-31	14-Ago-80	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
					4083					
2637			la paz centro	pozogt-sp		g	MT-31	27-Feb-90	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
2687			la paz centro	yacimiento	63.0	i	MT-35	12-Jun-89	OIEA(1996), Tabla 4	
2634			la paz centro	pozogt-sp		wg	MT-35	16-Nov-92	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
					3061					
2635			la paz centro	pozogt-sp		w	MT-36	21-Oct-92	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)
					4012					
2638			la paz centro	pozogt-sp		g	MT-36	28-Oct-92	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)

Jueves, 07 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Cuadrante y Elevación, metros sobre nivel del mar. (3) Tipo de fuente (ver códigos al final de la tabla), Nivel de Agua (en pozo), metros, Profundidad Total (de pozo), metros. (4) Datos analíticos disponibles: w = análisis de agua, g = análisis de gas, i = análisis de isótopos, (blanco) = existen solamente datos de campo. (5) Fecha de muestreo; si no hay, no se conoce.

Inventario de Análisis Químicos de Fluidos y Puntos de Datos de Campo

Momotombo

Pág 2 de 8

N/m	Coordenadas		Cuad. <sup>(2)</sup> Elev.(m)	Tipo <sup>(3)</sup> NA(m) FT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos (4)	Nombre	Fecha	Referencia	Notas
	utm-E	utm-N								
<b>Zona o Región: P. Las Salinitas</b>										
2730	550.2	1369.1	la paz centro	manant	01.0 4313	w	Aguas Calientes Sur del Volcán Momotombo	12-Mar-70	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-17	
2649			la paz centro	hervid		i	Las Salinitas	01-Feb-83	ENEL(1998b)	
2645			la paz centro	hervid		i	Las Salinitas	01-Jul-96	ENEL(1998b)	
619	550.3	1369.4	la paz centro	manant	01.0 3970	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#1	Punta Las Salinitas, área de manantiales calientes de V. Momotombo
620	550.3	1369.4	la paz centro	manant	01.0 4307	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#2	
621	550.3	1369.4	la paz centro	manant	87.5 3758	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#3	
622	550.3	1369.4	la paz centro	manant	00.5 3687	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#4	
623	550.3	1369.4	la paz centro	manant	96.5 3747	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#5	
624	550.3	1369.4	la paz centro	manant	98.0 3768	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#6	
625	550.3	1369.4	la paz centro	manant	01.0 3144	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#7	
626	550.3	1369.4	la paz centro	manant	33.0 3798	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#8	
627	550.3	1369.4	la paz centro	manant	33.0 3694	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#9	
628	550.3	1369.4	la paz centro	manant	00.0 3212	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#10	
629	550.3	1369.4	la paz centro	manant	00.5 3297	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#11	
630	550.3	1369.4	la paz centro	manant	00.0 3687	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#12	
631	550.3	1369.4	la paz centro	manant	96.0 3545	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#13	
632	550.3	1369.4	la paz centro	manant	95.0 3580	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#14	
633	550.3	1369.4	la paz centro	manant	72.0 3758	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#15	
634	550.3	1369.4	la paz centro	manant	94.5 3616	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#16	
635	550.3	1369.4	la paz centro	manant	01.5 3510	w	P. LasSalinitas		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#17	

Jueves, 07 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Cuadrante y Elevación, metros sobre nivel del mar. (3) Tipo de fuente (ver códigos al final de la tabla), Nivel de Agua (en pozo), metros, Profundidad Total (de pozo), metros. (4) Datos analíticos disponibles: w = análisis de agua, g = análisis de gas, i = análisis de isótopos, (blanco) = existen solamente datos de campo. (5) Fecha de muestreo; si no hay, no se conoce.

Inventario de Análisis Químicos de Fluidos y Puntos de Datos de Campo

Momotombo

Pág 3 de 8

N/m	Coordenadas		Cuad. <sup>(2)</sup> Tipo <sup>(3)</sup>		T°C	Datos	Nombre	Fecha		Referencia	Notas
	utm-E	utm-N	Elev.(m)	NA(m) PT(m)				CI(mg/l)	(5)		
636	550.3	1369.4	la paz centro	manant	00.5 3545	w	P. LasSalinitas			TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#18	
637	550.3	1369.4	la paz centro	manant	95.0 3616	w	P. LasSalinitas			TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#19	
638	550.3	1369.4	la paz centro	manant	91.0 3729	w	P. LasSalinitas			TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#20	
639	550.3	1369.4	la paz centro	manant	82.0 1882	w	P. LasSalinitas			TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#21	
640	550.3	1369.4	la paz centro	manant	79.0 1914	w	P. LasSalinitas			TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#22	
641	550.3	1369.4	la paz centro	manant	85.0 3900	w	Pozo Gr. M-1A			TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#23	
604	549.2	1370.0	la paz centro	solfat	01.0		S. V.Momotom.A			TEXAS(1970)Tabla3	S. Volcán Momotombo A. Area de alteración 0.46 km2. Area grande de alteración moderada - alta, principalmente de piroclásticos, alteración severa y alguna argilización a dispersas fumarolas activas, vapor escaso con sublimados de azufre en las fumarolas, manantial muy pequeño, hirviendo (num.S19A) por el lado SE, al lago. Es probable que el tamaño de la área es un maximo.
605	549.9	1371.1	la paz centro	solfat	00.0		S. V.Momotom.B			TEXAS(1970)Tabla3	S. Volcán Momotombo B. Area de alteración 0.002 km2. Area pequeña de alteración moderada a severa con fumarolas activas, vapor muy escaso y eflorescencia blanca muy escasa.
606	550.2	1369.2	la paz centro	solfat	01.0		S. V.Momotom.C			TEXAS(1970)Tabla3	S. Volcán Momotombo C. Area de alteración 0.15 km2. Fumarolas menores son asociadas con área local de manantiales hervideros (ubicación S19), que son altamente mineralizados con temperaturas llegando a los 101°C. Con excepción de los manantiales, el vapor a 85-100°C es muy escaso, alteración es moderada, hasta severa en unas localizaciones. Manantiales y fumarolas desarrollaron en capas de depósitos aluvionales y de lajar.
607	550.3	1370.0	la paz centro	solfat	00.0		S. V.Momotom.D			TEXAS(1970)Tabla3	S. Volcán Momotombo D. Area de alteración 0.14 km2. Fumarolas activas dispersas en depósitos aluvionales; hay poca evidencia de alteración excepto en las fumarolas mismas. Vapor escaso con sublimados y eflorescencia blanca escasos.
608	550.8	1370.1	la paz centro	solfat	00.0		S. V.Momotom.E			TEXAS(1970)Tabla3	S. Volcán Momotombo E. Area de alteración 0.04 km2. Fumarola muy activa con alteración severa y argilización, cantidades moderadas de vapor y sublimados de azufre.
429	549.4	1369.6	la paz centro	manant	00.0		S.V. Momotombo			TEXAS(1970)SNS19A	Hervideros muy pequeños en la fumarola "A" al lago, numerosos nacimientos termales pequeños en la orilla del lago durante la época de lluvia.
428	550.2	1369.1	la paz centro	manant	01.0		S.V. Momotombo			TEXAS(1970)SNS19	Manantiales varios, hervideros altamente mineralizados, con cantidades menores de tufa y 'sinter' siliciosa, saliendo de rocas piroclasticas Cuaternarias, con numerosos nacimientos termales pequeños en la orilla del lago durante la época de lluvia.

Jueves, 07 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Cuadrante y Elevación, metros sobre nivel del mar. (3) Tipo de fuente (ver códigos al final de la tabla), Nivel de Agua (en pozo), metros, Profundidad Total (de pozo), metros. (4) Datos analíticos disponibles: w = análisis de agua, g = análisis de gas, i = análisis de isótopos, (blanco) = existen solamente datos de campo. (5) Fecha de muestreo; si no hay, no se conoce.

Inventario de Análisis Químicos de Fluidos y Puntos de Datos de Campo

Momotombo

Pág 4 de 8

(1) N/m	Coordenadas		Cuad.(2)	Tipo(3)	T°C	Datos	(4)	(5)	Referencia	Notas
	utm-E	utm-N	Elev.(m)	NA(m)	PT(m)	Cl(mg/l)	Nombre	Fecha		
<b>Zona o Región: Pozo gradiente</b>										
910	545.2	1374.0	la paz centro	pozogr					OLADE(1982)SN10, Pozos de Gradiente	
				11.5						
913	546.5	1371.1	la paz centro	pozogr					OLADE(1982)SN18, Pozos de Gradiente	
912	546.5	1372.5	la paz centro	pozogr					OLADE(1982)SN17, Pozos de Gradiente	
<b>Zona o Región: Cráter Momotombo</b>										
2054			la paz centro	fumaro			w Fumarola V. Momotombo, #1	06-Nov-85	ENEL(2000)	
2055			la paz centro	fumaro	77.0		w Fumarola V. Momotombo, #2	06-Nov-85	ENEL(2000)	
2056			la paz centro	fumaro	40.0		w Fumarola V. Momotombo, #3	20-Nov-85	ENEL(2000)	
2057			la paz centro	fumaro	80.0		w Fumarola V. Momotombo, #4	25-Nov-85	ENEL(2000)	
943	550.0	1373.2	la paz centro	fumaro	50.0		g Momot.550°C		OLADE(1982b)	
942	550.0	1373.2	la paz centro	fumaro	85.0		g Momot.685°C		OLADE(1982b)	
941	550.0	1373.2	la paz centro	fumaro	27.0		g Momot.727°C		OLADE(1982b)	
615	550.1	1373.3	la paz centro	fumaro			V. Momotombo		TEXAS(1970)Tabla3	Area de fumarolas de alta temperatura, vapor y emisiones abundantes del crater de cumbre, sublimados conspicuos blancos y amarillos, última erupción de lava en 1905.
			1100							
<b>Zona o Región: Punta del Diablo</b>										
2001	553.35	1368.97	la paz centro				w Punta del Diablo	18-Dic-78	ENEL(2000)	
						284				
2002	553.35	1368.97	la paz centro				w Punta del Diablo	18-Dic-78	ENEL(2000)	
						426				
2003	553.35	1368.97	la paz centro				w Punta del Diablo	12-Oct-94	ENEL(2000)	
						34.0				
						154				
2004	553.35	1368.97	la paz centro				w Punta del Diablo	19-Nov-94	ENEL(2000)	
						31.0				
						286				
<b>Zona o Región: Desconocido</b>										

Jueves, 07 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Cuadrante y Elevación, metros sobre nivel del mar. (3) Tipo de fuente (ver códigos al final de la tabla), Nivel de Agua (en pozo), metros, Profundidad Total (de pozo), metros. (4) Datos analíticos disponibles: w = análisis de agua, g = análisis de gas, i = análisis de isótopos, (blanco) = existen solamente datos de campo. (5) Fecha de muestreo; si no hay, no se conoce.

Inventario de Análisis Químicos de Fluidos y Puntos de Datos de Campo

Momotombo

Pág 5 de 8

(1) N/m	Coordenadas		Cuad.(2) Tipo(3)		T°C Cl(mg/l)	Datos (4)	Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N	Elev.(m)	NA(m) PT(m)				Fecha	Referencia	
2058			la paz centro		57.0 103	w	Momotombo, Fuente 1	25-Jun-87	ENEL(2000)	
2059			la paz centro		55.0 60	w	Momotombo, Fuente 1A	05-Ago-87	ENEL(2000)	
2061			la paz centro		55.0 64	w	Momotombo, Fuente A	05-Feb-88	ENEL(2000)	
2062			la paz centro		55.0 60	w	Momotombo, Fuente B	05-Feb-88	ENEL(2000)	
2060			la paz centro		55.0 60	w	Momotombo, Fuente, 1B	05-Ago-87	ENEL(2000)	

(1) N/m	Coordenadas		Cuad.(2)	Tipo(3)	T°C	Datos(4)	Nombre	(5) Fecha Referencia	Notas
	utm-E	utm-N	Elev.(m)	NA(m)	PT(m)	Cl(mg/l)			

### Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
pozogr-cw	Pozo geotérmico, caja de weir
pozogr-sp	Pozo geotérmico, separador de vapor - líquido
pozope	Pozo perforado
rio	Río, riachuelo
sitio	Sitio (lugar) de datos pero no se conoce el Tipo
solfat	Solfataras
superf	Agua superficial (río, lago)
ventgas	Ventana u orificio de gases
vertie	Vertiente
yacimiento	Líquido/vapor/gas de reservorio geotérmico

### Referencias

- 2 CalEnergy(1978) Temperature gradient hole investigations conducted by California Energy Company - ENALUF in the vicinity of El Hoyo and Momotombo Volcanoes, 1976 - 1977. Table 1, Summary of temperature gradient hole data. Informe de California Energy Company, Inc., a la Empresa Nacional de Luz y Fuerza, Managua, Nicaragua, Junio, 1978. Nota: todas las coordenadas UTM de los pozos son aproximadas.
- 3 DAL/ELC/ENEL(1995) Estudios de evaluación del potencial energético, Factibilidad de la estabilización y de la tercera unidad geotermoelectrica del campo geotérmico de Momotombo, Fase 1A - investigaciones geocientíficas: Anexo D, Estudio geoquímico, Managua, Octubre de 1995. Contrato BID PSO.4.304.00-C, para BID (Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C. Estados Unidos) y ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad, Managua, Nicaragua), por DAL SPA, Milano, Italia, ELC (Electroconsult), Italia, y ENEL.
- 5 ENEL(1997) Calidad de aguas subterráneas, zonas alledañas a Momotombo. Elaborado por: Ing. Karla Miranda Jaime y Ing. Jerónimo Calero Aries. De: Informe de Octubre 1997, ENEL Gerencia Geotermia, Química y Ambiente - Nov. 1997.
- 7 ENEL(1998b) Informe de actividades 1997. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte III - Registro isotópico (estables y radioactivos), aguas y vapor geotérmico, aguas superficiales y subterráneas (descarga de agua y vapor geotérmico, campo geotérmico de Momotombo; aguas superficiales no geotérmicas, Momotombo, La Paz Centro, Isla Momotombito, Malpaisillo). Parte del proyecto OIEA-NIC/8/008. Febrero de 1998. (Nota 30 Ago 00: el base de datos del Estudio de Plan Maestro contiene solamente una parte de la cantidad total de datos isotópicos del Informe.)

