



**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 I**

**INFORME DE SINTESIS  
Parte A: Texto, Tablas y Figuras**

**OCTUBRE DE 2001**



## CONTENIDO

<b>ILUSTRACIONES</b> .....	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>8</b>
1.1    PROPÓSITO DEL PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO DE NICARAGUA .....	8
1.2    ALCANCE DEL PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO DE NICARAGUA .....	10
1.2.1 <i>Evaluación de los Estudios Existentes</i> .....	11
1.2.2 <i>Estudios Realizados en el Plan Maestro</i> .....	13
1.2.3 <i>Metodología de Investigación Empleada</i> .....	16
1.3    ESTRUCTURA DEL INFORME .....	32
1.3.1 <i>Volumen I</i> .....	32
1.3.2 <i>Volúmenes II - XI</i> .....	34
1.4    RECONOCIMIENTO .....	35
<b>2. LAS VENTAJAS DE UN PLAN MAESTRO PARA EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS EN NICARAGUA</b> .....	<b>37</b>
2.1    RIESGO Y BENEFICIO DE LOS PROYECTOS GEOTÉRMICOS .....	37
2.2    MODELOS DE DESARROLLO GEOTÉRMICO .....	39
2.2.1 <i>El Modelo Nacional</i> .....	39
2.2.2 <i>El Modelo Mexicano</i> .....	40
2.2.3 <i>El Modelo Filipino</i> .....	41
2.2.4 <i>El Modelo de Indonesia</i> .....	42
2.2.5 <i>El Modelo de Kenya</i> .....	43
2.2.6 <i>El Modelo Básico de Privatización</i> .....	44
2.2.7 <i>Operaciones de Tipo Híbrido</i> .....	45
2.3    EL PAPEL DEL GOBIERNO .....	46
2.4    LA NECESIDAD DEL PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO EN NICARAGUA .....	50
<b>3. EVALUCIONES TÉCNICO-ECONOMICAS</b> .....	<b>53</b>
3.1    INTRODUCCIÓN .....	53
3.2    VOLCÁN COSIGÜINA .....	53
3.3    VOLCÁN CASITA - SAN CRISTÓBAL .....	60
3.4    VOLCÁN TELICA - EL ÑAJO .....	68
3.5    SAN JACINTO - TIZATE .....	76
3.6    EL HOYO - MONTE GALÁN .....	84
3.7    MOMOTOMBO .....	92
3.8    MANAGUA - CHILTEPE .....	102
3.9    TIPITAPA .....	110



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

3.10	MASAYA - GRANADA - NANDAIME.....	116
3.11	ISLA DE OMETEPE .....	126
<b>4.</b>	<b>RESUMEN Y NIVELES DE DESARROLLO.....</b>	<b>134</b>
4.1	INTRODUCCIÓN .....	134
4.2	CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS GEOTÉRMICAS EN NICARAGUA .....	136
4.2.1	<i>Metodología</i> .....	137
4.2.2	<i>Resultados</i> .....	147
4.2.3	<i>Discusión</i> .....	147
<b>T A B L A S.....</b>		<b>149</b>
<b>F I G U R A S.....</b>		<b>185</b>



## ILUSTRACIONES

### Tablas

- I-3.1 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Volcán Cosigüina.
- I-3.2 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Área de Volcán Cosigüina
- I-3.3 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área de Volcán Cosigüina
- I-3.4 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Volcán Casita - San Cristóbal
- I-3.5 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Área de Volcán Casita - San Cristóbal
- I-3.6 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área de Volcán Casita - San Cristóbal
- I-3.7 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Volcán Telica-El Ñajo
- I-3.8 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área Volcán Telica-El Ñajo
- I-3.9 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de San Jacinto-Tizate
- I-3.10 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para el Reconocimiento Detallado, Área de San Jacinto-Tizate, Zona del Cerro Rota
- I-3.11 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de El Hoyo-Monte Galán
- I-3.12 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Terminar la Pre-Factibilidad, Área de El Hoyo-Monte Galán





- I-3.13 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área de El Hoyo-Monte Galán
- I-3.14 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Momotombo
- I-3.15 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para la Exploración Adicional, Área de Momotombo
- I-3.16 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Managua-Chiltepe (Península de Chiltepe)
- I-3.17 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área de Managua- Chiltepe (Península de Chiltepe)
- I-3.18 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Tipitapa
- I-3.19 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Área de Tipitapa
- I-3.20 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área de Tipitapa
- I-3.21 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Masaya-Granada-Nandaime, Zona de Laguna de Apoyo
- I-3.22 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Masaya-Granada-Nandaime, Sector Meridional del Volcán Mombacho
- I-3.23 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad y Confirmar la Factibilidad, Área de MasayaGranada-Nandaime, Zona de Laguna de Apoyo
- I-3.24 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Terminar la Pre-Factibilidad, Área de Masaya-Granada-Nandaime, Sector Meridional del Volcán Mombacho
- I-3.25 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de la Isla de Ometepe



- I-3.26 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para el Reconocimiento Detallado, Área de la Isla de Ometepe
- I-4.1 Etapas de Desarrollo de las Áreas Geotérmicas de Nicaragua
- I-4.2 Asignación de Puntaje de Clasificación Según las Reservas de Riesgo Ponderado
- I-4.3 Puntaje de Clasificación para Reservas de Riesgo Ponderado
- I-4.3b Puntaje de Clasificación para Reservas de Riesgo Ponderado, Zonas del Áreas de Masaya-Granada-Nandaime
- I-4.4 Puntaje de Clasificación Según la Etapa de Desarrollo
- I-4.5 Estimación del Puntaje de Clasificación Según las Características del Recurso
- I-4.6 Clasificación de las Áreas Geotérmicas de Nicaragua
- I-4.7 Resultado de la Clasificación y Fichas Técnico-Económicas de las Áreas Geotérmicas de Nicaragua

#### Figuras

- I-1.1 Ubicación de las áreas geotérmicas del Estudio Plan Maestro
- I-3.2.1 Esquema del modelo del sistema geotérmico de Volcán Cosigüina, Nicaragua
- I-3.3.1 Modelo geotérmico conceptual, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- I-3.4.1 Modelo geotérmico conceptual, Volcán Telica - El Ñajo, Nicaragua
- I-3.5.1 Mapa de ubicación, San Jacinto - Tizate, Nicaragua
- I-3.5.2 Modelo geotérmico conceptual, San Jacinto - Tizate, Nicaragua
- I-3.6.1 Modelo geotérmico conceptual, El Hoyo - Monte Galán, Nicaragua
- I-3.7.1 Mapa de ubicación, Momotombo, Nicaragua
- I-3.7.2 Modelo geotérmico conceptual, Momotombo, Nicaragua



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

- I-3.8.1 Modelo geotérmico conceptual, Managua - Chiltepe, Nicaragua
- I-3.9.1 Mapa de ubicación, Tipitapa, Nicaragua
- I-3.9.2 Mapa hidroquímico de síntesis, Tipitapa, Nicaragua
- I-3.10.1 Modelo geotérmico conceptual, Masaya - Granada - Nandaime, Nicaragua
- I-3.11.1 Esquema del modelo del sistema geotérmico de la Isla de Ometepe, Nicaragua
- I-4.1 Histograma de las Productividades de Pozos de la Región Centroamericana



## **1. INTRODUCCION**

### **1.1 Propósito del Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua**

Nicaragua es un país dotado de un importante potencial geotérmico, el cual está íntimamente ligado a la presencia en su territorio de la cordillera volcánica activa que se extiende a lo largo de la costa del Pacífico. Los primeros estudios relacionados con el aprovechamiento de la energía geotérmica del país se iniciaron a finales de los años 1960, y luego tomaron mayor impulso a partir del año 1973, cuando la crisis mundial del petróleo impactó negativamente la balanza comercial del país.

La explotación comercial de los recursos geotérmicos de Nicaragua se inició en el año 1983, con la entrada en operación de la planta geotermoeléctrica Momotombo, la cual tiene actualmente una capacidad instalada de 70 MW. Un segundo campo geotérmico, San Jacinto - Tizate, fue descubierto en el año 1993 y evaluado por medio de la perforación y prueba de varios pozos profundos. Actualmente, este proyecto se encuentra en la fase de evaluación económica y tramitación legal con el objetivo de desarrollar el recurso en forma comercial. Existen, además, estudios geotérmicos en varias áreas adicionales, que comprenden desde estudios de tipo básico preliminar hasta exploraciones de detalle, aunque sin que se haya llegado a la etapa de la perforación profunda. En su conjunto, los resultados de estos estudios establecen la existencia de por lo menos 10 áreas de interés geotérmico en Nicaragua, de las cuales solamente Momotombo se encuentra actualmente bajo explotación.

Los estudios geotérmicos realizados, tanto los de tipo específico como en el caso de las áreas de Momotombo y San Jacinto - Tizate, como los de tipo regional, han dejado una valiosa cantidad de información geocientífica, que incluye datos de tipo geológico, vulcanológico, geoquímico, hidrológico, geofísico así como datos del subsuelo y de los yacimientos geotérmicos en las dos áreas mencionadas.

Sin embargo, con la excepción de Momotombo y San Jacinto - Tizate, los estudios realizados, a pesar de la valiosa información que han aportado, no han logrado producir una definición y caracterización adecuadas de las áreas de interés geotérmico, desde el punto de vista de límites físicos, modelo conceptual geotérmico



y el potencial energético esperado. Por otro lado, no se tomaron en cuenta los aspectos prácticos de un desarrollo geotérmico, como las condiciones ambientales, infraestructurales y logísticas, que constituyen factores de incidencia económica.

El gobierno de Nicaragua, mediante la Comisión Nacional de Energía (CNE), contrató a la firma consultora geotérmica GeothermEx, Inc., de Richmond, California, EUA. (GeothermEx), para la elaboración del Proyecto Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua, cuyo propósito es el de resumir y evaluar los datos geotérmicos existentes del país, hacer nuevos estudios específicos para complementar los datos existentes en cada una de las 10 áreas, considerar los aspectos prácticos del desarrollo en cada área y presentar una evaluación nueva y comprensiva para el desarrollo geotérmico del país.

El estudio del Plan Maestro de los Recursos Geotérmicos de Nicaragua está enfocado a lograr una evaluación que permita clasificar las áreas en términos de potencial geotérmico y planificar las etapas sucesivas de exploración y desarrollo. El Plan Maestro así concebido, además de ser un instrumento de planificación, ofrece una base sobre la cual es posible establecer límites y condiciones de concesión para las empresas privadas, además de servir como documento de presentación y promoción de las áreas geotérmicas del país.

El presente informe es el resultado final del Estudio Plan Maestro Geotérmico. El Estudio abarca toda la región de la cordillera volcánica de Nicaragua, en la cual se agrupan las 10 áreas de interés geotérmico. Las áreas que se presentan individualmente (en orden de norte a sur), en cada uno de los volúmenes II a XI del Estudio del Plan Maestro (ver **Figura 1- 1. 1**) son:

- Volcán Cosigüina (Volumen II)
- Volcán Casita - San Cristóbal (Volumen III)
- Volcán Telica - El Ñajo (Volumen IV) San Jacinto - Tizate (Volumen V)
- El Hoyo - Monte Galán (Volumen VI)



- Momotombo (Volumen VII)
- Managua - Chiltepe (Volumen VIII)
- Tipitapa (Volumen IX)
- Masaya-Granada-Nandaime (Volumen X)
- Isla de Ometepe (Volumen XI).

Algunas de estas áreas en la actualidad representan áreas múltiples, es decir, áreas que incluyen más de una zona de recurso potencial, lo cual se encuentra ampliamente discutido y evaluado dentro de los estudios correspondientes.

## 1.2 Alcance del Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua

Con el objetivo descrito anteriormente, el alcance del Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua ha sido conducido efectuando una evaluación integrada y exhaustiva de cada una de las 10 áreas de interés geotérmico. Esto ha permitido comparar y clasificar las diferentes áreas según su potencial energético e incluir otras características que tienen influencia en el desarrollo de los recursos geotérmicos. La evaluación de cada área incluyó los siguientes aspectos:

- definición general del área y de sus límites geográficos;
- estudios de la información geocientífica existente;
- ejecución de nuevas investigaciones geocientíficas complementarias;
- síntesis e interpretación de los datos (tanto de los estudios existentes como de las investigaciones nuevas);
- definición de un modelo geotérmico de cada área;
- evaluación del potencial energético del recurso en cada área;
- evaluación de los aspectos logísticos infraestructurales que pueden afectar el desarrollo del recurso;
- evaluación de aspectos ambientales que pueden afectar el desarrollo del recurso;
- definición de los estudios que se requieren para alcanzar el nivel de factibilidad; y



- evaluación del costo para alcanzar el nivel de factibilidad.

Es importante subrayar que en la formulación del alcance del Estudio Plan Maestro se le atribuyó un papel fundamental a las investigaciones geocientíficas básicas, las cuales permitieron definir los modelos geológico-geotérmicos de cada una de las áreas de interés. Dichas investigaciones fueron esencialmente: geológicas en todos sus aspectos (estructurales, vulcanológicas, petrológicas), geoquímicas (aguas y gases), hidrogeológicas (como la definición del contexto en que circulan los fluidos, junto con la geoquímica) y geofísicas (sondeos electromagnéticos y evaluación de datos existentes de gravimetría, magnetometría y gradiente de temperatura).

Otro aspecto importante del presente estudio estribó en la compilación, el análisis y la síntesis de la información que había sido desarrollada en el transcurso de estudios anteriores, incluyendo tanto aquellos que estuvieron enfocados a explorar y desarrollar específicamente los recursos geotérmicos, así como los que estuvieron concentrados en realizar estudios de tipo científico en disciplinas tales como la geología, vulcanología, geofísica e hidrología. En esta sección se describen los objetivos que se fijaron para lograr la recolección y análisis de los datos existentes, así como para conducir las nuevas investigaciones de carácter geocientífico relacionadas con el Estudio del Plan Maestro. La metodología aplicada para ejecutar cada una de las etapas de trabajo de este estudio se describe con mayor detalle en la sección 1.3.

#### *1.2.1 Evaluación de los Estudios Existentes*

Se efectuó una recopilación exhaustiva de los datos y de la información existentes, provenientes de fuentes tanto nicaragüenses como internacionales, incluyendo:

- la historia completa de la exploración geotérmica en el país (con la asistencia principal de la CNE, del INE, y del ENEL, así como de individuos con experiencia y conocimientos históricos sobre el tópico);
- la historia de los estudios científicos de mayor relevancia de tipo geológico, hidrológico y geofísico realizados en la zona pacífica del país (con la asistencia principal del INETER, bibliografías



científicas internacionales así como de GEOREF (la base de datos bibliográficos de ciencias de la tierra del AGI, "American Geological Institute") y de varias personas consultadas);

- los datos científicos de las exploraciones geotérmicas realizadas y de otros estudios científicos (obtenidos en bibliotecas y archivos públicos de instituciones tales como la CNE, la división geotérmica de ENEL, la biblioteca central de ENEL, el INETER, la Universidad de California en Berkeley, California, EUA, la biblioteca y los archivos de GeothermEx, y otras bibliotecas y colecciones de informaciones universitarias y privadas);
- datos ambientales (obtenidos de MARENA, así como de otras fuentes locales en Nicaragua, y de las fuentes bibliográficas citadas anteriormente);
- la información político-legal necesaria para definir el ambiente bajo el cual se deberán realizar la exploración y explotación geotérmica en el país (obtenidos principalmente con la asistencia de la CNE y del INE); y
- datos e informaciones de tipo logístico, mapas topográficos (del INETER), fotos aéreas (serie 1996, 1:40,000 del INETER) e imágenes de satélite (imágenes LANDSAT 5 de 1987), obtenidos de agencias públicas y de particulares especializados.

La información obtenida a partir de estas fuentes fue debidamente catalogada y organizada, y luego revisada por los especialistas de cada disciplina asignados al proyecto. La revisión y el análisis de la información pasaron a formar la base para la evaluación preliminar de cada área en estudio, así como para la planificación de los nuevos estudios geocientíficos que se debían realizar como parte del Estudio del Plan Maestro.





### 1.2.2 Estudios Realizados en el Plan Maestro

Los estudios geocientíficos nuevos y complementarios realizados como parte del Estudio del Plan Maestro fueron principalmente de tres tipos:

- estudios geológicos, vulcanológicos y estructurales;
- estudios geoquímicos e hidrológicos; y
- estudios geofísicos.

Para cada tipo de estudio, el grado de detalle fue variable en cada una de las 10 áreas de investigación, dependiendo del estado de exploración y desarrollo geotérmico de cada una de ellas, del conocimiento actual de las perspectivas geotérmicas y de otros factores que eran de interés para la CNE (tal como la prioridad nacional para el desarrollo de energía).

#### *Estudios Geológicos, Vulcanológicos y Estructurales*

Las investigaciones geológicas, vulcanológicas y estructurales estuvieron dirigidas a determinar los aspectos fundamentales que permitiesen la evaluación de los recursos geotérmicos en las áreas de interés y su posible desarrollo como fuente de energía. Tales aspectos fueron los siguientes:

- La caracterización de la frecuencia, estilo y composición de la actividad volcánica más joven (generalmente, dentro de los últimos 50,000 años, y especialmente los últimos 20,000 años). Se prestó especial atención a los volcanes que no son históricamente activos o en los que se habían realizado menos investigaciones (por ejemplo, los volcanes Mombacho, Casita, Maderas y Cosigüina).
- La interpretación o estimación de la presencia y tipo de cámara magmática que pudiese estar asociada con los volcanes en próximos a las áreas geotérmicas.
- La evaluación de los riesgos geológicos de todo tipo, y de la forma como estos riesgos podrían afectar el desarrollo geotérmico.



- La identificación y caracterización de las estructuras geológicas más importantes, señalando en lo posible las zonas inferidas que hayan sido afectadas por movimientos de fallas geológicas.
- La identificación y descripción de las condiciones geológicas (estratigráficas, estructurales u otras) que podrían tener influencia en el comportamiento de los sistemas geotérmicos, o que pueden afectar la exploración y el desarrollo geotérmico.
- La determinación de la posible relación entre las manifestaciones termales observadas y el régimen vulcanológico, estructural e hidrológico.

Como parte de las investigaciones de campo, se recolectaron muestras de rocas volcánicas para realizar el respectivo análisis petrográfico, y algunas de ellas fueron también sometidas a datación radiométrica por medio del método de termo-luminiscencia.

#### *Estudios Geoquímicos e Hidrológicos*

Los estudios geoquímicos e hidrológicos de las zonas fueron realizados con el propósito de definir el modelo hidrológico de cada área, con énfasis especial en determinar las interacciones entre los acuíferos de recarga meteórica, generalmente someros y los de descarga geotérmica, todo lo cual, aunado a las informaciones proporcionadas por los estudios geoestructurales ayudó a definir el modelo geotérmico de cada área.

Con este propósito, las nuevas investigaciones de campo fueron programadas tomando en cuenta la información disponible, que en algunas áreas fue relativamente abundante, y en otras muy escasa, con el objetivo también de establecer un número suficiente de controles sobre los datos existentes.

En base a los análisis químicos de aguas y gases y a los análisis isotópicos (anteriores y nuevos), tanto provenientes de fluidos de origen geotérmico como de fuentes frías, se investigaron los siguientes aspectos:

- temperaturas de equilibrio químico, por medio de la aplicación de geotermometría química;



- procesos que sufren los fluidos geotérmicos en su circulación subterránea, tales como los procesos de recarga, descarga, calentamiento, evaporación, ebullición, condensación, y mezcla con aguas "frías" o de diferente composición química;
- condiciones químicas del fluido en el yacimiento y evaluación de eventuales problemas de manejo del fluido por exceso de contaminantes o por su potencial de incrustación o corrosión; e
- identificación de zonas de descarga "ocultas" en acuíferos freáticos, a través del estudio de anomalías geoquímicas.

#### *Estudios Geofísicos*

El objetivo original del Estudio del Plan Maestro fue el de realizar sondeos electromagnéticos en los dos campos geotérmicos que, por las investigaciones precedentes, resultasen clasificados como de mayor prioridad en relación con su potencial eléctrico. Sin embargo, después de la terminación de los estudios preliminares que se realizó en las áreas de interés, y tomando en cuenta el estado actual de cada área en cuanto a concesiones y actividades de exploración por parte de empresas privadas, la CNE decidió que resultaría de mayor beneficio para los propósitos del Plan Maestro, realizar una modificación al programa de geofísica, para que abarcara cuatro áreas en vez de dos. Por lo tanto, los nuevos sondeos electromagnéticos fueron planeados y ejecutados en las cuatro áreas seleccionadas, dividiendo la cobertura asignada para cada área de tal forma que el trabajo pudiese ser ejecutado con buenos resultados sin afectar el presupuesto que se tenía destinado para esta actividad.

El objetivo principal de los sondeos fue el de obtener una mejor definición sobre los aspectos geoestructurales y sobre la presencia de fluidos geotérmicos en los estratos subyacentes. Se escogió el método magnetotelúrico (MT) para los sondeos, complementado en algunas estaciones por el método electromagnético de dominio de tiempo (TDEM), con lo cual se logró alcanzar una profundidad de investigación de 2,000 a 2,500 metros con un nivel adecuado de confiabilidad.

El programa de sondeos electromagnéticos consistió de:



- 46 estaciones MT y 16 estaciones TDEM en el área Managua - Chiltepe;
- 54 estaciones MT y 32 estaciones TDEM en el área Masaya-Granada-Nandaime (concentradas en la zona al S del Volcán Mombacho);
- 12 estaciones MT en el área de Tipitapa; y
- 12 estaciones MT en la Isla de Ometepe.

### 1.2.3 Metodología de Investigación Empleada

#### *Misión de Enfoque*

En Junio de 1999, se realizó una Misión de Enfoque en Nicaragua con el propósito de afinar, en conjunto con el personal técnico de la CNE, los objetivos y la estructura que se le quería dar al proyecto. El personal de GeothermEx que había sido asignado para trabajar en el proyecto hizo esta primera visita a Nicaragua, durante la cual se realizaron reuniones con el personal de la CNE, con el objeto de revisar los aspectos más importantes del proyecto, tales como la disponibilidad de datos, las limitaciones de tipo logístico que podrían presentarse durante las operaciones de campo, el estado actual de la exploración geotérmica en las distintas áreas del estudio, y las actividades de desarrollo que se estaban llevando a cabo en ese momento en Nicaragua. Igualmente se discutieron las posibles formas en que el Plan Maestro se podía estructurar para asegurar la promoción de los futuros desarrollos.

Durante esta vista, se realizaron visitas preliminares a nueve de las 10 áreas que comprendían el estudio, con el fin de evaluar sus condiciones logísticas. El proceso de recolección de los datos existentes dio también inicio durante esta primera visita, identificándose las principales fuentes de información y estableciendo los contactos necesarios con las agencias del gobierno y otras organizaciones que conducen investigaciones relacionadas con los recursos geotérmicos y otros campos relacionados con los mismos.



### *Recolección, Manejo y Presentación de Datos*

La recolección de datos existentes, cuyo alcance fue descrito anteriormente, fue conducida durante y después de la Misión de Enfoque del Proyecto. Se obtuvo información de todas las fuentes que estaban disponibles en Nicaragua. Esta información fue revisada, organizada de acuerdo a su categoría, y archivada de manera sistemática de forma tal que permitiese luego ser utilizada para las necesidades del proyecto. Para esta labor se utilizó un programa de cómputo para el archivo de datos bibliográficos en forma libre denominado "ASKSAM". Para archivar los datos geoquímicos e hidrológicos se usó un grupo de programas (propiedad de GeothermEx) desarrollado bajo el nombre general de GTXWorks/CHMWorks que usa el sistema de base de datos Microsoft ACCESS. Ciertos cálculos químicos y termodinámicos se realizaron también utilizando el programa WATCHworks y Microsoft EXCEL. Los mapas e ilustraciones varias del proyecto fueron digitados utilizando el sistema de AUTOCAD y la mayoría de los gráficos fueron desarrollados usando el sistema GRAPHER. Otros gráficos y tablas fueron presentados utilizando Microsoft EXCEL, y el texto de los informes del proyecto fue escrito e impreso con el programa Microsoft WORD.

La compilación de las referencias bibliográficas resultó bastante amplia, con mas de 550 citas. Adicionalmente, se estableció una base de datos de tipo geoquímico (aguas, gases, e isótopos) e hidrológico, con unas 2,776 líneas, además de numerosos archivos con mapas, fotos aéreas e imágenes de satélite (LANDSAT) y una extensa biblioteca de artículos fotocopiados a partir de centenares de referencias. Estos números totales de citas y líneas en la base de datos geoquímicos e hidrológicos incluyen los datos obtenidos hasta el final del Proyecto, así como los nuevos datos generados por los estudios de campo descritos más adelante. Aun cuando las referencias bibliográficas han sido revisadas en su contenido, algunas de ellas no resultaron de utilidad en relación con los objetivos del Estudio, y por lo tanto no fueron incluidas en la bibliografía del informe.

### *Análisis de Datos y Desarrollo de los Modelos Geotérmicos Preliminares*

El procesado de los datos dio inicio aún cuando éstos estaban siendo recolectados en Nicaragua y en los Estados Unidos. Durante esta etapa del trabajo se prestó una mayor atención al análisis de la literatura y de los datos obtenidos que demostraban ser más críticos para el entendimiento de la naturaleza geológica,



hidrogeológica, volcánica y geoquímica de las distintas áreas en estudio. Además, se reanalizó la información disponible de las áreas ya estudiadas o desarrolladas (especialmente las de Momotombo y San Jacinto-Tizate) para revisar y comparar su potencial con respecto a otras áreas del estudio. Una evaluación que GeothermEx había realizado recientemente en el campo y en la planta de Momotombo, así como en el campo de San Jacinto - Tizate, permitió acelerar la revisión de estos dos campos.

Los mapas base de cada área fueron preparados para utilizarlos en todos los aspectos del estudio. Una base de datos de tipo cartográfico fue desarrollada y mantenida para cada área, utilizando los datos generados por cada uno de los especialistas que participaron en el proyecto. Además, el desarrollo preliminar del mapa de síntesis de toda la región volcánica fue iniciado en esta etapa del trabajo, de manera que las características geotérmicas más relevantes de las diversas áreas pudieron ser resaltadas y comparadas, permitiendo así identificar las áreas con mayor o menor cobertura de datos.

La revisión, análisis e interpretación de la información recolectada fue dirigida al desarrollo de un modelo geotérmico preliminar de cada área de estudio del Plan Maestro. Para cada modelo, se incluyeron datos sobre el ambiente geológico, la actividad volcánica, las características hidrológicas y las indicaciones de actividad hidrotermal presente en el área, con el fin de caracterizar los siguientes parámetros fundamentales:

- la localización, tipo y magnitud de las fuentes potenciales de calor en el área;
- la localización y naturaleza de las zonas profundas de ascenso de los fluidos geotérmicos;
- los patrones de movimiento de los fluidos geotérmicos, y las estructuras que controlan su movimiento;  
y
- las propiedades de los fluidos geotérmicos (sus características químicas, temperatura, etc.).

Al igual que en otros proyectos en los que GeothermEx participa, el personal técnico laboró en estrecha coordinación de manera que cada modelo geotérmico constituye una representación integrada de todas las



características y los procesos relacionados al recurso geotérmico de cada área. Tanto el modelo conceptual como los datos más relevantes para cada área fueron resumidos en uno o más mapas y gráficas. Esto incluyó las gráficas de datos que habían sido obtenidos de los pozos profundos en los campos ya explorados.

### *Planeamiento y Organización de los Estudios de Campo*

Conforme se desarrollaron y completaron los modelos geotérmicos preliminares para cada una de las áreas de estudio, éstas fueron clasificadas con respecto al grado de complejidad y de la confianza que se tenía sobre el conocimiento del campo, y se identificaron las investigaciones adicionales que se requerirían para probar o afinar los aspectos más críticos del modelo. Las investigaciones fueron diseñadas para resumir la mayor cantidad de información en la manera más efectiva y económica posible, y descartar los estudios redundantes o que se juzgaron que del todo no formaban parte de los objetivos principales del Plan Maestro.

El trabajo escogido pretendía obtener información práctica que sirviera para promover el desarrollo del área y de los procesos para toma de decisiones, en base a la experiencia que se tiene con las entidades interesadas en realizar el desarrollo y el financiamiento de proyectos geotérmicos. Conforme los objetivos específicos de los estudios de campo del Plan Maestro Geotérmico fueron identificados y definidos, los planes para cada estudio fueron desarrollados y presentados a la CNE para su aprobación.

### *Estudios Geológicos, Vulcanológicos y Estructurales*

En cada una de las áreas de estudio, la primera fase de investigaciones geológicas consistió en llevar a cabo un análisis detallado de las características estructurales, vulcanológicas y morfológicas asociadas, por medio del examen y del análisis de fotografías aéreas (de la serie de 1996 compiladas por el INETER a escala 1:40,000), y a partir de imágenes de satélite (procesadas a partir de datos del Landsat 5 obtenidas en 1987). Este análisis fue comparado con los resultados de mapeos geológicos anteriores, lo cual permitió caracterizar los rasgos geológicos principales del área.

Las investigaciones de campo fueron conducidas con el fin de verificar y proveer de mayor detalle a los rasgos que habían sido identificados a partir de las imágenes obtenidas por medio de sensores remotos, y



para evaluar las condiciones de especial importancia que debían ser tomadas en cuenta para realizar el desarrollo de los recursos geotérmicos. Se realizaron inspecciones a nivel de campo de algunas estructuras y rasgos volcánicos específicos, sobre todo en lugares en los cuales los mapeos anteriores y el análisis de los datos de sensores remotos no resultaban lo suficientemente conclusivos. Se dio especial énfasis al estudio de los depósitos volcánicos particulares de cada área, y a sus relaciones con la evolución de la actividad volcánica. Se preparó un mapa geológico detallado para cada área, basado en los resultados de todas las investigaciones realizadas anteriormente, en el que se incorporaron las características geológicas críticas, que podrían estar relacionadas con la actividad geotérmica.

Se efectuó una evaluación de la presencia y del carácter de los riesgos de tipo geológico que podían existir en cada área en particular. Esto se realizó por medio de investigaciones de campo y la revisión de los estudios y los datos disponibles. Los tipos de riesgo identificados incluyeron:

- riesgo volcánico (con referencia a la frecuencia, estilo y magnitud de las erupciones volcánicas, con base en los datos de tipo histórico, y en los registros geológicos);
- riesgo sísmico;
- riesgos relacionados con la inestabilidad de los taludes (derrumbe o flujo de detritos); y
- riesgo de inundaciones.

Se recolectaron muestras de rocas volcánicas en cada área, con el fin de complementar los datos existentes, referentes a las características de los períodos de actividad y a la edad de los depósitos volcánicos. Se prestó especial énfasis en la obtención de muestras de roca en los volcanes en los cuales los estudios anteriores no habían sido lo suficientemente detallados. Se realizaron estudios de análisis petrográfico sobre un total de 50 muestras obtenidas en distintas áreas. Estos análisis incluyeron la descripción macroscópica y la clasificación de cada muestra, así como la preparación de secciones delgadas que fueron analizadas por medio de microscopio petrográfico de luz polarizada, para determinar la mineralogía y las características de la textura de la roca.





Se realizaron dataciones radiométricas en 12 muestras escogidas de roca, por medio del método de termoluminiscencia. El piroxeno fue el mineral escogido como base para la datación de cada muestra, dado que otros minerales (feldespatos y cuarzo) que podrían haberse utilizado se encontraban en cantidades muy bajas, y su tamaño o calidad eran insuficientes. Se determinó que la mayoría de las muestras analizadas se encontraban entre los 2,000 a 20,000 años de edad, con un rango de incertidumbre, en la mayoría de los casos, del orden de 300 a 2,000 años.

#### *Estudios Geoquímicos e Hidrogeológicos*

El trabajo de campo que se realizó con el propósito de complementar los estudios de tipo geoquímico e hidrológico, consistió principalmente en una extensa campaña de observación y muestreo de aguas y gases superficiales y de fuentes someras. La campaña realizada consistió en la recolección de:

- 93 muestras químicas de aguas termales y frías (15 de Volcán Cosigüina, 22 del Volcán Casita-San Cristóbal, seis del Volcán Telica-El Ñajo, 18 de Managua-Chiltepe, 12 de Tipitapa, 10 de Masaya-Granada-Nandaime, 10 de la Isla de Ometepe);
- 47 muestras de isótopos estables de oxígeno e hidrógeno ( cinco de Volcán Cosigüina, 10 del Volcán Casita-San Cristóbal, dos del Volcán Telica-El Ñajo, siete de Managua-Chiltepe, 10 de Tipitapa, ocho de Masaya-Granada-Nandaime, cinco de la Isla de Ometepe);
- 23 muestras de isótopos inestables de tritio (dos del Volcán Cosigüina, tres del Volcán Casita-San Cristóbal, dos del Volcán Telica-El Ñajo, cinco de Managua-Chiltepe, siete de Tipitapa, cuatro de Masaya-Granada-Nandaime);
- cuatro muestras de isótopos estables de oxígeno en sulfato disuelto (una del Volcán Casita-San Cristóbal, tres de Tipitapa);
- 13 muestras químicas de gases (ocho del Volcán Casita-San Cristóbal, dos de Tipitapa, tres de Masaya-Granada-Nandaime);



- 12 muestras isotópicas de helio en los gases (siete del Volcán Casita-San Cristóbal, dos de Tipitapa, tres de Masaya-Granada-Nandaime); y
- 232 observaciones hidrológicas, tanto en los sitios muestreados, como en otros lugares: 34 del Volcán Cosigüina, 67 de Volcán Casita-San Cristóbal (incluyendo regiones al SO y NE del área de interés principal), 17 del Volcán Telica-El Ñajo, cinco de El Hoyo Monte Galán, 36 de Managua- Chiltepe, 30 de Tipitapa, 13 de Masaya-Granada-Nandaime, 30 de la Isla de Ometepe). Estos datos se encuentran en la base de datos Anexo C (disco CD-ROM).

Las observaciones hidrológicas consistieron en la medición de la temperatura y la conductividad, estimación del caudal, y anotación sobre las condiciones geológicas y hidrológicas generales de cada sitio, si estas condiciones eran distintas a las de otros sitios de la misma región o de interés especial. En los pozos se estimó o se midió la profundidad del agua, usando un cable calibrado. En cada caso, se preguntó al dueño o gerente la profundidad total del pozo. En ciertos sitios se midió también el pH del fluido, y de los sitios muestreados una porción de la muestra fue llevada al laboratorio de ENEL en Managua para la medición del pH y alcalinidad.

Las muestras de agua fueron tratadas en el campo en el momento de su recolección (por medio de filtrado a 0.45 micrón y acidificación parcial, y también por medio de dilución y acidificación parcial), con el fin de preservar las especies químicas inestables. Todas las muestras fueron analizadas para determinar los elementos mayores, menores y en trazas (Ca, Mg, Na, K, Li, Sr, Fe, As, Ce, Rb, Cl, SO<sub>4</sub>, alcalinidad como HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>, el total de carbono inorgánico como HCO<sub>3</sub>, B, SiO<sub>2</sub> y F, más la conductividad y el pH). En la mayoría de las muestras se midieron también los isótopos estables del oxígeno y del hidrógeno, y en algunos, el isótopo inestable <sup>3</sup>H y/o los isótopos del O en el sulfato disuelto. Los análisis químicos fueron realizados con los servicios de la empresa Thermochem, Inc., Santa Rosa, California EUA, y los análisis de isótopos (incluyendo el condensado de vapor) se hicieron en los laboratorios del Instituto de Ciencias Geológicas y Nucleares (ICGN) de Lower Hutt, Nueva Zelanda.



Las muestras de gases provenientes de las áreas termales y otras anomalías fueron recolectadas utilizando técnicas de muestreo desarrolladas por GeothermEx para evitar la contaminación con aire. La preservación de las muestras fue de tipo estándar: tratamiento para concentrar los componentes ácidos (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) lo cual permite un análisis de los componentes no-ácidos. Los análisis incluyeron CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, Ar, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, He y O<sub>2</sub>. Se tomaron también muestras de gases en tubos de cobre para la determinación de los isótopos del helio, que evidencian la presencia de fluidos magmáticos. Los análisis de gases se hicieron en el laboratorio Thermochem, Inc., y los isótopos de He se determinaron en el laboratorio del Profesor Dr. Robert Poreda de la Universidad de Rochester, Rochester, Nueva York, EUA.

Los análisis correspondientes a las nuevas muestras de aguas y gases fueron integrados junto con la información existente y estudiados utilizando una combinación de métodos gráficos y computacionales, cuyos resultados aparecen en el Anexo A de los Volúmenes II al XI.

Los estudios hidrogeológicos fueron efectuados para evaluar las características someras y profundas de las distintas áreas de estudio, utilizando una correlación muy estrecha con los datos geoquímicos y geológicos. La información proveniente de pozos de agua puede ser de utilidad, ya sea dando información directa sobre la hidrología de las aguas subterráneas, así como indicando la posible presencia de actividad geotérmica (por medio de temperaturas elevadas o concentraciones anómalas de ciertas especies químicas). Por lo tanto, una meta importante del estudio de campo fue la de asegurar que los pozos de agua en las áreas de estudio estuvieran debidamente identificados. Esta información fue complementada con las medidas de campo de los niveles freáticos y temperaturas, y con la información de numerosas muestras de agua que se recogieron para análisis químico e isotópico.

Se evaluaron también las condiciones hidrológicas superficiales y su relación con los sistemas geotérmicos y de agua subterránea. Esto incluyó evaluaciones locales de aguas superficiales, geología, vegetación y topografía (directamente en el campo o utilizando fotografía aérea e imágenes de satélite y sensores remotos) para determinar posibles sitios de infiltración, rutas de flujo sub-superficial y áreas de descarga.



Los sondeos electromagnéticos que fueron realizados como parte del Estudio Plan Maestro, se realizaron en las áreas de Managua- Chiltepe, Masaya-Granada-Nandaime, Tipitapa, y la Isla de Ometepe, según se ha descrito en la sección 1.2. En cada una de las áreas, la localización de las estaciones de sondeo fue seleccionada tomando en cuenta el modelo conceptual preliminar del área, la extensión de los sondeos existentes, y las limitaciones de tipo logístico que afectaban el diseño del sondeo (incluyendo consideraciones tales como la facilidad de acceso y la localización de las líneas de transmisión eléctrica o cualquier otra fuente potencial de ruido de fondo). La recolección de datos de campo y el proceso inicial de los resultados fue llevada a cabo por la empresa GEOSYSTEM Srl de Milano, Italia. GEOSYSTEM hizo los levantamientos, cálculos y el modelado de los resultados bajo la dirección de los especialistas geofísicos de GeothermEx.

Los sondeos MT fueron efectuados en todas las estaciones seleccionadas en cada una de las cuatro áreas. Con el objeto de establecer el control de los sondeos MT, durante el transcurso de los levantamientos se operó una estación MT remota de referencia, ubicada a una distancia adecuada de la zona de investigación. Los datos de los sondeos se procesaron dentro de las 24 horas posteriores a la obtención de los datos de campo, para determinar la calidad de la información y, de ser necesario, repetir los sondeos en los que el ruido hacía imposible o muy difícil su interpretación. Los sondeos electromagnéticos TDEM fueron efectuados en los sitios en donde se dedujo que los sondeos MT estaban siendo afectados por efectos de Variación Estática ("static shift").

Después de haber recolectado y procesado inicialmente los datos, GeothermEx revisó y verificó la calidad de todos los resultados, y se realizó la interpretación con referencia a los datos geocientíficos y de otras fuentes. Los resultados fueron analizados utilizando modelos de tipo 1D y 2-D y luego fueron presentados en forma de mapas y secciones de resistividad y conductividad.

Los detalles completos y las especificaciones de las técnicas utilizadas para la recolección, proceso e interpretación de los datos obtenidos de los sondeos tipo MT y TDEM, se presentan en el Anexo C del volumen que corresponde a cada una de las áreas investigadas (Volúmenes VIII, IX, X y XI).



### *Estudios Ambientales*

Los aspectos ambientales del desarrollo geotérmico en Nicaragua fueron evaluados tomando en cuenta lo siguiente:

- el marco legal ambiental existente en el país, que comprende todos los aspectos reglamentarios y las políticas gubernamentales; y
- las características de cada una de las áreas con potencial geotérmico estudiadas dentro de los objetivos del Estudio Plan Maestro.

Dado que un estudio ambiental completo de cada área resultaría excesivamente costoso para los objetivos del Plan Maestro, se hizo uso extensivo de la información disponible en la literatura publicada por las agencias de gobierno y otras instituciones. Esta información fue complementada con información obtenida en el transcurso de los estudios de campo, por medio de observaciones directas y discusiones con personal local.

Personal del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y otras agencias del gobierno fueron consultados para obtener una idea actualizada del marco regulatorio que existe en Nicaragua sobre el medio ambiente (ya sea en general como específico para el desarrollo geotérmico). También se obtuvo de estas agencias la información de las condiciones ambientales y de las limitaciones en las distintas áreas en estudio. La información así obtenida incluye (sin limitarse a):

- estudios de aguas superficiales y especies acuáticas;
- inventarios de áreas protegidas, flora y fauna;
- evaluación de las condiciones culturales locales y del uso de la tierra; y
- medidas de las condiciones atmosféricas.



Tomando en cuenta la naturaleza del desarrollo geotérmico y de sus impactos, los siguientes aspectos sensibles fueron enfatizados en las evaluaciones ambientales:

- consideraciones de calidad del aire (condiciones atmosféricas, flora sensitiva, fauna y desarrollos humanos),
- aguas superficiales;
- coincidencia de áreas de protección forestal con las áreas de potencial geotérmico;
- utilización actual de la tierra;
- potencial de desplazamiento de la población, agricultura o industria; y
- potencial económico y beneficios culturales del desarrollo geotérmico.

Estos y otros factores fueron examinados para poder caracterizar el ambiente general de cada área, identificando los factores del ambiente que se juzgaron como los más sensibles en cada una de las áreas. Además, se estudiaron los posibles métodos para evitar o mitigar los impactos identificados.

#### *Estudios Logísticos y de Infraestructura*

Las condiciones de tipo logístico y de infraestructura para cada una de las áreas en estudio fueron evaluadas con respecto al potencial impacto causado por las actividades de exploración y desarrollo de los recursos geotérmicos. Esta evaluación fue conducida principalmente por medio de observaciones directas realizadas durante el curso de las investigaciones de tipo geocientífico. Estas observaciones fueron complementadas con la información disponible facilitada por las agencias gubernamentales y de otras fuentes relacionadas. Todo el personal asignado a los estudios de campo participó en la recolección de observaciones sobre las condiciones logísticas e infraestructurales, sobre la base de su experiencia en actividades de exploración y desarrollo.



Los siguientes factores fueron tomados en cuenta en el ámbito de esta evaluación:

- acceso al área (por medio de carreteras y caminos existentes, u otros medios de transporte);
- condiciones propias del terreno;
- uso que se le da a la tierra;
- disponibilidad de los sitios para la perforación y construcción de una planta;
- disponibilidad de agua para perforación y otras actividades;
- disponibilidad de servicios, materiales, mano de obra y personal especializado; y
- cercanía a líneas de transmisión y subestaciones eléctricas.

También se efectuó una evaluación de la red nacional de transmisión eléctrica, y del sistema nacional de carreteras, con respecto a su posible impacto en el desarrollo y explotación de recursos geotérmicos a nivel nacional.

#### *Análisis de los Nuevos Datos Recolectados*

Todos los datos recolectados en el transcurso de los estudios de campo fueron debidamente analizados y, en donde resultó apropiado, integrados en las bases de datos computarizadas del proyecto. El análisis fue llevado a cabo según las necesidades de las diferentes disciplinas involucradas en el estudio, sin embargo, se mantuvo la integración entre los diferentes especialistas del proyecto. Se actualizaron los planos y otros gráficos necesarios para la representación de los aspectos más importantes del marco geológico, geofísico y geoquímico y de las características geotérmicas de cada área.

#### *Desarrollo de los Modelos Geotérmicos Finales*



El modelo geotérmico preliminar de cada área estudiada, fue refinado y sintetizado, utilizando los principios descritos anteriormente. En las áreas en donde se realizaron sondeos electromagnéticos, se correlacionaron los resultados con otros datos para desarrollar un modelo estructural del área y del potencial recurso geotérmico. Los datos obtenidos de las investigaciones en las otras disciplinas fueron así mismo integrados al modelo conceptual. La representación final de los modelos geotérmicos se elaboró por medio de una combinación de mapas y otros diagramas. Los modelos forman la base de las próximas etapas del estudio, incluyendo la estimación de reservas energéticas.

#### *Estimación del Potencial Energético y Evaluación Técnico-Económica*

En la evaluación técnico-económica de cada área específica, se integraron los resultados del modelo geotérmico con las investigaciones de tipo logístico y ambiental, bajo la coordinación del especialista geotérmico principal. Los parámetros más importantes de esta evaluación fueron los siguientes:

- tamaño y calidad esperados del recurso;
- el grado de incertidumbre en la estimación del recurso;
- costo aproximado de la perforación exploratoria;
- las limitaciones más importantes de tipo logístico y ambiental a ser experimentadas durante la etapa de exploración y desarrollo;
- tiempo y costos requeridos para llevar el área al nivel de factibilidad; y
- ventajas relativas del área para futura exploración y desarrollo.

El elemento fundamental de esta evaluación fue la estimación del potencial energético, o sea, el nivel potencial de reservas energéticas comercialmente explotables y presentes en cada una de las áreas. Esta





estimación fue realizada utilizando programas computacionales propiedad de GeothermEx, los cuales utilizan técnicas probabilísticas para caracterizar tanto el nivel estimado de las reservas que se encuentran presentes en el área del recurso, así como el grado de incertidumbre que se aplica a los valores estimados, como consecuencia de la inexactitud de los valores asignados a cada uno de los parámetros críticos utilizados en la estimación.

Dado que las distintas áreas con potencial geotérmico de Nicaragua han sido investigadas con diferentes grados de detalle (que van desde la perforación de numerosos pozos profundos en los campos ya identificados, hasta únicamente estudios de tipo superficial), no es posible evaluar y comparar sus reservas energéticas bajo una base común, utilizando una metodología sencilla. Por este motivo, para propósitos de la estimación de reservas energéticas, las áreas geotérmicas identificadas en Nicaragua han sido clasificadas en tres categorías principales, basándose en el estado de exploración y desarrollo de las mismas:

- Categoría 1: Son áreas que han experimentado una exploración geológica, geoquímica y geofísica considerable y en donde se han realizado perforaciones y pruebas de pozos comerciales. Dentro de esta categoría se encuentran solamente las áreas de Momotombo y San Jacinto - Tizate. En estas áreas se conoce razonablemente bien la distribución de temperatura sub-superficial, el área del yacimiento y su espesor.
- Categoría 2: En estas áreas todavía no se han perforado pozos comerciales, pero se ha llevado a cabo suficiente exploración geológica, geoquímica y geofísica como para identificar yacimientos potenciales y permitir una estimación aproximada del rango de temperatura de los yacimientos, su área y su espesor.
- Categoría 3: En estas áreas, hasta la fecha, la exploración se ha limitado a identificar yacimientos potenciales. La información principal disponible de estos prospectos es la localización, tamaño y características geológicas de los volcanes o complejos volcánicos existentes.



Las reservas energéticas de las áreas asignadas bajo las Categorías 1 y 2 fueron calculadas utilizando una técnica volumétrica probabilística, basada en las características, ya sea conocidas o inferidas, del área identificada del recurso. Esta metodología aplicada fue la misma para ambas categorías, pero para el caso de la estimación de reservas de la Categoría 1, las estimaciones se basaron en datos provenientes directamente de pozos profundos y por lo tanto conlleva un mayor grado de confianza que en el caso de la Categoría 2, cuyas estimaciones se basaron mayormente en datos inferidos a partir del modelo conceptual que había sido concebido para el sistema geotérmico.

Para áreas asignadas a la Categoría 3, las reservas potenciales de energía geotérmica fueron estimadas utilizando una metodología probabilística basada en el calor asociado con el sistema (o sistemas) volcánico-magmático(s) que dieron origen a la mayoría de los volcanes jóvenes presentes en el área. Con el objeto de obtener una estimación global de las reservas para el conjunto de las 10 áreas en estudio, los cálculos se realizaron para todas las áreas aplicando la metodología de la Categoría 3, aún cuando en algunas de éstas áreas se podían inferir las reservas bajo la metodología de las Categorías 1 o 2. En el Anexo B de este volumen, se presenta en detalle la metodología utilizada para el cálculo de las reservas para cada categoría. Con el objeto de poder caracterizar y comparar las diferentes áreas en estudio bajo una base común que permitiese establecer su prioridad para el desarrollo, se implementó un sistema de puntaje de clasificación, el cual fue aplicado a los resultados de las evaluaciones técnico-económicas. La clasificación de cada área toma en cuenta los siguientes criterios de evaluación:

- la cantidad de reservas de riesgo ponderado (tomando en cuenta el nivel de incertidumbre asociado con las reservas estimadas para cada categoría);
- el estado de desarrollo del área;
- las características del recurso;
- las limitaciones de tipo ambiental que impiden o dificultan el desarrollo;



- los factores de riesgo geológico; y
- los factores infraestructurales que afectan al desarrollo.

En el Capítulo 4 de este volumen se describe la metodología aplicada y los resultados de la clasificación aplicada a las diferentes áreas del estudio.

#### *Determinación de los Requerimientos para la Factibilidad*

Se seleccionaron dos áreas, en consulta con la CNE, para la elaboración de los términos de referencia detallados para conducir estudios de factibilidad. La selección de las áreas, y la definición de los proyectos a ser considerados en la elaboración de los términos, se basaron en las características de los recursos definidos en los modelos geotérmicos, así como en otros factores, que incluyen los aspectos logísticos e infraestructurales de cada área. Las áreas seleccionadas fueron las de Managua-Chiltepe y Masaya-Granada-Nandaime.

Las actividades realizadas para la elaboración de los términos de referencia incluyeron lo siguiente:

- especificaciones de los trabajos adicionales de exploración que se recomienda realizar;
- diseño conceptual y objetivos de los pozos exploratorios a ser perforados;
- requerimientos para realizar pruebas y evaluar los pozos, así como para la evaluación integral del yacimiento;
- requerimientos para la construcción de caminos de acceso y facilidades de apoyo;
- requerimientos administrativos y de coordinación de las actividades del proyecto;
- requerimientos para el diseño conceptual de la planta geotérmica, el desarrollo del campo y otras obras anexas;



- costo de todas las actividades del estudio de factibilidad;
- cronograma de las actividades del estudio de factibilidad.

Los términos de referencia para los estudios de factibilidad se presentan en los Anexos J y K de este volumen.

### 1.3 Estructura del Informe

#### 1.3.1 *Volumen 1*

El Volumen I del informe del Estudio Plan Maestro presenta una síntesis de los resultados de todo el trabajo que fue conducido como parte de este estudio, incluyendo las evaluaciones de las áreas individuales. Además de resumir los resultados técnicos, se presenta también la clasificación y calificación de las distintas áreas por su potencial para el desarrollo geotérmico, y se discuten aspectos importantes relacionados con la forma en la cual se podrían desarrollar y manejar los recursos geotérmicos en Nicaragua en una forma coordinada a nivel nacional.

En el Capítulo 2 de este volumen, se discuten las ventajas y las desventajas que se derivan del desarrollo del plan maestro, y se presentan algunas consideraciones para su aplicación como un instrumento de apoyo a las políticas, ofrecimiento, manejo, reglamentación y promoción. Se incluye dentro de este mismo capítulo una discusión sobre los riesgos y beneficios que ofrecen los desarrollos de tipo geotérmico, y una clasificación y descripción detallada de las distintas formas en que se puede hacer y se ha hecho, el manejo del desarrollo de los recursos geotérmicos en varios países del mundo. También se analiza el papel que juega principalmente el gobierno central, y las respectivas agencias gubernamentales en establecer la guía y las reglamentaciones para el desarrollo adecuado y coordinado de los recursos geotérmicos.

En el Capítulo 3 se presenta la evaluación técnico-económica de las 10 áreas estudiadas dentro del Estudio Plan Maestro. Para cada evaluación, después de hacer una breve definición y descripción del área, se hace



un resumen de los resultados obtenidos en cada uno de los estudios efectuados por las distintas disciplinas (basados tanto en los estudios anteriores como en los trabajos de campo conducidos como parte del Estudio Plan Maestro), y se describe el modelo geotérmico conceptual de cada área en particular. Se presenta la estimación de las reservas energéticas asociadas con cada una de las áreas y se discuten otros aspectos del área específica (ambientales, logísticos e infraestructurales) que podrían afectar el desarrollo de los recursos geotérmicos, ya sea en forma favorable o desfavorable. Finalmente, se describen las opciones para el desarrollo del recurso y también se discuten los requerimientos y los costos aproximados de las actividades que se requiere llevar a cabo con el fin de alcanzar la etapa de factibilidad del proyecto.

En el Capítulo 4 se describe la metodología utilizada para comparar y clasificar las diferentes áreas desde el punto de vista de su importancia y prioridad relativa para su desarrollo. En este capítulo se incluye la definición de los criterios utilizados en el proceso de clasificación y la base sobre la cual se evaluaron en una forma cuantitativa. Se discute la aplicación del sistema de clasificación, y se muestra el nivel de prioridad asignado a cada área en forma de una puntuación total que va del 0 al 100.

Los Anexos que se presentan en este volumen constituyen un conjunto importante de recursos que respaldan los resultados presentados en este informe de síntesis. El Anexo A presenta un mapa resumen de la República de Nicaragua, que muestra en forma gráfica la información esencial y las conclusiones propias de cada una de las áreas estudiadas. El Anexo B presenta una descripción detallada de la metodología que se utilizó para estimar las reservas energéticas en cada área del estudio. Los Anexos C, D, E y F constituyen bases de datos computarizados que contienen la información que fue compilada y organizada durante el transcurso del Estudio Plan Maestro; éstos contienen respectivamente: la localización y la información básica de los puntos de muestreo; los datos de tipo químico (resultados de análisis de muestras de fluidos y gases); mapas desarrollados para el proyecto (en forma de Autocad); y referencias bibliográficas.

En el Anexo G se discuten los aspectos ambientales de Nicaragua a nivel nacional, tanto en términos generales como también en la forma en que se relacionan específicamente con el desarrollo geotérmico. El Anexo H, se presenta una descripción del sistema de concesiones y licencias de exploración, desarrollo y



explotación de los recursos geotérmicos en Nicaragua. El Anexo I consiste en una evaluación de consideraciones de infraestructura que afectan al desarrollo de los recursos geotérmicos a nivel nacional; esto incluye una descripción del sistema eléctrico nacional de Nicaragua, y una discusión del sistema de carreteras y caminos. Los Anexos J y K presentan especificaciones detalladas para realizar los estudios de la etapa de factibilidad en las áreas de Managua-Chiltepe y Masaya-Granada-Nandaime.

### *1.3.2 Volúmenes II - XI*

Los volúmenes restantes de este informe presentan las evaluaciones detalladas de las áreas individuales estudiadas. Cada informe ha sido organizado en un formato estándar, con el fin de facilitar su utilización como un documento de referencia, así como para contener una descripción integral del potencial geotérmico del área. Los componentes básicos de cada volumen son:

- descripción del área (localización, extensión, y características fisiográficas);
- estado de exploración y desarrollo geotérmico existente (concesiones, trabajos de exploración previos y efectuados como parte del Estudio Plan Maestro, perforación y producción, y estado actual del área);
- régimen geológico-vulcanológico-hidrogeológico (evaluación de la geología regional y local, la actividad volcánica, la hidrología y los riesgos geológicos);
- indicios de actividad termal (manifestaciones termales, características químicas, características geofísicas, y resultados de pozos geotérmicos);
- naturaleza del recurso geotérmico (descripción del modelo geotérmico conceptual);
- estimación de reservas energéticas;
- aspectos ambientales (incluyen los aspectos socioeconómicos, abióticos y bióticos, y el análisis de las condiciones ambientales);



- aspectos infraestructurales y logísticos (acceso, uso de la tierra, disponibilidad de sitios para perforación y construcción, disponibilidad de agua, y el análisis de la factibilidad para realizar trabajos de exploración y desarrollo); y
- opciones de investigación y desarrollo, y resumen de las actividades para alcanzar el nivel de factibilidad y los costos estimados de ellas.

En cada volumen se presenta una lista completa de las referencias bibliográficas particulares del área. Las compilaciones detalladas de los datos obtenidos durante el transcurso de las investigaciones de este estudio se presentan en varios anexos de cada volumen. El Anexo A contiene detalles completos y resultados de los estudios geoquímicos e hidrológicos, con la compilación completa de los datos de soporte. En el Anexo B se presentan los resultados de los análisis petrográficos y de datación radiométrica realizados sobre muestras de rocas volcánicas seleccionadas del área de estudio. En el Anexo C se presentan en detalle los criterios de diseño, la descripción de la metodología utilizada y los resultados de los sondeos para cada una de las cuatro áreas en las que se realizaron sondeos de tipo geofísico.

#### 1.4 Reconocimiento

GeothermEx, Inc. desea expresar su sincero agradecimiento al personal de la Comisión Nacional de Electricidad (CNE) que prestó su asistencia y apoyo técnico durante el transcurso del presente trabajo. En particular, deseamos agradecer la contribución del Secretario Ejecutivo de la CNE, Ing. Luis Velásquez, y de la Lic. Gioconda Guevara, Gerente de Proyectos de la CNE, por el apoyo que prestaron en la definición de los objetivos de este trabajo, y por sus valiosas contribuciones durante la revisión de los informes finales del estudio Plan Maestro Geotérmico.

Deseamos también agradecer al Presidente del Consejo de Dirección del Instituto Nacional de Energía (INE), Ing. Octavio Salinas y al Jefe del Departamento de Recursos Geotérmicos del INE, Ing. Ariel Zúñiga por su valiosa asistencia en la definición del marco reglamentario relacionado con el desarrollo de la energía



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

---

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

geotérmica en Nicaragua. Igualmente, deseamos agradecer al Banco Inter-Americano de Desarrollo (BID) por haber concedido el soporte financiero para la realización de este proyecto.

Finalmente, deseamos extender nuestro merecido aprecio al personal del INETER y ENEL, así como a todas aquellas personas que colaboraron en forma desinteresada con el desarrollo del proyecto, ya sea facilitando el acceso a las diferentes fuentes de información y a los sitios de trabajo, así como al personal que prestó sus valiosos servicios técnicos y administrativos en Nicaragua.





## **2. LAS VENTAJAS DE UN PLAN MAESTRO PARA EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN NICARAGUA**

### **2.1 Riesgo y Beneficio de los Proyectos Geotérmicos**

La energía geotérmica es considerada como un recurso de energía renovable, cuyas características naturales son benignas para el medio ambiente. Económicamente resulta una alternativa muy atractiva porque no depende de factores de tipo climático y es esencialmente independiente de las variaciones del precio de los combustibles fósiles que usualmente deben ser importados.

Dada su característica como recurso de energía autóctona, el desarrollo de la energía geotérmica no afecta en forma adversa la balanza de pagos del país ni requiere de constantes desembolsos para hacer frente al costo de la importación de combustibles. Tiene la conveniencia que puede ser desarrollada en forma de pequeños incrementos, o módulos de generación, que pueden ser capaces de generar desde menos de un megavatio hasta varios centenares de megavatios. Esto hace que se pueda adaptar a un amplio rango de escenarios de desarrollo, y que se pueda conectar tanto a las redes de distribución regionales o nacionales, como a centros aislados, tales como las comunidades rurales o centros de consumo industrial aislado como lo son los desarrollos mineros, las centrales para bombeo de agua, etc..

Debido a su carácter de permitir el desarrollo modular, en muchos campos es posible incrementar con el tiempo la generación en forma escalonada, agregando nuevas unidades de generación para satisfacer el crecimiento de la demanda en una forma natural y congruente con las modalidades de desarrollo del lugar.

Todo proyecto de generación de energía eléctrica está basado en una evaluación balanceada de riesgo-beneficio. El beneficio a obtener es bastante obvio: proveer al consumidor con un valioso servicio, promover el desarrollo y el crecimiento nacional o regional, y al mismo tiempo capitalizar las ganancias con la venta de energía eléctrica para financiar futuros proyectos. El riesgo inherente a este tipo de desarrollo no es necesariamente tan obvio.



Existe el riesgo potencial de no balancear adecuadamente la oferta y la demanda de energía del sistema, lo cual resulta en capacidad de generación cesante y en desperdicio de recursos. Está también el riesgo de no lograr obtener fuentes de financiamiento adecuadas, o de asumir parámetros fundamentales de tipo económico o financiero que al cabo del tiempo resultan erróneos o inadecuados. Pueden también existir requerimientos de tipo reglamentario para la obtención de permisos que resultan demasiado onerosos para el proyecto, los cuales podrían retrasar o incluso detener indefinidamente un proyecto que de otra forma hubiese resultado altamente provechoso. Otro tipo de riesgo se encuentra asociado con los cambios de políticas gubernamentales, infraestructura inadecuada, guerras e insurgencias, desastres naturales, etc..

En los proyectos de energía geotérmica siempre existe el riesgo de no llegar a descubrir reservas energéticas en cantidad suficiente o del grado comercial necesario para su desarrollo.

Existe una escala de riesgos que pueden ser esperados en el desarrollo de cualquier recurso geotérmico. El mayor riesgo está asociado con las etapas iniciales de exploración superficial y de perforación exploratoria. Si esta fase del proyecto no resulta exitosa, el capital invertido se podría perder irremisiblemente. Por esta razón es muy común que exista una gran dificultad en conseguir fuentes de financiamiento adecuadas para el desarrollo de las etapas iniciales de un proyecto y por este motivo, la participación de una entidad externa que esté dispuesta a asumir al menos parte de este riesgo es siempre recomendable.

Conforme el proyecto progresa a través de las distintas etapas de su desarrollo, como lo son la evaluación del recurso, la perforación de los pozos de desarrollo, y el diseño y construcción de la planta hasta el inicio de la producción de energía, el nivel de riesgo declina gradualmente y el financiamiento usualmente se convierte en una actividad menos complicada.

La participación de un ente externo durante el transcurso de todo el proyecto, desde la etapa de perforación exploratoria hasta la etapa de construcción de la planta eléctrica, involucra la posibilidad de compartir tanto los beneficios como los riesgos del proyecto.



## 2.2 Modelos de Desarrollo Geotérmico

Existen, por supuesto, muchas opciones que se abren al Gobierno de Nicaragua para conducir el desarrollo de los recursos geotérmicos del país, la mayoría de las cuales están basadas en las consideraciones mencionadas anteriormente de riesgo y beneficio. Este amplio espectro de opciones incluye desde un desarrollo y operación manejados por una entidad gubernamental, hasta un desarrollo enteramente privado sin participación alguna de los entes gubernamentales. Dentro de estos dos extremos del espectro, existen varios modelos que han sido utilizados en otros países y que se discuten a continuación.

### 2.2.1 *El Modelo Nacional*

En este modelo, una entidad del gobierno desarrolla todas las actividades relacionadas con el proyecto, desde la exploración superficial y la perforación exploratoria, a través de la evaluación del recurso, hasta el diseño, construcción y operación de la planta de generación. Dicha entidad nacional puede establecer contratos con entidades privadas para cubrir actividades tales como la perforación exploratoria, o el diseño de la planta. Sin embargo, esta entidad también asume todas las consecuencias asociadas con el riesgo del proyecto, así como los costos asociados. Si el proyecto no resulta exitoso, o aún parcialmente exitoso, la entidad debe asumir las pérdidas. Por otro lado, los beneficios de un proyecto exitoso son, por supuesto, que la entidad no tiene que compartir con otros los beneficios financieros que se derivan del proyecto, y el gobierno es quien controla la pauta de su desarrollo. En algunos casos, sin embargo, el gobierno puede no contar con la capacidad financiera o el conocimiento técnico para desarrollar un proyecto de esta categoría, o puede estar ampliamente restringido por formalidades burocráticas.

Este modelo ha sido utilizado anteriormente en varios países, dentro de los cuales están El Salvador, China, Kenya, México, Italia, Costa Rica, Islandia, Nueva Zelanda, Filipinas y Turquía. En la mayoría de estos países, se le asigna a una entidad única del gobierno la responsabilidad de explorar, desarrollar el campo y generar la energía eléctrica. En algunos de estos países, tales como en Italia, Nueva Zelanda, Filipinas, y Turquía, el desarrollo del campo y la generación eléctrica están divididas en dos entidades separadas.



En los últimos años, este modelo ha evolucionado en forma dramática, en correspondencia con la magnitud del riesgo asociado y con la disponibilidad restringida de fondos, tanto por parte de los organismos internacionales como de las entidades del sector privado.

### 2.2.2 *El Modelo Mexicano*

Este modelo fue adoptado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el desarrollo de algunos campos en México. La CFE, una entidad del Gobierno Federal, efectúa actividades de exploración superficial y perforación exploratoria. Una vez que la existencia de un campo geotérmico ha sido comprobada, y se ha llevado a cabo la estimación de las reservas, se permite que los contratistas del sector privado participen por medio de licitaciones, en la obtención y venta del vapor del campo para suplir a una planta operada por, y que es propiedad de CFE. En este caso, el papel de la entidad privada se limita a desarrollar el campo bajo su propio riesgo y costo, recibiendo a cambio una tarifa negociada por el tonelaje de vapor que suministra a la planta generadora. Cuando la planta sale de servicio, la entidad nacional reconoce el pago al contratista por el lucro cesante. Inversamente, si la entidad privada no logra suplir el vapor en las cantidades y la calidad pactadas, recibe una penalización económica.

Este modelo no puede ser considerado enteramente como un modelo de privatización, ya que la entidad privada juega el papel de un contratista que comparte riesgos. Este modelo se adapta bien para el sistema mexicano porque bajo los términos reglamentarios de la República mexicana, cualquier recurso natural es automáticamente considerado patrimonio nacional, y por lo tanto, solamente a las entidades gubernamentales les está permitido poseer y operar los recursos geotérmicos nacionales.

Típicamente, se autoriza sólo a un contratista privado en cada campo para evitar problemas en el manejo del yacimiento y para tener mayor control sobre la responsabilidad ambiental. También el área que se le asigna al contratista privado para perforar sus pozos se encuentra claramente delineada, y puede ser variada únicamente a través de la re-negociación del contrato.



### 2.2.3 *El Modelo Filipino*

Este modelo fue desarrollado inicialmente por la Philippine National Oil Company (PNOC) y está actualmente siendo utilizado por otras entidades en diferentes países, incluyendo el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en Costa Rica y el Instituto Nacional de Energía (INDE) en Guatemala. Dentro de esta modalidad, la entidad gubernamental es la que realiza la exploración de superficie, la perforación exploratoria, la evaluación del potencial del recurso, la perforación de desarrollo y la estimación de las reservas desarrollables. Las entidades privadas son invitadas a participar por medio de un proceso licitatorio, para construir, poseer y operar (este modelo es conocido como "BOO" por sus siglas en Inglés - Build, Own and Operate) una o varias plantas de generación, utilizando el campo operado y el vapor suplido por la entidad gubernamental.

La entidad privada a la que se le otorga el contrato debe procurar sus propios recursos para construir y mantener la planta generadora, y debe negociar el precio a percibir por la energía entregada con la entidad del gobierno. La entidad del gobierno, por su parte, garantiza la entrega y la calidad del vapor bajo la modalidad de "utilizar o pagar" ("take or pay" en Inglés). En algunos casos (p.ej. en Costa Rica), después de un período específico de tiempo que puede variar entre 10 y 15 años, la planta pasa a ser propiedad de la entidad gubernamental. Esta modalidad se conoce como "BOT", por sus siglas en Inglés - Build, Operate and Transfer. En este caso, la responsabilidad y la participación de la entidad privada cesa en el momento del traspaso, aunque en algunos casos se ha dado la modificación de los términos del contrato para permitir que la entidad privada continúe con el contrato para operar y dar mantenimiento a la planta.

Existen dos variantes típicas para la forma de pago que se aplica en este modelo:

- En la primera, la entidad gubernamental tiene la triple función de ser la que desarrolla el campo productor del vapor que suple a la planta, compra la energía generada y distribuye la energía por medio de la red nacional. Este es el caso por ejemplo del ICE en Costa Rica. Bajo esta modalidad, el dueño de la planta recibe un pago por convertir el vapor en electricidad. Esta cantidad le sirve al



dueño de la entidad privada para amortizar los costos de construcción, la operación y el mantenimiento de la planta, además de tener un margen de ganancia adecuado.