(1) N/m	Coordenadas		Cuad.(2)	Tipo(3)	T°C	Datos(4)	(5)		
	utm-E	utm-N	Elev.(m)	NA(m) PT(m)	Cl(mg/l)	Nombre	Fecha	Referencia	Notas
8	ENEL(1998c)								Informe trimestral Oct. - Dic. 1998. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte A - Geoquímica isotópica en pozos de producción del campo Momotombo. Oct/Dic 1998. 17 de Diciembre de 1998.
9	ENEL(2000)								Base de datos de reconocimientos químicos de sistemas geotérmicos y regiones aledañas en Nicaragua, de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Laboratorio Químico. Versión original en archivo Datos.xls de MS-Excel, versión redactada a fines del año 1999. Autor: Domingo Mora Z. Nota: según lo reportado, este archivo contiene todos los análisis químicos hechos por el laboratorio de ENALUF, luego del INE y luego de ENEL. Se reporta también que los análisis con fecha anterior al 1970 fueron realizados por el laboratorio de IRENA (ahora MARENA), por cuenta de ENALUF.
14	OIEA(1996)								International Atomic Energy Agency, Project NIC/8/008-03, Interpretation of geochemical and isotopic data from well discharges in the Momotombo Geothermal Field, Nicaragua, with recommendations on monitoring studies. Informe por Stefan Arnórsson, Mayo de 1996. Table 3 - Stable isotopic composition of river waters, lakes and groundwaters from wells in the area around the Momotombo geothermal field. Table 4 - Isotopic composition of water and steam discharged from wells at Momotombo. Table 5 - Tritium content of surface waters, ground waters and geothermal waters from the Momotombo area. (Nota: el base de datos del Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua contiene solamente una parte de los datos de la Tabla 4.)
17	OLADE(1982)								Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto: a) Anexo 10, Fichas de los Puntos de Agua Termales, y, c) Anexo 21. Tabulación de Puntos de Muestreo y Datos Hidroquímicos; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982.
18	OLADE(1982b)								Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto, Informe Geoquímico, Geoquímica de los Gases; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982. Análisis de laboratorio hechos por la American Technical Laboratories (AMTECH), San Diego, CA, E.U.A.. Nota: las coordenadas UTM de los puntos de muestreo han sido determinadas por su posición en la figura 3, Mapa de la Ubicación de las Muestras de Gas, 1:250,000.
20	Texas(1970)								Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.
26	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.

Tabla VII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 1

N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Tipo	Nombre	Fecha	Temp. <sup>(5)</sup> °C	Flujo lpm	Ce <sup>(6)</sup> pH	Ce <sup>(6)</sup> µ-S	Concentraciones- mg/l <sup>(7)</sup>						Balance Iónico % de Total	
	utm-E	utm-N									Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4		Alc.T HCO3
<b>Zona o Región: L. Managua</b>																		
642	550.4	1369.1		lago/na	L. Managua		34		8.80	2250	18.04	19.456	362.78	65.30	673.6	99.90	536.82	-19.76
643	550.4	1369.1		lago/na	L. Managua		36		8.50	2200	16.03	24.320	356.80	64.12	535.3	20.17	518.38	-9.31
644	550.4	1369.1		lago/na	L. Managua		32		8.50	2200	18.04	20.672	356.80	57.09	448.4	39.87	555.02	-6.30
645	550.4	1369.1		lago/na	L. Managua		32		8.50	2300	16.03	20.672	335.88	57.09	448.4	30.26	561.10	-8.85
646	550.4	1369.1		lago/na	L. Managua		34		8.80	1440	8.02	19.456	241.85	47.31	248.2	-0.48	591.68	-9.27
647	550.4	1369.1		lago/na	L. Managua		30		8.70	1500	10.02	18.240	303.93	46.14	228.3	38.42	585.64	-1.41
<b>Zona o Región: Pozo de Producción</b>																		
2628				pozogt-sp	MT-02	25-Jun-90		9.1			111.00	0.240	3580.00	146.00	4786.0	45.00	28.00	9.47
2629				pozogt-sp	MT-12	03-Feb-87		103.2			98.00	0.265	2222.00	312.00	3728.0	150.00	37.00	0.26
2630				pozogt-sp	MT-17	15-Jun-92		25.9			20.00	3.090	940.00	115.00	1414.0	237.00	48.00	0.15
2631				pozogt-sp	MT-20	03-Feb-87		27.2			111.00	0.079	1950.00	287.00	3373.0	40.00	31.00	0.59
2632				pozogt-sp	MT-23	12-Ago-80		198.6			70.00	6.000	2297.00	504.00	4083.0	9.00	73.00	0.08
2633				pozogt-sp	MT-31	14-Ago-80		341			74.00	5.000	2321.00	462.00	4083.0	9.00	85.00	0.03
2634				pozogt-sp	MT-35	16-Nov-92		37.4			24.00	0.020	2130.00	435.00	3061.0	52.00	50.00	8.61
2635				pozogt-sp	MT-36	21-Oct-92		16.1			22.00	0.000	2145.00	645.00	4012.0	14.00	29.00	-1.43
<b>Zona o Región: P. Las Salinitas</b>																		
2730	550.2	1369.1		manant	Aguas Calientes Sur del Volcán	12-Mar-70	101		7.80	9600	104.00	10.000	2562.00	228.00	4313.0	100.00	49.00	0.18
619	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		101		7.80	9900	106.21	2.432	2308.89	264.71	3970.4	120.08	48.82	-0.55
620	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		101		7.80	9600	104.21	9.728	2560.86	228.74	4307.2	99.90	48.82	0.24
621	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		87.5		7.30	9600	110.22	4.864	2239.00	228.74	3757.7	130.16	48.82	0.58
622	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		101		7.60	9600	104.21	9.728	2204.05	228.74	3686.8	99.90	54.92	1.10
623	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		96.5		8.20	9600	108.22	3.648	2204.05	234.60	3747.1	70.12	36.58	0.76
624	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		98		8.20	9400	112.22	1.216	2239.00	240.47	3768.3	99.90	60.95	0.82
625	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		101		8.20	8300	100.20	3.648	1889.09	174.39	3144.4	99.90	85.39	0.49
626	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		33		7.60	10000	132.26	8.512	2204.05	252.59	3798.5	130.16	36.61	0.39
627	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		33		7.50	10100	134.27	12.160	2057.15	252.59	3693.9	99.90	36.61	-0.74
628	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		100		7.60	8900	116.23	1.216	1775.29	228.74	3211.8	130.16	48.82	-2.62
629	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		101		8.20	8900	148.30	1.216	1567.23	132.16	3296.9	130.16	54.88	-9.18
630	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		100		7.60	9450	100.20	10.944	2413.95	264.71	3686.8	99.90	48.82	5.39

(1) Número de Muestra. (2) Elevación, metros sobre nivel del mar. (3) Ver codigos de tipos de fuentes a fines de la tabla. (4) Ver nombres completos en la Parte 3.  
 (5) Temperatura, grados C. (6) Conductividad Eléctrica, µ-S. (7) un valor -X indica <X (límite de detección).

TablaVII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 1

Momotombo

Pág. 1 de 3

(1) N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	(3) Tipo	(4) Nombre	Fecha	Temp. <sup>(5)</sup> °C	Flujo lpm	Ce <sup>(6)</sup> pH	Ce <sup>(6)</sup> µ-S	Concentraciones- mg/l <sup>(7)</sup>						Alc.T HCO3	Balance Iónico % de Total
	utm-E	utm-N									Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4		
631	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		96		7.90	9450	100.20	9.728	2330.04	252.59	3545.0	99.90	48.77	5.57
632	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		95		7.50	8910	82.16	23.104	1889.09	240.47	3580.5	99.90	48.82	-4.14
633	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		72		7.50	8910	76.15	27.968	1889.09	240.47	3757.7	199.81	54.92	-7.42
634	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		94.5		8.10	8910	90.18	8.512	1952.08	240.47	3615.9	99.90	42.69	-3.61
635	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		102		7.60	8730	88.18	18.240	1847.25	146.23	3509.6	199.81	36.61	-6.43
636	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		101		7.40	8910	84.17	17.024	1784.25	152.49	3545.0	99.90	48.82	-7.60
637	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		95		8.10	8910	82.16	21.888	1952.08	168.52	3615.9	99.90	42.69	-4.19
638	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		91		7.60	10000	112.22	2.432	2299.00	300.68	3729.3	48.03	42.71	3.51
639	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		82		7.40	5300	88.18	8.512	923.51	127.47	1882.4	60.04	18.31	-5.29
640	550.3	1369.4		manant	P. LasSalinitas		79		7.30	4950	58.12	7.296	839.59	121.21	1914.3	99.90	30.51	-12.79
641	550.3	1369.4		manant	Pozo Gr. M-1A		85		7.50	10500	110.22	2.554	2356.48	172.43	3899.5	74.93	34.78	0.65
<b>Zona o Región: Cráter Momotombo</b>																		
2054				fumaro	Fumarola V. Momotombo, #1	06-Nov-85					0.81	88000	0.34	0.070	18.00	0.00	6700.00	-98.85
2055				fumaro	Fumarola V. Momotombo, #2	06-Nov-85	877				0.79		0.34	0.040	31.00	5.00	4000.00	-96.47
2056				fumaro	Fumarola V. Momotombo, #3	20-Nov-85	840				0.83	00000	0.19	0.150	9.00	13.00	3200.00	-97.79
2057				fumaro	Fumarola V. Momotombo, #4	25-Nov-85	880				0.01	88000					5000.00	
<b>Zona o Región: Punta del Diablo</b>																		
2001	553.35	1368.97			Punta del Diablo	18-Dic-78					20.00	19.000	228.00	74.00	284.0	38.40	884.25	-23.83
2002	553.35	1368.97			Punta del Diablo	18-Dic-78					18.00	24.000	276.00	72.00	426.0	38.40	871.89	-23.77
2003	553.35	1368.97			Punta del Diablo	12-Oct-94	34		9.54	1233	5.73	8.430	275.00	39.00	154.0	42.03	443.07	5.28
2004	553.35	1368.97			Punta del Diablo	19-Nov-94	31		9.23	2070	5.37	20.040	528.00	67.00	286.1	39.61	865.73	7.00
<b>Zona o Región: Desconocido</b>																		
2058					Momotombo, Fuente 1	25-Jun-87	57		8.16	1200	18.00	27.000	171.00	22.00	103.0	10.00	409.18	6.21
2059					Momotombo, Fuente 1A	05-Ago-87	55		8.21	1000	28.00	28.000	157.00	23.00	60.0	134.00	396.18	0.64
2060					Momotombo, Fuente, 1B	05-Ago-87	55		7.80	1000	27.00	25.000	150.00	22.00	60.0	134.00	384.00	-1.35
2061					Momotombo, Fuente A	05-Feb-88	55		7.31	700	53.00	25.000	25.00	25.00	64.0	2.00	281.00	-0.19
2062					Momotombo, Fuente B	05-Feb-88	55		7.57	700	50.00	32.000	25.00	24.00	60.0	3.00	305.00	0.55

N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Tipo	Nombre	Fecha	Temp. <sup>(5)</sup> °C	Flujo lpm	pH	Ce <sup>(6)</sup> µ-S	Concentraciones- mg/l <sup>(7)</sup>						Alc.T HCO3	Balance Iónico % de Total
	utm-E	utm-N									Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4		

### Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
pozogt-cw	Pozo geotérmico, caja de weir
pozogt-sp	Pozo geotérmico, separador de vapor - líquido
pozope	Pozo perforado
rio	Río, riachuelo
sitio	Sitio (lugar) de datos pero no se conoce el Tipo
solfat	Solfatara
superf	Agua superficial (río, lago)
ventgas	Ventana u orificio de gases
vertic	Vertiente
yacimiento	Líquido/vapor/gas de reservorio geotérmico