- En la segunda variante de pago, el ente que compra la energía de la empresa privada no es el mismo que supe el vapor a la planta. Existen por lo tanto dos entidades gubernamentales que intervienen separadamente en el proyecto. Este es el caso en las Filipinas. Bajo esta variante, el dueño de la entidad privada paga una cantidad negociada a una entidad gubernamental por el volumen de vapor recibido en la planta. A su vez, la entidad encargada de operar la red de distribución de la energía paga a la entidad privada por la energía eléctrica entregada al sistema.

En ambos casos, el gobierno mantiene el control sobre el manejo del recurso geotérmico. Típicamente se permite únicamente un operador privado por campo, con el fin de evitar disputas sobre temas tales como los derechos de uso de agua (para el enfriamiento de la planta), protección ambiental, y el acceso preferencial a la fuente de vapor.

#### *2.2.4 El Modelo de Indonesia*

En este modelo, la privatización está acoplada para compartir una porción del valor del proyecto con una entidad gubernamental. Los prospectos geotérmicos son preseleccionados para su desarrollo por una entidad nacional, bajo la base de los resultados de la exploración superficial, en algunos casos acompañada de algunos pozos de tipo exploratorio. Los prospectos son ofrecidos a las entidades privadas para que desarrollen el campo, y construyan y operen la planta generadora. El ente nacional, en este caso Pertamina, la compañía nacional de petróleo, firma un "Tratado de Operación Conjunta" con la entidad privada interesada y adquiere el derecho a una porción de la plusvalía del proyecto, que normalmente se traduce en un tipo de interés neto a percibir por un cierto número de años.

El porcentaje de propiedad y los intereses netos de ganancia son negociados entre las dos entidades. Aún cuando con este pago se trata de recompensar a la entidad nacional por el riesgo y los costos incurridos durante la etapa de estudios de exploración, tiene también el efecto de que la entidad nacional mantenga el



interés de compartir algunos de los riesgos futuros del proyecto. En esta forma, si el proyecto no resulta económicamente viable, o es detenido por causas de fuerza mayor, la entidad gubernamental no recupera su inversión. Sin embargo, si el proyecto prosigue exitosamente hasta las etapas finales, la entidad gubernamental recibe un flujo de caja continuo, que puede ser utilizado para desarrollar otros proyectos. La energía eléctrica producida es vendida por medio de la red de distribución nacional, o a consumidores de tipo privado, dependiendo de lo que permita la ley.

El precio de la energía, convenido bajo un Contrato de Compra de Energía (PPA en Inglés) entre la entidad pública (PLN en el caso de Indonesia) y la privada, incluye el costo y los riesgos de ambas entidades. Esto podría hasta cierto punto, resultar más costoso para el consumidor. Después de un cierto período de tiempo, por lo general entre 10 y 20 años, la propiedad sobre el recurso y los equipos instalados es traspasada a la entidad eléctrica nacional. Típicamente, al igual que en los casos anteriormente descritos, sólo una firma privada es autorizada para explotar un campo dado, para prevenir disputas sobre el manejo del yacimiento y por preocupaciones de tipo ambiental. Los representantes de la entidad gubernamental pueden tener una posición en el comité ejecutivo que opera el proyecto, sin embargo, esto también es parte de la negociación entre ambas partes.

#### *2.2.5 El Modelo de Kenya*

Este modelo consiste en una forma de negociación en la cual la entidad nacional que conduce las actividades de exploración se involucra en las etapas iniciales del proyecto, pero cesa su participación antes de la firma del contrato con la entidad privada. Bajo esta modalidad, la agencia nacional de desarrollo eléctrico (KenGen en el caso de Kenya) realiza estudios de exploración superficial y de perforación exploratoria. Una vez que se logra confirmar el descubrimiento del campo, una segunda entidad gubernamental toma el proyecto (Ministerio de Energía) y solicita propuestas a entidades privadas para perforar y desarrollar el recurso geotérmico para construir y operar la planta generadora. Un contrato de Compra de Energía es firmado entre este Ministerio y la entidad privada. La energía es transmitida por medio de la red de interconexión nacional, y vendida al consumidor por medio de otra entidad del gobierno. La entidad privada asume todo el riesgo y el costo del desarrollo del recurso posterior a su descubrimiento, así como el costo de



la financiación, construcción y operación de la planta generadora. El precio de venta de la energía incluye el costo de todos estos rubros, y la entidad nacional es reembolsada de sus gastos a través del presupuesto nacional. Al igual que en los otros modelos citados, con el objeto de evitar problemas de manejo del recurso, protección ambiental o acceso a la red de transmisión, únicamente una entidad privada puede participar por proyecto.

#### *2.2.6 El Modelo Básico de Privatización*

Este modelo ha sido utilizado en los Estados Unidos y en una forma mas reducida, en Japón. Bajo las premisas de este modelo, las entidades privadas seleccionan las áreas más promisorias para realizar estudios de exploración superficial y perforación exploratoria. Si se confirma con éxito la existencia de un recurso geotérmico, la entidad privada procede a realizar un estimado del potencial recurso, a perforar pozos de confirmación y de desarrollo y a calcular con mayor exactitud las reservas energéticas del recurso.

A partir de este punto, existen dos variantes:

Si la entidad privada es también una entidad del gobierno, definida como tal por la ley local, se procede directamente a obtener el financiamiento para la construcción de la planta generadora, se construye la planta y la energía es vendida al sistema de distribución a un precio pre-negociado o a precios no-regulados.

Por otro lado, si la entidad privada no es una entidad del gobierno, la misma tiene dos opciones:

- Vender el vapor a una entidad del gobierno que construye y opera la planta generadora en el sitio, o
- Obtener el financiamiento y construir la planta generadora, para luego vender la energía a una de las entidades del gobierno que a su vez, se ocupan de venderla al consumidor.

Bajo las premisas de la primera opción, ésta resulta menos atractiva para la entidad que desarrolla el recurso, porque los precios de venta del vapor pueden no justificar el costo del riesgo de la exploración superficial y la perforación exploratoria. Esta opción ha sido utilizada por la firma Unión Oil Company en las Filipinas, en donde suplen vapor para aproximadamente 700 MW de capacidad instalada por la utilidad





eléctrica nacional (NPC). En contraste, bajo la segunda opción, el precio que se paga por la electricidad es normalmente suficiente para justificar todo el riesgo y el costo del proyecto.

Bajo este modelo, la entidad privada asume todo el riesgo y el costo del proyecto, así como la responsabilidad de observar todas las reglamentaciones ambientales y otras regulaciones impuestas por el gobierno. Dado que no involucra gasto alguno de parte del gobierno, el riesgo para el gobierno es casi nulo. El único riesgo posible para el gobierno podría estar en el caso de que el proyecto no se logre completar a satisfacción, en cuyo caso se vería afectado el país por la falta de la energía que se tenía planeado recibir.

### *2.2.7 Operaciones de Tipo Híbrido*

Aún cuando anteriormente hemos llamado a algunos de los modelos por el nombre específico del país en el cual se aplican, debe notarse que en algunos casos puede darse que distintas variantes de esos modelos pueden operar simultáneamente en un momento dado en una misma región o país. Las razones que explican este fenómeno son varias:

- Los entes donantes o prestatarios podrían preferir el financiamiento de un modelo específico.
- Un país podría haber iniciado el desarrollo de sus recursos geotérmicos bajo un modelo específico (por ejemplo, el Modelo Nacional), para luego preferir la introducción de otros modelos como respuesta a algunos factores internos tales como el crecimiento de la demanda energética del país, la disponibilidad de fuentes de financiamiento, o la aparición de objetivos especiales tales como emergencias que causan un faltante de energía en el sistema, necesidad de acelerar la política de electrificación rural, etc..

Ejemplos de países en los cuales se aplica más de un modelo de desarrollo incluyen a Indonesia, Costa Rica, Filipinas, Nueva Zelanda e Islandia, entre otros.

Un proceso más activo de esta "hibridización" podría darse aun dentro de un modelo individual. Por ejemplo, en el caso específico del Modelo de Indonesia, la entidad gubernamental puede estar de acuerdo en



continuar realizando gastos después de haberse firmado el convenio de privatización, ya que el contrato contempla que por medio de pagos adicionales, dicha entidad puede adquirir una mayor participación en las ganancias del proyecto.

### 2.3 El Papel del Gobierno

El papel que juega el gobierno en estos casos, por supuesto, varía de acuerdo con el modelo que haya escogido para realizar el desarrollo de los recursos geotérmicos de la Nación. Sin embargo, algunas de las funciones del gobierno son inherentes, independientemente del modelo que se siga. Estas funciones incluyen:

#### *El Papel de Planeador de las Estrategias de Desarrollo Energético*

En este caso, el gobierno es el que define la proporción en que la energía geotérmica será desarrollada con respecto a otras fuentes de energía y definirá su contribución dentro del desarrollo y operación de la economía nacional.

Si, por ejemplo, el gobierno decide asignar al desarrollo de los recursos geotérmicos un papel preferencial sobre otras alternativas, debido a sus características de ser un recurso de energía autóctona, ambientalmente benigna e independiente de las variaciones climáticas (al contrario de la energía eólica, solar o hidroeléctrica), y que se acomoda fácilmente al desarrollo modular, tal decisión se convierte en una decisión de tipo estratégico.

Este ha sido el caso de la República de Kenya, en donde el plan nacional de desarrollo de energía a largo plazo y bajo costo ha dado preferencia al desarrollo de los recursos geotérmicos. Dicha decisión de tipo estratégico ha sido acompañada por la creación de regulaciones que favorecen el desarrollo de proyectos de explotación geotérmica, tales como el trato fiscal preferencial, acceso expedito y seguro al cambio de moneda extranjera (que actualmente se encuentra restringido), y procesos simplificados para la obtención de permisos, entre otros.



### *El Papel de Ente Regulador de la Industria Energética*

En este modelo, el gobierno está habilitado para asumir funciones tales como las de llevar a cabo los procesos para la obtención de permisos para la construcción y operación de la planta generadora; establecer guías para fijar los precios de la energía; ajuste de la oferta y la demanda de energía del país; regular el acceso a los sistemas de transmisión y distribución, determinar que los entes desarrolladores estén cumpliendo con los requisitos convenidos; así como escuchar cualquier apelación que se presente como consecuencia de los convenios.

### *El Papel de Ente Centralizador y de Análisis de Datos Geotérmicos*

Esta función incluye la recolección y manejo de todos los datos que informan sobre la localización, naturaleza y magnitud de los recursos geotérmicos a nivel nacional, así como de su estado de exploración o desarrollo. Incluye también el manejo de datos estadísticos sobre el desarrollo y la utilización de la energía geotérmica a nivel mundial así como la información de desarrollo de la tecnología y sus aplicaciones. Igualmente importante es la compilación de datos estadísticos sobre costos de la energía y precios del desarrollo de los recursos geotérmicos (bajo las diferentes modalidades) en otras naciones, y la compilación de material escrito sobre los contratos de venta de energía, permisos, renta, y todo tipo de material asociado a los mismos.

Dichas funciones pueden ser dirigidas por medio de una sola entidad gubernamental, o bien puede ser distribuidas entre varias agencias del gobierno. Deberá existir, sin embargo, una estrecha cooperación entre dichas entidades para distribuir y compartir la información existente.

### *El Papel de Ente Protector del Medio Ambiente*



Normalmente esta función está ligada a otro ente del gobierno, separado de los que pueden planear y regular el desarrollo de los recursos energéticos. La agencia de control ambiental clasifica la tierra en términos de su sensibilidad ambiental; establece cuáles áreas deben ser protegidas; promulga reglamentaciones y leyes que restringen las actividades en dichas áreas; supervisa la preparación de los estudios de impacto ambiental para el desarrollo, y hace cumplir las leyes y reglamentos de defensa del medio ambiente.

Aún cuando, como se dijo anteriormente, su función está separada de la de los entes que desarrollan y promueven la energía geotérmica, la agencia de control ambiental debe cooperar estrechamente con otras entidades que aseguren que la producción de energía sea suficiente para cubrir las necesidades del país, que sea ambientalmente aceptable, y económicamente viable para las condiciones del país.

En algunos países, se establecen exclusiones especiales por parte de las agencias de control ambiental para asegurarse que la cantidad de energía resulte adecuada. Por ejemplo, el gobierno de Japón establece varios niveles de sensibilidad ambiental, lo cual permite que ciertos tipos de desarrollo que son considerados vitales para el desarrollo social y económico del país, se puedan dar, dentro de límites que resulten también adecuados para proteger al medio ambiente.

#### *El Papel de Socio Dentro del Desarrollo de la Energía*

Dependiendo de las decisiones de tipo estratégico que se produzcan dentro de un gobierno, la entidad nombrada por el gobierno puede tener un papel de participante activo en las actividades de exploración y explotación de los recursos geotérmicos de la nación. Este papel puede ser:

- Como un monopolio nacional, excluyente de las entidades de nivel privado, e incorporando todas las funciones que son requeridas para el desarrollo del recurso, la generación eléctrica, la transmisión y distribución de la energía.
- En sociedad con una o varias entidades de tipo privado, durante el término de todo el proceso.



- En sociedad con una o varias entidades de tipo privado, pero únicamente para producir el desarrollo del recurso geotérmico y la generación de la electricidad; la transmisión y distribución eléctrica son funciones de otras entidades gubernamentales.
- En competencia con una o más entidades privadas en el desarrollo y generación de electricidad, con otra entidad del gobierno a cargo de la transmisión y distribución de la energía.

En donde la inversión privada está permitida, ya sea en cooperación con una entidad de tipo gubernamental o en competencia con otros entes privados, el papel de la agencia reguladora se convierte en algo de mayor importancia, ya que tiene que velar por la transparencia del proceso y la justa competencia.

En los casos en los cuales se ofrece dar preferencia a un tipo particular de desarrollo energético sobre otros (por ejemplo, un desarrollo de energía geotérmica con muy bajo potencial de contaminación, contra desarrollos que queman combustibles fósiles, y generan grandes cantidades de CO<sub>2</sub>), las bases para ofrecer dicha preferencia, deben ser claramente enumeradas. Si un ente gubernamental es uno de los desarrolladores de energía, ya sea por sí mismo o en sociedad con un ente privado, los términos bajo los cuales participa dicho ente gubernamental deben tener la debida transparencia.

En proyectos en los cuales existe inversión privada, la definición de las fronteras del proyecto deberá estar claramente delineada. Estas pueden ser definidas por medio de negociación entre el ente gubernamental y la entidad privada interesada, pero siempre deberán dejar acceso abierto a comentarios por parte de los residentes locales, las agencias de control ambiental, *etc.*

Con el objeto de asegurar el éxito de un proyecto, el ente desarrollador, ya sea éste público o privado, puede ser requerido de que lleve a cabo la prospección del recurso geotérmico dentro de un período de tiempo determinado (normalmente entre tres y cinco años). Como alternativa, también se puede requerir que dicho ente invierta una suma mínima anual, para que pueda retener el control sobre el proyecto. En algunos países, se requiere que el ente interesado en el desarrollo renuncie a mantener el control sobre el área que resulte no-productora, o en donde no se ha realizado actividad de perforación durante un cierto período de tiempo.



El ente desarrollador puede también ser requerido para participar en el desarrollo de la economía local, ya sea a través de la creación de trabajos, la inversión de un porcentaje dado del costo del proyecto en compras locales, construcción de obras de infraestructura local (caminos, escuelas, clínicas de salud, instalaciones de captación o distribución de agua potable, *etc.*).

Obviamente, el gobierno debe reconocer que entre más caro o más delimitado se haga un proyecto, menor será el interés de la empresa privada en su participación, o mayor será el costo de la energía producida.

El gobierno, actuando a través de su agencia reguladora, deberá asegurar que el desarrollador pueda tener un acceso libre y justo al mercado, que no se le sujete a esperas irrazonables en el proceso de obtención de permisos y derechos de tipo ambiental. En donde se establezcan preferencias, las mismas no deberán ser exageradamente constreñidas o retardadas.

#### 2.4. La Necesidad del Plan Maestro Geotérmico en Nicaragua

La República de Nicaragua ha sido favorecida por la Naturaleza con gran abundancia de recursos de tipo geotérmico. Si se desarrollan en forma apropiada, estos recursos podrían contribuir de una forma muy importante al bienestar nacional. Sin embargo, se requiere de un planeamiento muy cuidadoso y muy delicadamente preparado, para asegurar que dicho desarrollo ocurra sin problemas.

Diez áreas geotérmicas importantes han sido la base para el presente estudio. Sin embargo, dentro de algunas de estas diez extensas áreas, existe el potencial para desarrollar más de un proyecto de generación geotérmica. Por lo tanto, el número potencial de desarrollos geotérmicos para la explotación de la energía podría ser superior a diez.

Además, en otras regiones de Nicaragua se encuentran numerosas fuentes de tipo termal, las cuales si bien pueden no ser atractivas para la generación de energía eléctrica, podrían constituir valiosas fuentes auxiliares para uso en baños terapéuticos, fuentes de agua mineral para consumo humano, o como fuentes de calor para numerosos procesos industriales y agrícolas. Aún dentro de estas diez áreas geotérmicas



importantes, el uso secundario (posterior a la generación eléctrica) de los fluidos geotérmicos resultantes, podría ser de gran valor para las poblaciones cercanas.

Esto refuerza la necesidad de aplicar el mayor esfuerzo para que el planeamiento del desarrollo de cada una de estas áreas integre no solamente el curso a seguir para el desarrollo de la energía, sino que también determine el posible uso o usos adicionales de los fluidos geotérmicos.

Cada una de estas diez áreas de alto potencial geotérmico muestra características diferentes, en términos de localización, acceso, geología, posibles condiciones del yacimiento y el tamaño potencial del recurso. Además, el grado y el tipo de esfuerzos de exploración llevados a cabo con anterioridad, la complejidad del sistema, las restricciones de tipo ambiental y el estado de desarrollo, varían ampliamente entre cada una de las áreas.

Algunas de estas diez áreas han sido exploradas, y más aún perforadas, utilizando uno u otro de los modelos estratégicos de desarrollo discutidos anteriormente. Momotombo fue desarrollado y operado inicialmente por entidades gubernamentales, a menudo en cooperación con entidades privadas. Actualmente, una entidad privada se encuentra empeñada en rehabilitar el campo. Otras áreas han sido exploradas por entes privados o en combinación con entes del gobierno. Por ejemplo, en el área de San Jacinto-Tizate se han perforado pozos productores y algunos esfuerzos de actividad exploratoria se han dado en mayor o menor grado en casi todas las demás áreas prospectadas.

Sin embargo, no resulta claro de inmediato cuál sería el modelo, o combinación de modelos de desarrollo, que resultará más adecuado para satisfacer a cada uno de estos sistemas geotérmicos, o cuál será el orden que resultará más lógico para establecer su prioridad de desarrollo. Esta es la principal razón que justifica la creación del presente Estudio del Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua.

En el presente informe se establece una escala lógica de valores dentro de los diferentes prospectos estudiados, asignando las características geológicas, estructurales y físico-químicas más probables para cada uno de los recursos, las limitaciones ambientales y otras potenciales limitaciones de tipo de infraestructura.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

---

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

El resultado final establece una jerarquía dentro de los distintos sistemas estudiados y muestra la interpretación de los datos existentes para cada uno en forma sintetizada, en un modelo conceptual de cada área.





### 3. EVALUCIONES TÉCNICO-ECONÓMICAS

#### 3.1 Introducción

El potencial de los recursos geotérmicos y las perspectivas de la explotación económica en cada una de las 10 áreas cubiertas por el Estudio del Plan Maestro, fueron evaluadas utilizando la metodología que se describe en el Capítulo 1 de este volumen. Los detalles y los resultados finales de esta evaluación técnico-económica se presentan en los volúmenes del II° al XI° del Estudio del Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua. A continuación se presenta una síntesis de la evaluación realizada para cada una de las áreas.

#### 3.2 Volcán Cosigüina

El área de estudio del Volcán Cosigüina se localiza en el extremo NO de la Cordillera Volcánica de Nicaragua. Ocupa una extensión de unos 400 km<sup>2</sup>, y consiste principalmente de la península formada por el Volcán Cosigüina (altura 872 m) y de las zonas bajas que lo circundan (**Figura I-3.2.1**). La península está rodeada al SO, N y NE por el Océano Pacífico y el Golfo de Fonseca. La ciudad más cercana a esta área es Chinandega, localizada a unos 50 km hacia el SE. Aparte del volcán, que ocupa la parte central, el área tiene una topografía relativamente suave, con excepción de dos zonas de colinas bajas. Toda el área se caracteriza por un bajo nivel de desarrollo y una densidad de población muy baja. Las zonas planas están dedicadas a la agricultura, que por lo general es poco intensiva, y en la mayoría de las áreas con terrenos más inclinados persiste algo de bosque.

El Cosigüina es un volcán ancho de tipo escudo, con un cráter central profundo con relativamente pocos centros volcánicos subsidiarios o parásitos. El cráter, con paredes muy inclinadas, tiene más de 500 m de profundidad, y está ocupado por un lago con alta concentración de cloruros, cuya superficie tiene una elevación que varía entre 160 y 180 m s.n.m.

La actividad volcánica del área está dominada por el Cosigüina, que en 1835 tuvo una fuerte erupción explosiva. Aparte del volcán central, los indicios de actividad reciente se limitan a unos pocos centros volcánicos parásitos. Se nota la ausencia de estructuras en las áreas donde afloran las rocas más antiguas, lo



cual sugiere que la deformación estructural ha sido limitada en tiempos recientes, y que está dominada por la dinámica de la evolución del volcán.

El historial volcánico del área se inicia con actividad dispersa durante la época Terciaria y se extiende hasta (posiblemente) el Pleistoceno, lo cual es visible en varias colinas de área. Luego vino la etapa de construcción del Volcán Cosigüina, el cual ha sufrido por lo menos dos fases de construcción y de colapso parcial. Una fase más antigua está representada por una estructura de colapso en los márgenes N, O y S del actual volcán. Después de este colapso la mayor parte de la actividad volcánica probablemente ha consistido de flujos intermitentes de lava desde una chimenea central que formó el actual edificio volcánico.

No es posible determinar con certeza si el Volcán Cosigüina ha producido erupciones en más de una oportunidad en tiempos históricos; el evento de 1835 es la única erupción histórica que se reconoce en forma concluyente. Este evento incluyó una importante erupción de tipo pliniano, la cual fue responsable de la formación del cráter actual, y se considera como una de las mayores erupciones volcánicas ocurridas en las Américas en tiempos de la historia escrita. Una estimación razonable del volumen de magma eruptado en 1835 es de unos 3 km<sup>3</sup>, que corresponden aproximadamente al volumen de la caldera.

El volumen del volcán ha sido estimado en aproximadamente 50 km<sup>3</sup>; además de su historial de actividad bastante reciente, el Cosigüina representa una importante fuente potencial de calor magmático. No existe mucha información disponible para determinar la forma del complejo magmático o para identificar posibles intrusiones laterales que pueden extenderse por fuera del complejo central. La escasez de centros volcánicos parásitos, alejados del cono central, sugiere que las intrusiones laterales son escasas.

Por la presencia de rocas relativamente permeables en la superficie, el agua es escasa y existen muy pocos cursos de agua permanentes. El drenaje subterráneo presumiblemente se produce a través de lavas permeables y/o depósitos piroclásticos. La presencia de varios pozos de agua distribuidos alrededor de las llanuras costeras indica que existe un acuífero o acuíferos bastante extenso(s) en una gran parte del área. No existen manantiales, con excepción de la orilla oriental de la península.



Las manifestaciones termales naturales se encuentran en la orilla oriental de la península, a elevaciones próximas al mar. Por un tramo de aproximadamente seis km afloran aguas con temperaturas que oscilan desde 35° hasta 49°C, algunas con caudales elevados, que representan flujo desde el acuífero freático hacia los pantanos adyacentes del Estero Real. Se nota también que los manantiales se agrupan cerca de una colina ancha compuesta de rocas volcánicas pre-caldéricas.

Los aspectos químicos e isotópicos de estos manantiales indican claramente que existe un flujo de agua geotérmica, que se origina en el núcleo del Volcán Cosigüina y se desplaza hacia el E. En la mayoría de la zona el componente geotérmico se mezcla con grandes cantidades de agua meteórica, pero existe un solo manantial (Lodo Podrido Sur) que produce agua con una temperatura de 49°C y 2,000 mg/l de Cl (cloruro). Los geotermómetros de cationes que reflejan las últimas etapas del proceso de enfriamiento indican que el agua de este manantial pudo haberse re-equilibrado a temperaturas alrededor de 120°C. Sin embargo, un modelo de mezclas usando el Lodo Podrido Sur, y un manantial adyacente (Lodo Podrido Norte), el Cl, tritio y temperatura, indica la presencia de un componente geotérmico con una concentración de 5,500 mg/l Cl a una temperatura de 220°C. El Lodo Podrido Sur tiene una temperatura Na/K (sodio/potasio) de 200°C, que es razonable en comparación con la estimación de 220°C, y los isótopos estables sugieren (cualitativamente) que una temperatura cercana a 220°C o más es razonable.

No existe información disponible que permita identificar con certeza la ubicación de zonas de flujo ascendente o de subida de fluidos geotérmicos, pero es probable que la principal zona (o zonas) de ascenso se encuentre localizada por debajo de la porción más elevada del volcán, probablemente en el sector E y ESE (**Figura I-3.2.1**). Potencialmente la zona de ascenso podría extenderse, o estar principalmente ubicada, en las cercanías de la Loma San Juan. No es posible determinar si existen factores estructurales o estratigráficos importantes que controlen el movimiento de los fluidos.

En cuanto a los riesgos naturales, se concluye que, a pesar del carácter explosivo de la erupción de 1835, el nivel general de riesgo volcánico es bajo en casi toda el área, y es moderado en el área cercana al cono volcánico. La probabilidad de que ocurra una erupción violenta durante la vida de un proyecto geotérmico



(20 a 30 años) es bastante baja. La topografía suave del área, combinada con la ausencia de derrumbes antiguos, indica que por lo general el riesgo de derrumbes no es muy alto. El riesgo sísmico es similar al de la mayoría de la Cordillera Volcánica, lo que implica que, en la vida de una instalación geotérmica pueden ocurrir eventos sísmicos con intensidad en el rango cinco - seis en la escala de Richter. Las zonas bajas alrededor del volcán pueden estar sujetas a inundaciones periódicas, y en algunas zonas existe cierto riesgo de que un sismo durante la época de lluvia pueda generar flujos de lodo.

Con el propósito de estimar las reservas recuperables de energía geotérmica, a esta área se le ha asignado la Categoría 3, y las reservas se han calculado con base en las características de la actividad volcánica más joven del área, según la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados sobre la base de las características estimadas de los volcanes, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos.

El cálculo del calor magmático disponible indica un valor promedio para las reservas potenciales de más de 15 MW/km<sup>2</sup> cerca del centro del complejo, que descienden a menos de dos ó tres MW/km<sup>2</sup> a una distancia de cuatro a cinco km. La desviación estándar o el rango de incertidumbre es considerable, como es de esperar, considerando las incertidumbres que existen en las estimaciones de los parámetros críticos. Sumando las reservas potenciales del área en la vecindad del volcán, la estimación total es de aproximadamente 425 MW para un plazo de 30 años (correspondiente al valor promedio de la distribución probabilística calculada).

Como en todas las áreas que fueron asignadas a la Categoría 3 para el cálculo de las reservas energéticas, los resultados son una representación estadística del potencial del área y no ofrecen una prueba concluyente de que exista un recurso geotérmico comercialmente explotable. Hasta que se hayan realizado trabajos de exploración adicionales y, finalmente, por medio de la perforación profunda, será posible demostrar la existencia de roca permeable con un volumen suficiente que permita la convección del fluido y el desarrollo de un yacimiento comercialmente explotable. Sin embargo, las estimaciones manifiestan que existe una fuerte probabilidad de que en el área estén presentes zonas de alta temperatura con capacidad de abastecer



un sistema geotérmico. Esto, en combinación con la evidencia disponible de las manifestaciones termales en el área, confirma al área de Cosigüina como merecedora de investigación adicional, siempre y cuando otros factores económicos externos (no relacionados con el recurso) sean favorables para su desarrollo.

La información recolectada durante las investigaciones del Estudio del Plan Maestro permite evidenciar una serie de factores favorables y desfavorables con respecto a la realización de tales actividades. Los aspectos favorables son:

- baja probabilidad de conflictos con usos alternos de la tierra;
- se espera que sea factible en la mayor parte del área la construcción de caminos, sitios de perforación e instalaciones sobre la superficie;
- se espera disponer de agua para la perforación y otras actividades propias del desarrollo, sobre todo en las áreas más bajas;
- se espera fomentar el desarrollo a través de beneficios potenciales para la comunidad, incluyendo empleo y mejora general de la infraestructura; y
- bajo nivel general de riesgo geológico, particularmente en comparación con las otras áreas.

Los aspectos desfavorables son:

- el área está lejos de las principales líneas de transmisión y de subestaciones eléctricas, siendo la más cercana la de la zona de Chinandega / El Viejo;
- el área también está distante de la mayoría de las zonas de servicios;
- la falta de caminos de acceso en muchas zonas dificultaría o haría más costosas las actividades de exploración y de algunos trabajos de desarrollo; y



- la existencia de áreas protegidas, y el posible establecimiento del propuesto Parque Nacional, podrían limitar las actividades de desarrollo en algunas zonas.

La Tabla I-3.1 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.

El área de Cosigüina se encuentra en la etapa de reconocimiento en lo que se refiere a la investigación de los recursos geotérmicos; sin embargo, hay razones para considerar que el área tiene potencial para descubrir un recurso comercial. Debido a que las características del recurso potencial no están debidamente determinadas, se deberán considerar los siguientes tipos de desarrollo (en orden descendente de su probable factibilidad técnico-económica):

- Aplicaciones de uso directo de los fluidos de baja temperatura (menos de 100°C)
- Desarrollo en pequeña escala para la generación eléctrica (en el rango de tres a 20 MW), usando las tecnologías del ciclo binario o de vapor, abastecido por fluidos de temperatura de moderada a alta (150°C o más)
- Desarrollo a gran escala para la generación de electricidad (20 MW o más), utilizando fluidos de temperatura media a alta y la tecnología binaria o de vapor.

El programa a seguir en la investigación y desarrollo del recurso, podría variar significativamente dependiendo de cual de los tres objetivos de desarrollo enumerados arriba es el que se persigue. Suponiendo un escenario en el cual el objetivo es un desarrollo de tamaño pequeño a intermedio para la generación eléctrica, se deberán considerar las siguientes etapas:

- Exploración para delinear la zona más prominente de explotación potencial (para alcanzar el nivel de pre-factibilidad). Esta etapa puede consistir de:



- Investigaciones geoelectricas (de tipo MT, AMT o CSAMT), con densidad de estaciones de moderada a alta, para identificar zonas con anomalías de resistividad que pudiesen estar asociadas con zonas de actividad hidrotermal.
- Perforación de una serie de pozos someros (probablemente 10 a 12) para la medición del gradiente de temperatura. Los pozos deberán perforarse a profundidades comprendidas entre 100 y 300 m, o aún más profundos en algunas localidades.
- Investigaciones complementarias, tales como la interpretación geológica de detalle en áreas seleccionadas; gravimetría realizada con estaciones de moderada a alta densidad; y, posiblemente, otros tipos de investigaciones geofísicas.
- Análisis completo y síntesis de los resultados de todas estas actividades, lo cual constituirá el estudio de pre-factibilidad.

Los costos potenciales, presupuesto aproximado total y cronograma de estas actividades se presentan en la Tabla I-3.2.

- La confirmación del recurso por medio de perforación profunda (con el objetivo de llevar los estudios hasta el nivel de factibilidad). En esta etapa se deberá contemplar la perforación de por lo menos dos pozos exploratorios de producción y uno para la inyección; el costo mínimo del programa de perforación puede ser de \$4,000,000. Las actividades adicionales de pruebas, evaluación, administración, reportes, estudios de impacto ambiental y concesiones y permisos requerirán de desembolsos adicionales, lo que resulta en un presupuesto mínimo para los estudios de factibilidad de aproximadamente \$5,300,000 (Tabla I-3.3).
- Desarrollo de la capacidad necesaria de producción e inyección y de las instalaciones de generación, si las etapas anteriores resultan en la definición de un recurso comercialmente explotable.



### 3.3 Volcán Casita - San Cristóbal

El área del Volcán Casita - San Cristóbal, ubicada al extremo NO de la Cordillera de los Marrabios, comprende un grupo de estructuras volcánicas que ocupan una superficie de aproximadamente 160 km<sup>2</sup> (Figura I-3.3.1.) Las investigaciones del Estudio Plan Maestro Geotérmico han sido realizadas sobre un área de 350 km<sup>2</sup>, incluyendo sectores aledaños al macizo volcánico, en particular hacia el N, donde existen anomalías térmicas en las aguas subterráneas someras. Las principales ciudades que se encuentran cerca del área son Chinandega localizada 10 km al SO del Volcán San Cristóbal, y León, ubicada 30 km al SSE del Volcán Casita. La ciudad de Managua se encuentra unos 100 km al SE.

Con excepción de algunos centros poblados importantes, el área incluye principalmente tierras agrícolas escasamente pobladas y tierras altas que en su mayoría están poco desarrolladas. Un camino en condiciones aceptables llega hasta la cima del Volcán Casita y la Caldera La Pelona. En el resto de la zona existen algunos caminos locales que suben parcialmente por los flancos de los diferentes edificios. En el área no existen pozos geotérmicos profundos, pero se tienen informes de muchos pozos someros (100 m o menos de profundidad) perforados o excavados para el aprovechamiento de aguas que surten a la población local o para riego.

El macizo volcánico Casita - San Cristóbal se compone de tres edificios principales: el cono regular del estrato-volcán activo de San Cristóbal (1,745 m s.n.m.), que constituye la porción NO; el edificio del Volcán Casita (1,405 m s.n.m.), que caracteriza la parte central con una topografía más compleja y erosionada, sobre todo en su lado meridional; y la Caldera La Pelona, localizada en el extremo SE que está constituida por un edificio de menor altitud con un amplio cráter de fondo plano que subyace parcialmente al edificio del Volcán Casita. Además de estos edificios principales el complejo volcánico incluye algunos volcanes menores al NNE y al O del San Cristóbal y varios conos y otras estructuras volcánicas subsidiarias.

En los relieves del macizo Casita - San Cristóbal afloran depósitos volcánicos recientes, mientras que las planicies aledañas están constituidas por depósitos aluviales y coluviales. Rocas volcánicas más antiguas





aflojan en colinas y lomas bajas cercanas al NE de la Caldera La Pelona y, a mayor distancia en la zona al NO y al SO del complejo volcánico.