Tabla VII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos. Parte 2

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre <sup>(3)</sup>	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm <sup>(6)</sup>	Concentraciones - mg/l <sup>(5)</sup>										pH	
						SDT <sup>(4)</sup>	SiO <sub>2</sub>	B	Li	Fe	Sr	NH <sub>4</sub>	Cl	F	NO <sub>3</sub>	Campo	Lab.
<b>Zona o Región: L. Managua</b>																	
642	lago/na	L. Managua		34		1559	41	2.50	0.625				673.6	0.57	6.20	8.80	
643	lago/na	L. Managua		36		1336	55	1.50	-0.069				535.3	0.76	1.86	8.50	
644	lago/na	L. Managua		32		1281	55	1.50	2.498				448.4	0.76	-0.62	8.50	
645	lago/na	L. Managua		32		1248	50	1.90	2.012				448.4	0.76	0.62	8.50	
646	lago/na	L. Managua		34		912	50	0.70	1.180				248.2	0.76	3.10	8.80	
647	lago/na	L. Managua		30		978	40	0.60	-0.069				228.3	0.57	3.10	8.70	
<b>Zona o Región: Pozo de Producción</b>																	
2628	pozogt-sp	MT-02	25-Jun-90		9.1	9315	454	33.00					4786.0	1.10			
2629	pozogt-sp	MT-12	03-Feb-87		103.2	7000	265	38.00					3728.0	1.40			
2630	pozogt-sp	MT-17	15-Jun-92		25.9	2999	197	13.00					1414.0	2.40			
2631	pozogt-sp	MT-20	03-Feb-87		27.2	6282	305	37.00					3373.0	1.20			
2632	pozogt-sp	MT-23	12-Ago-80		198.6	7266	260						4083.0	0.90			
2633	pozogt-sp	MT-31	14-Ago-80		341	7207	210						4083.0	1.00			
2634	pozogt-sp	MT-35	16-Nov-92		37.4	6391	463	37.00					3061.0	1.50			
2635	pozogt-sp	MT-36	21-Oct-92		16.1	7797	726	40.00					4012.0	3.20			
<b>Zona o Región: P. Las Salinitas</b>																	
2730	manant	Aguas Calientes Sur del V	12-Mar-70		101	7558	135	12.70	12.200				4313.0	1.00	0.80		
619	manant	P. Las Salinitas			101	7014	135	13.20	9.715				3970.4	0.95	1.24	7.80	
620	manant	P. Las Salinitas			101	7552	135	12.70	12.490				4307.2	0.95	0.62	7.80	
621	manant	P. Las Salinitas			87.5	6695	140	8.80	11.796				3757.7	0.95	0.62	7.30	
622	manant	P. Las Salinitas			101	6556	135	8.80	11.796				3686.8	0.95	-0.62	7.60	
623	manant	P. Las Salinitas			96.5	6594	135	11.00	13.184				3747.1	0.95	-0.62	8.20	
624	manant	P. Las Salinitas			98	6660	145	1.70	13.878				3768.3	0.76	-0.62	8.20	
625	manant	P. Las Salinitas			101	5679	180	6.60	8.327				3144.4	0.95	0.62	8.20	
626	manant	P. Las Salinitas			33	6751	165	5.50	11.796				3798.5	0.19	1.86	7.60	
627	manant	P. Las Salinitas			33	6484	180	4.40	11.796				3693.9	0.57	2.48	7.50	
628	manant	P. Las Salinitas			100	5668	160	3.30	2.498				3211.8	0.57	-0.62	7.60	
629	manant	P. Las Salinitas			101	5452	115	4.40	9.506				3296.9	1.14	0.62	8.20	
630	manant	P. Las Salinitas			100	6761	130	3.80	9.784				3686.8	0.19	3.72	7.60	

(1) Número de Muestra. (2) Ver codigos de tipos de fuentes al final de la tabla.  
 (3) Ver nombres completos en la Parte 3. (4) Solidos Disueltos Totales por suma, mg/l. (5) Un valor -X indica <X (límite de detección). (6) Si el ejemplo es de un pozo de producción geotérmico, el flujo es de toneladas/hora

Tabla VII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos. Parte 2  
 Momotombo Pág. 1 de 3

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre <sup>(3)</sup>	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm <sup>(6)</sup>	Concentraciones - mg/l <sup>(5)</sup>								pH			
						SDT <sup>(4)</sup>	SiO2	B	Li	Fe	Sr	NH4	Cl	F	NO3	Campo	Lab.
631	manant	P. LasSalinitas		96		6564	175	3.20	9.992				3545.0	0.38	3.10		7.90
632	manant	P. LasSalinitas		95		6446	435	11.50	9.298				3580.5	0.76	1.24		7.50
633	manant	P. LasSalinitas		72		6440	150	11.50	9.298				3757.7	0.76	1.86		7.50
634	manant	P. LasSalinitas		94.5		6240	165	7.00	8.743				3615.9	0.76	0.62		8.10
635	manant	P. LasSalinitas		102		6080	195	9.00	8.743				3509.6	0.57	0.62		7.60
636	manant	P. LasSalinitas		101		5930	165	9.00	8.743				3545.0	0.57	1.24		7.40
637	manant	P. LasSalinitas		95		6190	160	11.00	8.743				3615.9	0.57	1.86		8.10
638	manant	P. LasSalinitas		91		6734	160	9.60	8.604				3729.3	0.76	0.62		7.60
639	manant	P. LasSalinitas		82		3286	140	7.70	4.510				1882.4	0.38	0.62		7.40
640	manant	P. LasSalinitas		79		3203	130	2.30	4.510				1914.3	0.57	1.86		7.30
641	manant	Pozo Gr. M-1A		85		6950	125	34.00	7.008				3899.5	0.76	0.62		7.50
<b>Zona o Región: Cráter Momotombo</b>																	
2054	fumaro	Fumarola V. Momotombo	06-Nov-85			6718											0.81
2055	fumaro	Fumarola V. Momotombo	06-Nov-85	877		4036											0.79
2056	fumaro	Fumarola V. Momotombo	20-Nov-85	840		3222											0.83
2057	fumaro	Fumarola V. Momotombo	25-Nov-85	880		5000											0.01
<b>Zona o Región: Punta del Diablo</b>																	
2001		Punta del Diablo	18-Dic-78			1134	23	1.90					284.0	1.00			
2002		Punta del Diablo	18-Dic-78			1330	30	2.80					426.0	0.70			
2003		Punta del Diablo	12-Oct-94	34		783	22	3.08					154.0	1.04	0.78	9.30	9.54
2004		Punta del Diablo	19-Nov-94	31		1417	22	4.00					286.1	0.52	0.84	9.13	9.23
<b>Zona o Región: Desconocido</b>																	
2058		Momotombo, Fuente 1	25-Jun-87	57		634	76	1.00					103.0	0.00	72.00		8.16
2059		Momotombo, Fuente 1A	05-Ago-87	55		704	76	0.50					60.0	0.00	4.00		8.21
2060		Momotombo, Fuente, 1B	05-Ago-87	55		692	83	0.35					60.0	0.00	4.00		7.80
2061		Momotombo, Fuente A	05-Feb-88	55		427	90	0.90					64.0	0.00	2.50		7.31
2062		Momotombo, Fuente B	05-Feb-88	55		431	83	0.60					60.0	0.00	3.60		7.57

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre <sup>(3)</sup>	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm <sup>(6)</sup>	Concentraciones - mg/l <sup>(5)</sup>								pH	
						SDT <sup>(4)</sup>	SiO2	B	Li	Fe	Sr	NH4	Cl	F	NO3

### Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
pozogt-cw	Pozo geotérmico, caja de weir
pozogt-sp	Pozo geotérmico, separador de vapor - líquido
pozope	Pozo perforado
rio	Río, riachuelo
sitio	Sitio (lugar) de datos pero no se conoce el Tipo
solfat	Solfataras
superf	Agua superficial (río, lago)
ventgas	Ventana u orificio de gases
vertie	Vertiente
yacimiento	Líquido/vapor/gas de reservorio geotérmico

Tabla VII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos. Parte 3

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm <sup>(5)</sup>	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
<b>Zona o Región: L. Managua</b>									
642	lago/na	L. Managua		34		673.6	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#24	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas	
643	lago/na	L. Managua		36		535.3	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#25	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas	
644	lago/na	L. Managua		32		448.4	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#26	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas. Duplicado de TEXAS(1970) #27	Duplicado de no.27
645	lago/na	L. Managua		32		448.4	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#27	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas. Duplicado de TEXAS(1970)#26	Duplicado de no.26
646	lago/na	L. Managua		34		248.2	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#28	Lago de Managua, por Punta Las Salinitas	
647	lago/na	L. Managua		30		228.3	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#29	Lago de Managua adyacente al manatial S19A de TEXAS(1970).	
<b>Zona o Región: Pozo de Producción</b>									
2628	pozogt-sp	MT-02	25-Jun-90		9.1	4786.0	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	cl flujo total 540.8
2629	pozogt-sp	MT-12	03-Feb-87		103.2	3728.0	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	cl flujo total 540.8
2630	pozogt-sp	MT-17	15-Jun-92		25.9	1414.0	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	cl flujo total 694.3
2631	pozogt-sp	MT-20	03-Feb-87		27.2	3373.0	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	cl flujo total 944.4
2632	pozogt-sp	MT-23	12-Ago-80		198.6	4083.0	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	cl flujo total 3323.6
2633	pozogt-sp	MT-31	14-Ago-80		341	4083.0	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	cl flujo total 3556.3
2634	pozogt-sp	MT-35	16-Nov-92		37.4	3061.0	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	cl flujo total 1313.2
2635	pozogt-sp	MT-36	21-Oct-92		16.1	4012.0	DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	cl flujo total 1364.1
<b>Zona o Región: P. Las Salinitas</b>									
2730	manant	Aguas Calientes Sur del Volcán Momotombo	12-Mar-70	101		4313.0	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-17		
619	manant	P. LasSalinitas		101		3970.4	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#1	Punta Las Salinitas, área de manantiales calientes de V. Momotombo	
620	manant	P. LasSalinitas		101		4307.2	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#2		
621	manant	P. LasSalinitas		87.5		3757.7	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#3		
622	manant	P. LasSalinitas		101		3686.8	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#4		

Jueves, 07 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Ver codigos de tipos de fuentes al final de la tabla.  
 (3) Un valor -X indica <X (límite de detección). (4) Ver referencias al final de la tabla. (5) Si el ejemplo es un pozo de producción geotérmico, el flujo es de toneladas por hora.

TablaVII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos. Parte 3  
 Momotombo Pág. 1 de 5

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm <sup>(5)</sup>	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
623	manant	P. LasSalinitas		96.5		3747.1	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#5		
624	manant	P. LasSalinitas		98		3768.3	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#6		
625	manant	P. LasSalinitas		101		3144.4	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#7		
626	manant	P. LasSalinitas		33		3798.5	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#8		
627	manant	P. LasSalinitas		33		3693.9	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#9		
628	manant	P. LasSalinitas		100		3211.8	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#10		
629	manant	P. LasSalinitas		101		3296.9	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#11		
630	manant	P. LasSalinitas		100		3686.8	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#12		
631	manant	P. LasSalinitas		96		3545.0	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#13		
632	manant	P. LasSalinitas		95		3580.5	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#14		
633	manant	P. LasSalinitas		72		3757.7	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#15		
634	manant	P. LasSalinitas		94.5		3615.9	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#16		
635	manant	P. LasSalinitas		102		3509.6	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#17		
636	manant	P. LasSalinitas		101		3545.0	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#18		
637	manant	P. LasSalinitas		95		3615.9	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#19		
638	manant	P. LasSalinitas		91		3729.3	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#20		
639	manant	P. LasSalinitas		82		1882.4	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#21		
640	manant	P. LasSalinitas		79		1914.3	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#22		
641	manant	Pozo Gr. M-1A		85		3899.5	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#23		B, NO3 y F fueron analizados por laboratorio distinto que en otras muestras del proyecto.

**Zona o Región: Cráter Momotombo**

2054	fumaro	Fumarola V. Momotombo, #1	06-Nov-85				ENEL(2000)		
2055	fumaro	Fumarola V. Momotombo, #2	06-Nov-85	877			ENEL(2000)		
2056	fumaro	Fumarola V. Momotombo, #3	20-Nov-85	840			ENEL(2000)		
2057	fumaro	Fumarola V. Momotombo, #4	25-Nov-85	880			ENEL(2000)		

**Zona o Región: Punta del Diablo**

2001		Punta del Diablo	18-Dic-78			284.0	ENEL(2000)		
2002		Punta del Diablo	18-Dic-78			426.0	ENEL(2000)		
2003		Punta del Diablo	12-Oct-94	34		154.0	ENEL(2000)		
2004		Punta del Diablo	19-Nov-94	31		286.1	ENEL(2000)		

**Zona o Región: Desconocido**

Jueves, 07 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Ver codigos de tipos de fuentes al final de la tabla. (3) Un valor -X indica <X (limite de detección). (4) Ver referencias al final de la tabla. (5) Si el ejemplo es un pozo de producción geotérmico, el flujo es de toneladas por hora.

TablaVII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 3  
Momotombo Pág. 2 de 5

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm <sup>(5)</sup>	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
2058		Momotombo, Fuente 1	25-Jun-87	57		103.0	ENEL(2000)		
2059		Momotombo, Fuente 1A	05-Ago-87	55		60.0	ENEL(2000)		
2060		Momotombo, Fuente, 1B	05-Ago-87	55		60.0	ENEL(2000)		
2061		Momotombo, Fuente A	05-Feb-88	55		64.0	ENEL(2000)		
2062		Momotombo, Fuente B	05-Feb-88	55		60.0	ENEL(2000)		

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm <sup>(5)</sup>	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
--------------------	---------------------	--------	-------	----------	--------------------------	------------------------	---------------------------	-------	------------------------

### Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
pozogr-cw	Pozo geotérmico, caja de weir
pozogr-sp	Pozo geotérmico, separador de vapor - líquido
pozope	Pozo perforado
rio	Rio, riachuelo
sitio	Sitio (lugar) de datos pero no se conoce el Tipo
solfat	Solfataras
superf	Agua superficial (rio, lago)
ventgas	Ventana u orificio de gases
vertie	Vertiente
yacimiento	Líquido/vapor/gas de reservorio geotérmico

### Referencias

- |   |                    |  |
|---|--------------------|--|
| 2 | CalEnergy(1978)    | Temperature gradient hole investigations conducted by California Energy Company - ENALUF in the vicinity of El Hoyo and Momotombo Volcanoes, 1976 - 1977. Table 1, Summary of temperature gradient hole data. Informe de California Energy Company, Inc., a la Empresa Nacional de Luz y Fuerza, Managua, Nicaragua, Junio, 1978. Nota: todas las coordenadas UTM de los pozos son aproximadas.  |
| 3 | DAL/ELC/ENEL(1995) | Estudios de evaluación del potencial energético, Factibilidad de la estabilización y de la tercera unidad geotermoelectrica del campo geotérmico de Momotombo, Fase IA - investigaciones geocientíficas: Anexo D, Estudio geoquímico, Managua, Octubre de 1995. Contrato BID PSO.4.304.00-C, para BID (Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C. Estados Unidos) y ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad, Managua, Nicaragua), por DAL SpA, Milano, Italia, ELC (Electroconsult), Italia, y ENEL.   |
| 5 | ENEL(1997)         | Calidad de aguas subterráneas, zonas aledañas a Momotombo. Elaborado por: Ing. Karla Miranda Jaime y Ing. Jerónimo Calero Aries. De: Informe de Octubre 1997, ENEL Gerencia Geotermia, Química y Ambiente - Nov. 1997.   |
| 7 | ENEL(1998b)        | Informe de actividades 1997. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte III - Registro isotópico (estables y radioactivos), aguas y vapor geotérmico, aguas superficiales y subterráneas (descarga de agua y vapor geotérmico, campo geotérmico de Momotombo; aguas superficiales no geotérmicas, Momotombo, La Paz Centro, Isla Momotombito, Malpaisillo). Parte del proyecto OIEA-NIC/8/008. Febrero de 1998. (Nota 30 Ago 00: el base de datos del Estudio de Plan Maestro contiene solamente una parte de la cantidad total de datos isotópicos del Informe.) |

<sup>(1)</sup> N/m	<sup>(2)</sup> Tipo	Nombre	Temp. Fecha	Flujo °C	Flujo lpm (5)	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	<sup>(4)</sup> Referencia	Notas	Otros Datos Analíticos
8	ENEL(1998c)		Informe trimestral Oct. - Dic. 1998.				ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte A - Geoquímica isotópica en pozos de producción del campo Momotombo. Oct/Dic 1998. 17 de Diciembre de 1998.		
9	ENEL(2000)		Base de datos de reconocimientos químicos de sistemas geotérmicos y regiones aledañas en Nicaragua, de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Laboratorio Químico. Versión original en archivo Datos.xls de MS-Excel, versión redactada a fines del año 1999. Autor: Domingo Mora Z.. Nota: según lo reportado, este archivo contiene todos los análisis químicos hechos por el laboratorio de ENALUF, luego del INE y luego de ENEL. Se reporta también que los análisis con fecha anterior al 1970 fueron realizados por el laboratorio de IRENA (ahora MARENA), por cuenta de ENALUF.						
14	OIEA(1996)		International Atomic Energy Agency, Project NIC/8/008-03, Interpretation of geochemical and isotopic data from well discharges in the Momotombo Geothermal Field, Nicaragua, with recommendations on monitoring studies. Informe por Stefan Arnórsson, Mayo de 1996. Table 3 - Stable isotopic composition of river waters, lakes and groundwaters from wells in the area around the Momotombo geothermal field. Table 4 - Isotopic composition of water and steam discharged from wells at Momotombo. Table 5 - Tritium content of surface waters, ground waters and geothermal waters from the Momotombo area. (Nota: el base de datos del Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua contiene solamente una parte de los datos de la Tabla 4.)						
17	OLADE(1982)		Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Área El Hoyo - San Jacinto: a) Anexo 10, Fichas de los Puntos de Agua Termales, y, c) Anexo 21. Tabulación de Puntos de Muestreo y Datos Hidroquímicos; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982.						
18	OLADE(1982b)		Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Área El Hoyo - San Jacinto, Informe Geoquímico, Geoquímica de los Gases; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982. Análisis de laboratorio hechos por la American Technical Laboratories (AMTECH), San Diego, CA, E.U.A.. Nota: las coordenadas UTM de los puntos de muestreo han sido determinadas por su posición en la figura 3, Mapa de la Ubicación de las Muestras de Gas, 1:250,000.						
20	Texas(1970)		Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Área del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R. Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO <sub>2</sub> son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.						
26	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.						

Tabla VII-A.3: Base de Datos Químicos - Gases.Parte 1

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Nombre <sup>(2)</sup>	Fecha	Temp °C	Total de Gases/Vapor			% vol. de gas seco <sup>(3)</sup>							Suma <sup>(3)</sup>	%aire <sup>(4)</sup>		
	utm-E	utm-N				m/1000m	ppm-w	% v.	CO2	H2S	NH3	Ar	N2	CH4	H2			He	O2
<b>Tipo: <sup>(5)</sup> fumaro</b>																			
943	550.0	1373.2	Momot.550°C		550				60.00	1.400				16.0000	-0.0100	6.90000	-0.000600	2.2000	99.80
942	550.0	1373.2	Momot.685°C		685				55.00	1.400				10.0000	-0.0100	19.00000	-0.000300	0.2000	98.90
941	550.0	1373.2	Momot.727°C		727				55.00	1.300				8.6000	0.0100	21.00000	-0.000300	1.3000	100.61
<b>Tipo: <sup>(5)</sup> pozogt-sp</b>																			
2636			MT-02	25-Jun-90		8.380	20000	0.82	98.59	1.410	0.0150								100.02
2629			MT-12	03-Feb-87			20700	0.85											100.00
2630			MT-17	15-Jun-92		4.092	9800	0.40	96.21	3.437	0.3520								99.95
945	548.7	1370.8	MT-17	29-Dic-80					86.00	1.500				11.5000	0.5000	0.45000	-0.000500		99.95
944	548.7	1370.8	MT-17	29-Dic-80					86.00	1.500				11.5000	0.5000	0.45000	-0.000500		99.95
2637			MT-31	27-Feb-90		5.650	13400	0.55	93.25	6.540	0.2100								100.00
2634			MT-35	16-Nov-92		7.553	18000	0.74	97.34	2.521	0.1350								100.00
2638			MT-36	28-Oct-92		13.372	31500	1.29	98.22	1.678	0.0980								100.00

N/m	Coordenadas		Nombre	Fecha	Temp °C	Total de Gases/Vapor			% vol. de gas seco								Suma	%aire
	utm-E	utm-N				m/1000m	ppm-w	% v.	CO2	H2S	NH3	Ar	N2	CH4	H2	He		

### Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
pozogt-cw	Pozo geotérmico, caja de weir
pozogt-sp	Pozo geotérmico, separador de vapor - líquido
pozope	Pozo perforado
rio	Río, riachuelo
sitio	Sitio (lugar) de datos pero no se conoce el Tipo
solfat	Solfataras
superf	Agua superficial (río, lago)
ventgas	Ventana u orificio de gases
vertic	Vertiente
yacimiento	Líquido/vapor/gas de reservorio geotérmico

Tabla VII-A.3: Base de Datos Químicos - Gases.Parte 2

N/m <sup>(1)</sup>	Nombre	Fecha	Temp °C	% vol. gas seco <sup>(2)</sup>		Referencia <sup>(3)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
				CO	SO <sub>2</sub>			
<b>Tipo:<sup>(4)</sup> fumaro</b>								
943	Momot.550°C		550		13.300	OLADE(1982b)		G/V = 93 lt/Kg (sin indicación de temperatura)
942	Momot.685°C		685		13.300	OLADE(1982b)		G/V = 91 lt/Kg (sin indicación de temperatura)
941	Momot.727°C		727		13.400	OLADE(1982b)		G/V = 88 lt/Kg (sin indicación de temperatura)
<b>Tipo:<sup>(4)</sup> pozogt-sp</b>								
2636	MT-02	25-Jun-90				DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	
2629	MT-12	03-Feb-87				DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	
2630	MT-17	15-Jun-92				DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	
945	MT-17	29-Dic-80				OLADE(1982b), número 15	Aparentemente es el promedio de dos muestras.	G/V = 13+-2 lt/Kg (sin indicación de temperatura)
944	MT-17	29-Dic-80				OLADE(1982b), número 14	Aparentemente es el promedio de dos muestras.	G/V = 13+-2 lt/Kg (sin indicación de temperatura)
2637	MT-31	27-Feb-90				DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	
2634	MT-35	16-Nov-92				DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	
2638	MT-36	28-Oct-92				DAL/ELC/ENEL(1995), tabla 1 y 2	Flujo = t/h (toneladas / hora)	

N/m <sup>(1)</sup>	Nombre	Fecha	Temp °C	% vol. gas seco <sup>(2)</sup>		Referencia <sup>(3)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
				CO	SO2			

### Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
pozogt-cw	Pozo geotérmico, caja de weir
pozogt-sp	Pozo geotérmico, separador de vapor - líquido
pozope	Pozo perforado
rio	Río, riachuelo
sitio	Sitio (lugar) de datos pero no se conoce el Tipo
soflat	Solfataras
superf	Agua superficial (río, lago)
ventgas	Ventana u orificio de gases
vertic	Vertiente
yacimiento	Líquido/vapor/gas de reservorio geotérmico

### Referencias

2	CalEnergy(1978)	Temperature gradient hole investigations conducted by California Energy Company - ENALUF in the vicinity of El Hoyo and Momotombo Volcanoes, 1976 - 1977. Table 1, Summary of temperature gradient hole data. Informe de California Energy Company, Inc., a la Empresa Nacional de Luz y Fuerza, Managua, Nicaragua, Junio, 1978. Nota: todas las coordenadas UTM de los pozos son aproximadas.
3	DAL/ELC/ENEL(1995)	Estudios de evaluación del potencial energético, Factibilidad de la estabilización y de la tercera unidad geotermoeléctrica del campo geotérmico de Momotombo, Fase 1A - investigaciones geocientíficas: Anexo D, Estudio geoquímico, Managua, Octubre de 1995. Contrato BID PSO.4.304.00-C, para BID (Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C. Estados Unidos) y ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad, Managua, Nicaragua), por DAL SPA, Milano, Italia, ELC (Electroconsult), Italia, y ENEL.
5	ENEL(1997)	Calidad de aguas subterráneas, zonas aledañas a Momotombo. Elaborado por: Ing. Karla Miranda Jaime y Ing. Jerónimo Calero Aries. De: Informe de Octubre 1997, ENEL Gerencia Geotermia, Química y Ambiente - Nov. 1997.
7	ENEL(1998b)	Informe de actividades 1997. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte III - Registro isotópico (estables y radioactivos), aguas y vapor geotérmico, aguas superficiales y subterráneas (descarga de agua y vapor geotérmico, campo geotérmico de Momotombo; aguas superficiales no geotérmicas, Momotombo, La Paz Centro, Isla Momotombo, Malpaisillo). Parte del proyecto OIEA-NIC/8/008. Febrero de 1998. (Nota 30 Ago 00: el base de datos del Estudio de Plan Maestro contiene solamente una parte de la cantidad total de datos isotópicos del Informe.)

Jueves, 07 de Junio de 2001

- (1) Número de Muestra.  
(2) un valor -X indica <X (límite de detección).  
(3) Ver referencias al final de la tabla.  
(4) Ver códigos de tipos de fuentes al final de la tabla.

Tabla VII-A.3: Base de Datos Químicos - Gases. Parte 2

Pág. 2 de 3

N/m	(1) Nombre	Fecha	Temp °C	% vol. gas seco (2)		Referencia (3)	Notas	Otros Datos Analíticos
				CO	SO2			
8	ENEL(1998c)						Informe trimestral Oct. - Dic. 1998. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte A - Geoquímica isotópica en pozos de producción del campo Momotombo. Oct/Dic 1998. 17 de Diciembre de 1998.	
9	ENEL(2000)						Base de datos de reconocimientos químicos de sistemas geotérmicos y regiones aledañas en Nicaragua, de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Laboratorio Químico. Versión original en archivo Datos.xls de MS-Excel, versión redactada a fines del año 1999. Autor: Domingo Mora Z. Nota: según lo reportado, este archivo contiene todos los análisis químicos hechos por el laboratorio de ENALUF, luego del INE y luego de ENEL. Se reporta también que los análisis con fecha anterior al 1970 fueron realizados por el laboratorio de IRENA (ahora MARENA), por cuenta de ENALUF.	
14	OIEA(1996)						International Atomic Energy Agency, Project NIC/8/008-03, Interpretation of geochemical and isotopic data from well discharges in the Momotombo Geothermal Field, Nicaragua, with recommendations on monitoring studies. Informe por Stefan Arnórsson, Mayo de 1996. Table 3 - Stable isotopic composition of river waters, lakes and groundwaters from wells in the area around the Momotombo geothermal field. Table 4 - Isotopic composition of water and steam discharged from wells at Momotombo. Table 5 - Tritium content of surface waters, ground waters and geothermal waters from the Momotombo area. (Nota: el base de datos del Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua contiene solamente una parte de los datos de la Tabla 4.)	
17	OLADE(1982)						Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto: a) Anexo 10, Fichas de los Puntos de Agua Termales, y, c) Anexo 21. Tabulación de Puntos de Muestreo y Datos Hidroquímicos; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982.	
18	OLADE(1982b)						Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto, Informe Geoquímico, Geoquímica de los Gases; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982. Análisis de laboratorio hechos por la American Technical Laboratories (AMTECH), San Diego, CA, E.U.A. Nota: las coordenadas UTM de los puntos de muestreo han sido determinadas por su posición en la figura 3, Mapa de la Ubicación de las Muestras de Gas, 1:250,000.	
20	Texas(1970)						Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.	
26	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.	