El Volcán San Cristóbal y el Volcán Casita están principalmente constituidos por lavas, depósitos piroclásticos y depósitos de tipo lahar. Predominan los productos de composición basáltica a basáltico-andesítica, con presencia subordinada de rocas andesíticas y dacíticas. El volcán San Cristóbal es un volcán activo. Durante los siglos 16 y 17, este volcán tuvo varias erupciones importantes, en su mayoría provenientes del cráter central, y a partir de 1970 se ha mantenido en estado activo en forma intermitente (principalmente emisiones de gases). Es incierto si el Volcán Casita ha estado activo en tiempos históricos, pero una muestra de lava recolectada en la parte inferior del cráter ha sido datada en  $12,000 \pm 1,000$  años.

Las rocas de la Caldera La Pelona varían desde basálticas a dacíticas, reflejando un mayor grado de diferenciación con respecto a los otros edificios del complejo volcánico. Probablemente este edificio volcánico inició su formación, y en gran medida se completó, antes del crecimiento del Casita y del San Cristóbal y no ha estado activo en tiempos históricos.

Aparte de las grandes emisiones de vapor y gases que se observan en el cráter del Volcán San Cristóbal, las manifestaciones termales más significativas del área se encuentran en la cumbre del Volcán Casita. En el cráter de este volcán existe un sector con intensa alteración ácida, rica en azufre, que presenta fumarolas ligeramente activas con temperatura de hasta  $98^{\circ}\text{C}$ . Estas emiten los gases típicos de los sistemas hidrotermales con cierta influencia magmática y se caracterizan por valores de los geotermómetros químicos que oscilan entre  $240^{\circ}$  y  $400^{\circ}\text{C}$ . Alrededor del cráter y en las faldas NE, E y SE del volcán, por encima de los 550 m de elevación, existe una amplia área (más de seis  $\text{km}^2$ ) caracterizada por escasa vegetación, suelos calientes y numerosas manifestaciones termales que producen aire húmedo contaminado con trazas de gas geotérmico. El flujo de estas manifestaciones es muy variable (de débil a fuerte) y su temperatura varía entre  $57^{\circ}\text{C}$  y  $97.5^{\circ}\text{C}$ .

Debido a la elevada permeabilidad de las rocas volcánicas recientes, el agua meteórica se infiltra a profundidad, por lo que no existe agua superficial ni manantiales en los relieves a elevaciones superiores a



100 m en el lado N y a unos 250 m en el lado S del complejo volcánico. En las planicies alrededor del macizo volcánico, la temperatura del agua subterránea somera está generalmente por debajo de los 30°C, con excepción del sector al N y al NE, donde la mayoría de los pozos existentes presentan temperaturas entre 30° y 40°C y existen dos zonas con temperaturas anómalas mayores.

La primera anomalía ocurre en la base de la ladera NE del macizo volcánico, a lo largo del camino entre Villa 15 de Julio y Ojo de Agua, donde varios pozos someros, distribuidos en un tramo de cinco km, presentan temperaturas en el rango de 45°-55°C. Se trata de aguas meteóricas someras, calentadas por conducción y posiblemente por vapor geotérmico, pero sin indicios de mezcla con agua geotérmica más profunda (tipo Na-Cl; sodio-cloruro). La segunda anomalía térmica se encuentra al N del Volcán San Cristóbal, en la zona de Santa Carlota, donde a mediados de los años 1980 fueron perforados algunos pozos para riego que interceptaron un acuífero con agua "caliente" y gases a presión, a raíz de lo cual fueron abandonados. No se encontraron datos confiables sobre la temperatura de estos pozos, pero el agua resultó ser de tipo Na-Ca-SO<sub>4</sub>-Cl (sodio-calcio-sulfato-cloruro), con contenido de Cl de hasta 470 mg/l y valores de geotermometría del orden de 100°C hasta aproximadamente 130°C. No se conoce la extensión y la profundidad de este acuífero "caliente". Una última anomalía de temperatura se encuentra en la región al S del macizo volcánico, localizada a unos 10 km al E de Chichigalpa, donde han sido reportados cuatro pozos con temperaturas entre 37° y 39°C.

En el extremo NE del área de estudio, a unos siete km de la base de la ladera del Volcán Casita, se encuentran los manantiales de Monte Largo (88°C), y otros siete km más hacia el NE están los manantiales de El Bonete (78°C). Ambos manantiales tienen características químicas distintas a las aguas hidrotermales de alta temperatura, que normalmente se asocian con zonas de volcanismo activo y fuentes de calor magmático. Los valores de los geotermómetros oscilan entre 140° y 150°C y su composición isotópica es diferente a aquella de las aguas presentes en la zona de la anomalía somera (45°-55°C) identificada inmediatamente al NE del complejo volcánico. Es, por lo tanto, poco probable que estos manantiales representen una descarga de un sistema hidrotermal existente más al SO, localizado por debajo de la cordillera de los Marrabios (Casita - San Cristóbal o Volcán Telica). Contrariamente, es muy probable que



se trate de aguas calentadas simplemente por circulación profunda en rocas volcánicas terciarias, en una zona con elevado flujo de calor inter-crustal.

Los únicos estudios geofísicos existentes sobre el área son: un estudio gravimétrico a nivel de reconocimiento, efectuado en 1972, el cual no proporciona información detallada como para la interpretación de la actividad geotérmica dentro y cerca del complejo volcánico; y levantamientos electromagnéticos y eléctricos relativamente primitivos, efectuados durante un estudio de reconocimiento realizado en 1978. El estudio electromagnético sugiere la presencia de una zona de muy alta conductividad situada en el complejo volcánico, pero no es posible inferir mucho acerca de la variación y distribución de la conductividad. Por otro lado, dicho estudio no cubrió el área que puede tener mayores posibilidades geotérmicas.

Los riesgos geológicos identificados en el área varían considerablemente de un sitio a otro, dependiendo de las condiciones locales. En el sector oriental del área existe un riesgo volcánico relacionado con la actividad del Volcán Telica, ubicado hacia el SE, que podría cubrir el área con una capa de hasta medio metro de productos piroclásticos (probablemente con consecuencias no severamente destructivas). El riesgo relacionado con el volcán San Cristóbal incluye coladas de lava (principalmente en las laderas NO y SO), lahares u otros tipos de re-movilización de depósitos no consolidados existentes en sus laderas, y actividad explosiva de baja a moderada intensidad, con emisión de tefra que se acumularía principalmente en los sectores al NO, O y SO del cráter. Se considera poco probable la ocurrencia de actividad explosiva de elevada intensidad.

El riesgo asociado con la inestabilidad de las laderas del complejo volcánico fue mostrado dramáticamente por el desastroso deslizamiento y flujo de detritos que ocurrió en el flanco S del Volcán Casita el 30 de Octubre de 1998, provocado por las fuertes lluvias del Huracán Mitch. Este deslave se extendió hasta más de siete km desde su punto de origen, en la cumbre del Volcán Casita, y causó la muerte a más de 2,000 personas. La topografía del flanco meridional del volcán indica que eventos similares han ocurrido con relativa frecuencia y sería poco recomendable emprender una actividad de desarrollo importante en esta



zona. Los flancos N y E del volcán Casita y el interior de la Caldera La Pelona no parecen estar sujetos al mismo grado de riesgo, aunque existe algún potencial en lugares específicos.

El riesgo de inundaciones existe localmente en las porciones inferiores de las laderas del complejo volcánico (principalmente en el flanco S del volcán Casita y en los flancos del volcán San Cristóbal) y en las zonas bajas de las planicies aledañas, especialmente al N, en áreas cuya elevación es inferior a 20 a 40 m s.n.m. La actividad sísmica y el grado de riesgo sísmico del área son típicos del resto de la Cordillera Volcánica.

El complejo volcánico Casita - San Cristóbal es producto de una actividad magmática que probablemente ha persistido en forma continua durante varias decenas de miles de años. Es por lo tanto posible inferir que por debajo del complejo existe una importante y bien desarrollada fuente de calor, que corresponde a una o más cámaras magmáticas relativamente someras y a los cuerpos intrusivos relacionados. La presencia de una extensa actividad fumarólica en la cumbre del Volcán Casita, indica que debajo de este centro volcánico existe una importante zona de ascenso de fluido geotérmico (Figura I-3.3.1). Es probable que este fluido consista de agua originalmente meteórica, calentada hasta por lo menos 240°C por el complejo magmático/intrusivo a una profundidad de varios kilómetros.

La información disponible indica que la principal dirección de flujo lateral del fluido geotérmico a partir de la zona de ascenso debajo del Volcán Casita es hacia el NE, como parece indicar la zona de anomalía térmica existente en las aguas subterráneas someras. No existe, sin embargo, evidencia directa de una zona de descarga de los fluidos geotérmicos profundos. Es posible que exista otra zona de ascenso de fluidos geotérmicos en el flanco N del volcán San Cristóbal, asociada con la anomalía térmica de Santa Carlota.

Las reservas energéticas del sistema geotérmico asociado con las fumarolas del Volcán Casita se han estimado como reservas de Categoría 2, de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados en base al modelo conceptual del sistema geotérmico, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos. El valor promedio de la distribución probabilística calculado por este método volumétrico es de aproximadamente 224 MW para un



plazo de 30 años, con una desviación estándar de 120 MW. El 10° percentil de la distribución es aproximadamente 100 MW (es decir, hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor). El valor mediano (50 percentil) de la capacidad es de aproximadamente 198 MW, y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es de aproximadamente 18 MW/km<sup>2</sup>.

Las reservas potenciales asociadas con todo el complejo volcánico-magmático se han estimado como reservas de Categoría 3 (ver el Anexo B del Volumen I). La suma de estas reservas potenciales da una estimación total de 676 MW, basándose en el valor medio de la distribución probabilística. Las reservas de Categoría 2 son una estimación más refinada de la magnitud de un sub-grupo de las reservas calculadas por la metodología de la Categoría 3 y no incrementan el potencial máximo estimado para la Categoría 3.

Estos métodos probabilísticos indican que existe una fuerte probabilidad de que las reservas disponibles de calor sean suficientes para alimentar un proyecto de generación de energía de tamaño importante, especialmente en la zona del Volcán Casita. Sin embargo, los resultados no prueban de manera concluyente que exista un recurso geotérmico comercialmente explotable. Es necesario que exista también un volumen suficiente de roca permeable que permita la convección del fluido. Por lo tanto el desarrollo de un yacimiento explotable tendrá que ser demostrado mediante la exploración adicional y, en última instancia, la realización de perforaciones profundas.

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

- baja probabilidad de conflictos con otros usos de la tierra y con el turismo;
- posibilidad de construcción de caminos, sitios de perforación y otras instalaciones en la mayoría de las zonas de elevación baja e intermedia, y también en algunos sectores más elevados;



- el agua para la perforación y otras actividades de desarrollo será probablemente fácil de obtener en la mayoría de las zonas;
- disponibilidad de materiales, servicios y otras necesidades de infraestructura por medio de conexiones por carretera con las ciudades e instalaciones portuarias cercanas;
- las principales líneas de transmisión de la red eléctrica nacional pasan por el área, cerca de las zonas con probable potencial de desarrollo geotérmico;
- el desarrollo geotérmico acarrearía beneficios a la comunidad, incluyendo un incremento en la tasa de empleo y una diversificación de la economía local; y
- la población local proporcionará una fuente abundante de mano de obra para todas las actividades a desarrollar.

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- el desarrollo de la zona identificada como la más promisoría puede requerir la construcción y mantenimiento de una extensa red de caminos;
  - la tenencia de la tierra en el área puede conducir a conflictos con los principales propietarios, en aspectos relacionados con el uso de la tierra y de acceso a los sitios de interés;
  - la existencia de ciertas zonas ambientalmente sensibles, la existencia de una Reserva Natural y el posible establecimiento de un Parque Nacional dentro del área;
  - la disponibilidad de personal local con habilidades y entrenamiento especializados puede ser limitada;
- y



- partes del área están sujetas a ciertos peligros geológicos, los cuales tendrán que ser evaluados y tomados en consideración al momento de planear y llevar a cabo actividades de desarrollo geotérmico.

La Tabla I-3.4 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.

En el volcán Casita existe suficiente evidencia como para inferir la presencia de un importante sistema geotérmico de alta temperatura, el cual podría tener la capacidad de alimentar un proyecto de generación eléctrica de tamaño apreciable. La información disponible es suficiente para clasificar el área dentro de la etapa de investigación de pre-factibilidad, y para completar esta etapa se recomienda realizar los siguientes estudios ([Tabla I-3.5](#)):

- Estudios geoelectricos (MT, AMT o CSAMT) con densidad de estaciones de mediano a alta, que cubran por lo menos la cumbre del volcán y una amplia porción de su flanco NE (25-50 km<sup>2</sup>).
- Un estudio gravimétrico detallado, que cubra una área más amplia que la que se recomienda para el estudio geoelectrico.
- Estudios geológicos (análisis detallado de fotografías aéreas e imágenes de satélite, investigaciones de campo, según se requiera, y posiblemente, determinación de la edad de algunos productos seleccionados del volcán).
- Evaluación general de los resultados y preparación de un informe de pre-factibilidad que incluya los planes de trabajo para una sucesiva etapa de factibilidad.

En combinación con el resto de las actividades de la etapa de pre-factibilidad (administración, concesiones, etc.; [Tabla I-3.5](#)) el presupuesto total mínimo debería ser de aproximadamente \$515,000 a \$540,000.



Las investigaciones de factibilidad para un desarrollo inicial de hasta 50 MW deben consistir de las siguientes actividades básicas (Tabla I-3.6), con un presupuesto total de unos \$5,800,000:

Actividades relacionadas con la obtención de permisos requeridos por las instituciones del gobierno, para proceder con la perforación profunda.

- Perforación de dos pozos para producción y de un pozo para inyección profundos, con respectivos estudios y evaluación. El costo de la perforación puede estar entre \$3,000,000 a \$4,000,000, dependiendo del tipo y el diseño de los pozos.
- Pruebas de producción e inyección, para determinar el comportamiento de los pozos y del yacimiento geotérmico y para obtener datos sobre la química de los fluidos.
- Evaluación integrada del recurso geotérmico, y análisis técnico - económico del desarrollo planeado, incluyendo selección preliminar de la tecnología para la planta eléctrica, diseño conceptual del campo de pozos e instalaciones de la planta, evaluación de los costos de desarrollo y pronósticos de los ingresos económicos del proyecto.

El presupuesto necesario puede ser mayor si se planea un desarrollo inicial superior a 50 MW, o si se encuentran requerimientos logísticos o restricciones a las actividades de desarrollo mayores a las previstas.

### 3.4 Volcán Telica - El Ñajo

El área Volcán Telica - El Ñajo se ubica en la Cordillera de los Marrabios, a unos 70-80 km al NO de Managua y unos 20 km al NE de León. El área se extiende sobre las laderas del macizo volcánico de Telica y, en particular en su sector septentrional, en donde se encuentran las manifestaciones termales de El Ñajo y El Carol (Figura I-3.4.1). No existen importantes centros de población hacia el interior del área. El estudio presentado ha tomado en consideración todo el sector del complejo volcánico de Telica, con exclusión de su





extremidad oriental, la cual es parte de otro informe específico que trata el área de San Jacinto - Tizate (Volumen V).

El Volcán Telica es un edificio compuesto, con morfología general de escudo y forma alargada en sentido E-O, cuyas elevaciones varían desde la planicie de la Depresión Nicaragüense (50-100 m s.n.m.) hasta 1,061 m s.n.m.. La cumbre del complejo volcánico está constituida por una pendiente de 3.5 km de largo, conformada por una secuencia de cráteres que marcan un desplazamiento progresivo de la actividad volcánica desde el E (Volcán San Jacinto o El Listón) hacia el O (Volcán Telica actual). Al SE y al NO del edificio principal se encuentran dos conos menores y en los límites E y O del macizo volcánico afloran residuos de edificios más antiguos.

En la ladera N del complejo volcánico hay un profundo y estrecho valle, controlado por un sistema de fallas N-S, donde se encuentra la zona de manifestaciones termales de El Carol. La zona de El Ñajo yace a unos dos km hacia el E. Todo el macizo volcánico esta cruzado por una densa serie de alineamientos tectónicos y/o fallas de rumbo variable entre ENE-OSO y NE-SO, los cuales controlan marcadamente la forma general y la evolución del edificio. Al NO del complejo volcánico, en el sector comprendido entre el Volcán Telica y el contiguo complejo del Volcán Casita, se observa una zona de falla con una serie de dislocamientos orientados NE-SO y NNE-S SE.

El edificio del Volcán San Jacinto yace sobre formaciones volcánicas más antiguas. Está en su mayoría compuesto por flujos de basalto con edades de 50,000-100,000 años y se encuentra cubierto por productos volcánicos con edad mínima en el rango 6,400 - 13,000 años. Las únicas lavas de esta secuencia que parecen tener una composición un poco más ácida yacen en su porción inferior.

El Volcán Telica presenta la estructura de un amplio escudo muy similar al Volcán San Jacinto, pero con un cráter activo. En general se puede subdividir su secuencia de productos volcánicos en una unidad inferior, principalmente lávica, y una unidad superior, predominantemente piroclástica. Todos los productos del Volcán Telica presentan una composición basáltica, con excepción de algunos más antiguos que son de



composición andesítico-basáltica. El volcán ha mantenido una actividad casi continua en tiempos históricos, aunque sus emisiones han sido principalmente de gas y vapor con ocasionales erupciones de cenizas.

El complejo del Telica se ha formado en una zona de debilidad estructural, la cual ha facilitado una rápida subida del magma hacia la superficie y ha limitado la ocurrencia de importantes procesos de diferenciación por residencia del magma a nivel de la corteza. Sus productos atestiguan una derivación desde magmas bastante primitivos, pero existen también ciertos indicios, tales como la presencia de amplios cráteres, productos de erupciones freatomagmáticas y el estilo explosivo de su actividad reciente, que atestiguan la ocurrencia de procesos relacionados con cámaras magmáticas emplazadas a niveles relativamente someros.

En toda el área existe un acuífero freático, ampliamente utilizado por la población local, el cual se encuentra a profundidades variables, desde pocos metros en la planicie al N del Volcán Telica a más de 80 m en las porciones inferiores de las laderas volcánicas.

Las zonas termales de El Ñajo y El Carol yacen a elevaciones de 300 a 500 m s.n.m. y están caracterizadas por fumarolas, intensa alteración hidrotermal y manantiales termales asociados. En ambas zonas se han reportado temperaturas de hasta 102°C. En El Carol existe un área principal con actividad termal que cubre aproximadamente una hectárea, pero hacia el N existen manifestaciones termales (manantiales) a distancias de hasta un km. Las manifestaciones de El Ñajo son más amplias e incluyen dos áreas termales principales y tres áreas menores incluidas en una zona de aproximadamente dos km<sup>2</sup>. Al N y al NE de la zona termal de El Ñajo, a elevaciones de aproximadamente 200 m s.n.m., existen algunos manantiales tibios con temperatura de hasta 48°C.

Los gases emitidos por las fumarolas de El Ñajo y El Carol son mezclas de componentes de origen magmático, aire disuelto en aguas subterráneas y CO<sub>2</sub> (dióxido de carbón) de origen hidrotermal, que indican temperaturas de equilibrio geoquímico de 240°C y posiblemente superiores a 300°C. La química de los gases sugiere, aunque con ciertas dudas, que las manifestaciones de El Carol corresponden a una zona directa de ascenso de fluidos geotérmicos profundos, mientras que El Ñajo aparenta tener más las características de una



zona de descarga lateral del sistema. Todos los manantiales asociados con estas manifestaciones termales son de agua meteórica calentada por mezcla con vapor y/o por conducción.

Otras zonas fumarólicas se encuentran en el cráter activo del Volcán Telica, con temperaturas de 650°C a 850°C. En algunos puntos de la cumbre del volcán, a distancias de uno a dos km al E y SE del cráter actual, se han medido temperaturas en el rango de 50° a 100°C.

En la parte inferior de la ladera septentrional del Telica y en la planicie adyacente existen varios pozos someros con agua tibia. Estos pozos definen una faja alargada en sentido N-S que empieza tres km al N de las fumarolas de El Ñajo y se extiende hasta por cinco km hacia el N, donde existe un manantial tibio al margen de una amplia zona pantanosa. La temperatura del agua en estos pozos anómalos varía generalmente entre 30° y 42°C, pero en dos lugares distintos alcanza 48°C y 51°C. La anomalía térmica se asocia con una anomalía química evidentemente derivada de procesos de mezcla entre las aguas freáticas y fluidos de origen geotérmico de tipo Na-Cl (sodio-cloruro). Los efectos de estos procesos de mezcla se reconocen, aunque débiles, en pozos ubicados a distancias de hasta 15 km al NNE de El Ñajo, dentro del área de estudio Volcán Casita - San Cristóbal. Existe evidencia química que indica que el componente Na-Cl original puede tener una temperatura bastante alta (de 240° a 260°C).

El área ha sido objeto de investigaciones geofísicas enfocadas en el sector de El Ñajo, efectuadas por las empresas Intergeoterm y Unocal Geotérmica Nicaragua (UGN) durante los años 1990, y de otras investigaciones previas, a nivel de reconocimiento regional y/o enfocadas sobre la cercana zona de San Jacinto - Tizate. En el área de El Ñajo, Intergeoterm reportó una capa superficial (200-300 m de espesor) con elevada resistividad sobreyacente a una zona conductiva (500-100 m de espesor) de resistividad variable la cual cubre un basamento resistivo. La unidad conductiva fue interpretada como un indicio de un yacimiento geotérmico somero con su correspondiente capa sello. Las investigaciones de Intergeoterm identificaron también dos fuertes anomalías conductivas, una asociada con las fumarolas de El Ñajo y otra, más al NO, en correspondencia con una supuesta zona de intersección de fallas.



Los mapas gravimétricos y de conductividad obtenidos por UGN no indican ninguna anomalía de interés en el área de El Ñajo, pero la distribución de la resistividad a niveles someros evidencia una larga y angosta faja de baja resistividad (10 ohm-m), que se extiende desde El Ñajo hacia el N en correspondencia con la zona de anomalía térmica y química observada en los pozos someros mencionada anteriormente.

El área está sujeta al riesgo sísmico general de la región Pacífica de Nicaragua, y también a cierta actividad sísmica generada por movimientos telúricos y/o eventos volcánicos locales. Los casos más recientes corresponden a un terremoto en 1938 que destruyó la ciudad de Telica y un enjambre sísmico registrado en la zona en 1977, ambos acompañados por cierta actividad volcánica. La zona de El Ñajo no parece estar sujeta a importantes riesgos volcánicos, ya que se ubica en la ladera N del aparentemente extinto Volcán San Jacinto y la mayoría de las potenciales coladas de lava provenientes del Volcán Telica se verterían en su ladera S y SO o al N, pero al O de El Carol. La caída de productos explosivos estaría también limitada ya que los vientos predominantes tienden a transportarlos hacia el O y NO, mientras que la zona de interés geotérmico se ubica al NE del cráter.

El riesgo de derrumbe no es muy alto en las laderas septentrionales del complejo volcánico, pero puede ser localmente importante, en correspondencia con las zonas de alteración hidrotermal. En varios puntos del complejo volcánico y de las planicies adyacentes existen riesgos de erosión acelerada y de inundaciones durante la temporada de lluvias.

La situación geotérmica del área Telica - El Ñajo está caracterizada por una fuente de calor magmático en evolución a niveles relativamente someros que se encuentran por debajo del edificio volcánico. Debajo de la ladera septentrional del volcán Telica se produce un ascenso de aguas geotérmicas de tipo Na-Cl, con temperaturas de por lo menos 240°C (Figura I-3.4.1). A partir de esta zona general de ascenso existe un flujo de agua geotérmica que se desplaza a niveles relativamente someros hacia el N, generando anomalías térmicas, químicas y geoeléctricas. Inmediatamente al N de las zonas termales de El Ñajo y El Carol existe evidencia de que las aguas del acuífero freático son calentadas por conducción desde abajo, sin



contaminación con agua geotérmica. Más al N el agua geotérmica profunda, de tipo Na-Cl, logra subir hacia la superficie contaminando y calentando los acuíferos freáticos superficiales.

En el sector que incluye las manifestaciones termales de El Ñajo y El Carol existen suficientes indicios para inferir la presencia de un sistema hidrotermal potencialmente explotable. Las reservas energéticas del sistema geotérmico asociado con esta zona se estimaron como reservas de Categoría 2, de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados en base al modelo conceptual del sistema geotérmico, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos. El valor promedio de la distribución probabilística de reservas energéticas es de aproximadamente 127 MW para un plazo de 30 años, con una desviación estándar de 56 MW. El 10° percentil de la distribución es de aproximadamente 65 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 115 MW, y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es de aproximadamente 20 MW/km<sup>2</sup>.

Las reservas potenciales asociadas con todo el complejo volcáno-magmático de Telica se han estimado como reservas de Categoría 3 (ver el Anexo B del Volumen I). Sobre la base del valor promedio de la distribución probabilística, el total de reservas potenciales es de 307 MW. Sin embargo, este potencial está compartido entre el área de Volcán Telica - El Ñajo y el área de San Jacinto - Tizate, las cuales ocupan partes del mismo complejo volcánico.

Las reservas de Categoría 2 llevan un mayor nivel de certeza que aquellas de Categoría 3, tanto en lo que respecta a la precisión del cálculo como en la localización inferida del recurso geotérmico. Sin embargo, estos resultados son representaciones estadísticas del potencial del área y no prueban en forma concluyente que exista un recurso geotérmico comercialmente explotable. La confirmación del recurso requiere de la perforación y prueba de pozos productores, para demostrar que existe un yacimiento con suficiente permeabilidad para permitir la extracción económica del calor.



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

- cercanía y facilidad de acceso desde las ciudades de León y Managua, con todas las correspondientes ventajas de tipo logístico;
- relativa facilidad de acceso local, a través de un anillo de caminos periférico al macizo volcánico, y condiciones morfológicas favorables en la mayoría del área;
- buena conexión con toda la infraestructura principal de transporte del país, a través de las carreteras nacionales No. 12 y No. 26, que respectivamente corren al SO y al SE del macizo volcánico;
- relativa facilidad de conexión al sistema de transmisión eléctrica en la subestación eléctrica principal de León, ubicada a unos 20 km al S del área;
- bajo potencial de conflictos de carácter social; y
- limitados problemas o restricciones de disponibilidad de terreno (a menos que surjan problemas locales con los dueños de los terrenos).

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- el suministro de agua para las operaciones de perforación requiere de la perforación de pozos de agua (sin embargo, las condiciones hidrogeológicas son bastante favorables);
- existe la Reserva Natural del Volcán Telica, a elevaciones superiores a 300 m s.n.m.; y
- existe riesgo de tipo volcánico y sísmico (cuya magnitud es común en la mayoría de las áreas geotérmicas localizadas en regiones volcánicas activas).



La Tabla I-3.7 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.

La evaluación global en el área permite apreciar que, aunque existen algunos puntos sensibles de tipo local, no se reconocen problemas importantes de tipo logístico, infraestructural y socioeconómico que impongan limitaciones importantes a la viabilidad de un proyecto de exploración y desarrollo geotérmico en el macizo volcánico de Telica.

Considerando el trabajo exploratorio realizado hasta la fecha y el nivel de definición del recurso geotérmico en la zona de El Ñajo - El Carol, el área Volcán Telica - El Ñajo puede clasificarse a un nivel de investigación que cumple con los requerimientos de la etapa de pre-factibilidad. Las actividades sucesivas deberían ser específicamente dirigidas a demostrar la factibilidad de generación económica de energía eléctrica a partir de este recurso. Basándose en el nivel estimado de reservas de energía recuperable, para fines de un estudio de factibilidad, sería razonable considerar un desarrollo inicial comprendido entre 20 y 50 MW.

Por lo tanto, las investigaciones de factibilidad deben incluir las siguientes actividades básicas (Tabla I-3.8).

- Selección de por lo menos dos sitios para perforar pozos profundos de producción y un pozo de inyección, y diseño de los pozos, basándose en los estudios realizados hasta la fecha.
- Estudios ambientales y obtención de permisos para realizar las actividades, según lo requieran las agencias de gobierno, para proceder a realizar las perforaciones profundas.
- Perforación de los pozos profundos, con los correspondientes registros, mediciones y estudios de evaluación adecuados.
- Pruebas de producción e inyección para determinar el comportamiento de los pozos y del yacimiento geotérmico y para obtener datos sobre la química de los fluidos.



- Evaluación integral del recurso geotérmico que incluya: la actualización del modelo conceptual, la re-estimación de las reservas potenciales de energía recuperable y la evaluación de los requerimientos para la perforación, de acuerdo con el desarrollo planeado del proyecto.
- Análisis técnico-económico del desarrollo planeado, con la selección preliminar de la tecnología de la planta geotermoeléctrica, diseño conceptual del campo de pozos y de las instalaciones de la planta, evaluación de los costos de desarrollo y pronóstico sobre los ingresos a ser generados por el proyecto.

El presupuesto total mínimo para la ejecución de estas actividades de factibilidad se estima en el rango de \$5.7 millones, dependiendo principalmente del diámetro y la profundidad de los pozos a perforarse.

### 3.5 San Jacinto - Tizate

El campo Geotérmico de San Jacinto - Tizate está ubicado en la Cordillera de los Marrabios, distante unos 75 km al NO de Managua, 10 km al NE de Telica, y 20 km al NE de León. La Carretera Nacional No. 26 pasa por el límite meridional del área, la cual se desarrolla inmediatamente al N del poblado de San Jacinto, en una zona plana y de relieves moderados, que constituyen la base de la ladera oriental del macizo volcánico de Telica (Figura I-3.5.1). A unos 2 km al N de San Jacinto está ubicada la localidad de El Tizate. Para efectos del presente estudio, además del área del campo geotérmico delimitada por las investigaciones realizadas anteriormente, se tomó en consideración la ladera oriental del complejo volcánico de Telica, parte de la planicie adyacente, en la cual se encuentran también estructuras volcánicas de cierto interés, y el macizo del Volcán Rota, que se levanta inmediatamente al S.

Durante los años 1992-1995 la empresa Intergeoterm S.A. realizó investigaciones exploratorias y perforaciones profundas en un área de concesión geotérmica con una superficie de 90 km<sup>2</sup> alrededor de la zona de San Jacinto - Tizate. Los pozos fueron perforados en un área de cinco a seis km<sup>2</sup>, en la cual existe un yacimiento geotérmico de interés comercial a profundidades relativamente someras. Algunos de los pozos ubicados en la zona de El Tizate han encontrado también un yacimiento más profundo, pero su extensión no está completamente definida.





El Volcán Telica es un edificio compuesto, con morfología general de escudo y con elevación máxima de 1,061 m s.n.m. A partir del Volcán San Jacinto, que constituye la porción oriental del macizo volcánico, el volcanismo ha migrado hacia el O, hasta alcanzar el sitio donde se encuentra el cráter actual y activo del Volcán Telica, el cual se encuentra unos siete km al O del campo geotérmico. El Volcán Santa Clara es un cono de menor tamaño, ubicado en la base meridional del Volcán San Jacinto, hacia el SO del campo geotérmico, y presenta evidencia indirecta de actividad volcánica posiblemente de una edad inferior a los 10,000 años. La actividad de los varios centros del complejo volcánico de Telica ha sido principalmente de tipo efusivo, con rocas de composición variable entre basáltica y andesítica, con predominancia de los términos basálticos.

La base del complejo está constituida por formaciones volcánicas datadas alrededor de los 360,000 años, y que afloran en relieves muy erosionados en la extremidad oriental del macizo volcánico, inmediatamente al E del campo en donde se encuentran ubicados los pozos geotérmicos. Otras estructuras volcánicas relativamente viejas incluyen el Volcán Rota, ubicado inmediatamente al SSE del campo geotérmico, y una serie de estructuras de explosión, conos de escorias y domos dacíticos, datados alrededor de los 150,000 años, que se encuentran a unos tres km al NE del campo.

Los pozos profundos del campo han penetrado una secuencia compuesta por 100 - 300 m de rocas relativamente jóvenes del complejo volcánico del Telica, 300 - 400 m de rocas volcánicas más antiguas de la cordillera de los Marrabios, 500 - 600 m de rocas volcánicas aún más antiguas, correlacionadas con las formaciones volcánicas terciarias que afloran más al N, en la zona de la Mina El Limón, y, finalmente, a partir de 850-950 m de profundidad, una secuencia volcanoclástica de lutitas y areniscas rojas, conglomerados y brechas, intercaladas en forma variable con productos volcánicos primarios (lavas y tobas). Al interior de la secuencia, en varios de los pozos y a diferentes profundidades, se han reportado también rocas subintrusivas, en forma de diques y pequeños cuerpos subvolcánicos.

La zona de San Jacinto - Tizate presenta varias fallas normales con rumbo aproximadamente NS, las cuales generan una estructura hundida que se extiende desde El Tizate hacia el S y es generalmente conocida como



el Graben de San Jacinto. El conjunto de estas estructuras en combinación con otras con rumbos NE y NO parece definir un sistema incipiente de "rift" con dirección N- S.

El área está sujeta al riesgo sísmico general de la zona Pacífica de Nicaragua. Un terremoto ocurrido en 1938 destruyó la ciudad de Telica, ubicada a unos 10 km al SO, y un enjambre sísmico fue registrado en 1997 al NO de Volcán Santa Clara. Ambas actividades sísmicas fueron acompañadas por una incipiente actividad volcánica del Telica. A pesar de que el Volcán Telica ha mantenido una actividad casi continua en tiempos históricos, el área de San Jacinto - Tizate no aparenta estar sujeta a riesgos volcánicos importantes. Las condiciones morfológicas del edificio hacen imposible que las coladas lávicas del Telica puedan afectar al área en estudio, y la caída de productos explosivos estaría también limitada ya que los vientos predominantes tienden a transportar estos productos hacia el O y el NO. Tampoco existen riesgos importantes de derrumbes o inundaciones que puedan limitar el desarrollo de las obras geotérmicas, pero se considera oportuno efectuar evaluaciones específicas de las condiciones locales antes de planificar cualquier obra de cierta importancia.

En la zona del campo geotérmico existen dos manifestaciones fumarólicas principales, ubicadas respectivamente en El Tizate y en San Jacinto, a una distancia de tres km una de la otra. Las fumarolas de El Tizate son muy débiles y se reducen a unos pocos puntos dentro de un área de alteración hidrotermal, mientras que en San Jacinto la manifestación termal está caracterizada por hervideros de lodo, intensa alteración hidrotermal, escapes de vapor y suelos calientes. En el sector comprendido entre las dos áreas fumarólicas existen algunos manantiales con temperatura de hasta 40°C, los cuales representan la descarga del acuífero somero. En total las manifestaciones termales ocurren en un área de dos km<sup>2</sup>, alineada a lo largo de la falla que se encuentra en el borde oriental del Graben de San Jacinto.

Intergeoterm, S.A. perforó siete pozos en el campo de San Jacinto - Tizate con profundidades que variaron entre 724 m y 2,335 m. Estos pozos fueron perforados siguiendo un esquema constructivo que es típico de los pozos geotérmicos comerciales, con la única diferencia que las tuberías de ademe utilizadas eran de



fabricación rusa, con diámetros diferentes a los estándares corrientemente utilizados en los países occidentales y/o con tipos de acero que no son utilizados corrientemente en la industria geotérmica.

El primer pozo (SJ-1), ubicado en la proximidad del área termal de San Jacinto, encontró zonas permeables relativamente someras (350 - 1,100 m) con temperaturas moderadas (180 - 190°C), pero nunca fue posible inducirlo a la producción. Por debajo de 1,200 m, hasta la profundidad total de 2,322 m, este pozo encontró rocas impermeables. El segundo pozo, (SJ-2) ubicado a unos tres km al SO, resultó impermeable y claramente ubicado fuera del sistema hidrotermal. Los cuatro pozos sucesivos fueron perforados en la zona de El Tizate y todos encontraron temperaturas elevadas (265 - 290°C). El pozo SJ-4 logró encontrar una zona somera altamente permeable y productiva, a una profundidad de aproximadamente 600 m, y los otros tres pozos restantes (SJ-3, SJ-5 y SJ-6) fueron terminados en zonas de permeabilidad moderada, a profundidades por debajo de 1,700 m. La perforación del último pozo (SJ-7), se realizó en la zona intermedia entre San Jacinto y El Tizate, pero tuvo que ser abandonado a la profundidad de 1,260 m, a causa de la suspensión del proyecto. La extrapolación de los datos térmicos registrados al final de la perforación indica una temperatura estabilizada alrededor de 215°C al fondo, lo cual confirma la gradual reducción de las temperaturas en el reservorio hacia el S de la zona de El Tizate.

Las pruebas de producción realizadas en los pozos en la zona de El Tizate han indicado una disponibilidad total de vapor de aproximadamente 25 MW, la cual deriva de sumar unos 15 MW producibles por el pozo SJ-4 que está terminado en la zona somera y productividades que varían entre tres y cinco MW en los otros dos pozos profundos (SJ-5 y SJ-6). Todos estos pozos están ubicados a distancias uno del otro que no superan los 500 m, y en su conjunto cubren un área de tan sólo 0.5 km<sup>2</sup>. Esto representa una limitación desde el punto de vista de exploración del recurso, ya que los pozos disponibles no permiten delinear su extensión efectiva. Además, la presencia en varios de los pozos de daños causados durante su perforación o terminación impide la evaluación completa de su potencial de producción.

El yacimiento geotérmico contiene aguas de tipo Na-Cl (sodio-cloruro), con pH neutro, que resulta típico de sistemas hidrotermales con temperatura moderada a alta contenidos en rocas volcánicas jóvenes. El fluido



proveniente de la parte más profunda contiene 1,800 mg/1 de Cl a 265°-280°C, mientras que el pozo más somero encontró fluidos con 2,400 mg/1 de Cl a 265°C. En la zona de flujo lateral hacia el S, el pozo SJ-1 encontró fluidos con unos 3,800 mg/1 de Cl a 190°C. Es probable que el fluido original, proveniente de una mayor profundidad en el yacimiento, contenga aproximadamente 2,700 mg/1 de Cl a 300°C.

En términos generales la composición del gas disuelto en el agua profunda no parece anómala, siendo representada por un 95% en volumen de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbón) y por 1- 5% en volumen de H<sub>2</sub>S (sulfuro de hidrógeno). La proporción de gases en el vapor es de aproximadamente 0.5 a 1.5% en peso y los valores más razonables de H<sub>2</sub>S en el vapor son de aproximadamente 300 a 600 ppm en peso. Estas concentraciones son relativamente bajas y no deberían constituir un impacto importante sobre la eficiencia de producción de energía ni sobre los costos de abatimiento del H<sub>2</sub>S, de ser éste necesario.

Entre 1970 y 1998, en el área de San Jacinto - Tizate y otros sectores aledaños, se realizaron investigaciones geofísicas (levantamientos gravimétricos, magnetométricos, y geoelectrónicos) a nivel de reconocimiento, prefactibilidad y factibilidad, conducidos en siete períodos distintos.

Estos estudios cubrieron áreas desde tres km<sup>2</sup> hasta 350 km<sup>2</sup>. La máxima profundidad de exploración de los sondeos geoelectrónicos fue de aproximadamente 2.5 km o posiblemente mayor. Desde 1970 hasta 1998 la tecnología de los equipos y algunos de los métodos de interpretación geofísica mejoraron en una forma importante, lo que permitió obtener datos que eran siempre más confiables sobre el área.

En general, la información disponible indica que la extensión y la profundidad de la actividad hidrotermal somera en la zona de San Jacinto - Tizate han sido bien definidas a través de las investigaciones geofísicas realizadas, los resultados de las cuales han encontrado cierta confirmación en los datos obtenidos de los pozos perforados. Existen, por otro lado, dudas acerca de la extensión del recurso a profundidad y, en particular, sobre la conformación de las zonas productivas que fueron encontradas por los pozos en El Tizate a profundidades mayores a 1.700 m.



Es probable que el recurso geotérmico se origine a partir de una fuente de calor magmática ubicada debajo del Volcán San Jacinto, aunque no se puede excluir la posibilidad de una contribución de calor relacionada con los domos dacíticos y otras estructuras ubicadas al NE del campo geotérmico. La zona de ascenso de fluidos profundos que alimentan el sistema hidrotermal se ubica en o cerca de El Tizate, con extensiones posibles hacia el N, el NE o el NO (Figura I-3.5.2). A partir de la zona de ascenso, los fluidos geotérmicos se desplazan lateralmente hacia el S, a profundidades que varían entre 400 y 1,200 m, al interior de la estructura del Graben de San Jacinto (aunque no se puede excluir la posibilidad de que existan otros flujos profundos con otro rumbo). La temperatura máxima medida en los pozos es de 290°C, y todos los pozos perforados en la zona de El Tizate han encontrado temperaturas superiores a 265°C. Los geotermómetros químicos indican valores de aproximadamente 300°C para el sistema geotérmico profundo. En la zona somera las temperaturas disminuyen hacia el S.

Las reservas energéticas del sistema geotérmico se han estimado como reservas de Categoría 1, según la metodología volumétrica probabilística descrita en el Anexo B del Volumen I. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados con base al modelo conceptual del sistema geotérmico, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos. El valor promedio de la distribución probabilística de reservas calculada por este método es de aproximadamente 161 MW para un plazo de 30 años, con una desviación estándar de 62 MW. El 10° percentil de la distribución es de aproximadamente 90 MW (es decir, hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor). El valor mediano (50 percentil) de las reservas es de aproximadamente 151 MW, y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es de aproximadamente 22 MW/km<sup>2</sup>.

Existe una gran probabilidad que las reservas disponibles de calor sean suficientes para justificar el desarrollo de un proyecto inicial, y la incertidumbre en la estimación de las reservas disminuirá conforme se obtenga información adicional con la perforación de pozos adicionales y se proceda a la ampliación del desarrollo del campo. La presencia de reservas de energía calculadas con el método volumétrico no asegura que dichas reservas puedan ser recuperadas económicamente para la producción de electricidad. Los pozos perforados en el campo hasta la fecha demuestran que, por lo menos, una parte de estas reservas puede ser



explotada mediante pozos geotérmicos, pero no es recomendable planear una posible explotación masiva de las reservas de calor disponibles sin haber antes perforado pozos productores adicionales.

En forma separada, DAL (1995) realizó una estimación del potencial energético del campo geotérmico de San Jacinto. Dicha estimación fue derivada a partir del modelo numérico de simulación del reservorio, el cual se basó a su vez en resultados provenientes de un limitado número de pozos que habían sido perforados en este campo. Esta estimación indicaba un potencial probado de 35 MW, un potencial probable de 60 MW y un potencial posible de 90 MW para un período de vida del proyecto de 20 años.

Las dos estimaciones no pueden ser comparadas directamente, debido a que la metodología de estimación de potencial realizada por DAL (1995), difiere sustancialmente del método probabilístico volumétrico que se utilizó en el presente estudio para estimar las reservas recuperables de energía. En particular, la estimación basada en la simulación numérica está profundamente afectada por el número y los resultados de los pozos que han sido perforados en el campo, y por lo tanto es menos propensa a reflejar el volumen real de energía que podría ser económicamente recuperable si el campo fuese expandido exitosamente por medio de perforaciones adicionales.

Las reservas potenciales asociadas con el complejo volcánico de Telica y con el complejo del Volcán Rota se han estimado como reservas de Categoría 3, según la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Sobre la base del valor promedio de la distribución probabilística, las reservas potenciales asociadas con el complejo magmático de Telica son de 307 MW, y las reservas asociadas con el Volcán Rota se estiman en 61 MW. Se debe anotar que el potencial del complejo de Telica está compartido entre las áreas de San Jacinto - Tizate y Volcán Telica - El Ñajo.

Los resultados de la estimación son una representación estadística del potencial total del área, así que el tamaño de las reservas comercialmente explotables debe de ser demostrado, en última instancia, mediante la perforación de pozos. Las reservas de Categoría 1 no aumentan el potencial máximo indicado por lo estimado en la Categoría 3, pero conllevan un mayor nivel de certeza que aquellas de Categoría 3, en lo que se refiere a la precisión del cálculo y a la localización inferida del recurso geotérmico.



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

- cercanía y facilidad de acceso desde las ciudades de León y Managua;
- facilidad de acceso local, a través de los caminos existentes, y condiciones topográficas favorables en la mayoría del área;
- buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país;
- subestación eléctrica principal del Sistema Interconectado Nacional ubicada unos 20 km al S del área;
- bajo potencial de conflictos de carácter social; y
- limitados problemas o restricciones de disponibilidad de terrenos (a menos que no se logren resolver los problemas existentes con los propietarios de los terrenos, o que surjan nuevos problemas).

Existen, por otro lado, aspectos que pueden implicar ciertas restricciones o problemas como por ejemplo, la presencia de la Reserva Natural del Volcán Telica. Esta no interfiere directamente con la zona actualmente conocida del campo geotérmico, pero podría dificultar la ampliación de la exploración hacia el O, o imponer limitaciones relacionadas con su zona de amortiguamiento, que está actualmente en fase definición. La evaluación global de la situación permite, sin embargo, considerar que, aunque existan a nivel local puntos sensibles, no se reconocen problemas de tipo logístico, infraestructural o socioeconómico que impongan limitaciones importantes a la viabilidad de un proyecto geotérmico en el área de San Jacinto - Tizate.

La Tabla I-3.9 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.



Los pozos perforados en la zona de El Tizate están incluidos en una área muy limitada (aproximadamente 0.5 km<sup>2</sup>) y, además, están aparentemente afectados por problemas técnicos y daños en la formación, lo cual impone algunas dudas sobre la evaluación efectiva de su potencial. Todo esto limita la evaluación y la definición de las características globales del campo geotérmico, para lo cual se requieren de perforaciones adicionales, dirigidas a mejorar la delimitación y caracterización del recurso.

A pesar de esto, se puede considerar que en el área de San Jacinto - Tizate se han conducido suficientes estudios como para considerarlo dentro de la etapa de factibilidad, para los propósitos de un proyecto inicial. Existen, sin embargo, ciertas incertidumbres como son: la localización de los nuevos pozos de desarrollo, la extensión del yacimiento somero y la selección de la zona de producción (somera y/o profunda), la condición de los pozos existentes y la estrategia de inyección, todo lo cual deberá quedar resuelto como parte del desarrollo del campo. El nivel de riesgo de inversión, representado por estas incertidumbres, está dentro del rango normal de riesgo observado en otros proyectos de desarrollo geotérmico.

La magnitud de la actividad volcánica en el área sugiere que se justificaría una mayor exploración en busca de recursos adicionales y, en este respecto se observa que el complejo volcánico del Cerro Rota no ha sido investigado del todo. Las actividades más adecuadas para el estudio de reconocimiento de esta zona implicarían reconocimientos geológicos de detalle, datación de los depósitos volcánicos, e investigaciones de tipo geofísico (unos ejemplos se presentan en la Tabla I-3.10). La realización de todas estas investigaciones requiere de un presupuesto en el orden de varios cientos de miles de Dólares (tal vez \$410,000), para cumplir con los requerimientos de una etapa de reconocimiento.

### 3.6 El Hoyo - Monte Galán

El área conocida como El Hoyo - Monte Galán corresponde a una zona ubicada a unos 50 km al NO de la ciudad de Managua, comprendida entre el Volcán El Hoyo y el Volcán Momotombo, incluyendo la Caldera de Galán (**Figura I-3.6.1**). A los fines del presente estudio se tomó en consideración el sector de unos 400 km<sup>2</sup> que abarca todo el complejo volcánico de El Hoyo y de la Caldera de Galán.





El área ha sido objeto de repetidos estudios de exploración de tipo geológico/vulcanológico, hidrológico, geoquímico, geofísico e, inclusive ha sido estudiada por medio de pozos someros de gradiente térmico. Los resultados de todos estos estudios definen una situación muy prometedora para el desarrollo geotérmico del área. Un sector importante de la planicie que se encuentra alrededor del Volcán El Hoyo está ocupada por grandes haciendas ganaderas y agrícolas con cultivos intensivos, y la mayor parte del área está escasamente poblada.

Los rasgos fisiográficos del área están dominados por los edificios principales del Volcán El Hoyo (1,088 m s.n.m.) y de la Caldera de Galán, localizada al lado NO del cono del Volcán Momotombo. El Volcán El Hoyo es un edificio compuesto, con morfología general de escudo y de forma alargada en el sentido NE-SO. En su cumbre se observan los remanentes de un viejo y amplio cráter deformado por una falla y parcialmente cubierto por los productos más recientes del cráter actual del volcán. En las zonas marginales al N y al S del macizo volcánico existen dos marcados alineamientos N-S con conos menores y cráteres de explosión freática. El Volcán Cerro Negro, ubicado al margen NO del macizo de El Hoyo, inició su actividad en 1850 y ha sido el volcán más activo de Nicaragua en tiempos históricos.

La Caldera de Galán es una amplia depresión de forma irregular, de unos cuatro km de diámetro, rodeada por un borde caldérico con elevación variable entre 150 y 300 m s.n.m. Al N (y posiblemente al S) de la Caldera de Galán se observan evidencias de otras calderas más viejas que muestran una limitada expresión fisiográfica. El borde O de la caldera está parcialmente cubierto por el cono lávico del Cerro Montoso, mientras que en la zona hacia el O se encuentran dos conos de escorias, el Cerro Colorado y la Loma La Chistata. Todas estas estructuras secundarias están constituidas por productos de composición andesítica y andesítico-basáltica.

Todo el complejo del Volcán El Hoyo, así como el edificio de Galán y las áreas aledañas hacia el S están densamente afectadas por fallas de rumbo variable entre NO-SE, N-S y NE-SO (Zona de Falla de la Paz Centro). La actividad de estas fallas ha persistido durante todo el período del volcanismo cuaternario, y probablemente continúa estando activa.



La actividad del Volcán El Hoyo ha sido principalmente de tipo efusivo, con rocas de composición variable entre andesítica y basáltica. El complejo está conformado por varios centros eruptivos distribuidos sobre un área de 80-90 km<sup>2</sup>. El volcán se formó en correspondencia con una zona de debilidad tectónica, la cual facilitó una rápida subida del magma y limitó la ocurrencia de procesos importantes de diferenciación por residencia del magma a nivel de la corteza. Algunos de los productos volcánicos presentan las características de magmas primitivos, pero otros muestran también ciertos procesos de diferenciación que, junto con la presencia de cráteres de erupción explosiva y con la actividad de degasificación y explosión del Volcán El Hoyo (en 1952-1954) constituyen indicios de actividad relacionada con cámaras magmáticas emplazadas a niveles relativamente someros.

La edad de la Caldera de Galán es reciente y se supone que su hundimiento haya ocurrido a raíz de alguna erupción explosiva. Autores anteriores interpretaron la existencia de una gran cámara magmática ubicada a una profundidad máxima de ocho km por debajo de la caldera. Sin embargo, en el campo no se han encontrado evidencias convincentes de depósitos importantes de pómez o tobas que se hayan derivado de la formación de la Caldera.

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, en toda el área se extiende un acuífero amplio que se encuentra en los depósitos volcánicos y aluviales recientes, altamente permeables, y que reciben una recarga abundante proveniente de los relieves de la cordillera volcánica. La profundidad del agua subterránea varía desde pocos metros hasta algunas decenas de metros, dependiendo de la elevación.

La cumbre del Volcán El Hoyo presenta una importante actividad termal, con una fumarola fuerte en el borde meridional del cráter y otras dispersas de menor intensidad. Además, en amplios sectores de la cumbre existen árboles muertos y escasa vegetación, lo que parece indicar un reciente incremento de la actividad termal en la zona. El volcán activo del Cerro Negro presenta también una actividad fumarólica importante, tanto en el interior de su cráter como en los alrededores del cono. A elevaciones menores, en la ladera N del Cerro Colorado, se encuentra una zona de alteración hidrotermal con temperaturas en el suelo de hasta 99.2°C. En esta zona se observa la presencia dispersa de sublimados blancos y amarillentos y



raramente, se observan también emanaciones efímeras de vapor y se puede apreciar un débil olor a H<sub>2</sub>S (sulfuro de hidrógeno).

La única fuente termal presente en toda el área de El Hoyo - Monte Galán se ubica unos dos km al S del Cerro Colorado. Esta alimenta el curso inferior del Río Obraje y está asociada con una amplia zona pantanosa que se extiende hasta el Lago de Managua. Esta fuente ha sido reportada con un flujo de hasta 15,000 L/minuto (4,000 gal/min) a una temperatura de 46°-48°C, pero actualmente se encuentra inundada a causa del cambio en el nivel del lago ocurrido después del Huracán Mitch en 1998, Varias personas han mencionado la presencia de manifestaciones termales existentes en el interior de la Caldera de Galán (suelos calientes a 50-70°C), pero éstas no fueron ubicadas durante el presente estudio.

Otros indicios de la actividad termal en el área están representados por varios pozos someros, que fueron perforados para aprovechamiento hídrico y para medir el gradiente térmico. Los pozos para aprovechamiento hídrico tienen temperaturas de hasta 55°C, y están ubicados en la zona inmediatamente al N, O y SO del Cerro Colorado. Uno de los pozos de gradiente, perforado inmediatamente al N de Cerro Colorado, alcanzó una temperatura de 76°C, y otro pozo de gradiente perforado en la base de la ladera E de El Hoyo atravesó una zona de intensa alteración hidrotermal con agua a 125°C a tan sólo 80 m de profundidad. El conjunto de pozos de gradiente (todos perforados a finales de los años 1970) delineó una amplia área con gradiente térmico mayor de 30°C/100 m que se extiende en todo el sector comprendido entre el Volcán El Hoyo y el Cerro Colorado.

El manantial del Río Obraje y los pozos someros existentes en el sector central del área, muestran una limitada anomalía de Cl y una evidente correlación entre el contenido de Cl y la temperatura del agua, lo cual puede derivarse a partir de procesos de mezcla entre las aguas someras-frías y una descarga activa de aguas geotérmicas de composición Na-Cl (sodio-cloruro). Las aguas mezcladas se encuentran completamente re-equilibradas en las condiciones de baja temperatura de los acuíferos someros (menos de 100°C) y, aunque sea probable que el agua geotérmica profunda sea más caliente, su temperatura no puede ser estimada a partir de los datos químicos disponibles.



La información geofísica disponible sobre el área de El Hoyo - Monte Galán corresponde a varios estudios realizados entre 1973 y 1998, los cuales incluyen, entre otros, levantamientos gravimétricos, magnetométricos, eléctricos y electromagnéticos de varios tipos. Los resultados de estos estudios evidencian varias anomalías de baja resistividad a profundidades someras e intermedias (generalmente menores de un km), las cuales están asociadas a otras anomalías geofísicas y a la anomalía de gradiente térmico. Todo esto evidencia que el área de El Hoyo Monte Galán muestra indicios importantes de actividad geotérmica. La presencia de núcleos persistentes de microsismicidad localizados por debajo de los principales centros volcánicos sugiere la presencia de zonas de fallamiento activo que pueden estar relacionados tanto con la actividad volcánica como con la actividad hidrotermal en el subsuelo del área.

Considerando la ubicación de las principales anomalías geofísicas, las zonas más interesantes parecen estar ubicadas en el sector NE del Volcán El Hoyo, en el Cerro Colorado y en la Caldera de Galán. Existen indicaciones de que existe una importante zona de ascenso de fluidos geotérmicos directamente por debajo de la porción NE del macizo volcánico de El Hoyo, aunque los datos disponibles no permiten definir con precisión su efectiva ubicación y extensión (Figura I-3.6.1). Es posible que exista también una zona activa de ascenso de fluidos geotérmicos por debajo de la Caldera de Monte Galán.

En cuanto a los riesgos naturales, existe evidencia de actividad sísmica muy reciente y, de nota histórica son los sismos asociados con la actividad del Volcán Momotombo que a principios de los años 1600 destruyeron la antigua ciudad de León, que se encontraba ubicada en aquel entonces en las cercanías del actual Puerto Momotombo. Actualmente en la zona se registran a menudo enjambres sísmicos de moderada y baja intensidad. El principal riesgo volcánico deriva de las erupciones efusivas, con coladas de lava que pueden alcanzar distancias de hasta 10-15 km a partir de los centros eruptivos. Existe también un riesgo potencial de erupciones explosivas, las cuales podrían implicar consecuencias catastróficas, especialmente en los sectores al O del Volcán Momotombo, donde los vientos predominantes desde el E, tienden a acumular los productos de caída piroclástica. Otros riesgos están relacionados con fenómenos de inestabilidad de las laderas volcánicas, mientras que la presencia de amplias zonas bajas, colindantes con el Lago de Managua en el sector SE del área, se relacionan con riesgo local de inundación.



Las reservas energéticas del posible sistema geotérmico ubicado al margen oriental del complejo volcánico de El Hoyo, se han estimado como reservas de Categoría 2, de acuerdo a la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados con base al modelo conceptual del sistema geotérmico, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos. El valor promedio de la distribución probabilística de reservas es de aproximadamente 148 MW para un plazo de 30 años, con una desviación estándar de 75 MW. El 10° percentil de la distribución es aproximadamente de 65 MW; en otras palabras, sobre la base de los valores que fueron asumidos según se menciona anteriormente, existe un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor. El valor mediano (50 percentil) de la capacidad es de 130 MW, aproximadamente, y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es alrededor de 18 MW/km<sup>2</sup>.

Las reservas potenciales asociadas con cada uno de los volcanes mayores (el complejo El Hoyo y la Caldera de Galán) se han estimado como reservas de Categoría 3, utilizando la metodología que se presenta en el Anexo B del Volumen I. El cálculo de las reservas se ha realizado por separado para cada complejo volcánico. Sumando para cada volcán las reservas potenciales asociadas con los complejos magmáticos, se obtienen las siguientes estimaciones medias de las reservas totales (basadas en el valor medio de la distribución probabilística): complejo de El Hoyo 302 MW; Caldera de Galán 189 MW.

Las reservas de Categoría 2 conllevan un mayor nivel de certeza que aquellas de Categoría 3, tanto en la precisión del cálculo, como en la localización inferida del recurso geotérmico; sin embargo, no aumentan el nivel de reservas calculado de la Categoría 3. Las reservas son representaciones estadísticas del potencial del área, y no prueban de manera concluyente la existencia de un recurso geotérmico comercialmente explotable. La confirmación del recurso requiere de la perforación y prueba de pozos productores, para demostrar que existe la suficiente permeabilidad en el yacimiento que permite la extracción económica del calor.



Las informaciones ambientales, infraestructurales y logísticas recolectadas durante las investigaciones del Estudio Plan Maestro permiten evidenciar una serie de factores favorables y desfavorables con respecto a la realización de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en esta área. Los aspectos favorables son:

- relativa cercanía y facilidad de acceso desde la ciudad de Managua, con todas las correspondientes ventajas de tipo logístico;
- facilidad de acceso local y condiciones morfológicas favorables en la mayoría del área;
- buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país;
- presencia de una línea de distribución eléctrica que cruza toda el área (a lo largo del camino La Paz Centro - Malpaisillo);
- cercanía de fuentes de agua para las operaciones de perforación;
- bajo potencial de conflictos de carácter social;
- limitados problemas o restricciones de disponibilidad del terreno; y
- la línea de transmisión de 138 kV que conecta la Planta Geotérmica de Momotombo con la subestación de Los Brasiles (en Ciudad Sandino) corre cercana al límite meridional del área.

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- presencia de Reservas Naturales en los macizos del Volcán El Hoyo y la Caldera de Galán; y
- riesgo volcánico y sísmico (de una magnitud común a la mayoría de las áreas geotérmicas que se desarrollan en regiones volcánicas activas).



La evaluación global permite apreciar que, aunque existan algunos aspectos sensibles, no se reconocen problemas de tipo logístico, infraestructural o socioeconómico que impongan limitaciones importantes a la viabilidad de un proyecto de exploración y desarrollo geotérmico en el área El Hoyo - Monte Galán. La facilidad de acceso, las condiciones relativamente favorables de conexión al sistema de transmisión eléctrica y la relativa cercanía al principal mercado eléctrico nacional (Managua) constituyen, en su conjunto, una condición muy favorable para el desarrollo de un proyecto de generación geotermoeléctrica en esta área.

La Tabla I-3.11 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.

Las investigaciones llevadas a cabo hasta la fecha en el área El Hoyo-Monte Galán son suficientes para casi concluir la etapa de pre-factibilidad. Las investigaciones adicionales requieren de la perforación de pozos para obtener directamente datos del subsuelo. Las actividades de perforación se pueden llevar a cabo en dos maneras distintas, dependiendo del nivel de riesgo que resulte aceptable y de la rapidez con la cual se quieran obtener resultados definitivos:

- Programa Conservador: consistente en realizar un programa de pozos de gradiente adicionales y una síntesis de toda la información disponible, para terminar la prefactibilidad. El costo total de tal programa (Tabla I-3.12) se estima entre \$635,000 y \$765,000.
- Programa Agresivo: consistente en proceder directamente a un programa de perforación profunda. El costo total de este programa (Tabla I-3.13) puede ser de aproximadamente \$5,100,000 para dos pozos de producción y uno de inyección, más pruebas, administración, análisis, síntesis de los resultados, concesiones y permisos ambientales.

Otros escenarios, con niveles intermedios de riesgo, son también posibles, pero se debe hacer énfasis especial en que el área de El Hoyo-Monte Galán se encuentra actualmente bajo concesión y por lo tanto, la definición del proyecto y la selección del curso de acción a tomar para demostrar la factibilidad debe dejarse a criterio del ente desarrollador.



### 3.7 Momotombo

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 (**Figura I-3.7.1**). El acceso al campo se hace a través de la carretera que une el poblado de La Paz Centro con 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 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 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, cercana 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 flujos 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 - 0,7 M. a..

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 al 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 conoce a fondo.

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 geoeléctricos de tipo Schlumberger, dipolo-dipolo axial, electromagnéticos y audiomagnetotéluricos) 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 sería necesario tener una densidad de estaciones mucho mayor. Tampoco son de utilidad los datos magnetométricos existentes. La mayoría de los estudios geoeléctricos 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 Schlumberger (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.

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 emplazada a niveles relativamente someros. La zona de ascenso del fluido geotérmico está ubicada en el sector occidental del área explotada, pero su extensión no está bien definida (**Figura I-3.7.2**).

El fluido geotérmico que asciende por el sector occidental del campo corresponde a fluidos con una temperatura de 325°-330°C, con pH neutro y de tipo Na-Cl (sodio-cloruro) con unos 2,700 mg/l de Cl, típicos de sistemas hidrotermales con temperatura moderadamente alta y desarrollados en rocas volcánicas jóvenes. Los fluidos se desplazan lateralmente hacia el 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.

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<sub>2</sub> (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 preferentemente las coladas lávicas en esa dirección), y los vientos predominan desde el E (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.

Existe 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 constituye 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.



Las reservas energéticas del sistema geotérmico en el campo de Momotombo han sido estimadas como reservas de Categoría I, de acuerdo a la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados con base al modelo conceptual del sistema geotérmico, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos. 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 periodo 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 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 de 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 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.

Las reservas potenciales asociadas con la totalidad del complejo volcánico de Momotombo han sido estimadas como reservas de Categoría 3 (ver el Anexo B del Volumen I). 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 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; y
- 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).

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.





La Tabla I-3.14 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.

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 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 campo 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 (Tabla I-3.15): 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 en una mejor manera la distribución de los gradientes térmicos en todo el sector.

### 3.8 Managua - Chiltepe

El área de Managua-Chiltepe abarca toda la zona volcánica que incluye la Península de Chiltepe y la faja volcánica que se extiende al Sur, generalmente conocida como el "Alineamiento de Nejapa". A los fines del presente estudio se tomó en consideración todo el sector con vulcanismo reciente, que cubre un área de aproximadamente 160 km<sup>2</sup> (Figura I-3.8.1).

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

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



El área está ubicada en una zona con importantes rasgos tectónicos, donde el eje de la cordillera volcánica cuaternaria cambia de rumbo y presenta un desplazamiento lateral, marcado por un alineamiento de pequeños conos y cráteres volcánicos (Alineamiento de Nejapa). En la extremidad septentrional de este alineamiento y rodeado por el Lago de Managua se ubica el edificio volcánico de Chiltepe (Volcán Apoyeque, 518 m s.n.m.), que constituye el núcleo de la Península de Chiltepe.

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

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

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



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

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

- suelos calientes con temperatura de hasta 40°C en la orilla E de la Laguna de Jiloá;
- suelos calientes con temperatura de hasta 86°C en la orilla NE de la Laguna de Apoyeque;
- emisiones gaseosas intermitentes en la Laguna de Apoyeque;
- aguas subterráneas en el flanco O y SO del Volcán Apoyeque con temperaturas de hasta 39°C y composición química anómala, probablemente causada por mezcla con dióxido de carbono libre o asociado con vapor;
- aguas subterráneas al N y NNO de la Laguna de Apoyeque, con una temperatura de hasta 42.3°C que se correlacionan con incrementos de Cl (hasta 582 mg/l) y de la alcalinidad;
- pozos dispersos en la parte NE de la península con anomalías de temperatura y de Cl; y
- aguas subterráneas al SE de la Laguna de Jiloá con temperaturas de hasta 45.5°C y concentración de Cl de hasta 790 mg/l.

La relación entre la temperatura y los cloruros en las aguas de estas zonas admite la presencia de un componente original ("end-member") con temperatura mayor de 80°C a 2,500 mg/l e Cl. La temperatura a



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

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

Las anomalías químicas y las temperaturas de los pozos someros de la Península de Chiltepe evidencian con bastante claridad que existe una anomalía térmica que cruza todo el edificio volcánico de Apoyeque en sentido SE-NO, debajo del cual ocurren procesos de subida de fluidos geotérmicos desde zonas profundas hacia la superficie. Se puede estimar que existe un gradiente somero elevado, mayor de 50°C/100 m, en un área de por lo menos 20 km<sup>2</sup>.

Todos los fenómenos arriba descritos ocurren en correspondencia con la intersección entre el sistema de fallas N-S y el Alineamiento de Nejapa, además de otro importante sistema tectónico con rumbo NO-SE (Figura I-3.8.1). Es posible que esta intersección estructural genere una zona de fracturas que favorece la subida de fluidos geotérmicos profundos hacia la superficie. Es muy probable que las aguas de Jiloá y



Apoyeque y del acuífero freático, particularmente en los sectores NO y SE de la península, estén afectadas por la misma fuente de contaminación, la cual consistiría en un flujo de agua geotérmica de tipo Na-Cl (sodio-cloruro), con aproximadamente 2,500 mg/l de Cl y un pH alrededor de neutro, que se desplaza lateralmente desde una zona de subida ubicada debajo del sector NE de las Lagunas de Jiloá y Apoyeque. No hay evidencia de que exista una separación importante de vapor.

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

Las reservas energéticas del posible sistema geotérmico ubicado en la Península de Chiltepe, asociado con las calderas de Apoyeque y Jiloá, se han estimado como reservas de Categoría 2, de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados con base al modelo conceptual del sistema geotérmico, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos. El valor promedio de la distribución probabilística de reservas es de aproximadamente 113 MW para un plazo de 30 años, con una desviación estándar de 58 MW. El 10° percentil de la distribución es aproximadamente de 50 MW; en otras palabras, sobre la base de las premisas anteriormente mencionadas, existe un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor. El valor mediano (50 percentil) de la capacidad es de 101 MW, aproximadamente, y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es alrededor de 17 MW/km<sup>2</sup>.



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

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

Como en todas las áreas a las que se les ha asignado la Categoría 3 para el cálculo de las reservas de energía, los resultados presentados arriba son una representación estadística del potencial en el área y no prueban concluyentemente que se presente un recurso geotérmico comercialmente explotable. La presencia de tal recurso depende de la existencia de un volumen suficiente de roca permeable que permita la convección de los fluidos. Además, las reservas estimadas para el Alineamiento de Nejapa deben considerarse especulativas, por la naturaleza muy dispersa de la actividad volcánica en esta zona. Las reservas de Categoría 2 llevan un mayor nivel de certeza que aquellas de Categoría 3, tanto en la precisión de los cálculos, como en la localización inferida del recurso geotérmico. Sin embargo, por ser parte de las reservas asociadas con el calor del sistema magmático de la Península de Chiltepe, no aumentan el nivel de reservas calculado de la Categoría 3.