Tabla VII-A.4: Base de Datos Químicos - Isótopos

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD	d18O	Liq.	Vap.			
<b>Tipo: <sup>(1)</sup> hervid</b>															
2649				Las Salinitas	01-Feb-83				-27.10		-0.60			Anal por CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, Francia)	ENEL(1998b)
2645				Las Salinitas	01-Jul-96				-22.50		-3.20			Anal por LGD-SIUI (Laboratoire de Geologie Dynamique du Paris, Francia - Science Institute, University of Iceland)	ENEL(1998b)
<b>Tipo: <sup>(1)</sup> lago/na</b>															
2641	544.000	1372.00		Lago Managua 2	11-Ene-96				-3.30		0.11		1.91	Anal por OIEA, NIC/018-96; error de 3H = 0.21 tu; fecha de 3H = 11/01/1997	ENEL(1998b)
2642	552.500	1368.00		Lago Managua 3	11-Ene-96				-3.00		0.31		2.23	Anal por OIEA, NIC/019-96; error de 3H = 0.22; fecha de 3H = 11/01/1997	ENEL(1998b)
2640	545.000	1369.25		Lago Managua 1	11-Ene-96				-3.30		0.16		2.01	Anal por OIEA, NIC/017-96; error de 3H = 0.21 tu; fecha de muestra 3H = 11/01/1997	ENEL(1998b)
<b>Tipo: <sup>(1)</sup> manant</b>															
2657	548.150	1370.20	20	Man. MT-39	19-Nov-94				-45.58		-6.73			Anal por IIE, NIC/8/008-1	ENEL(1998b)
2670	548.150	1370.20	20	Man. MT-39	21-Nov-94				-46.60		-7.07			Anal por IIE	ENEL(1998b)
2673	548.150	1370.20	20	Man. MT-39	15-Dic-94				-46.60		-7.07		1.20	Anal por OIEA; error de 3H = 0.20 tu	ENEL(1998b)
2674	548.150	1370.20	20	Man. MT-39	15-Ene-96				-48.70		-7.33		1.02	Anal por OIEA, NIC/021-96; fecha de 3H = 10/01/1996; error de 3H = 0.31 tu	ENEL(1998b)
<b>Tipo: <sup>(1)</sup> yacimiento</b>															
2678				MT-04	02-Feb-83	325			-47.63		-2.99			agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpía de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD		d18O				
2682				MT-12	13-Mar-89	216			-37.98	-4.36				agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpia de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4
2679				MT-13	02-Feb-83	270			-45.12	-3.68				agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpia de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4
2680				MT-14	02-Feb-83	267			-44.14	-3.94				agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpia de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4
2688				MT-17	12-Dic-89	210			-41.22	-3.81				agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpia de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4
2683				MT-20	12-Mar-89	206			-36.09	-4.46				agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpia de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4
2681				MT-22	02-Feb-83	208			-44.79	-3.59				agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpia de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4
2684				MT-23	13-Mar-89	241			-42.33	-5.33				agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpia de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD		d18O				
2686				MT-26	12-Jun-89	234			-47.31	-3.37			agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpía de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4	
2685				MT-27	12-Jun-89	233			-43.44	-4.89			agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpía de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4	
2687				MT-35	12-Jun-89	263			-50.36	-2.98			agua del yacimiento, composición calculada por OIEA a base de análisis de agua y vapor separada, entalpía de descarga total y temperatura del yacimiento	OIEA(1996), Tabla 4	

N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD	d18O	Liq.	Vap.			

## Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
pozogt-cw	Pozo geotérmico, caja de weir
pozogt-sp	Pozo geotérmico, separador de vapor - líquido
pozope	Pozo perforado
rio	Río, riachuelo
sitio	Sitio (lugar) de datos pero no se conoce el Tipo
solfat	Solfatará
superf	Agua superficial (río, lago)
ventgas	Ventana u orificio de gases
vertie	Vertiente
yacimiento	Líquido/vapor/gas de reservorio geotérmico

## Referencias

- |   |                    |  |
|---|--------------------|--|
| 2 | CalEnergy(1978)    | Temperature gradient hole investigations conducted by California Energy Company - ENALUF in the vicinity of El Hoyo and Momotombo Volcanoes, 1976 - 1977. Table 1, Summary of temperature gradient hole data. Informe de California Energy Company, Inc., a la Empresa Nacional de Luz y Fuerza, Managua, Nicaragua, Junio, 1978. Nota: todas las coordenadas UTM de los pozos son aproximadas.  |
| 3 | DAL/ELC/ENEL(1995) | Estudios de evaluación del potencial energético, Factibilidad de la estabilización y de la tercera unidad geotermoeléctrica del campo geotérmico de Momotombo, Fase 1A - investigaciones geocientíficas: Anexo D, Estudio geoquímico, Managua, Octubre de 1995. Contrato BID PSO.4.304.00-C, para BID (Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C. Estados Unidos) y ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad, Managua, Nicaragua), por DAL S.P.a, Milano, Italia, ELC (Electroconsult), Italia, y ENEL. |
| 5 | ENEL(1997)         | Calidad de aguas subterráneas, zonas aledañas a Momotombo. Elaborado por: Ing. Karla Miranda Jaime y Ing. Jerónimo Calero Aries. De: Informe de Octubre 1997, ENEL Gerencia Geotermia, Química y Ambiente - Nov. 1997.   |

N/m	Coordenadas		Elev. (2) m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl (3) mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD	d18O	Liq.	Vap.			
7	ENEL(1998b)	Informe de actividades 1997. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte III - Registro isotópico (estables y radioactivos), aguas y vapor geotérmico, aguas superficiales y subterráneas (descarga de agua y vapor geotérmico, campo geotérmico de Momotombo; aguas superficiales no geotérmicas, Momotombo, La Paz Centro, Isla Momotombito, Malpaisillo). Parte del proyecto OIEA-NIC/8/008. Febrero de 1998. (Nota 30 Ago 00: el base de datos del Estudio de Plan Maestro contiene solamente una parte de la cantidad total de datos isotópicos del Informe.)													
8	ENEL(1998c)	Informe trimestral Oct. - Dic. 1998. ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente. Parte A - Geoquímica isotópica en pozos de producción del campo Momotombo. Oct/Dic 1998. 17 de Diciembre de 1998.													
9	ENEL(2000)	Base de datos de reconocimientos químicos de sistemas geotérmicos y regiones aldeañas en Nicaragua, de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Laboratorio Químico. Versión original en archivo Datos.xls de MS-Excel, versión redactada a fines del año 1999. Autor: Domingo Mora Z. Nota: según lo reportado, este archivo contiene todos los análisis químicos hechos por el laboratorio de ENALUF, luego del INE y luego de ENEL. Se reporta también que los análisis con fecha anterior al 1970 fueron realizados por el laboratorio de IRENA (ahora MARENA), por cuenta de ENALUF.													
14	OIEA(1996)	International Atomic Energy Agency, Project NIC/8/008-03, Interpretation of geochemical and isotopic data from well discharges in the Momotombo Geothermal Field, Nicaragua, with recommendations on monitoring studies. Informe por Stefan Arnórsson, Mayo de 1996. Table 3 - Stable isotopic composition of river waters, lakes and groundwaters from wells in the area around the Momotombo geothermal field. Table 4 - Isotopic composition of water and steam discharged from wells at Momotombo. Table 5 - Tritium content of surface waters, ground waters and geothermal waters from the Momotombo area. (Nota: el base de datos del Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua contiene solamente una parte de los datos de la Tabla 4.)													
17	OLADE(1982)	Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto: a) Anexo 10, Fichas de los Puntos de Agua Termales, y, c) Anexo 21. Tabulación de Puntos de Muestreo y Datos Hidroquímicos; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982.													
18	OLADE(1982b)	Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto, Informe Geoquímico, Geoquímica de los Gases; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982. Análisis de laboratorio hechos por la American Technical Laboratories (AMTECH), San Diego, CA, E.U.A. Nota: las coordenadas UTM de los puntos de muestreo han sido determinadas por su posición en la figura 3, Mapa de la Ubicación de las Muestras de Gas, 1:250,000.													
20	Texas(1970)	Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R. Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.													
26	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.													

**Tabla VII-A.5**

No se encuentra esta tabla porque no hay datos nuevos en el área de Momotombo

Tabla VII-A.6: Geotermómetros de Aguas

N/m	Coordenadas		Tipo	Nombre	Fecha	Temp.		Cl	Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>														
	utm-E	utm-N				°C	pH		mg/l	Cuarzo 0° - 330°		Caledonia 0° - 250°		Amór 0° - 250°	Na - K - Ca			4° - 340°		Na-K-Ca-Mg 4° - 340°		Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°
										Con.	Ad.	Con.	Ad.		RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R	Temp Final			
<b>Zona o Región: L. Managua</b>																							
642	550.4	1369.1	lago/na	L. Managua		34	8.80	674	93	94	62	---	---	1.34	213	232	232	38	42	273	104		
643	550.4	1369.1	lago/na	L. Managua		36	8.50	535	107	106	77	---	---	1.29	217	233	233	45	29	273	96		
644	550.4	1369.1	lago/na	L. Managua		32	8.50	448	107	106	77	---	---	1.37	205	224	224	42	33	261	94		
645	550.4	1369.1	lago/na	L. Managua		32	8.50	448	102	102	72	---	---	1.37	208	228	228	43	32	267	94		
646	550.4	1369.1	lago/na	L. Managua		34	8.80	248	102	102	72	---	---	1.34	218	238	238	50	23	282	86		
647	550.4	1369.1	lago/na	L. Managua		30	8.70	228	92	93	61	---	---	1.20	212	224	224	47	24	256	86		
<b>Zona o Región: Pozo de Producción</b>																							
2628			pozogt-sp	MT-02	25-Jun-90			4786	247	223	234	210	119	0.34	236	172	172	0	172	151	205		
2629			pozogt-sp	MT-12	03-Feb-87			3728	201	187	182	170	75	0.51	288	237	237	0	237	248	237		
2630			pozogt-sp	MT-17	15-Jun-92			1414	180	169	158	149	55	0.55	270	227	227	6	189	235	148		
2631			pozogt-sp	MT-20	03-Feb-87			3373	212	196	195	180	86	0.62	271	236	236	0	236	253	264		
2632			pozogt-sp	MT-23	12-Ago-80			4083	200	186	180	169	74	0.42	354	275	275	3	257	295	189		
2633			pozogt-sp	MT-31	14-Ago-80			4083	184	173	163	153	59	0.43	342	267	267	3	254	284	190		
2634			pozogt-sp	MT-35	16-Nov-92			3061	249	224	237	212	121	0.26	416	282	282	0	282	287	330		
2635			pozogt-sp	MT-36	21-Oct-92			4012	315	258	---	249	167	0.25	478	317	317	0	317	334	---		
<b>Zona o Región: P. Las Salinitas</b>																							
2730	550.2	1369.1	manant	Aguas Calientes Sur del	12-Mar-70	101	7.80	4313	155	149	130	125	33	0.46	264	210	210	7	172	207	151		
619	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		101	7.80	3970	155	149	130	125	33	0.51	271	224	224	2	223	229	182		
620	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		101	7.80	4307	155	149	130	125	33	0.46	264	210	210	7	173	207	152		
621	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		87.5	7.30	3758	157	151	133	128	35	0.54	258	215	215	3	202	219	164		
622	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		101	7.60	3687	155	149	130	125	33	0.53	260	217	217	7	177	220	152		
623	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		96.5	8.20	3747	155	149	130	125	33	0.54	260	218	218	3	211	222	170		
624	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		98	8.20	3768	159	153	135	130	37	0.54	260	218	218	1	218	223	192		
625	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		101	8.20	3144	173	164	151	143	50	0.61	239	207	207	3	198	210	159		
626	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		33	7.60	3798	168	160	144	137	44	0.60	256	220	220	5	193	229	157		
627	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		33	7.50	3694	173	164	151	143	50	0.65	253	223	223	7	179	235	151		
628	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		100	7.60	3212	166	158	142	135	42	0.70	249	225	225	1	225	240	190		
629	550.3	1369.4	manant	P. Las Salinitas		101	8.20	3297	145	141	119	117	24	0.89	200	194	194	1	194	203	169		

(1) Número de Muestra. (2) Ver codigos de tipos de fuentes al final de la tabla.

(3) Ver referencias y abreviaciones al final de la tabla.