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

- cercanía a la ciudad de Managua, con ventajas correspondientes de tipo logístico;
- facilidad de acceso en la mayoría del área;
- buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país;
- línea de distribución eléctrica en todo el perímetro de la península de Chiltepe;
- buena disponibilidad de agua para las operaciones de perforación;
- bajo potencial de conflictos de carácter social (baja densidad de población);
- limitados problemas o restricciones de disponibilidad de los terrenos;
- presencia de la subestación eléctrica "Los Brasiles" en Ciudad Sandino, nodo primario del sistema de transmisión eléctrica de Nicaragua (SIN); y
- cercanía al principal mercado eléctrico nacional (Managua).

Los aspectos desfavorables son:

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





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

La Tabla I-3.16 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.

El nivel de conocimiento que existe sobre el área Managua- Chiltepe permite considerar completa la etapa de estudios de pre-factibilidad. Hay una buena probabilidad de que exista un recurso geotérmico comercialmente explotable y que las reservas de energía recuperables calculadas sean suficientes para un desarrollo inicial de 20 MW o mayor. Por lo tanto, la zona de la Península de Chiltepe es una de las dos áreas seleccionadas para desarrollar especificaciones detalladas de los estudios para la etapa de factibilidad (ver Anexo J). Las actividades principales requeridas para alcanzar el nivel de factibilidad, los costo aproximados y tiempos requeridos se resumen en la Tabla I-3.17; estas son:

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



- Presupuesto del estudio de factibilidad, total estimado: aproximadamente \$7,900,000.

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

### 3.9 Tipitapa

El área de Tipitapa está ubicada en el extremo SO del Lago de Managua (Xolotlán), en la zona plana y de colinas suaves surcada por el Río Tipitapa, que separa el Lago de Managua del Lago de Nicaragua (Figura I-3.9.1). Al centro del área de estudio, en la orilla meridional del río, se encuentra la ciudad de Tipitapa, con una población de más de 48,000 habitantes. La ciudad de Managua se encuentra a unos pocos km al O y está conectada con la ciudad de Tipitapa a través de la Carretera Panamericana. Otra carretera que sale de Tipitapa con dirección S, conecta con las ciudades de Masaya y Granada. Las estructuras volcánicas más importantes y próximas al área se encuentran a unos 25-30 km al S y están constituidas por las calderas de Masaya y de Apoyo.

Hasta la fecha, el área no ha sido solicitada en concesión para exploración y/o explotación geotérmica con fines energéticos, y no existen perforaciones profundas. En el Estudio del Plan Maestro se incluyó inicialmente una región de aproximadamente 1,200 km<sup>2</sup> alrededor de las manifestaciones termales de Tipitapa, que comprende un sector central de mayor interés geotérmico de aproximadamente 150 km<sup>2</sup>, en el cual se concentraron las investigaciones.

Desde el punto de vista geológico general el área se encuentra en la parte central de la Depresión de Nicaragua, en correspondencia con el límite oriental del graben de Managua, cuyo sistema de fallas N-S (Falla de Cofradía) atraviesa el área de estudio. Las fallas principales pasan inmediatamente al O de la ciudad de Tipitapa, pero una falla del mismo sistema (Falla Llanta Perdida) pasa más al E, por el centro de la ciudad.



El área está conformada por rocas piroclásticas plio-cuaternarias del Grupo Las Sierras, las cuales se encuentran prácticamente en la superficie, subyaciendo a una delgada capa de suelo residual, depósitos piroclásticos recientes y depósitos aluvionales. Las rocas del Grupo Las Sierras son moderadamente permeables y constituyen el acuífero principal de la región. Estas rocas constituyen también el basamento regional de los depósitos volcánicos más jóvenes que se extienden ampliamente en la zona hacia el S, donde afloran los productos de la caldera de Masaya. Informaciones procedentes de la situación estratigráfica regional, a partir de pozos de agua y de sondeos geoelectrónicos, sugieren que por debajo de las formaciones del Grupo Las Sierras se encuentran sedimentos clásticos y/o carbonatados, posiblemente poco permeables. Las lavas más próximas se encuentran a 11 km al S SO de Tipitapa y están representadas por una colada basáltica de edad bastante reciente, la cual parece haberse originado en correspondencia con alguna falla del sistema de Cofradía.

Las principales manifestaciones termales presentes en el área están constituidas por unos manantiales ubicados al límite N de la ciudad de Tipitapa, dispersos en un tramo de aproximadamente 1.25 km a lo largo del Río Tipitapa (Figura I-3.9.2). Debido al reciente aumento del nivel medio del río (a consecuencia del Huracán Mitch, en 1998), la mayoría de estos manantiales han quedado inundados o se han enfriado. La única manifestación que ha mantenido sus características es el manantial principal de los Baños Termales de Tipitapa, ubicado al extremo E de la zona termal, en la esquina NE de la ciudad. En este lugar a ambos lados del Río Tipitapa aflora un aglomerado masivo y compacto con fracturas menores, en correspondencia del cual emerge en varios puntos el agua termal. Este manantial tiene actualmente una temperatura de 93°C (97.5°C reportados en 1978) y un caudal de 200 l/m. Su composición química es de tipo Na-Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> (sodio-cloruro-sulfato-bicarbonato) relativamente diluida, con un contenido de aproximadamente 285 mg/l de Cl. Los mejores datos disponibles sugieren que la descarga de agua termal es estable en términos de su composición química y de la temperatura a profundidad, y no presenta evidencias de mezcla. Los geotermómetros químicos indican que, a profundidad el agua tiene una temperatura mínima de 140°C y posiblemente podría alcanzar los 183°C.



Otras manifestaciones termales presentes en el área están representadas por algunos pozos someros con temperaturas de hasta 40°C ubicados en los alrededores de la zona termal de Tipitapa y en correspondencia con la Falla Llanta Perdida en la localidad de Orontes Centeno, unos pocos km hacia el S. En el sector SO del área de estudio, en la zona al N de la caldera activa de Masaya, existen manantiales con temperatura de hasta 37°C y caudales de hasta 3,800 lpm, aproximadamente. Estos manantiales presentan evidencias químicas de mezcla con gas CO<sub>2</sub> (dióxido de carbón, posiblemente del vapor) y con un pequeño porcentaje de aguas de tipo Na-Cl (sodio-cloruro) de origen profundo, aparentemente asociadas con la Caldera de Masaya.

En el ámbito del Estudio Plan Maestro se efectuaron investigaciones geofísicas en el área, basadas sobre sondeos magnetoteléuricos (MT) con profundidad de investigación mayor de 2,500 m y ubicados a lo largo de dos líneas respectivamente orientadas N-S y ENE-OSO. Estos sondeos no revelaron la existencia de ninguna anomalía que parezca estar relacionada con la actividad geotérmica o con el flujo subterráneo de aguas termales. Se observa, sin embargo, que los fluidos termales y cualquier alteración arcillosa asociada podrían estar restringidos a una zona de falla muy inclinada que se desarrolla por debajo del área de los manantiales, que ocupa un volumen muy pequeño que no fue detectado por los sondeos magnetoteléuricos.

Es probable que el recurso geotérmico que se encuentra ubicado en la parte central del área (zona de los Baños Termales de Tipitapa) no esté relacionado con una fuente de calor magmática. Los fluidos termales podrían ser calentados por circulación hasta una profundidad donde se encuentran temperaturas superiores a los 150°C, conforme al gradiente térmico regional, el cual puede ser moderadamente anómalo debido a la influencia de los varios centros volcánicos que se encuentran en la región. Se considera muy probable que el ascenso de los fluidos geotérmicos ocurra de zonas de fracturamiento asociadas con el sistema de fallas identificado en el área, y especialmente con la Falla Llanta Perdida, hasta alcanzar niveles no muy profundos, para luego dispersarse principalmente hacia el E y hacia la superficie en correspondencia con estructuras o estratos locales, hasta alcanzar su punto de descarga principal en los Baños Termales de Tipitapa.



Existen pocos datos para evaluar la forma y la extensión del posible yacimiento geotérmico, sin embargo, si éste está controlado por zonas de fallamiento, se puede pensar que abarca un intervalo vertical importante y que su límite superior podría encontrarse a niveles relativamente someros. Es menos probable que el sistema tenga una gran extensión horizontal, debido a su relación con zonas de falla que determinan fajas de fracturamiento de espesor limitado alrededor de las mismas. Es, sin embargo, probable que la extensión del yacimiento sea mayor que el área definida por las manifestaciones termales en superficie, y pueda alcanzar una extensión de varios kilómetros cuadrados.

El área no está particularmente sujeta a riesgos naturales. El riesgo sísmico corresponde al riesgo general en Nicaragua y a la presencia de la Falla de Cofradía, la cual pertenece a un sistema tectónicamente activo que podría originar sismos importantes. Los riesgos derivados de la actividad en los centros volcánicos ubicados a unos 25-30 km hacia el S (Masaya, Apoyo) son bajos, debido a la distancia y a la dirección predominante de los vientos desde el E hacia el O, lo cual limita las posibilidades de caída de materiales piroclásticos sobre el área. El riesgo de inundaciones está esencialmente limitado a las áreas colindantes con el Lago de Managua y con el Río Tipitapa.

Las reservas energéticas asociadas con el sistema de Tipitapa se han clasificado como reservas de Categoría 2, y se han calculado utilizando el método probabilístico de estimación de la reserva volumétrica descrito en el Volumen I, Anexo B. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados con base al modelo conceptual del sistema geotérmico, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos.

El valor promedio de la distribución probabilística de las reservas energéticas es de aproximadamente 18 MW, con una desviación estándar de 8.7 MW. El 10° percentil de la distribución es de aproximadamente 9 MW, lo que significa que, sobre la base de las suposiciones efectuadas, hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor. El valor mediano (50 percentil) de la capacidad es de 16 MW, aproximadamente, y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es alrededor de 7 MW/km<sup>2</sup>.



El hecho que se hayan calculado estas reservas no asegura que las mismas puedan ser recuperadas económicamente para la producción de energía geotermoeléctrica. La confirmación del recurso requiere de la perforación y prueba de pozos de producción, que demuestren la existencia de un yacimiento con suficiente permeabilidad que permita la extracción del calor en una forma económica.

Los datos reunidos permiten identificar una serie de factores favorables y desfavorables con respecto a la ejecución de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en el área de Tipitapa. Los aspectos favorables incluyen:

- acceso fácil a casi toda el área geotérmica y buenas vías de comunicación que conectan con las principales ciudades del país;
- cercanía a la ciudad de Managua, con todas las ventajas de tipo logístico;
- cercanía a dos líneas importantes del sistema de transmisión eléctrica de Nicaragua y a la central termoeléctrica ubicada al SO de Tipitapa;
- disponibilidad de agua para las operaciones de perforación y construcción;
- bajo potencial de conflictos de carácter social;
- problemas o restricciones de disponibilidad de terreno limitados; y
- disponibilidad de mano de obra.

Entre los aspectos desfavorables se pueden señalar los siguientes:

- presencia de la ciudad de Tipitapa y de otros centros urbanos y rurales menores, en las proximidades del área de interés geotérmico;
- presencia del Lago de Managua inmediatamente al O del área de interés geotérmico, lo cual podría imponer ciertas restricciones en la explotación del recurso si se extendiera en esa dirección; y



- riesgo sísmico relacionado con el sistema de la Falla de Cofradía, cuya activación podría tener efectos importantes en el área de Tipitapa.

Una evaluación de la factibilidad de realizar trabajos geotérmicos en el área permite señalar que, aunque existan algunos aspectos que necesitan una mejor definición, no se conocen problemas de tipo logístico, infraestructural o socioeconómico que limiten la viabilidad de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en el área de Tipitapa.

La Tabla I-3.18 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.

Se pueden considerar dos diferentes tipos de desarrollo: uso directo del agua de baja temperatura (menor de 100°C), y el desarrollo en pequeña escala para la generación eléctrica (en el rango de 3 a 20 MW), utilizando la tecnología binaria o de vapor, abastecida con fluidos de temperatura en el rango entre 140° y 170°C.

Assumiendo un escenario cuyo objetivo principal se centrara sobre un desarrollo de tamaño pequeño a intermedio para la generación eléctrica, las siguientes etapas de trabajo deberán ser consideradas (ver la Tabla I-3.19):

- Exploración para delinear la zona más promisoría para la explotación del posible recurso geotérmico (y para completar la etapa de pre-factibilidad). Esta etapa puede incluir:
  - Exploración geoelectrica detallada en la zona central del área. El costo de este levantamiento puede ser de alrededor de \$100,000.
  - Perforación de pozos de gradiente térmico con profundidades de 100 a 200 m, distribuidos en la zona central del área. El costo para 10 a 12 pozos puede estar entre \$200,000 y \$300,000.



- Investigaciones complementarias (geología, gravimetría, y posiblemente potencial espontáneo), las cuales tendrían un costo del orden de \$160,000.

En combinación con análisis y síntesis de los resultados, administración, y factores ambientales, el presupuesto total de esta fase de actividades podría ser de aproximadamente \$615,000 y \$715,000.

- Confirmación del recurso por medio de la perforación profunda (para completar la etapa de factibilidad, ver la Tabla I-3.20). El costo para esta etapa, el cual comprendería la perforación de dos pozos de producción y un pozo de inyección, más pruebas, evaluación, diseño preliminar de las instalaciones, administración y reportes, puede ser de aproximadamente \$3,500,000.
- Desarrollo de la capacidad necesaria de producción e inyección e instalación de la planta de generación.

### 3.10 Masaya - Granada - Nandaime

El área de Masaya-Granada-Nandaime se encuentra localizada en el extremo NO del Lago de Nicaragua (Cocibolca) e incluye toda la región comprendida entre las ciudades del mismo nombre (Figura I-3.10.1). En el presente estudio se ha considerado el área que abarca todo el sector que presenta vulcanismo reciente, y extensas zonas al SO y N. Tomando en cuenta las investigaciones previas y los trabajos de campo efectuados como parte del Estudio Plan Maestro, la extensión del área estudiada es de por los menos 1,100 km<sup>2</sup>.

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

El área se caracteriza en general por una morfología suave, con laderas de poca pendiente que descienden hacia los lagos de Managua y de Nicaragua, sobre la cual resalta la presencia de las estructuras volcánicas.





La mayoría del área es bastante poblada con ciudades, pueblos, y comunidades pequeñas, y una buena parte se encuentra ocupada por actividades agrícolas, ganaderas, y agroindustriales.

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

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

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

El Mombacho es un estrato-volcán de unos  $50 \text{ km}^3$  de volumen y 1,340 m de elevación, que se caracteriza por una serie de flujos lávicos, subordinadamente intercalados con productos piroclásticos, y por dos grandes deslizamientos de roca que desde la cima han truncado el volcán por el NE y el SE. Lo que se llama el "cráter principal" del Mombacho es el espacio creado por el deslizamiento al SE. El vulcanismo del



Mombacho parece ser en parte más joven que el colapso de Apoyo, y un flujo joven del Mombacho está compuesto de andesita de  $18,000 \pm 3,000$  años de antigüedad. Existen también conos cineríticos y maares asociados con procesos fisurales entre las calderas de Apoyo y Masaya, y al O y NO del Volcán Mombacho, con edades contemporáneas a las de ambos centros.

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

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

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



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

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

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

Como parte de los estudios del Plan Maestro, se realizaron nuevas mediciones de tipo MT y TDEM en el Volcán Mombacho y la región inmediata al S del mismo. Los resultados sugieren que un sistema geotérmico podría existir en el flanco S del volcán, donde una capa conductora somera (250 m de profundidad), con espesor de 500 m, se extiende hacia el S de la cima del volcán hasta aproximadamente la elevación 300 a 400 m s.n.m.



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

El volcanismo de Apoyo proporciona un claro indicio de residencia prolongada del magma a niveles crustales relativamente someros, y una cámara magmática de relativamente grandes dimensiones, la cual es muy probable que haya generado una importante anomalía térmica en el subsuelo de toda el área alrededor de la actual Caldera de Apoyo. El Volcán Mombacho es un típico estrato volcán constituido por productos andesíticos y basálticos moderadamente diferenciados. Aunque el volcán está actualmente inactivo, existen evidencias que indican que haya tenido una actividad efusiva en tiempos relativamente recientes y se concluye que hay indicios favorables para la existencia de una interesante anomalía térmica en el subsuelo, relacionada con la presencia de cuerpos magmáticos relativamente someros.

Las manifestaciones termales superficiales presentes en el área y todo el conjunto de información geocientífica disponible, no permiten definir la ubicación exacta de las posibles zonas de subida de fluidos geotérmicos profundos. Sin embargo, se puede inferir la presencia de tales zonas (ver **Figura 1-3.10.1**) en:

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

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



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

El principal riesgo volcánico deriva del Volcán Masaya, que presenta ciclos de erupciones efusivas (las cuales podrían desbordar la caldera en su lado N), y erupciones explosivas. Una erupción explosiva análoga a aquellas que ocurrieron en diferentes ocasiones en las últimas decenas de miles de años, afectaría en forma catastrófica toda el área de Masaya - Granada - Nandaime e, inclusive, a la ciudad de Managua.

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

Las reservas energéticas del sistema geotérmico asociado con la margen occidental de la Caldera de Apoyo se han estimado como reservas de Categoría 2, de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados en base al modelo conceptual del sistema geotérmico, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros más inciertos. El valor promedio de la distribución probabilística de reservas energéticas es de aproximadamente 172 MW para un plazo de 30 años, con una desviación estándar de 89 MW. El 10° percentil de la distribución es aproximadamente 37 MW; en otras palabras hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor, en



base a los argumentos asumidos. El valor mediano de la capacidad probable es alrededor de 150 MW. El valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es de 17 MW/km<sup>2</sup>.

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

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

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

- buenas vías de acceso en la mayor parte del área;
- buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país;
- condiciones topográficas favorables que facilitan la construcción de plataformas de perforación, caminos, campamentos y centrales geotermoeléctricas, excepto en ciertas partes del sector del Volcán Mombacho;



- disponibilidad de agua en las zonas de mayor interés geotérmico, especialmente en el sector Sur del Volcán Mombacho;
- cercanía a las principales líneas de transmisión eléctrica;
- presencia en la zona de interés de una subestación eléctrica relacionada con la Laguna de Apoyo;
- cercanía a las ciudades de Masaya, Granada y Managua, con todas las ventajas de tipo logístico;
- cercanía al mayor mercado eléctrico nacional (Managua);
- bajo potencial de conflictos de carácter ambiental en la mayoría del área, incluyendo el sector de la Caldera de Apoyo; y
- bajo potencial de conflictos de carácter social, en el sector del Volcán Mombacho.

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- presencia del Parque Nacional Volcán Masaya y otras áreas protegidas, con la posibilidad de futuras ampliaciones de las mismas;
- potencial de conflicto con el uso actual de la tierra, en el sector de la Caldera de Apoyo;
- potencial de impactos ambientales adversos en ciertas zonas del sector del Volcán Mombacho;
- posibles dificultades en la construcción de sitios y caminos en ciertas partes del sector del Volcán Mombacho;
- riesgo volcánico y sísmico (de una magnitud que es común en la mayoría de las áreas geotérmicas localizadas en regiones volcánicas activas); y
- riesgos de tipo geológico adicionales en el sector del Volcán Mombacho, principalmente el riesgo de deslizamiento o derrumbe.



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

Las Tablas I-3.21 y I-3.22 son resúmenes de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación de los recursos de las dos áreas.

En el sector de la Laguna de Apoyo, será necesario contemplar las siguientes actividades para completar la etapa de pre-factibilidad (asumiendo un escenario en el cual el objetivo final es el de desarrollar un proyecto geotérmico de 20 MW o más); estas se resumen, con costos y cronograma, en la Tabla I-3.23 :

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





- Análisis completo y síntesis de los resultados para seleccionar sitios iniciales para perforación profunda exploratoria, más la administración, estudios ambientales, y factores logísticos.

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

Incluyendo los costos de diseño preliminar de instalaciones, administración, reportes y estudios ambientales se estima un presupuesto total de unos \$9,000,000 para completar la pre-factibilidad y confirmar la factibilidad (Tabla I-3.23), si se perforan pozos de gradiente de temperatura y pozos de diámetro reducido antes de la perforación de pozos de diámetro comercial.

En el sector del flanco Sur del Volcán Mombacho, la naturaleza del sistema geotérmico todavía no se conoce lo suficientemente bien como para pronosticar un escenario detallado de desarrollo. Las opciones posibles incluyen la exploración y desarrollo de un recurso potencial de alta temperatura, o desarrollo de un sistema más somero de fluidos de menor temperatura. Una combinación de investigaciones geofísicas de detalle y la perforación de pozos de diámetro reducido para la investigación del gradiente de temperatura podría ser necesaria para la primera opción. Esto resultaría en un escenario similar al descrito para la zona de la Laguna de Apoyo. Los costos totales serían similares, aunque posiblemente un poco más altos si se llegaran a requerir mayores esfuerzos de exploración. Un perfil técnico-económico y cronograma de actividades básicas para terminar la fase de pre-factibilidad se presenta en la Tabla I-3.24.

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



### 3.11 Isla de Ometepe

La Isla de Ometepe se encuentra localizada en la parte SO del Lago de Nicaragua (Cocibolca), a una distancia de ocho km de su orilla occidental. El puerto más cercano en la costa occidental del lago, San Jorge, se encuentra a unos 10 km de la Isla. La extensión total de la Isla es de 276 km<sup>2</sup>, la totalidad de la cual fue estudiada en las investigaciones del Estudio Plan Maestro (Figura I-3.11.1).

La Isla está compuesta por dos estrato-volcanes de forma cónica con laderas pronunciadas. Estos representan la extremidad SE de la Cordillera Volcánica de Nicaragua, y se encuentran aislados a una distancia de 30 km de los otros volcanes en Nicaragua y a 50 km de los volcanes contiguos en Costa Rica. A pesar de la presencia de los volcanes, en Ometepe existen muy pocos indicios de actividad hidrotermal y, hasta la fecha, no han sido solicitadas concesiones para la exploración o el desarrollo geotérmico en la Isla.

El Volcán Concepción (1,600 m s.n.m.) ocupa la porción NO de la Isla y ha estado activo con frecuencia en tiempos históricos. El Volcán Maderas (1,394 m s.n.m) forma el sector SE de la Isla y no ha estado activo históricamente. Los dos volcanes están separados por un istmo de dos a tres km de ancho que se encuentra a menos de 10 m sobre el nivel del lago. La Isla está bastante poblada y desarrollada, con más de 26,000 habitantes, la mayoría de los cuales viven en el sector del Volcán Concepción. El desarrollo agrícola es de moderado a intenso en las zonas bajas de las laderas volcánicas, con topografía suave.

Los volcanes, cuyos productos incluyen lavas, materiales piroclásticos, depósitos de deslizamiento y material re-trabajado, yacen sobre y probablemente están en un cierto grado, inter-estratificados con sedimentos cuaternarios depositados en el ancestral Lago de Nicaragua. El espesor de los sedimentos lacustres es probablemente de pocos centenares de metros y, a mayor profundidad, es probable que existan formaciones sedimentarias y volcánicas terciarias. La carencia de aguas superficiales y la presencia de acuíferos someros en muchas partes de la Isla indican que la permeabilidad de los productos volcánicos, y tal vez de algunos de los sedimentos recientes, es alta. Se desconocen las condiciones de las formaciones más profundas.



Con excepción de los volcanes, no parecen existir otras importantes estructuras geológicas, ni en la Isla ni en las áreas a su alrededor, y se observa que la Isla no está localizada dentro de una zona de intenso fallamiento. Las características estructurales, particularmente aquellas de tipo tectónico, se encuentran ocultas en muchos sitios por depósitos volcánicos recientes. Alrededor del Volcán Maderas y del Concepción se observan varios pequeños conos parásitos, que en la zona S del Concepción se presentan alineados en sentido N-S, indicando un posible control estructural en su formación.

El Volcán Concepción se compone de productos de composición variable entre basáltica y andesítica, con predominancia de andesitas y andesitas basálticas; además, la porción intermedia de su secuencia incluye un depósito de tefra dacítica. Los productos del Concepción son análogos a los productos de los otros volcanes de Nicaragua y el magma fundamental que alimenta el volcán ha sido interpretado como de composición basáltica, a partir del cual, por cristalización fraccionada, se derivan los productos más ricos en sílice. Aparentemente el volcán ha tenido frecuentes erupciones desde la llegada de los exploradores españoles y, entre 1883 y 1999, se registraron por lo menos 26 erupciones.

El Volcán Maderas tiene una composición similar al Concepción, pero el crecimiento de vegetación en sus laderas impide determinar si el estilo del volcanismo es también similar. No se conoce de ninguna erupción que haya ocurrido en tiempos históricos, pero las lavas de dos coladas más recientes del volcán han sido datadas en 4,800 ( $\pm$  500) y en 6,600 ( $\pm$  500) años. El contorno y la forma del Volcán Maderas sugiere que su edad global es probablemente similar a aquella del Concepción. A pesar del cese de su actividad eruptiva, no se puede concluir que el volcán esté extinto y los datos sísmicos parecen indicar que la actividad magmática por debajo del edificio volcánico puede estar todavía activa.

La historia volcánica implica la intrusión repetida de magma por debajo de cada volcán, en volúmenes semejantes al volumen de material eruptado en la superficie, y la formación de cámaras de magma que han persistido con el tiempo. El alineamiento N-S de conos y cráteres subsidiarios localizados al S del Volcán Concepción refleja probablemente la presencia de un complejo de diques someros conectados con la cámara magmática del volcán.



Con excepción de algunas fumarolas que están presentes en el cráter del Volcán Concepción, casi no se conoce la existencia de manifestaciones termales en la Isla. Las temperaturas medidas en las aguas subterráneas en varios puntos de la Isla varían desde 26° a 34°C, incluyen una débil anomalía que se extiende al S del Volcán Concepción hacia la costa, que se amplía hasta tener un ancho de aproximadamente cinco km. Frente a esta zona de anomalía térmica, los residentes locales reportan la existencia de dos puntos con manantiales calientes sumergidos en el lago, pero para confirmar su existencia, sería necesario realizar un levantamiento detallado de temperatura en el fondo del lago. En el sector de la Isla que incluye el Volcán Maderas no existe ninguna manifestación termal conocida.

Las composiciones del agua subterránea son del tipo de cationes mixtos- $\text{HCO}_3$  (bicarbonato) con ligeras variaciones en la relación  $\text{SO}_4/\text{HCO}_3$  (sulfato/bicarbonato) y con contenido de Cl entre 10 y 40 mg/l. En ciertos lugares, como por ejemplo en un pozo excavado dentro de la anomalía térmica al S del Volcán Concepción, existen anomalías químicas débiles que pueden corresponder a efectos débiles de mezcla con dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno gaseoso y, posiblemente, con agua termal de tipo Na-Cl (sodio-cloruro), aunque no se observa una clara correlación entre el Cl y la temperatura. Estas anomalías no pueden ser utilizadas con confianza para determinar sitios de potencial interés geotérmico, sobre todo porque ocurren en localidades distribuidas casi uniformemente alrededor del volcán.

En resumen, las manifestaciones termales y la química de las aguas subterráneas en la Isla no muestran una fuerte evidencia de la presencia de un sistema geotérmico, aunque tampoco excluyen tal posibilidad. Existe una concentración ligeramente mayor de posibles indicadores a lo largo del flanco S del Volcán Concepción, en la zona de San José del Sur y de la Loma El Mogote.

El único estudio geofísico efectuado en la Isla ha sido un levantamiento de tipo magneto-telúrico (MT) y de TDEM, realizado como parte del Estudio Plan Maestro, en el flanco S del Volcán Concepción en el mes de Mayo del 2000. La investigación incluyó la realización de un solo perfil con orientación E-W, compuesto por 12 estaciones MT/TDEM espaciadas a intervalos de un km. La ubicación y la distribución de los sondeos a lo largo del perfil fue determinada con el fin de estudiar la posible existencia de una zona de



actividad hidrotermal en el flanco S del Volcán. Este levantamiento encontró problemas técnicos causados por la presencia de zonas con resistividad muy alta en los depósitos de cenizas secas superficiales y, al final, no logró proporcionar información conclusiva acerca de la presencia o ausencia de un sistema geotérmico importante en la zona.

Debido a la ausencia de datos, la naturaleza del recurso geotérmico de la Isla es incierta. Es muy probable que existan fuentes de calor relativamente someras por debajo de ambos volcanes, y se puede anticipar que existe ascenso de fluidos termales en correspondencia con sus zonas centrales, posiblemente en un radio de tres - cuatro km alrededor de los cráteres. La mayor concentración de indicios sobre la posible actividad termal se encuentra en la zona al S del Volcán Concepción (lineamiento El Mogote), donde podría existir un ascenso de fluido geotérmico profundo y un flujo lateral hacia la costa, pero los datos disponibles para esta zona no son determinantes (Figura I-3.11.1).

Los sedimentos del lago que subyacen a los depósitos volcánicos recientes podrían jugar un papel importante en la restricción del flujo del agua geotérmica hacia la superficie, puesto que algunas partes de la secuencia sedimentaria son probablemente impermeables. En base a analogías con sistemas geotérmicos en condiciones geo-vulcanológicas similares, es razonable que puedan existir temperaturas de 200°C o mayores y aguas profundas de tipo cloruradas-neutras, con alguna posibilidad de que localmente existan aguas ácidas. La extensión, la profundidad y el espesor del posible sistema geotérmico no pueden, sin embargo, ser estimados con algún grado de aproximación.

En cuanto a la presencia de riesgos naturales, el Concepción es un volcán activo potencialmente peligroso, que presenta un potencial variable de daños por erupción, dependiendo principalmente de la distancia y de la ubicación con respecto a la cumbre. El riesgo de erupción del Maderas es mucho más bajo, aunque no es imposible que el volcán pueda reactivarse. Es por otro lado posible el colapso de un sector en cualquiera de los dos volcanes, aunque la posibilidad de que un evento similar ocurra en un periodo de varias décadas es muy baja. En una gran parte de la Isla está presente el riesgo de derrumbes, particularmente durante la época de lluvias intensas, erupciones y/o sismos. El nivel de riesgo sísmico es similar al de la mayoría de la



Cordillera Volcánica y de la región SO de Nicaragua, de tal manera que en un período de 20 a 30 años podrían ocurrir eventos sísmicos con intensidad de cinco a seis en la escala de Richter. En las áreas bajas el nivel de riesgo sísmico es amplificado por la posibilidad de que ocurran fenómenos de licuefacción del subsuelo.

Para la estimación de las reservas recuperables de energía geotérmica, el área ha sido clasificada en la Categoría 3, según los criterios descritos en el Anexo B del Volumen I del Plan Maestro. Las reservas han sido calculadas con base a las características de la actividad volcánica en el área, haciendo un cálculo distinto para cada volcán. Los parámetros críticos del cálculo fueron estimados con base a las características estimadas de los volcanes, definiendo distribuciones probabilísticas para los parámetros inciertos. Sumando los valores de las reservas asociadas con los complejos magmáticos obtenidos para cada volcán, se obtienen las siguientes estimaciones medias de las reservas totales (basadas en el valor promedio de la distribución probabilística): Volcán Concepción 297 MW, y Volcán Maderas 287 MW. Por lo tanto, las reservas potenciales máximas totales asociadas con los complejos volcánicos de la Isla de Ometepe, se han estimado en aproximadamente 584 MW. Estos resultados constituyen una representación estadística del potencial de la Isla y no prueban definitivamente que se encuentre presente un recurso geotérmico comercialmente explotable.

Las informaciones recolectadas durante las investigaciones del Estudio Plan Maestro permiten evidenciar una serie de factores favorables y desfavorables con respecto a la realización de actividades de exploración y desarrollo geotérmicos en la Isla. Los aspectos favorables son:

- el desarrollo geotérmico, particularmente para la generación de electricidad, podría sustituir las actuales fuentes de energía contaminantes y proveer una alternativa de energía autóctona y segura;
- beneficios potenciales para la comunidad, incluyendo el empleo y el mejoramiento de la infraestructura general;
- probabilidad de baja a moderada de que existan conflictos con otros usos de la tierra;



- la construcción de caminos, sitios de perforación e instalaciones superficiales, parece ser factible en la mayoría de las áreas con relieves más bajos;
- el agua para la perforación y otras actividades de desarrollo se encuentra fácilmente disponible; y
- la población local, numéricamente importante, podría constituir una fuente abundante de mano de obra para todas las actividades a desarrollar.

Los aspectos desfavorables son:

- el área no está conectada con la red eléctrica nacional, por lo tanto el potencial de desarrollo estaría posiblemente limitado a la demanda de energía local;
- el transporte de equipos y materiales a la Isla tendría que realizarse en pequeñas embarcaciones, y los caminos existentes en la Isla no proveen acceso a todas las zonas;
- el área se encuentra alejada de los servicios y artículos más necesarios, y los trabajadores calificados son probablemente escasos en el área;
- la construcción de caminos, plataformas de perforación y sitios para las instalaciones superficiales puede ser difícil en algunas áreas e imposible en las laderas superiores de los volcanes;
- los riesgos geológicos son importantes en algunas zonas, especialmente debido a erupciones volcánicas o a deslizamientos en las laderas; y
- la existencia de áreas protegidas, el posible establecimiento de un Parque Nacional, que está en fase de propuesta, y la expansión de otras áreas protegidas, podrían limitar las actividades de desarrollo en algunas zonas.



La Tabla I-3,25 es un resumen de potenciales impactos ambientales negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental, asociados con la continuación de exploración y confirmación del recurso.

Las opciones de desarrollo que podrían considerarse para la Isla de Ometepe consisten en proyectos dirigidos a suplir parcialmente o totalmente la demanda local de energía. La Isla cuenta actualmente con un sistema de generación termo-eléctrico con una capacidad instalada de 1.86 MW. En el caso que resultase factible la construcción de instalaciones de generación geotérmica, estas condiciones de demanda favorecen la existencia de pequeñas unidades modulares que podrían ser obtenidas e instaladas con costos mínimos de diseño y construcción.

Unidades geotermoeléctricas modulares de ciclo binario y pequeñas unidades de vapor, podrían ser consideradas si se llegara a encontrar un recurso apropiado. El uso directo de la energía geotérmica es otra opción de desarrollo, con aplicaciones en el sector agro-industrial (por ejemplo, para el secado de productos agrícolas) y en el sector de turismo.

Se puede, por lo tanto, prever que las actividades de exploración y desarrollo requerirán presupuestos inferiores a los requeridos para proyectos más grandes. Asumiendo que la meta se establezca en el desarrollo eléctrico de pequeña escala (cinco MW o menos), se puede considerar la realización de algunos o todos los pasos siguientes, en el orden aproximado en que se describen (con costos aproximados y cronograma en la Tabla I-3.26)

- Investigaciones adicionales de las aguas subterráneas y los manantiales en la Isla.
- Investigaciones para determinar si existen otros manantiales en el fondo lacustre alrededor de la Isla, utilizando métodos de exploración aérea infrarroja nocturna.
- La datación de productos de los centros volcánicos parásitos más prominentes (preferentemente por medio de métodos radiométricos).