Tabla VII-A.6: Geotermómetros de Aguas

Jueves, 07 de Junio de 2001

Momotombo

Pág. 1 de 4

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	pH	Cl mg/l	Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>										Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°		
	utm-E	utm-N							Cuarzo 0° - 330°		Calcedonia 0° - 250°		Amór 0° - 250°	Na - K - Ca			4° - 340°				Na-K-Ca-Mg 4° - 340°	
									Con.	Ad.	Con.	Ad.		RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R			Temp Final	
630	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		100	7.60	3687	153	147	127	123	31	0.48	276	222	222	7	178	225	155	
631	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		96	7.90	3545	172	163	149	141	48	0.49	271	221	221	7	182	224	155	
632	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		95	7.50	3580	243	220	230	207	115	0.55	272	229	229	16	124	239	139	
633	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		72	7.50	3758	161	155	137	132	39	0.53	276	230	230	19	108	239	136	
634	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		94.5	8.10	3616	168	160	144	137	44	0.56	268	227	227	6	188	236	156	
635	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		102	7.60	3510	179	169	157	148	55	0.58	232	198	198	16	113	198	128	
636	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		101	7.40	3545	168	160	144	137	44	0.59	236	202	202	15	119	204	130	
637	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		95	8.10	3616	166	158	142	135	42	0.53	246	205	205	18	105	205	129	
638	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		91	7.60	3729	166	158	142	135	42	0.53	279	232	232	1	232	241	187	
639	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		82	7.40	1882	157	151	133	128	35	1.17	208	218	218	8	166	246	135	
640	550.3	1369.4	manant	P. LasSalinitas		79	7.30	1914	153	147	127	123	31	1.04	221	223	223	9	163	251	136	
641	550.3	1369.4	manant	Pozo Gr. M-1A		85	7.50	3900	150	145	125	121	29	0.51	239	196	196	2	196	192	165	
<b>Zona o Región: Cráter Momotombo</b>																						
2054			fumaro	Fumarola V. Momotom	06-Nov-85			0.81	---	---	---	---	---	3.72	---	---	---	---	---	---	---	
2055			fumaro	Fumarola V. Momotom	06-Nov-85	877	0.79		---	---	---	---	---	2.16	171	215	215	2	211	262	118	
2056			fumaro	Fumarola V. Momotom	20-Nov-85	840	0.83		---	---	---	---	---	5.56	225	370	370	3	335	647	127	
2057			fumaro	Fumarola V. Momotom	25-Nov-85	880	0.01		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
<b>Zona o Región: Punta del Diablo</b>																						
2001	553.35	1368.97		Punta del Diablo	18-Dic-78			284	69	69	37	---	---	2.25	207	262	262	35	57	344	108	
2002	553.35	1368.97		Punta del Diablo	18-Dic-78			426	80	80	48	---	---	1.77	214	252	252	42	39	316	104	
2003	553.35	1368.97		Punta del Diablo	12-Oct-94	34	9.54	154	68	68	36	---	---	1.00	223	223	223	35	48	249	101	
2004	553.35	1368.97		Punta del Diablo	19-Nov-94	31	9.23	286	67	67	35	---	---	0.50	281	231	231	45	28	238	104	
<b>Zona o Región: Desconocido</b>																						
2058				Momotombo, Fuente 1	25-Jun-87	57	8.16	103	123	121	94	---	4	2.85	142	196	196	60	---	240	43	
2059				Momotombo, Fuente 1	05-Ago-87	55	8.21	60	123	121	94	---	4	3.87	130	197	197	54	---	252	44	
2061				Momotombo, Fuente A	05-Feb-88	55	7.31	64	132	129	104	106	12	33.44	93	280	93	39	46	547	50	
2062				Momotombo, Fuente B	05-Feb-88	55	7.57	60	127	125	99	102	8	32.48	93	277	93	46	35	538	43	
2060				Momotombo, Fuente, 1	05-Ago-87	55	7.80	60	127	125	99	102	8	3.98	128	197	197	52	---	252	45	

(1) Número de Muestra. (2) Ver codigos de tipos de fuentes al final de la tabla.  
(3) Ver referencias y abreviaciones al final de la tabla.

Tabla VII-A.6: Geotermómetros de Aguas  
Momotombo Pág. 2 de 4

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	pH	Cl mg/l	Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>										
	utm-E	utm-N							Cuarzo 0° - 330°	Calcedonia 0° - 250°	Amór 0° - 250°	Na - K - Ca 4° - 340°				Na-K-Ca-Mg 4° - 340°		Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°
												RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R	Temp Final		

### Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
pozogt-cw	Pozo geotérmico, caja de weir
pozogt-sp	Pozo geotérmico, separador de vapor - líquido
pozope	Pozo perforado
rio	Río, riachuelo
sitio	Sitio (lugar) de datos pero no se conoce el Tipo
solfat	Solfataras
superf	Agua superficial (río, lago)
ventgas	Ventana u orificio de gases
vertie	Vertiente
yacimiento	Líquido/vapor/gas de reservorio geotérmico

N/m	Coordenadas		Tipo	Nombre	Fecha	Temp. °C	pH	Cl mg/l	Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>												
									Cuarzo 0° - 330°		Calcedonia 0° - 250°		Amór 0° - 250°	Na - K - Ca 4° - 340°				Na-K-Ca-Mg 4° - 340°		Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°
(1)	utm-E	utm-N	(2)						Con.	Ad.	Con.	Ad.		RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R	Temp Final		

Referencias:

1) Henley, R.W., Truesdell, A.H., Barton, P.B.Jr., 1984, Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems. Reviews in Economic Geology, Vol.1. Society of Economic Geologists. The Economic Geology Publishing Company, El Paso Texas USA.

Cuarzo: geotermómetro de cuarzo de Fournier y Potter  
Con. = conductivo  
Ad. = adiabático, para aguas hirviendo a 100 grados

Calcedonia: geotermómetro de calcedonia de Fournier  
Con. = conductivo  
Ad. = adiabático, para aguas hirviendo a 100 grados

Amór (sílice amorfo): geotermómetro de sílice amorfo de Fournier

Na-K-Ca: geotermómetro Na-K-Ca de Fournier y Truesdell  
RC-CaNa = factor raíz cuadrado(Ca)/Na (a base de concentraciones de moles/litro o de moles/kg)  
B13 = temperatura de factor B = 4/3  
B43 = temperatura de factor B = 1/3  
Temperatura Final = B43 o B13, según las reglas del factor B en relación con RC-CaNa

Na-K-Ca-Mg: geotermómetro Na-K-Ca-Mg de Fournier y Truesdell  
Factor R (Mg, K, Ca) = concentración relativa de Mg, el rango aplicable es 5 - 50.  
Temperatura Final = resultado final, según las reglas para aplicación de Factor R.

Na-K (F): geotermómetro Na/K de Fournier

2) Fournier, R.O., 1990, The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. Geothermal Resources Council Transactions, vol.14, part II, pp. 1421 - 1425. August 1990.

K-Mg (Fg): geotermómetro K-Mg de Fournier (ecuaciones corregidos por GeothermEx)



(1) N/m	Nombre	Fecha	Temp. °C	Gas/ Vapor m/ 1000m	(2)					Temperaturas, °C(4)											
					% vol. de gas seco					Gas Seco					Gas / Vapor						
					CO2	H2S	N2	O2	%aire	DAP	Giggenbach			Ch-Cio		CO2	FT	Arnorrsson - Gunnlaugsson		H2S	H2S-H2
											CO2	H2	CH4	CO-CO2- CH4	CO2-H2 Alto Bajo			H2 Alto Bajo	H2S Alto Bajo		

Referencias:

DAP (CH4 - H2S - CO2 - H2): D'Amore, F. y Panichi, C., 1980, Evaluation of deep temperatures of hydrothermal systems by a new gas geothermometer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 44, p.549-556.

Giggenbach: Giggenbach, W.F. y Goguel, R.L., 1989, Techniques for the interpretation of water and gas analyses in geothermal exploration (Appendix), en *Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharges. Report No. CD 2401, Fourth Edition, October 1989, Chemistry Division, Department of Scientific and Industrial Research, Petone, New Zealand.*

Ch-Cio: Chiodini, G. y Chioni, R., 1998, Hydrothermal gas equilibria: the H2O-H2-CO2-CO-CH4 system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.62, núm.15, p.2673-2688.

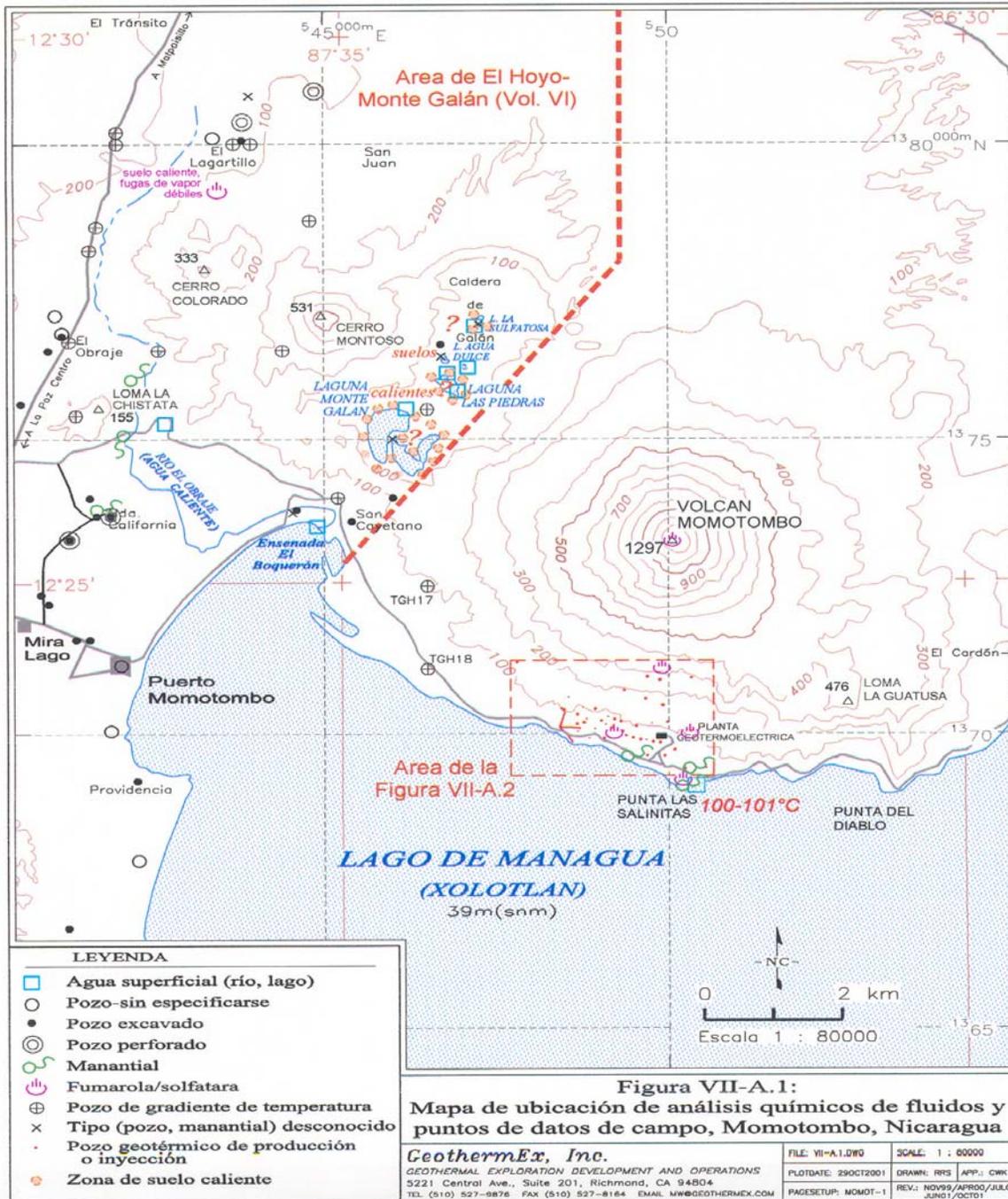
Arnorrsson - Gunnlaugsson: Arnorrsson, S. y Gunnlaugsson, E., 1985, New gas geothermometers for geothermal exploration --- calibration and application. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 49, p.1307-1325.