- Mediciones de temperatura en el terreno a poca profundidad (un m o poco más).
- Exploraciones geoelectricas adicionales, solamente si se determina que los problemas técnicos que ocurrieron durante la campaña geofísica del Estudio Plan Maestro puedan ser eliminados, y que existan objetivos y resultados potenciales bien definidos.
- Perforación de pozos someros de exploración (hasta profundidades de menos de 1,000 m), Las opciones de perforación exploratoria incluyen:
  - pozos de pequeño diámetro, utilizando un equipo para muestreo de núcleos;
  - perforación rotatoria convencional usando un equipo auto-transportable para la perforación de pozos de agua; y
  - perforación rotatoria convencional con equipo grande.

La perforación adicional de dos pozos de diámetro comercial sería necesario si los pozos exploratorios logran confirmar un recurso pero no son utilizables para la producción o la inyección.



## 4. RESUMEN Y NIVELES DE DESARROLLO

### 4.1 Introducción

Los recursos geotérmicos de Nicaragua se encuentran hasta el momento en distintos estados de desarrollo. Para efectos de discusión se han definido las siguientes cinco etapas de desarrollo:

- exploración de reconocimiento;
- pre-factibilidad;
- factibilidad;
- diseño de detalle y construcción; y
- operación.

Durante la etapa de exploración y reconocimiento, se recolectan los datos de la exploración para iniciar el proceso de definición del recurso. El trabajo realizado durante esta fase generalmente incluye exploraciones de tipo geofísico, recolección y análisis de datos geoquímicos, recolección y análisis de datos geológicos, y perforaciones para la medida de los gradientes de temperatura. Al final de la etapa de reconocimiento, los datos exploratorios disponibles se evalúan para determinar si existe o no un yacimiento comercial. Si los datos son optimistas, el proyecto se mueve hacia la etapa de pre-factibilidad, durante la cual la exploración se enfoca hacia aquellas áreas con recursos más favorables. Hacia el final de la etapa de pre-factibilidad, ya se han recolectado y analizado suficientes datos de exploración como para permitir seleccionar los sitios para la perforación de pozos profundos. Durante la etapa de factibilidad, por lo menos dos pozos profundos ya han sido perforados para demostrar la producción comercial de fluidos geotérmicos y la posibilidad de inyectarlos de nuevo en el reservorio. Además, las reservas de energía recuperable ya han sido estimadas con un alto grado de confianza, y se tiene un diseño preliminar de la planta y del sistema de acarreo de los fluidos.

Al completarse la etapa de factibilidad, se puede proseguir con varios pasos importantes:



- localización y diseño de las plataformas de perforación y otras obras civiles (caminos, preparación del sitio de la planta eléctrica, etc.);
- diseño de los pozos para desarrollo;
- selección de los objetivos blancos de perforación;
- diseño de la planta eléctrica;
- determinación del punto de acceso de la línea de transmisión;
- estimación del presupuesto para desarrollo y construcción de los puntos anteriores;
- establecimiento de los acuerdos para la venta de energía; y
- los socios o quienes financian el proyecto pueden tener suficiente confianza en la viabilidad del proyecto como para asumir su posición financiera o para adquirir préstamos que financien el desarrollo y la construcción del proyecto.

Con estos pasos se inicia la etapa de diseño de detalle y de construcción, la cual continúa con la perforación y prueba de los pozos de producción e inyección necesarios para el abastecimiento a la planta (normalmente con algún exceso de capacidad), se inician las obras civiles necesarias para la perforación y la construcción de la planta, la selección del diseño final, la adquisición de la planta y de la línea de transmisión, y la prueba en conjunto de los pozos y la planta. En este punto se inicia la etapa de operación.

En la Tabla I- 4.1 se resume el estado actual de desarrollo de las 10 áreas geotérmicas estudiadas en el ámbito del Estudio del Plan Maestro. En aquellas áreas que se encuentran actualmente en la etapa de reconocimiento o de pre-factibilidad, se tienen tres opciones de desarrollo que son técnica y económicamente factibles, según se enumeran a continuación en orden de probabilidad decreciente:

- aplicación de uso inmediato;
- generación a escala reducida (en el rango de tres a 20 MW); y



- generación a mayor escala (más de 20 MW).

En una área dada se puede aplicar una o más opciones de desarrollo, para mejorar el valor comercial del proyecto.

#### 4.2 Clasificación de las Áreas Geotérmicas en Nicaragua

El alcance del trabajo dentro del Estudio del Plan Maestro incluye la clasificación y calificación de las 10 áreas geotérmicas estudiadas, en términos de su prioridad para el desarrollo. El método de clasificación y calificación de cada área prospectada, y el resultado que se obtenga al asignar prioridades para su desarrollo depende de las metas que tenga el Gobierno de Nicaragua para integrar un porcentaje mayor del componente geotérmico en la mezcla de energías del país, desplazando así a otras fuentes energéticas (principalmente las que utilizan combustibles fósiles). Las metas del Gobierno pueden ser una o varias de las siguientes:

- adelantar activamente el estado de conocimiento de todos los recursos geotérmicos de Nicaragua, y suministrar los fondos para trabajar en exploración y desarrollo;
- promover el desarrollo privado de los recursos geotérmicos, con poca participación del gobierno;
- aumentar el nivel de conocimiento de aquellos recursos geotérmicos que se conocen menos;
- generar energía lo más pronto posible en aquellos sitios que se encuentran en una etapa más avanzada de exploración y desarrollo;
- incrementar el nivel de energía que se inyecta en la red para efectos de electrificación rural; o
- incrementar el nivel de uso geotérmico directo, para compensar la demanda que causa la industria sobre otras fuentes de energía.



Aquí hemos asumido que al establecer las prioridades de desarrollo de las áreas geotérmicas, la meta consiste en evaluar la manera de inyectar una mayor cantidad de energía geotérmica en la línea lo más pronto posible. Por lo tanto, los recursos con una mayor prioridad de desarrollo son aquellos que poseen potencial para producir cantidades importantes de energía en un tiempo relativamente corto. Esta idea influye necesariamente en la selección de la metodología para la clasificación y calificación de cada sitio, y afecta el peso relativo de cada uno de los criterios, tal como se describe a continuación.

#### *4.2.1 Metodología*

Existe una variedad muy amplia en la cantidad y calidad de los datos de exploración y en el nivel de conocimiento de las diferentes áreas geotérmicas descritas en el Estudio del Plan Maestro. Conforme el nivel de conocimiento de cada una de las áreas aumenta con el tiempo, es de esperar que varíe también la categorización de las mismas, tanto en forma absoluta como en relación con otros prospectos. Por lo tanto, la metodología ideal para clasificarlos y asignarles un grado de calificación debe tomar en cuenta, bajo una base común, cantidades desiguales de información de diferente calidad, suministrando así una forma objetiva de calificación que pueda ser revisada en forma racional en el futuro, conforme se conozcan mejor cada uno de los recursos.

El nivel esperado de reservas dentro de una área debe, obviamente, pesa mucho sobre su calificación final. Sin embargo, las reservas estimadas en áreas con diferente estado de desarrollo tienen sus propios niveles de incertidumbre, y por lo tanto, las reservas estimadas para un área deben ponderarse considerando esta incertidumbre relativa. Además, ciertos criterios relativos al recurso (tal como productividad de los pozos, profundidad de perforación, la naturaleza química de los fluidos, etc.) que en gran medida son independientes de las reservas, juegan un papel muy importante a la hora de determinar las posibilidades de desarrollo de un proyecto. Aún más, la infraestructura local y los medios de acceso, la proximidad de las líneas de transmisión y del mercado, las restricciones ambientales y los peligros geológicos, pueden ser considerados para efectos de clasificar y calificar las diez áreas geotérmicas. La variación de estos parámetros entre una área y otra contribuye a determinar el potencial de desarrollo de cada una de ellas. Debido a que sería incorrecto asignar



categorías a las áreas basándose solamente en las reservas esperadas, se propone aquí una metodología que pretende considerar el peso de todos los factores mencionados anteriormente.

Para efectos de calificación y clasificación de las áreas, las posibles variables se han agrupado en seis criterios:

- 1) reservas ponderadas de acuerdo al riesgo;
- 2) estado de desarrollo;
- 3) características del recurso;
- 4) restricciones ambientales;
- 5) peligros geológicos; y
- 6) factores relativos a la infraestructura.

Las reservas ponderadas según el nivel de riesgo, que constituye el aspecto cuantificable de mayor importancia, han sido valoradas según una escala relativamente amplia de 0 a 30. El criterio según el estado de desarrollo, aunque no es cuantificable de inmediato, se puede aproximar de manera relativa utilizando las normas que se muestran en la Tabla I-4.1. Esta se ha valorado según una escala más estrecha de 0 a 20, ya que es un criterio menos crítico que aquél que considera el peso del riesgo de las reservas. El tercer criterio (características del recurso) tampoco es cuantificable de inmediato, pero puede ser aproximado en un sentido relativo. Constituye un aspecto importante en la determinación de los costos del proyecto, pero también resulta menos crítico que las reservas valoradas según el riesgo. Esta variable también se ha evaluado según una escala de 0 a 20. Los tres criterios restantes, no pudiendo cuantificarse y siendo menos críticos que los otros tres, se han evaluado subjetivamente según una escala menos amplia de 0 a 10. Con este método, por lo tanto, la mayor importancia se le asigna a las reservas ponderadas según el riesgo (30 puntos posibles), seguida por el estado de desarrollo y las características del recurso (20 puntos posibles para cada una), y luego por las restricciones ambientales, peligros geológicos y factores de infraestructura (10 puntos posibles para cada uno).



Existen otros métodos que se pueden utilizar para clasificar y calificar los recursos geotérmicos de Nicaragua. Se pueden seleccionar criterios diferentes de calificación, pudiendo ser otros los valores relativos asignados a los diversos criterios que aquí se han descrito, así como el puntaje de calificación asignado dentro de cada criterio. Por ejemplo, si hubiese que prestar mayor énfasis a la electrificación rural, entonces aquellos proyectos que están lejos de las líneas de transmisión tendrían una calificación más alta que aquellos con acceso a la transmisión, mientras que en la metodología descrita aquí, los proyectos que quedan lejos de las líneas de transmisión tienden a obtener una calificación menor que los que se encuentran más cerca. (Ver más adelante la descripción de los criterios de infraestructura.) La selección de una metodología depende en gran medida de las metas que se fijen para la clasificación. Basándose en la meta de evaluación seleccionada, la cual consiste en obtener más energía geotérmica comercial en la línea en el menor tiempo posible, hemos seleccionado un enfoque relativamente simple y objetivo que se describe a continuación.

### *1. Reservas Ponderadas Según el Riesgo*

Tal como se describe en el Anexo B de este volumen, para cada área se han estimado volumétricamente las reservas recuperables de energía geotérmica. Se han definido tres categorías de reservas, que se describen en el Anexo B, y que se resumen a continuación (enumeradas en orden ascendente de incertidumbre):

- Categoría 1 - se aplica a recursos que se encuentran bien definidos mediante una combinación de datos de exploración e información de pozos profundos;
- Categoría 2 - se aplica a recursos que tienen suficientes datos de exploración como para permitir estimar el tamaño, profundidad y temperatura del recurso, pero en los que no se cuenta con datos de pozos profundos;
- Categoría 3 - se aplica a recursos que cuentan con suficientes datos de exploración, los cuales permiten estimar los parámetros del yacimiento por medio del cálculo de la cantidad de calor disponible en el sitio a partir de la presencia de intrusiones magmáticas.



La incertidumbre más baja en la estimación de las reservas se aplica a aquellas bajo la Categoría 1, y la más alta para las que se clasifican bajo la Categoría 3. En vista que una área puede tener reservas en más de una categoría, cada una con un nivel diferente de riesgo y de incertidumbre, hemos definido como sigue las reservas ponderadas de acuerdo con el nivel de riesgo:

*Reservas ponderadas según riesgo*

$$= 1.0 \times (\text{Reservas de Categoría 1}) + \\ 0.5 \times (\text{Reservas de Categoría 2}) + \\ 0.25 \times (\text{Reservas de Categoría 3} - \\ [\text{Reservas de Categoría 1} + \text{Reservas de Categoría 2}])$$

Esta fórmula toma en cuenta el hecho que el cálculo de las reservas de Categoría 3, que se realiza a partir de la transferencia de calor magmático de los volcanes en un área, ya incluye cualquier reserva de Categoría 1 o Categoría 2 en esa área. Además, la formula anterior confirma que la estimación de reservas de Categoría 1 es relativamente correcta, menor para el caso de la de Categoría 2 y más incierta para las de Categoría 3. El factor de ponderación de 0.5 utilizado para las reservas de Categoría 2 implica una desviación estándar de 50% del valor más probable, mientras que el factor de ponderación de 0.25 utilizado para las reservas de Categoría 3, implica una desviación estándar de 75% del valor más probable. Debe notarse que las reservas ponderadas según el riesgo son consideradas aquí únicamente para efectos de su calificación y clasificación; y esto no implica ninguna disminución de las reservas previamente calculadas.

En cada área se han asignado puntos de clasificación y calificación para las reservas ponderadas según el riesgo, en una escala de 0 a 30 como se muestra en la Tabla I-4.2, cero puntos implicaría que no existen reservas. La Tabla I-4.2 implica que si una área tiene una alta probabilidad de tener un nivel de reservas de 300 MW o más, también tiene una probabilidad desproporcionadamente alta de poder ser desarrollada. Esta expectativa se funda en la experiencia que se tiene de desarrollos de tipo geotérmico en varios países, siendo la principal razón la economía de escala que ofrece un desarrollo de mayor tamaño. Muchos de los ejemplos más sobresalientes de proyectos geotérmicos comerciales en todo el mundo tienen reservas en el orden de





los 300 MW o más; por ejemplo: Tiwi, Makban y Leyte en las Filipinas; Cerro Prieto en México; Darajat y Salak en Indonesia; Lardarello en Italia; y Coso, Salton Sea y The Geysers en los Estados Unidos.

Los puntos de calificación y clasificación asignados para las reservas ponderadas según el riesgo en cada área se presentan en la Tabla I-4.3.

En la Tabla I-4.3 se puede notar que para el caso del complejo volcánico Telica (en el cual se contemplan dos áreas compartiendo un mismo sistema volcánico) el total de las reservas de Categoría 3, estimadas en 307 MW, han sido subdivididas en dos regiones: Volcán Telica - El Ñajo y San Jacinto - Tizate. Aproximadamente 60% de las mismas (184 MW) han sido asignadas al área de Volcán Telica - El Ñajo, por su correspondiente mayor extensión geográfica. El 40% restante (123 MW) han sido asignadas al área de San Jacinto - Tizate, la cual es de menor extensión. A esta área se le asignaron también 81 MW de reservas de Categoría 3 del vecino Volcán Rota, localizado al sureste de San Jacinto. Esta división de las reservas de Categoría 3 se discute con mayor detalle en los Volúmenes IV y V.

Si bien esta asignación de las reservas de Categoría 3 para el complejo Telica tiene buen sentido desde el punto de vista de extensión geográfica, la misma tiende a descontar la magnitud de las reservas de riesgo ponderado, particularmente para el área del Volcán Telica - El Ñajo, con relación a otras áreas que se muestran en la Tabla I-4.3. El área de San Jacinto - Tizate también sufre del mismo problema, pero la adición de las reservas del Volcán Rota compensa en alguna manera esta deficiencia.

Por lo tanto, con el objeto de proveer una asignación mas justa de las reservas para ambos campos, se podría utilizar el total estimado para el complejo Telica de reservas de Categoría 3 (307 MW) y asignarlas al área de Volcán Telica - El Ñajo, con lo cual las reservas de riesgo ponderado estimadas para esta área se incrementan a 109 MW (correspondientes a 11 puntos), comparado con 78 MW (8 puntos) calculados por el método de extensión geográfica. Igualmente, los cálculos para el área de San Jacinto - Tizate, utilizando el total de los 307 MW del complejo Telica más los 81 MW de reservas del Volcán Rota, incrementarían la estimación de reservas de riesgo ponderado para esta área a 218 MW (correspondiente a 22 puntos).



Es también útil considerar la subdivisión que se hizo para el área de Masaya-Granada-Nandaime en tres zonas distintas: Caldera de Masaya, Caldera de Apoyo y Volcán Mombacho, lo cual se detalla en la sección 3.10 y en el Volumen Y. La Tabla I-4.3b muestra las reservas de riesgo ponderado por separado para cada una de las tres zonas, y los puntos asignados a cada una como áreas de exploración separadas.

### *2. Nivel de Desarrollo*

A este criterio se le han asignado puntos en una escala de uno a 20. La Tabla I-4.1 exhibe nuestra evaluación relativa del nivel de desarrollo para cada una de las áreas. A aquellos proyectos que se encuentran en la etapa de reconocimiento se le ha asignado un puntaje entre 0 y cinco; dependiendo del avance que se haya realizado en la exploración de una área dada. De igual manera, a un proyecto en la etapa de pre-factibilidad se le ha asignado un puntaje entre cinco y 10, y los proyectos en la etapa de factibilidad reciben entre 10 y 15 puntos. Un proyecto en la fase de operación puede recibir entre 15 y 20 puntos. Este criterio reconoce el hecho que un proyecto en una etapa más avanzada de desarrollo es más atractivo para una empresa interesada en su explotación que uno en una etapa menos avanzada.

Los puntos de categorización asignados para este criterio en cada área se indican en la Tabla I-4.4.

### *3. Características del Recurso*

Al estimar las reservas se han considerado varias características del recurso, tales como temperatura, área del yacimiento, el espesor y la porosidad del yacimiento. Sin embargo, hay otras características que deben ser tomadas en cuenta en cualquier intento sistemático de clasificación y calificación. Desafortunadamente, estas son las que no se conocen en su totalidad o no son fáciles de cuantificar como las que se utilizan en la estimación de reservas. Tales características son: profundidad de perforación, productividad de los pozos, potencial de incrustación, potencial de corrosión y complejidad del recurso.

La profundidad de perforación es importante debido a que tiene un impacto sobre los costos de capital para realizar el desarrollo del campo; entre mayor sea la profundidad de perforación, el proyecto se torna más costoso (asumiendo que todas las otras variables permanecen constantes). La productividad de los pozos, en



términos de capacidad en MW por pozo, impacta no solo el capital sino también la operación y el mantenimiento (O y M) de un proyecto. La productividad de un pozo es función de la capacidad de flujo y de la capacidad de almacenamiento del yacimiento, de la eficiencia del flujo dentro del agujero y del diseño de la perforación, de la entalpía y el contenido de gas en el fluido producido. El potencial de incrustación y de corrosión son importantes, ya que su mitigación le agrega costos al proyecto, en especial los de operación y mantenimiento. La complejidad del recurso incluye varias incertidumbres geológicas que pueden afectar la magnitud del éxito de la perforación, afectándose también los costos de desarrollo del campo. Otro aspecto relacionado con la complejidad del recurso es la naturaleza hidrológica del yacimiento: su heterogeneidad, la extensión y naturaleza de la recarga natural, *etc.*, que afectan tanto los costos de capital como los costos de operación y mantenimiento de un proyecto.

En un proyecto es casi imposible cuantificar el impacto de todas las características del recurso. No obstante, hemos asignado puntos de calificación para cada una de dichas características en cada una de las áreas, en una escala de 0 a 20, basados en la intensidad de cada uno de los cinco factores anteriormente descritos (profundidad de perforación, productividad de los pozos, potencial de incrustación, potencial de corrosión y complejidad del recurso). A cada uno de los cinco factores se les ha asignado puntos de calificación entre 0 y cuatro, de tal forma que los puntos totales pueden sumar entre 0 y 20. Un valor de 20 puntos implica que las características del recurso no impactarán negativamente la economía del proyecto, mientras que un valor de cero implica que existen características adversas que no se pueden mitigar y que por lo tanto evitan la realización del proyecto.

A las cinco características individuales del recurso se les han asignado puntos en una escala de 0 a cuatro; cero puntos implican una alta posibilidad de que exista un impacto que afecte seriamente a tal característica, y cuatro puntos implican muy baja posibilidad. Por ejemplo, en cuanto a la profundidad de perforación, se asume que los puntos de categorización son cero si la profundidad es mayor de cuatro km, siendo este el límite de profundidad de cualquier desarrollo geotérmico comercial; en ningún lugar existiría un pozo geotérmico comercial con mayor profundidad. A los puntajes de 1, 2; 3 y 4 se les asigna profundidades entre tres y cuatro km, entre dos y tres km, entre uno y dos km y de menos de un km, respectivamente, reflejando



un costo menor de perforación para las profundidades más someras. Si en una área existen múltiples niveles de producción que requieren de un rango mayor de profundidades de perforación que el mencionado anteriormente, para efectos de asignar los puntos de calificación se considera como rango de profundidad el punto medio de cada rango de profundidad más y menos 0.5 km.

Para la productividad de los pozos (asumiendo que es la productividad promedio de todos los pozos del área), el puntaje se ha asignado como sigue:

<u>Productividad de Pozo</u> <u>(MW netos)</u>	<u>Puntos de</u> <u>Calificación</u>
Menos de 2	0
2-5	1
6-10	2
11-20	3
Mayor de 20	4

El esquema anterior toma en cuenta las productividades de pozos geotérmicos productores de la región Centroamericana (ver la **Figura I-4.1**) y también toma en cuenta de los siguientes hechos: (a) no cabe la posibilidad de realizar un desarrollo geotérmico comercial si la productividad promedio por pozo es menor de 2 MW; (b) entre mayor sea la productividad promedio por pozo, el proyecto será más atractivo; y (c) por diferentes razones técnicas y prácticas- un pozo comercial raramente es puesto a producir en forma rutinaria a una capacidad mayor de 20 MW, aún cuando tenga una capacidad mayor de producción.

En cuanto al potencial de incrustación y corrosión y la complejidad del recurso, 0 puntos implica que existe un problema serio con impactos muy adversos que no se pueden mitigar, y cuatro puntos implica muy poca posibilidad de que esto suceda. A cualquier posibilidad entre estos dos extremos se le asigna un valor de 1, 2, o 3, sobre una base subjetiva.

Si existe incertidumbre sobre alguna de las características de una área, entonces se supone para ésta un valor medio de dos. Esta suposición concuerda con la experiencia que se tiene en la industria a nivel mundial. Por



ejemplo, un valor medio de dos para la profundidad de perforación implica un rango de profundidad de dos a tres km, lo cual estadísticamente es el rango más común de profundidad de perforación en los pozos comerciales. Un valor de 2 para la productividad de un pozo implica un rango de seis a 10 MW, que es el rango encontrado más frecuentemente en áreas volcánicas.

El puntaje total de calificación para cada criterio de clasificación de un recurso se toma como la suma de los puntos obtenidos para cada una de las cinco características.

#### *4. Restricciones Ambientales*

Los costos de capital y de O y M de un proyecto pueden verse afectados por restricciones ambientales a causa del acceso, perforación, construcción, consumo de agua y desecho de aguas residuales, y / o por la posibilidad de interrupción de las actividades del proyecto o por requerimientos de pago de compensaciones. Desafortunadamente, no existe una base objetiva para cuantificar estos impactos. Por consiguiente, para cada una de las áreas se ha asignado un puntaje total de categorización, con una escala de 0 a 10 basada en la evaluación subjetiva del impacto relativo causado por las restricciones, representando 10 puntos el caso de que no exista ninguna restricción, y cero el caso de una o más restricciones lo suficientemente serias como para evitar el desarrollo de un proyecto. Para éste y para los últimos dos criterios, el proceso de calificación se realiza asignándoles un valor inicial de cinco, y luego se agrega o resta a partir de este valor medio, después de evaluar las condiciones locales.

#### *5. Peligros Geológicos*

Dentro de los peligros geológicos se incluye: erupción volcánica, explosión freática, derrumbes, terremotos, subsidencia del terreno, e inundación. Estos peligros pueden incrementar los costos de capital, así como los de operación y mantenimiento de un proyecto. Si los peligros son importantes, el proyecto tendrá que incurrir en costos mayores de seguros o mitigación, en el tanto en que sea posible obtener un seguro o mitigar tales peligros. Para este caso, tampoco existe una base sencilla para cuantificar estos peligros. Se le ha asignado a cada área un puntaje subjetivo de peligro geológico en una escala de 0 a 10, representando 10 puntos el caso que no exista ningún peligro geológico conocido, y cero el caso de un área que es demasiado



peligrosa para realizar el desarrollo de un proyecto. Se asigna un valor inicial de 5, y luego se le agregan o restan puntos después de evaluar el potencial de peligros geológicos en un área dada.

### *6. Factores de Infraestructura*

El costo, y aún la viabilidad de un proyecto, puede verse afectado por diversos factores de infraestructura. Dentro de estos se incluyen: 1) necesidad de construir nuevos caminos o puentes; 2) disponibilidad de sitios para pozos y otras estructuras; 3) facilidad de acceso para la exploración, perforación y construcción; 4) distancia a las líneas de transmisión y al mercado; 5) posibilidad de venta de energía adicional a la red, *etc.* Igual que las restricciones ambientales y los peligros geológicos, estos factores no son fáciles de cuantificar y tienen que valorarse de manera subjetiva. A cada área se le ha asignado un puntaje para los factores de infraestructura, en una escala de 0 a 10, representando 10 el caso en que no exista ninguna limitación de tipo de infraestructura y cero puntos para el proyecto que no pueda desarrollarse debido a limitaciones insuperables de infraestructura. De nuevo, se asigna un valor medio inicial de 5, y luego se agregan o restan puntos con base a las consideraciones de infraestructura en cada una de las áreas.

La calificación final se basa en los puntajes totales obtenidos para cada uno de los seis criterios de evaluación en cada área, resultando el puntaje total en un valor ubicado entre 0 y 100 puntos. Una calificación total de cero representa el caso de una área que no tiene posibilidades de desarrollo, y un total de 100 puntos representa el caso de un área con un potencial extraordinario de desarrollo. Por lo tanto, un puntaje de 100 representaría un área con un nivel ajustado de reservas de 300 MW o más, y que ya posee una planta geotérmica operando con éxito. El puntaje completo implica alta productividad de los pozos, profundidades someras de perforación, ningún potencial de incrustación o corrosión, y un recurso relativamente simple de explotar. Además, el área no tendría ninguna restricción ambiental ni peligros geológicos, ni limitaciones de infraestructura. Si a alguno de los seis criterios de categorización se le asignan cero puntos, el área no tiene posibilidades de desarrollo, sin importar cuál es el puntaje total del área; es decir, una calificación de cero en cualquiera de los criterios automáticamente convierte en cero el puntaje total. Así, todas las 10 áreas han sido clasificadas y calificadas en orden descendente de prioridad para su desarrollo, con los puntajes totales más bajos representan la prioridad más baja.



#### 4.2.2 Resultados

La Tabla I-4.3 muestra los puntos de calificación asignados con base a reservas ponderadas según el riesgo para cada área. Como se describió anteriormente, estos puntos se asignan descontando las reservas de Categoría 2 y 3 presentadas en los Volúmenes II a XI, utilizando la tabla de Puntos de Calificación (Tabla I-4.2). De acuerdo con la Tabla I-4. 1, se han asignado puntos que califican el nivel de desarrollo de cada área, como se muestra en la Tabla I-4.4.

La Tabla I-4.5 muestra los puntajes asignados según las características del recurso en cada área. Si se desconoce alguna de las características individuales de cada recurso, se le asignan 2 puntos, en una escala de 0 a 4.

A los otros tres criterios se les han asignado puntajes basados en una evaluación subjetiva de la información relevante, para las diferentes áreas presentadas en los Volúmenes II a XI. A cada uno de estos tres criterios, se les ha asignado el valor medio de 5 puntos si el nivel de conocimiento del área no permite ninguna evaluación concluyente del criterio.

La Tabla I-4.6 muestra los puntajes obtenidos de todos los seis criterios, así como el número total de puntos para cada área. En la Tabla I-4.7 se han clasificado las diez áreas según el orden decreciente de prioridad para su desarrollo, en combinación con ciertas fichas técnico económicas relacionadas con la exploración y confirmación de las áreas. Las recomendaciones, los costos y los factores logísticos y ambientales son un resumen de información que se presenta en el capítulo 3 y en los volúmenes II a XI de este estudio.

#### 4.2.3 Discusión

La Tabla I-4.7 muestra que, utilizando el criterio descrito anteriormente, el área de Masaya - Granada - Nandaime tiene la categoría más alta, con 69 puntos de un total de 100 puntos posibles. Aún cuando esta área muestra un puntaje bastante alto en varios de los criterios considerados, el factor que más influyó para dar una alta puntuación final, fue el alto nivel de las reservas ponderadas según el riesgo, que resultó ser el mayor entre todas las áreas estudiadas. El alto nivel de las reservas estimadas se debe al hecho que Masaya-



Granada-Nandaime corresponde a una área muy amplia que abarca varios complejos volcánicos importantes y diferentes zonas con potencial geotérmico (ver sección 3.10 y la Tabla I-4.3b). Si cada una de las diferentes zonas con potencial de tipo geotérmico fuese evaluada separadamente en vez de evaluarlas en conjunto como se hizo en este estudio, el rango de las mismas quedaría por detrás de las áreas de San Jacinto - Tizate y de Momotombo, siguiendo las pautas establecidas para esta clasificación.

El área de la Isla de Ometepe se categoriza como la más baja, con 41 puntos. Los principales factores que influyeron para dar un bajo puntaje a esta área fueron su incipiente estado de desarrollo, las consideraciones de infraestructura (debidas más que nada a su relativo aislamiento), y un nivel comparativo bastante alto de riesgo geológico, asociado sobre todo con la actividad del Volcán Concepción. El resto de las áreas geotérmicas yace entre estos dos extremos.

En general, el resultado final del puntaje de calificación para las distintas áreas revela un rango de holgura bastante pequeño (de 41 a 69 puntos), lo cual sugiere que a pesar de sus características muy diversas, si no todas, por lo menos la mayoría de las áreas estudiadas muestran algún potencial para satisfacer, en una manera importante, la demanda energética de Nicaragua. Es necesario anotar de nuevo que la metodología utilizada aquí para asignar los niveles de prioridad a las distintas áreas estudiadas corresponde solamente a una de las posibles metodologías. La aplicación de otros métodos podría mostrar resultados distintos en la clasificación, y hasta podrían resultar más apropiados para satisfacer los requerimientos de las firmas interesadas en conducir el desarrollo, de las agencias gubernamentales u otras entidades, de acuerdo a sus necesidades y objetivos específicos.



## TABLAS

Tabla I-3.1: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Volcán Cosigüina

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Potenciales impactos en el bosque nativo y en especies animales, incluyendo especies amenazadas, especialmente en la parte central del volcán Cosigüina.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación.	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Impactos potenciales en las aguas superficiales.	Débil	No descargar aguas residuales en el drenaje superficial, tanto durante la construcción, como durante la operación.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección.
Impactos potenciales en aguas subterráneas.	Débil- Moderada	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de Sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección.
Posible aumento de la erosión debido a excavaciones u otras actividades en áreas donde están presentes depósitos superficiales poco consolidados.	Débil - Significativa (dependiendo del sitio específico la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial. No causar modificaciones del drenaje.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción. Control y mantenimiento de las obras de desagüe, alcantarillas, canales de drenaje, etc.

Tabla I-3.2: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Area de Volcán Cosigüina

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	\$15,000	1 mes			■											
Caminos y plataformas	\$75,000	2 meses			■	■										
Perforación (10 a 12 pozos)	\$500,000 a \$600,000	5 meses				■	■	■	■	■						
III Investigaciones complementarias:																
Toma de registros de temperatura	\$50,000	1 mes								■						
Interpretación geológica detallada de áreas seleccionadas	\$100,000	6 meses			■	■	■	■	■	■						
Gravimetría	\$50,000	1 mes			■											
Otros estudios geofisicos	\$50,000				■											
Muestreo geoquímico	\$20,000	1 mes			■											
IV Análisis completo y síntesis de los resultados (Estudio de Pre-Factibilidad)	\$100,000	4 meses										■	■	■	■	
V Administración	\$100,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VI Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VII 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>\$1,305,000 a \$1,605,000</b>															

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

Tabla I-3.3: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad,  
 Área de Volcán Cosigüina

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Año 1 - meses				Año 2 - meses				
			1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	
I Concesiones y Permisos Ambientales (incluyendo recolección de datos y Estudios Ambientales)											
Para perforación exploratoria	\$50,000	5 meses	■	■							
Para obtener la Concesión de Explotación	\$150,000	20 meses		■ Estudios de campo				■ Informe EIA/Concesión			
II Perforación de Pozos de Diámetro Comercial											
Caminos y Plataformas	\$325,000	7 meses		■	■	■					
Suministro de agua	\$150,000	3 meses		■							
Perforación (2 pozos productores, 1 pozo inyector)	\$4,000,000	10 meses			■						
Pruebas, registros y muestreo	\$200,000	3 meses				■	■	■	■		
Evaluación	\$75,000	3 meses					■	■	■		
Administración	\$100,000	duración	■								
Preparación de Informes	\$75,000	3 meses					■	■	■		
III Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración	■								
IV Diseño preliminar de las Instalaciones de Superficie	\$60,000	2 meses								■	■
V Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico - Económica)	\$100,000	2 meses									■
<b>TOTAL:</b>	<b>\$5,290,000</b>										

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

Tabla I-3.4: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Volcán Casita - San Cristobal

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, si las actividades de exploración y desarrollo se dan en zonas de mayor elevación dentro del complejo volcánico.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación.	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil - Significativa (dependiendo del sitio específico de la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial. 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.	Débil	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Muy Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto. 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 I-3.5: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Area de Volcán Casita - San Cristobal

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	\$300,000	3 meses														
II Perforación de gradiente de temperatura	[sería recomendable terminar y evaluar los resultados de los otros estudios de pre-factibilidad, antes de tomar la decisión de realizar cualquier perforación en esta etapa]															
Suministro de agua																
Caminos y plataformas																
Perforación																
Toma de registros de temperatura																
III Investigaciones complementarias:																
Interpretación geológica detallada de Volcán Casita	\$50,000	3 meses														
Gravimetría	\$50,000 a \$75,000	2 meses														
IV Análisis completo y síntesis de los resultados (Estudio de Pre-Factibilidad)	\$75,000	3 meses														
V Administración	\$25,000	duración														
VI Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración														
VII Estudios de Impacto Ambiental para obtener la Concesión de Exploración	\$10,000	2 meses														
<b>TOTAL:</b>	<b>\$515,000 a \$540,000</b>															

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

Tabla I-3.6: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad,  
 Área de Volcán Casita - San Cristobal

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Año 1 - meses				Año 2 - meses			
			1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12
I Concesiones y Permisos Ambientales (incluyendo recolección de datos y Estudios Ambientales)										
Para perforación exploratoria	\$50,000	5 meses								
Para obtener la Concesión de Explotación	\$150,000	20 meses			Estudios de campo		Informe EIA/Concesión			
II Perforación de Pozos de Diámetro Comercial										
Caminos y Plataformas	\$750,000	8 meses								
Suministro de agua	\$250,000	3 meses								
Perforación (2 pozos productores, 1 pozo inyector)	\$4,000,000	10 meses								
Pruebas, registros y muestreo	\$200,000	3 meses								
Evaluación	\$75,000	3 meses								
Administración	\$100,000	duración								
Preparación de Informes	\$75,000	3 meses								
III Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración								
IV Diseño preliminar de las Instalaciones de Superficie	\$60,000	2 meses								
V Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico - Económica)	\$100,000	2 meses								
<b>TOTAL:</b>	<b>\$5,815,000</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).