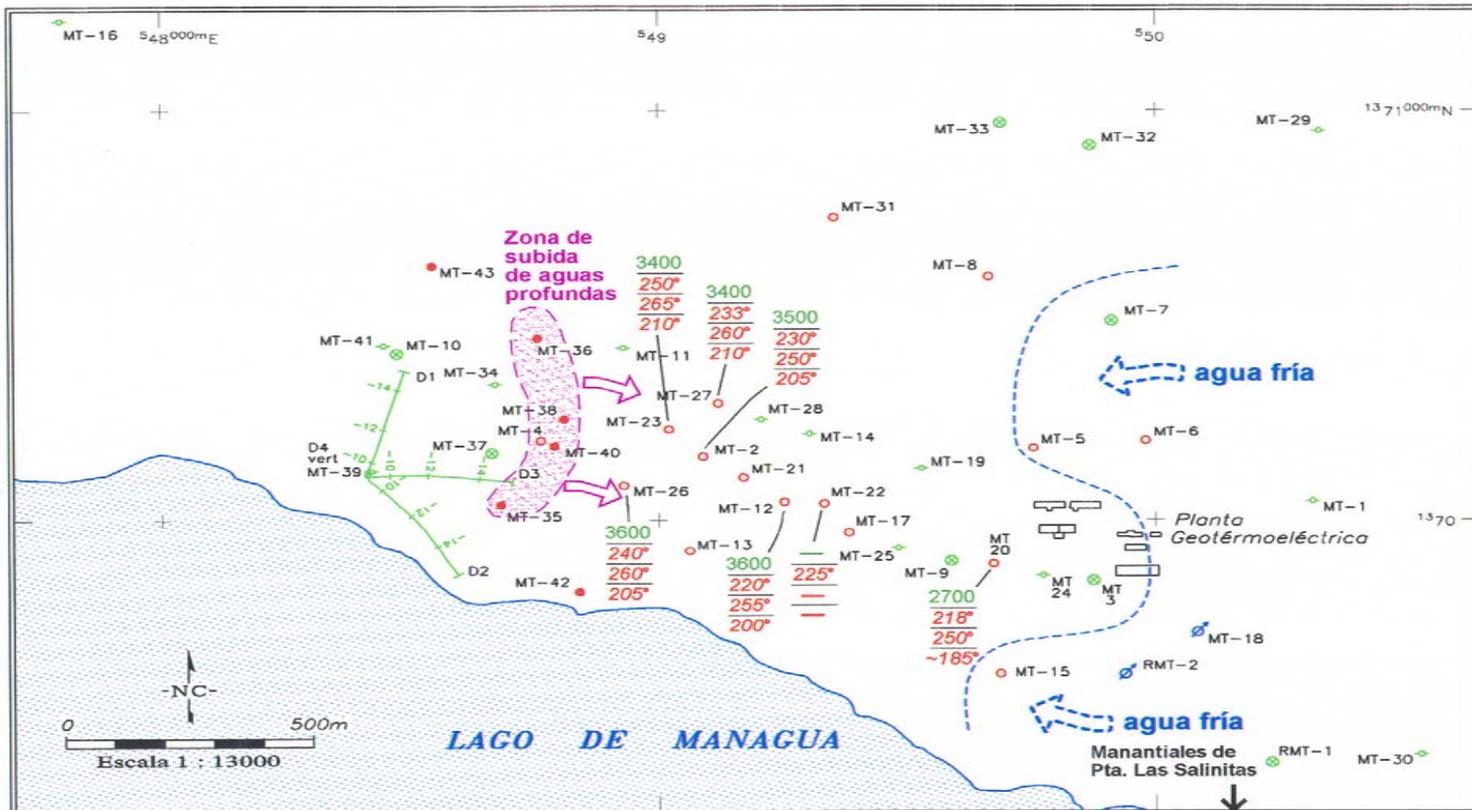
$$FT = CO2 - CH4 - H2$$

Alto: rango alto, aguas de yacimiento >300°C o 200-300° si CI > 500 ppm

Bajo: rango bajo, aguas de yacimiento <200°C o 200-300°C si CI < 500 ppm

## **FIGURAS**

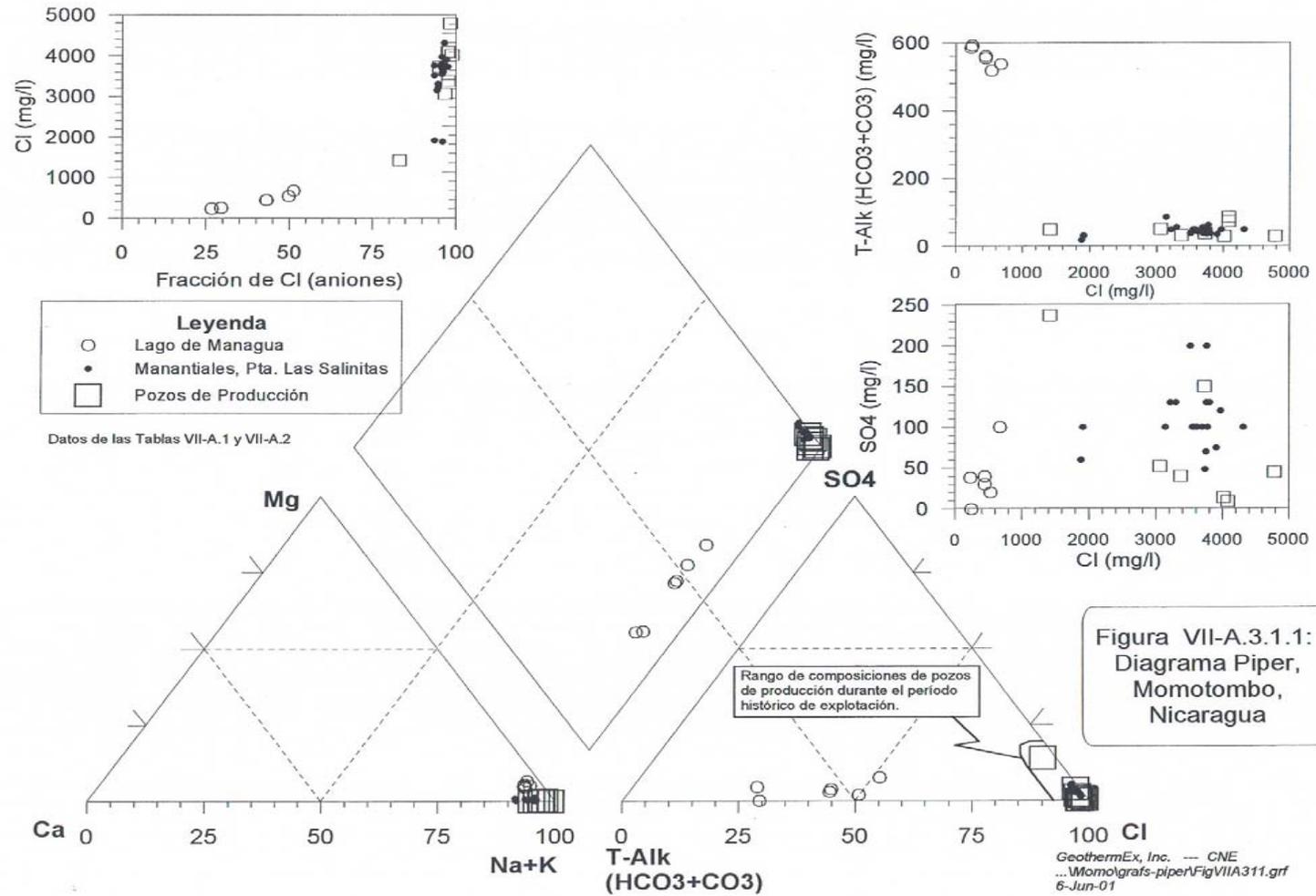


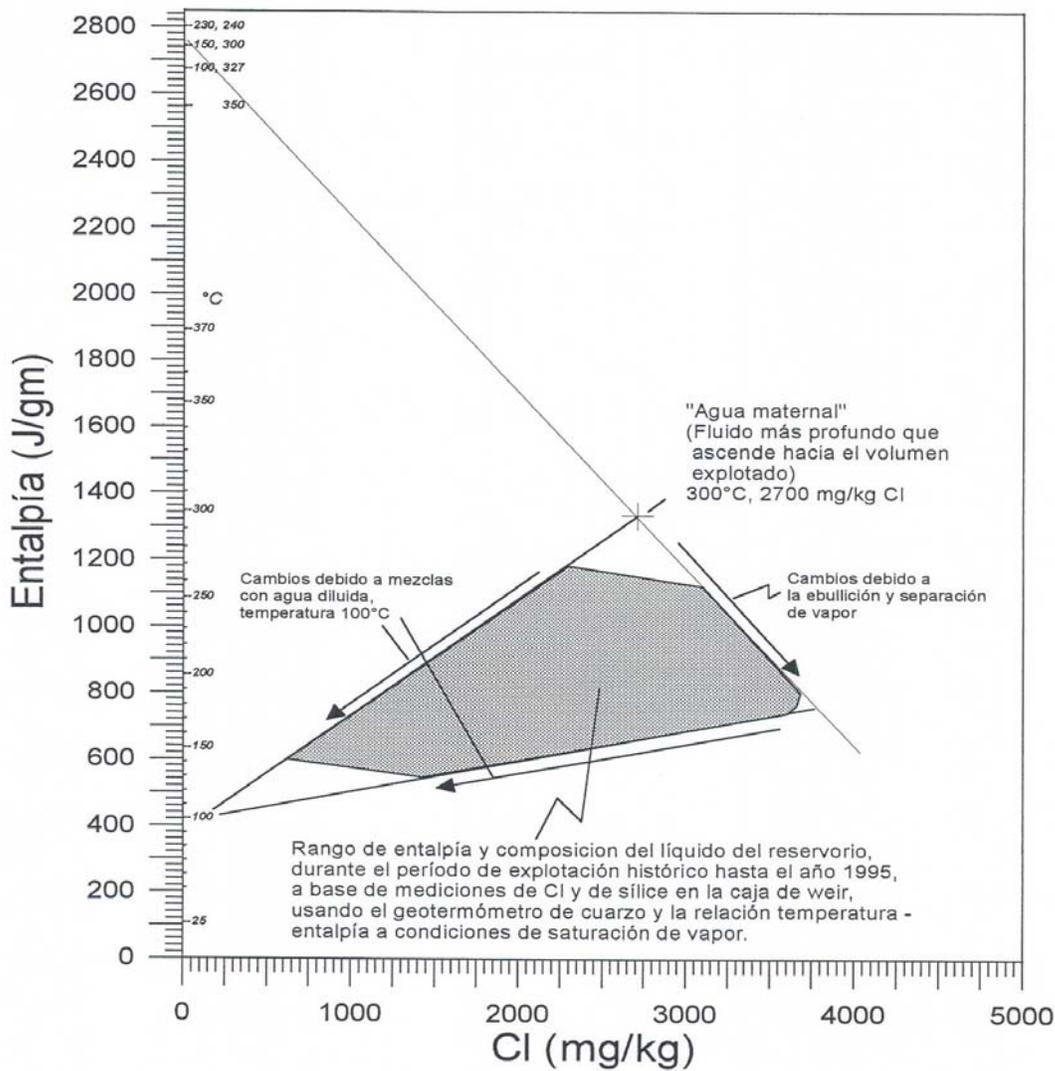


Leyenda		Condiciones en el yacimiento a inicios de producción:	
●	Pozo de producción	122	mg/l de Cl
○	Pozo de inyección	30°	T °C, fondo de pozo
○	Pozo cerrado	30°	T °C, NaKCa
○	Pozo no comercial	30°	T °C, cuarzo
○	Pozo abandonado		
○	Pozo desviado, con elevación (en 200m)		
		↙	Flujo de agua fría somero
		↘	Flujo de agua geotérmica profundo-somero

**Figura VII-A.2: Mapa de ubicación y características químicas de los pozos geotérmicos, campo geotérmico de Momotombo, Nicaragua**

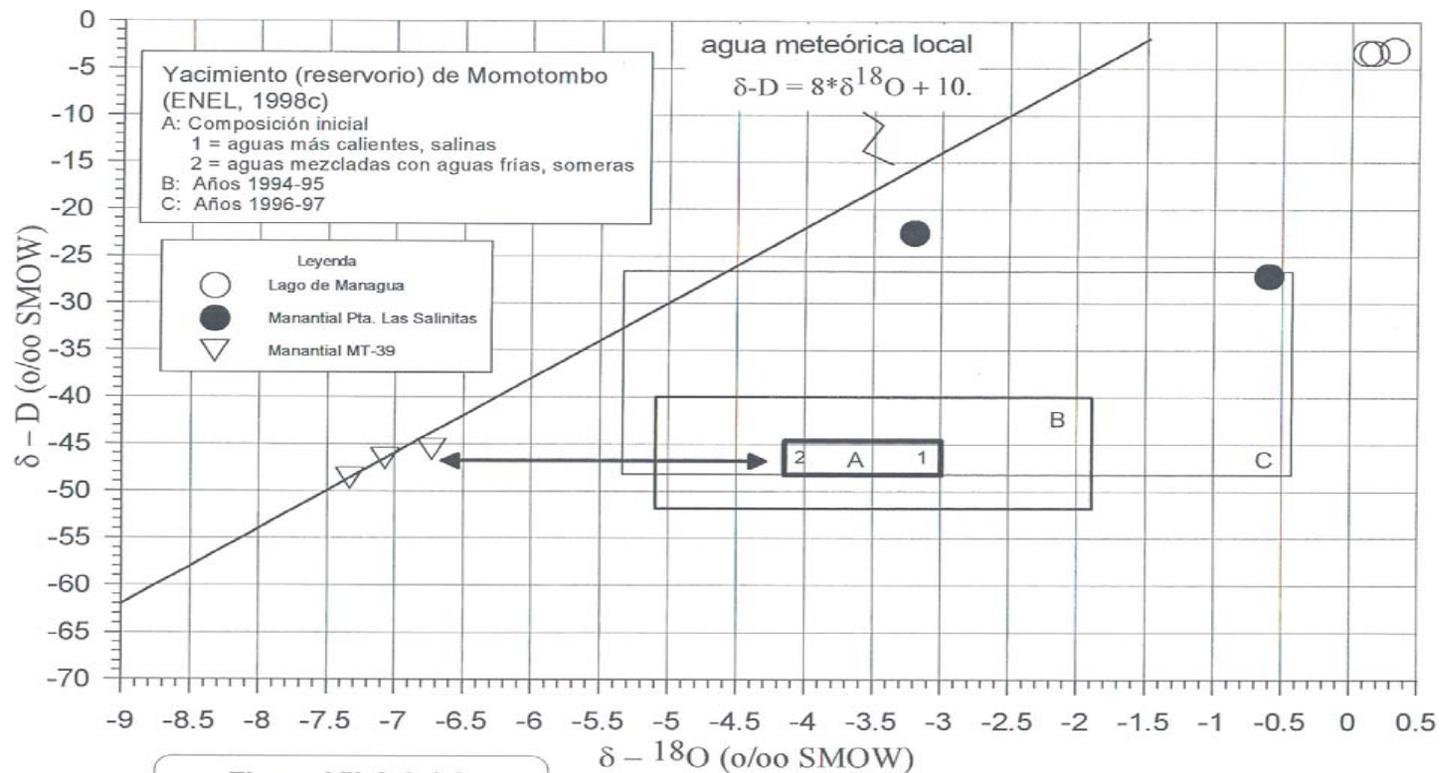
<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: VII-A.2.DWG	SCALE: 1 : 80000
GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 27JUN2001	DRAWN: RRS APP.: CMK
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGESETUP: MOMOT-2	REV: NOV99/APRO0/JUL00 JUNG1
TEL (510) 527-8876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEO THERMEX.COM			





**Figura VII-A.3.1.2: Entalpía y Cl en el reservorio de Momotombo**

GeothermEx, Inc. --- CNE  
 ...\\Momo\grafis-hcl\FigVIIA312.grf  
 6-Jun-01



**Figura VII-A.3.1.3:**  
**Isótopos estables,**  
**Momotombo, Nicaragua**

## **ANEXO B: ANALISIS PETROGRAFICO DE ROCAS Y DATACIÓN DE ROCAS**

### Tablas

- VII-B.1: Muestra de roca recolectadas en el área del Volcán Momotombo
- VII-B.2: Resumen de análisis petrográfico de rocas, área del Volcán Momotombo
- VII-B.3: Datación de Rocas Volcánicas, área del Volcán Momotombo

### Figuras

- VII-B.1: Muestra VM-1 – Microfotografía, ampliación 50X
- VII-B.2: Muestra VM-2 – Microfotografía, ampliación 50X

### B.1 Introducción

Se tomaron en la zona de la Caldera de Monte Galán del área de Momotombo 2 muestras de rocas volcánicas (ver la Tabla VII-B.1 y el mapa **Figura VII-3.6**) que fueron seleccionadas para realizar un análisis petrográfico. De cada muestra se preparó una lámina delgada, la cual se analizó utilizando un microscopio petrográfico. La clasificación de la roca, su textura, los contenidos de los varios minerales, la intensidad de alteración, y la ocurrencia de los minerales secundarios fueron descritos por medio de este análisis (ver la Tabla VII-B.2). Estos análisis petrográficos fueron hechos por especialistas en petrografía de West Japan Engineering Consultants, Inc., Fukuoka, Japan, bajo la dirección de GeothermEx.

### B.2 Descripción de Muestras

#### **Muestra VM-1 (ver Figura VII-B.1)**

Tipo de roca: Basalto-andesita con dos piroxenos, débilmente vesicular

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Fenocristales: Constituyen aproximadamente el 30% de la roca y se componen por:  
plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y minerales opacos

- Plagioclasa: Longitud de 0.1 a 3.0 mm, euhedral, predominantemente, estructura prismática, macla tipo albita y carlsbad
- Ortopiroxeno: Longitud de 0.2 a 1.5 mm, subhedral a euhedral, estructura prismática
- Clinopiroxeno: Longitud de 0.2 a 2.0 mm, subhedral a euhedral, estructura prismática
- Minerales opacos: Longitud máxima de 0.5 mm (aproximado), subhedral a euhedral
- Pasta: Hipocristalina (dominante), textura intersertal; contiene plagioclasa,, vidrio alterado, clinopiroxeno y minerales opacos

### **Muestra VM-2 (ver Figura VII-B.2)**

Tipo de roca: Toba de lapilli, débilmente seleccionado, color café oscuro a gris-café

Lapilli: Fragmentos de andesita, típicamente 2.0 mm a 15 mm, longitud máxima de 50 mm

Matriz: Ceniza de vidrio de color café, con una pequeña cantidad de fragmentos de plagioclasa, clinopiroxeno y minerales opacos

### **B.3 Datación de Rocas Volcánicas**

Considerando el tipo, las condiciones y el rango de edad anticipado de las rocas volcánicas recolectadas en el área del Volcán Casita – San Cristóbal se seleccionó el método de datación basado sobre la termo-luminiscencia (TL).

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

El método TL es corrientemente utilizado para datar objetos arqueológicos (cerámicas cocidas) con edades de hasta 50,000 años (Aitken, 1985), para investigar las relaciones entre actividad ígnea y alteración hidrotermal, para estimar el tiempo de erupción de rocas volcánicas y para estimar la edad de procesos de alteración hidrotermal.

El mineral más adecuado para la datación de rocas volcánicas jóvenes con el método TL es el cuarzo (Aitken, 1985). El zircón, el feldespato y el piroxeno son también minerales aceptables para la datación, en el ámbito de los rangos de edades esperadas para las muestras de rocas recolectadas durante las investigaciones del Plan Maestro.

En las muestras recolectadas en el área del Volcán Momotombo el cuarzo y el zircón han resultado prácticamente ausentes y el tipo de feldespatos ha resultado no ser adecuado para la aplicación del método TL, así que se decidió utilizar el piroxeno como mineral para la datación.

#### *Procedimiento de Laboratorio*

Cada muestra fue preparada y subdividida en dos porciones: una para la determinación de la dosis anual (AD) y la otra para la determinación de la paleodosis equivalente (ED). Para la determinación de la AD se secaron 50 g de muestra a temperaturas inferiores a los 100°C y se molieron a 200 mesh (75  $\mu$ m). La masa de muestra requerida para la determinación de la ED depende de la abundancia del mineral a ser datado. Se utilizó un mínimo de 50 g para la separación del mineral con el siguiente procedimiento:

1. La muestra para la determinación de la ED fue quebrada con un martillo en piezas de diámetro inferior a los 3 cm.
2. Los fragmentos de rocas fueron luego molidos en un cuenco de acero inoxidable en presencia de agua, para evitar la generación de calor por fricción, que podría reducir la intensidad de TL.

3. Después de lavar la muestra, para eliminar toda fracción arcillosa, los granos de minerales fueron secados a temperatura inferior a los 100°C y pasados por un tamiz de 50 mesh (300 µm).
4. Se separaron los minerales máficos con un imán de mano.
5. Los gránulos de piroxeno fueron luego seleccionados bajo un microscopio binocular y separados para la correspondiente evaluación de la paleodosis equivalente (ED).
6. La muestra para la determinación de la AD fue tratada con HF (46%) para remover la porción superficial de los gránulos de mineral dañada por radiaciones alfa.
7. Sucesivamente, las muestras AD han sido molidas y secadas a temperatura inferior a los 100°C y pasada por un tamiz de 200 mesh (75 µm).
8. La dosis anual (AD) fue calculada a partir de la concentración de uranio, torio y potasio, los cuales fueron determinados con el método “Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry” (ICP-MS).
9. La edad TL fue en fin calculada como relación entre la paleodosis (ED) y la dosis anual (AD):

$$\text{Edad TL} = \text{ED} / \text{AD}.$$

#### *Aparatos para Medición de la Termo-Luminiscencia (TL)*

Para las mediciones de termo-luminiscencia se utilizó un detector Kyokko TLD Reader 2500 (Kyokko Thermo-Luminescent Dosimetry System) producido por Kasei Optonics Co. Ltd. Este

TELEFONO:(505) 222-5576  
FAX: (505) 222-4629  
[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

instrumento fue originalmente construido para monitoreo de radiaciones en el campo médico y ambiental. Sus principales especificaciones son:

- Temperatura máxima: 500°C
- Velocidad de calentamiento: 2°C/sec
- Rango de medición: 200°- 400°C

### *Resultados*

La datación con el método arriba descrito ha sido efectuada sobre dos diferentes muestras procedentes del área del Volcán Momotombo:

- VM-1 – Muestra de lava basalto-andesítica con dos piroxenos, procedente del flanco exterior SO de la Caldera Monte Galán.

Los resultados analíticos y la correspondiente edad TL se presentan en la Tabla VII-B.3, mientras que su significado geológico y vulcanológico se discute en la secciones 3.2. del presente volumen.

## **T A B L A S**

**Tabla VII-B.1: Muestras de Roca Recolectadas en el Area del Volcán Momotombo**

Muestra	Fecha de Muestreo	Localización (UTM)			Descripción de la Muestra	Comentarios
		Norte (m)	Este (m)	Descripción		
VM-1	26 Jun 00	1374325	544380	Flanco exterior SO de la Caldera de Monte Galán	Lava porfirica oscura compacta. Basalto-andesita con dos piroxenos (ver la Tabla VII-B.2)	Al parecer el flujo proviene del borde SO de la Caldera de Monte Galán
VM-2	26 Jun 00	1374905	543588	Flanco exterior de la Caldera de Monte Galán, 1 km al SO del borde caldérico	Brecha volcánica con fragmentos líticos angulosos y de obsidiana. Toba de lapilli (ver la Tabla VII-B.2)	Puede ser parte de la toba Malpaisillo que aflora al norte

**Tabla VII-B.2: Resumen de Análisis Petrográfico de Rocas, Area del Volcán Momotombo**

Muestra	Tipo de Roca	Lavas y Rocas Intrusivas																			Textura	Textura del Groundmass (Pasta)		
		Fenocristales									Groundmass (Pasta)													
		Qz	K	Pl	Bi	Ho	Ol	Cp	Op	Ox	Qz	K	Pl	Bi	Ho	Ol	Cp	Op	Ox	V				
VM-1	Basalto-andesita con dos piroxenos			⊕					o	o	o			⊕					o		o	o	(Ves), Por	Ints
VM-2	Toba de lapilli																						Pyr	

Minerales

Qz = Cuarzo  
 K = Feldespato de potasio  
 Pl = Plagioclasa  
 Bi = Biotita  
 Ho = Hornblenda

Ol = Olivino  
 Cp = Clinopiroxeno  
 Op = Orthopiroxeno  
 Ox = Oxidos de hierro opacos  
 V = Vidrio

Abundancia

o = Raro  
 Δ = Pocos  
 O = Común  
 ⊕ = Abundante

Texturas

Hial = Hialopilitico  
 Intg = Intergranular  
 Ints = Intersertal  
 Ofi = Ofítico  
 Pilo = Pilotaxítico  
 Por = Porfirico  
 Pyr = Piroclástico  
 Ves = Vesicular



**Tabla VII-B.3: Dataciones de Rocas Volcánicas,  
Area del Volcán Momotombo**

Muestra	ED (Gy)	U (ppm)	Th (ppm)	K <sub>2</sub> O (%)	AD (mGy/a)	Edad (ka)
VM-1	29.3	0.5	0.8	2.12	1.82	16 ± 2

ED = Paleodosis equivalente

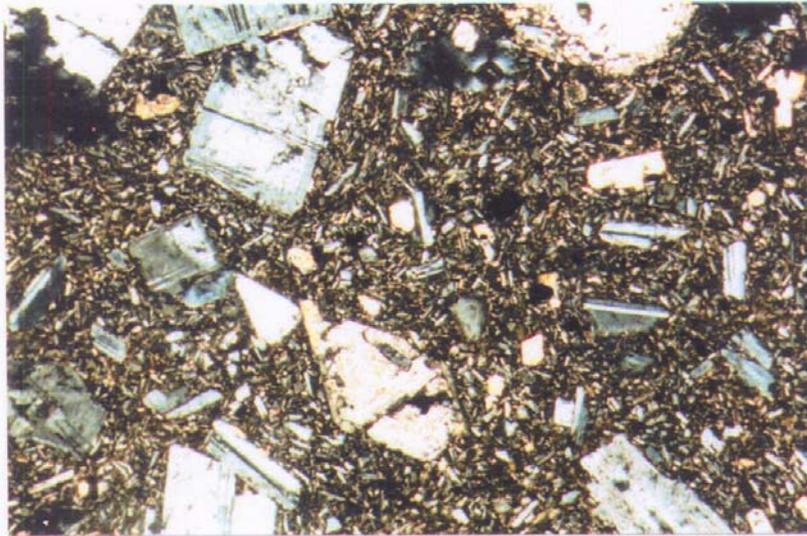
AD = Dosis anual

## **FIGURAS**



Luz normal

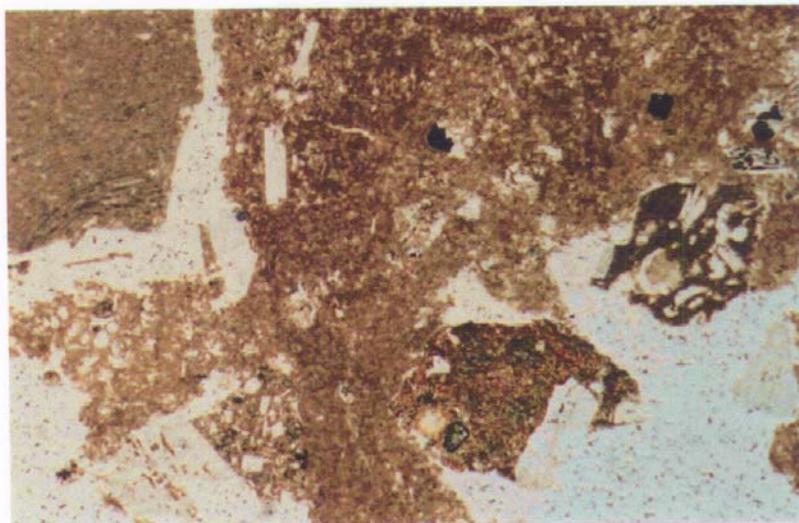
1mm



Nicols cruzados

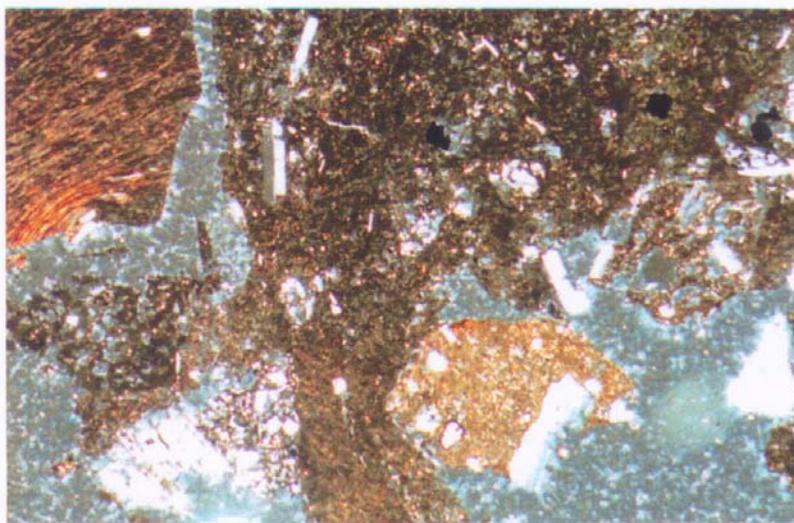
1mm

**Figura VII-B.1: Muestra VM-1 – Microfotografía, ampliación 50X**



Luz normal

1mm



Nicols cruzados

1mm

**Figura VII-B.2: Muestra VM-2 – Microfotografía, ampliación 50X**