Tabla I-3.7: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Volcán Telica - El Ñajo

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, si las actividades de exploración y desarrollo se dan en zonas de mayor elevación dentro del complejo volcánico.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil - Significativa (dependiendo del sitio específico de la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial. 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.	Débil - Moderada	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Muy Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto. 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 I-3.8: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad,  
 Área de Volcán Telica - El Ñajo

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Año 1 - meses				Año 2 - meses				
			1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	
I Concesiones y Permisos Ambientales (incluyendo recolección de datos y Estudios Ambientales)											
Para perforación exploratoria	\$50,000	5 meses	■	■							
Para obtener la Concesión de Explotación	\$150,000	20 meses		■ Estudios de campo				■ Informe EIA/Concesión			
II Perforación de Pozos de Diámetro Comercial											
Caminos y Plataformas	\$650,000	8 meses		■	■	■					
Suministro de agua	\$200,000	3 meses		■							
Perforación (2 pozos productores, 1 pozo inyector)	\$4,000,000	10 meses		■	■	■	■	■			
Pruebas, registros y muestreo	\$200,000	3 meses				■	■	■			
Evaluación	\$75,000	3 meses				■	■	■			
Administración	\$100,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	
Preparación de Informes	\$75,000	3 meses				■	■	■			
III Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	
IV Diseño preliminar de las Instalaciones de Superficie	\$60,000	2 meses							■	■	
V Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico - Económica)	\$100,000	2 meses								■	
<b>TOTAL:</b>	<b>\$5,665,000</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).

Tabla I-3.9: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de San Jacinto - Tizate

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, si las actividades de exploración y desarrollo se dan en zonas de mayor elevación dentro del complejo volcánico.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos y plataformas ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación.	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil - Significativa (dependiendo del sitio específico de la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial. 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.	Moderada	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección. Monitoreo de los manantiales del Río El Chorro, y de pozos someros de abastecimiento.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de las obras del proyecto)	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto. Si es necesario, controlar los horarios del uso de equipos ruidosos y/o controlar el ruido. Controlar la contaminación del aire con el uso de métodos y equipos adecuados.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.

Tabla I-3.10: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para el Reconocimiento Detallado, Área de San Jacinto-Tizate, Zona del Cerro Rota

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Mes →														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
I Investigaciones geológicas detalladas	\$75,000	3 meses	■	■	■												
II Datación de depósitos volcánicos	\$15,000	1 mes				■											
III Investigaciones geofísicas																	
Electromagnéticas (MT, AMT, CSAMT)	\$200,000	3 meses		■	■	■											
Gravimetría	\$50,000	2 meses		■	■												
IV Análisis completo y síntesis de los resultados	\$50,000	1 mes					■										
V Administración	\$20,000	duración	■	■	■	■											
<b>TOTAL:</b>	<b>\$410,000</b>																

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



Tabla I-3.11: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de El Hoyo-Monte Galán

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, si las actividades de exploración y desarrollo se dan en zonas de mayor elevación dentro del complejo volcánico.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil - Significativa (dependiendo del sitio específico de la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial. 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.	Moderada	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección. Monitoreo de manantiales y de pozos someros de abastecimiento.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto. Si es necesario, controlar los horarios del uso de equipos ruidosos y/o controlar el ruido. Controlar la contaminación del aire con el uso de métodos y equipos adecuados.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.

Tabla I-3.12: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Terminar la Pre-Factibilidad, Area de El Hoyo-Monte Galán

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Mes →												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I Perforación de gradiente de temperatura															
Suministro de agua	\$5,000	1 mes													
Caminos y plataformas	\$25,000	1 mes													
Perforación (6 a 8 pozos, 250 m)	\$390,000 a \$520,000	3 meses													
Toma de registros de temperatura	\$35,000	3 meses													
II Análisis completo y síntesis de los resultados (Estudio de Pre-Factibilidad)	\$100,000	3 meses													
III Administración	\$35,000	duración													
IV Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración													
V 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>\$635,000 a \$765,000</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).

Tabla I-3.13: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad,  
 Área de El Hoyo-Monte Galán

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Año 1 - meses				Año 2 - meses			
			1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12
I Concesiones y Permisos Ambientales (incluyendo recolección de datos y Estudios Ambientales)										
Para perforación exploratoria	\$50,000	5 meses	■	■						
Para obtener la Concesión de Explotación	\$150,000	20 meses		■ Estudios de campo				■ Informe EIA/Concesión		
II Perforación de Pozos de Diámetro Comercial										
Caminos y Plataformas	\$200,000	6 meses		■	■	■				
Suministro de agua	\$50,000	3 meses		■						
Perforación (2 pozos productores, 1 pozo inyector)	\$4,000,000	10 meses			■	■	■	■		
Pruebas, registros y muestreo	\$200,000	3 meses				■	■	■		
Evaluación	\$75,000	3 meses					■	■	■	
Administración	\$100,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■
Preparación de Informes	\$75,000	3 meses					■	■	■	
III Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■
IV Diseño preliminar de las Instalaciones de Superficie	\$60,000	2 meses							■	■
V Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico - Económica)	\$100,000	2 meses								■
<b>TOTAL:</b>	<b>\$5,065,000</b>									

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



Tabla I-3.14: 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 I-3.15: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para la Exploración Adicional, Area 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>															

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



Tabla I-3.16: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental,  
 Área de Managua-Chiltepe (Península de Chiltepe)

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



Tabla I-3.18: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Tipitapa

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos.	Casi ninguna	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional).	Control ambiental durante la construcción..
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial. No causar modificaciones del drenaje superficial natural.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción. Control y mantenimiento de las obras de desagüe, alcantarillas, canales de drenaje, etc.
Impactos potenciales en aguas subterráneas y superficiales.	Débil - Moderada (Evitar contaminación adicional de Laguna de Tisma)	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección. Monitoreo de lagunas, río Tipitapa y de pozos de abastecimiento y riego.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil - Moderada (algunas partes relativamente pobladas)	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Débil - Moderada (algunas partes relativamente pobladas)	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 I-3.19: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Area de Tipitapa

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	\$100,000	2 meses			■	■										
II Perforación de gradiente de temperatura																
Suministro de agua	\$5,000	1 mes			■											
Caminos y plataformas	\$10,000	2 meses			■	■										
Perforación (10 a 12 pozos)	\$200,000 a \$300,000	5 meses				■	■	■	■	■						
III Investigaciones complementarias:																
Toma de registros de temperatura	\$30,000	1 mes								■						
Interpretación geológica detallada de áreas seleccionadas	\$30,000	3 meses		■	■					■						
Gravimetría	\$50,000	1 mes			■											
Otros estudios geofisicos	\$50,000								■							
IV Análisis completo y síntesis de los resultados (Estudio de Pre-Factibilidad)	\$75,000	4 meses									■	■	■	■		
V Administración	\$25,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VI Factores ambientales (ver capítulo 7)	nulo	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VII 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>\$615,000 a \$715,000</b>															

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

Tabla I-3.20: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad,  
 Área de Tipitapa

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Año 1 - meses				Año 2 - meses				
			1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	
I Concesiones y Permisos Ambientales (incluyendo recolección de datos y Estudios Ambientales)											
Para perforación exploratoria	\$35,000	4 meses	■	■							
Para obtener la Concesión de Explotación	\$100,000	18 meses		■	■	■	■	■	■	■	
II Perforación de Pozos de Diámetro Comercial											
Caminos y Plataformas	\$75,000	4 meses		■	■						
Suministro de agua	\$10,000	2 meses		■							
Perforación (2 pozos productores, 1 pozo inyector)	\$2,750,000	7 meses		■	■	■	■				
Pruebas, registros y muestreo	\$175,000	3 meses			■	■	■				
Evaluación	\$60,000	3 meses				■	■	■			
Administración	\$80,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Preparación de Informes	\$60,000	3 meses				■	■	■			
III Factores ambientales (ver capítulo 7)	nulo	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	■
IV Diseño preliminar de las Instalaciones de Superficie	\$45,000	2 meses						■	■		
V Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico - Económica)	\$90,000	2 meses								■	■
<b>TOTAL:</b>	<b>\$3,480,000</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).

Tabla I-3.21: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Masaya-Granada-Nandaime, Zona de Laguna de Apoyo

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos.	Mínima (principalmente si hay obras dentro de la Caldera de Apoyo)	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de operaciones de reforestación.
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial. No causar modificaciones del drenaje superficial natural.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción. Control y mantenimiento de las obras de desagüe, alcantarillas, canales de drenaje, etc.
Impactos potenciales en aguas subterráneas y superficiales	Débil - Moderada (La Laguna de Apoyo ya contiene cierta contaminación geotérmica natural)	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección. Monitoreo de pozos de abastecimiento.
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales y los turistas durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto. Si es necesario, controlar los horarios del uso de equipos ruidosos y/o controlar el ruido. Controlar la contaminación del aire con el uso de métodos y equipos adecuados.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Impactos visuales en la población local y en el turismo	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	Escoger diseños y equipos de impacto mínimo. Localizar obras en zonas escogidas, fuera de vista de puntos turísticos	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.



Tabla I-3.22: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Masaya-Granada-Nandaime, Sector Meridional del Volcán Mombacho

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, principalmente si las actividades de exploración y desarrollo se dan en zonas de mayor elevación dentro del complejo volcánico.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil - Significativa (dependiendo del sitio específico de la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial	Control de aplicación de las medidas durante la construcción. Control y mantenimiento de las obras de desagüe, alcantarillas, canales de drenaje, etc.
Impactos potenciales en aguas subterráneas y superficiales	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección. Monitoreo de manantiales y pozos de abastecimiento
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Muy Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.

Tabla I-3.23: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad y Confirmar la Factibilidad, Area de Masaya-Granada-Nandaime, Zona de Laguna de Apoyo<sup>1</sup>

Actividad	Costo	Duración	Año 1 - meses				Año 2 - meses				Año 3 - meses			
			1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	
I Demostración del Recurso Geotérmico														
a Estudio de Impacto Ambiental: Fase 1 - Concesión de Exploración	\$10,000	1.5 meses	■											
b Interpretación geológica de detalle	\$465,000	4 meses	■	■										
c Estudio de Impacto Ambiental: Fase 2A - Permiso Ambiental de perforación de pozos de gradiente de temperatura	\$30,000	4 meses	■	■										
d Suministro de agua	\$221,000	3 meses												
e Caminos y plataformas	\$405,000	15 meses	■	■	■	■	■	■	■	■				
f Pozos de gradiente de temperatura	\$815,000	6 meses	■	■	■	■	■	■						
g Estudio de Impacto Ambiental: Fase 2B - Permiso Ambiental de perforación exploratoria	\$50,000	4 meses		■	■									
h Pozos exploratorios de diámetro reducido	\$2,100,000	6 meses					■	■						
i Pozos de diámetro comercial	\$4,570,500	10 meses							■	■	■	■		
Subtotal:	\$8,666,500													
II Diseño preliminar de las instalaciones de superficie	\$60,000	2 meses											■	■
Subtotal:	\$60,000													
III Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico - Económica)														
Resumen de las características del recurso y diseño preliminar de la planta	\$22,500	2 meses											■	■
Estudio de Impacto Ambiental: Fase 3 - Concesión de Explotación	\$150,000	20 meses							■	■	■	■	■	■
Síntesis económica - pronóstico de rentabilidad, capital y costos de O&M	\$20,000	1 mes												■
Preparación de informe	\$45,000	2 meses												■
Subtotal:	\$237,500													
<b>TOTAL:</b>	<b>\$8,964,000</b>													

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



Tabla I-3.24: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Terminar la Pre-Factibilidad, Area de Masaya-Granada-Nandaime, Sector Meridional del Volcán Mombacho

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

Tabla I-3.25: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de la Isla de Ometepe

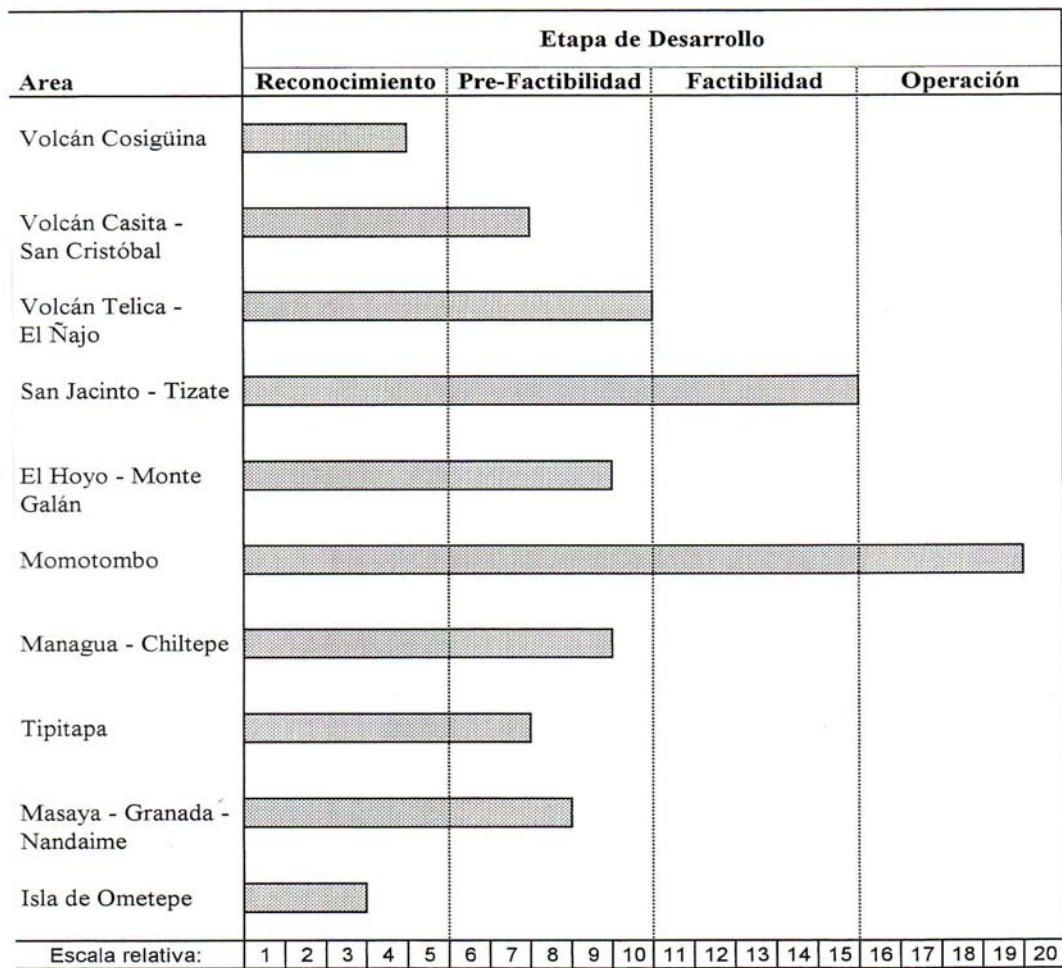
Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, especialmente si las actividades de exploración y desarrollo se dan en zonas centrales de los volcanes.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades	Débil - Significativa (dependiendo del sitio específico de la obra)	Aplicación de todas las buenas prácticas de ingeniería civil e hidráulica en el diseño de carreteras, plataformas, y toda obra que requiera modificaciones de la superficie del terreno, para evitar el flujo descontrolado de las aguas de drenaje superficial.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción. Control y mantenimiento de las obras de desagüe, alcantarillas, canales de drenaje, etc.
Impactos potenciales en aguas subterráneas y superficiales	Débil - Moderada (dependiendo del sitio específico de la obra)	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por los pozos en pilas impermeabilizadas. Reinyección en el reservorio de los fluidos geotérmicos residuales. Construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección. Monitoreo de manantiales y pozos de abastecimiento
Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra.	Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción.	Muy Débil	Establecer un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.	Mantener comunicaciones con los terratenientes durante el proyecto.
Impactos de contaminación por materiales residuales de la perforación y de los procedimientos de construcción.	Débil	Tales impactos pueden ser normalmente evitados a través de un adecuado manejo y disposición de tales materiales. Podría ser necesario remover algunos materiales de la isla o colocar instalaciones especiales para su depositación.	Mantener control sobre manejo y disposición de materiales.

Tabla I-3.26: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para el Reconocimiento Detallado, Área de la Isla de Ometepe

Actividad <sup>1</sup>	Costo <sup>1</sup>	Duración	Mes →														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
I Investigaciones adicionales del agua subterránea y de manantiales	\$10,000	1 mes		■													
II Investigaciones para determinar si existen otros manantiales fuera de la costa	\$10,000	1 mes		■													
III Datación de depósitos arrojados por los cráteres volcánicos parásitos (10 muestras)	\$10,000	1 mes		■													
IV Medición de temperatura del terreno a poca profundidad	\$10,000	1 mes		■													
V Exploraciones geoelectricas adicionales	\$75,000	1 mes				■											
VI Estudios de Impacto Ambiental para obtener la Concensión de Exploración y Permiso Ambiental de perforación (si se requiere)	\$40,000	2 meses	■	■													
VII Aspectos logísticos (camino, plataformas y suministro de agua)	\$10,000	1 mes		■													
VIII Perforación exploratoria somera ( 3 pozos a 500 m)	\$375,000	3 meses			■	■	■										
IX Síntesis, interpretación e informe	\$35,000	1 mes							■								
X Administración	\$20,000	duración	■	■	■	■	■	■									
<b>TOTAL:</b>	<b>\$595,000</b>																

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

**Tabla I-4.1: Etapas de Desarrollo de las Areas Geotérmicas de Nicaragua**





**Tabla I-4.2: Asignación del Puntaje de Clasificación Según las Reservas de Riesgo Ponderado**

<u>Reservas de Riesgo Ponderado</u>	<u>Puntaje de Clasificación</u>	<u>Reservas de Riesgo Ponderado</u>	<u>Puntaje de Clasificación</u>
1 a 10 MW	1	151 a 160 MW	16
11 a 20 MW	2	161 a 170 MW	17
21 a 30 MW	3	171 a 180 MW	18
31 a 40 MW	4	181 a 190 MW	19
41 a 50 MW	5	191 a 200 MW	20
51 a 60 MW	6	201 a 210 MW	21
61 a 70 MW	7	211 a 220 MW	22
71 a 80 MW	8	221 a 230 MW	23
81 a 90 MW	9	231 a 240 MW	24
91 a 100 MW	10	241 a 250 MW	25
101 a 110 MW	11	251 a 260 MW	26
111 a 120 MW	12	261 a 270 MW	27
121 a 130 MW	13	271 a 280 MW	28
131 a 140 MW	14	281 a 290 MW	29
141 a 150 MW	15	291 MW o más	30

**Tabla I-4.3: Puntaje de Clasificación para Reservas de Riesgo Ponderado**

Area	Reservas (MW)				Puntaje de Clasificación
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Riesgo Ponderado	
Volcán Cosigüina	0	0	425	106	11
Volcán Casita-San Cristóbal	0	224	676	225	23
Volcán Telica-El Ñajo	0	127	184	78	8
San Jacinto-Tizate	161	0	184	167	17
El Hoyo-Monte Galán	0	148	489	159	16
Momotombo	142	0	190	154	16
Managua-Chiltepe	0	107	337	111	12
Tipitapa	0	18	0	9	1
Masaya-Granada-Nandaime	0	172	1,285	364	30
Isla de Ometepe	0	0	584	146	15
<b>Totales</b>	<b>304</b>	<b>798</b>	<b>4,357</b>	<b>1,519</b>	

**Tabla I-4.3b: Puntaje de Clasificación para Reservas de Riesgo Ponderado,  
Zonas del Area de Masaya-Granada-Nandaime**

Zona	Reservas (MW)				Puntaje de Clasificación
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Riesgo Ponderado	
Caldera de Masaya			398	99.5	10
Caldera de Apoyo		172	441	153.25	16
Volcán Mombacho			446	111.5	12
<b>Totales</b>		<b>172</b>	<b>1,285</b>	<b>364</b>	

**Tabla I-4.4: Puntaje de Clasificación Según la Etapa de Desarrollo**

Area	Etapa de Desarrollo	Puntaje de Clasificación
Volcán Cosigüina	Reconocimiento	4
Volcán Casita-San Cristóbal	Prefactibilidad	7
Volcán Telica-El Ñajo	Prefactibilidad	10
San Jacinto-Tizate	Factibilidad	15
El Hoyo-Monte Galán	Prefactibilidad	9
Momotombo	Operacional	19
Managua-Chiltepe	Prefactibilidad	9
Tipitapa	Prefactibilidad	7
Masaya-Granada-Nandaime	Prefactibilidad	8
Isla de Ometepe	Reconocimiento	3



**Tabla I-4.5: Estimación del Puntaje de Clasificación Según las Características del Recurso**

Area	Profundidad de Perforación		Productividad de Pozo		Potencial de Incrustación		Potencial de Corrosión		Complejidad del Recurso		Total de Puntos
	Rango de Prof. (km)	Ptos.	Rango MW	Ptos.	Posibilidad	Ptos.	Posibilidad	Ptos.	Complejidad	Ptos.	
Volcán Cosigüina	1-2	3	2-5	1	Posible	2	Poco posible	3	Mayor	1	10
Volcán Casita-San Cristóbal	2-3	2	2-5	1	Posible	2	Poco posible	3	Desconocida o normal	2	10
Volcán Telica-El Ñajo	1-2	3	6-10	2	Posible	2	Poco posible	3	Desconocida o normal	2	12
San Jacinto-Tizate	1-2	3	6-10	2	Posible	2	Poco posible	3	Desconocida o normal	2	12
El Hoyo-Monte Galán	1-2	3	6-10	2	Posible	2	Poco posible	3	Desconocida o normal	2	12
Momotombo	2-3	2	6-10	2	Posible	1	Poco posible	3	Desconocida o normal	2	10
Managua-Chiltepe	1-2	3	2-5	1	Posible	2	Poco posible	3	Desconocida o normal	2	11
Tipitapa	<1	4	<2	0	No posible	3	Muy poco posible	4	Desconocida o normal	2	13
Masaya-Granada-Nandaime	1-2	3	6-10	2	Posible	2	Poco posible	3	Mayor	1	11
Isla de Ometepe	1-2	3	2-5	1	Posible	2	Poco posible	3	Alta	0	9

**Nota:** Ver texto de Capítulo I-4 para explicación de la asignación del puntaje para cada una de las características incluidas en esta tabla

**Tabla I-4.6: Clasificación de las Areas Geotérmicas de Nicaragua**

<b>Area</b>	<b>Criterio 1</b> Reservas de Riesgo Ponderado  (0 a 30)	<b>Criterio 2</b> Etapa de Desarrollo  (0 a 20)	<b>Criterio 3</b> Características del Recurso  (0 a 20)	<b>Criterio 4</b> Consideraciones Ambientales  (0 a 10)	<b>Criterio 5</b> Riesgos Geológicos  (0 a 10)	<b>Criterio 6</b> Consideraciones de Infraestructura  (0 a 10)	<b>Total de Puntos</b>  (0 a 100)
Volcán Cosigüina	11	4	10	6	8	4	<b>43</b>
Volcán Casita-San Cristóbal	23	7	10	5	4	3	<b>52</b>
Volcán Telica-El Ñajo	8	10	12	5	5	5	<b>45</b>
San Jacinto-Tizate	17	15	12	8	7	7	<b>66</b>
El Hoyo-Monte Galán	16	9	12	7	6	8	<b>58</b>
Momotombo	16	19	10	7	4	8	<b>64</b>
Managua-Chiltepe	12	9	11	5	8	9	<b>54</b>
Tipitapa	1	7	13	6	9	8	<b>44</b>
Masaya-Granada- Nandaime	30	8	11	7	8	5	<b>69</b>
Isla de Ometepe	15	3	9	8	3	3	<b>41</b>

**Tabla I-4.7: Resultado de la Clasificación y Fichas Técnico-Económicas de las Areas Geotérmicas de Nicaragua**

Area	Clasificación		Actividades Adicionales Recomendadas <sup>3</sup>			Limitaciones Logísticas y/o Ambientales	Comentario
	Puntaje Total <sup>1</sup>	Reservas Relativas <sup>2</sup>	Tipo de Estudio	Costo Aproximado (Millones \$EUA)	Tiempo requerido		
1 Masaya-Granada-Nandaime	69	30	Pre-Factibilidad y Factibilidad, Zona de Laguna de Apoyo	\$9.0	2.7 años	Area dentro de la caldera es Area Protegida de Interés Nacional de La Laguna de Apoyo. Zona de turismo. Zonas pobladas.	Los costos incluyen la perforación de pozos de gradiente de temperatura y de diámetro reducido, antes de perforar pozos de diámetro comercial.
			Pre-Factibilidad, Sector S del Volcán Mombacho	\$2.3	10 meses	Reserva Natural de la cumbre del Volcán Mombacho (>800 m s.n.m.). Reserva Natural Lagunas de Mecatepe - Río Manares (elevaciones bajas hacia el S).	Area de interés principal es en zona de topografía accidentada con elevaciones de aproximadamente los 500 m - 700 m s.n.m.
2 San Jacinto-Tizate	66	17	Desarrollo de la zona de El Tizate (Factibilidad confirmada)	-	-	Cuerpos hídricos (manantiales del Río El Chorro, acuífero freático) son ampliamente utilizados para el aprovechamiento de la población local. Reserva Natural Complejo Volcánico Telica - Rota (> 300 m s.n.m.)	Varios pozos productivos han comprobado la existencia de un recurso geotérmico de alta temperatura. En combinación existe una capacidad inicial de producción cercana a los 25 MW.
			Reconocimiento Detallado, Zona de Cerro Rota	\$0.4	5 meses	Reserva Natural Complejo Volcánico Telica - Rota (> 300 m s.n.m.)	Volcanismo joven pero sin manifestaciones termales.
3 Momotombo	64	16	Exploración Adicional fuera del campo geotérmico	\$1.0 a \$1.2	11 meses	Reserva Natural del Volcán Momotombo y la Isla Momotombito (> 40 m s.n.m.)	El sector oeste del Volcán Momotombo muestra alguna evidencia de gradientes elevados de temperatura y descargas geotérmicas naturales.
4 El Hoyo-Monte Galán	58	16	Pre-factibilidad Factibilidad	\$0.6 a \$0.8 \$5.1	9 meses 2 años	Reserva Natural del Volcán El Hoyo (> 300 m s.n.m). Reserva del Volcán Momotombo, que incluye la Caldera de Galán (> 40 m s.n.m.)	Pozos de gradiente de temperatura con registros de hasta 124°C ubicados en zona plana (elevaciones bajas) entre El Hoyo y Monte Galán.
5 Managua-Chiltepe	54	12	Factibilidad	\$7.9	2.25 años	Centro Turístico de la Laguna de Jiloá. Reserva Natural de Chiltepe (> 200 m s.n.m.)	Los costos incluyen la perforación de pozos de diámetro reducido, antes de perforar pozos de diámetro comercial

**Tabla I-4.7: Resultado de la Clasificación y Fichas Técnico-Económicas de las Areas Geotérmicas de Nicaragua**

Area	Clasificación		Actividades Adicionales Recomendadas <sup>3</sup>			Limitaciones Logísticas y/o Ambientales	Comentario	
	Puntaje Total <sup>1</sup>	Reservas Relativas <sup>2</sup>	Tipo de Estudio	Costo Aproximado (Millones \$EUA)	Tiempo requerido			
6	Volcán Casita-San Cristóbal	52	23	Pre-factibilidad Factibilidad	\$0.5 \$5.8	8 meses 2 años	Topografía accidentada, elevaciones > 300 m s.n.m. Fuerte carencia de fuentes de agua para la perforación. Reserva Natural en el macizo volcánico del Casita – San Cristóbal (> 300 m s.n.m.)	Zona de interés está > 300 m s.n.m.. Pre-factibilidad no incluye perforación de pozos pero se recomienda evaluar la posibilidad después de terminar y evaluar los resultados de los otros estudios.
7	Volcán Telica-El Ñajo	45	8	Factibilidad	\$5.7	2 años	Topografía accidentada, elevaciones > 200 m s.n.m. Reserva Natural Complejo Volcánico Telica - Rota (> 300 m s.n.m.)	Zona de interés está > 200 m s.n.m..
8	Tipitapa	44	1	Pre-factibilidad Factibilidad	\$0.6 a \$0.7 \$3.5	10 meses 1.7 años	Zonas pobladas.	Geotermómetros indican temperatura del yacimiento 140°-150°C. Pozos existentes para el riego y agua potable. Terreno plano y de fácil acceso.
9	Volcán Cosigüina	43	11	Pre-factibilidad Factibilidad	\$1.3 a \$1.6 \$5.3	1 año 2 años	Lejos del red de electrificación nacional. Reserva Natural Volcán Cosigüina (> 150 a 200 m s.n.m.)	Modelo de mezclas indica yacimiento a >=220°C
10	Isla de Ometepe	41	15	Reconocimiento Detallado	0.6	6 meses	Transporte a la isla por barco. Fuera de la red de electrificación nacional. Toda la isla es Reserva Natural y Patrimonio Cultural de la Nación.	Volcanismo actual (Concepción). Falta de manifestaciones termales fuera del cráter, con excepción de un manantial tibio supuestamente sumergido en el Lago de Nicaragua.

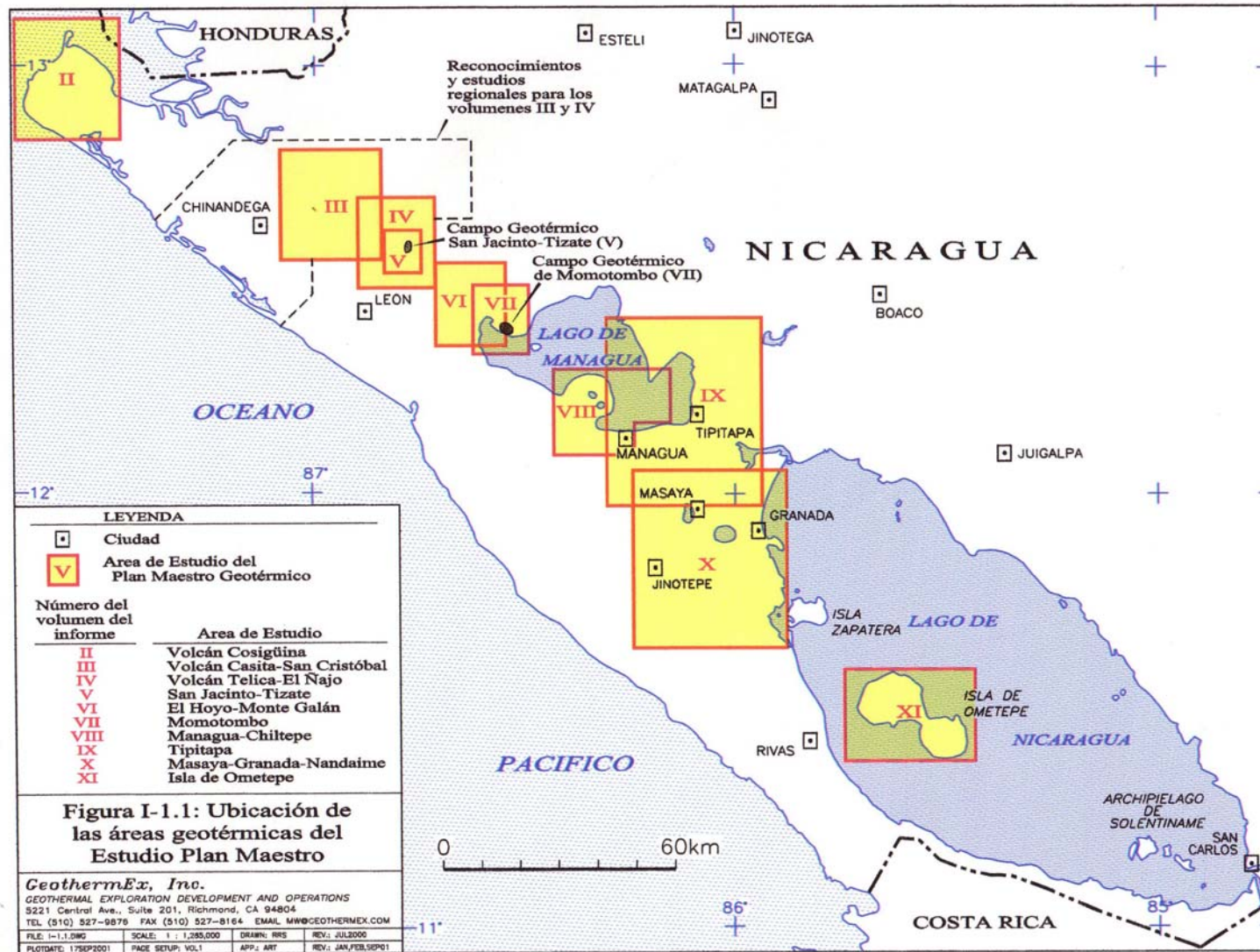
Notas: 1. ver la Tabla I-4.6

2. Reservas relativas de Riesgo Ponderado (cantidad relativa de calor) en escala 0 a 30. Ver la Tabla I-4.3

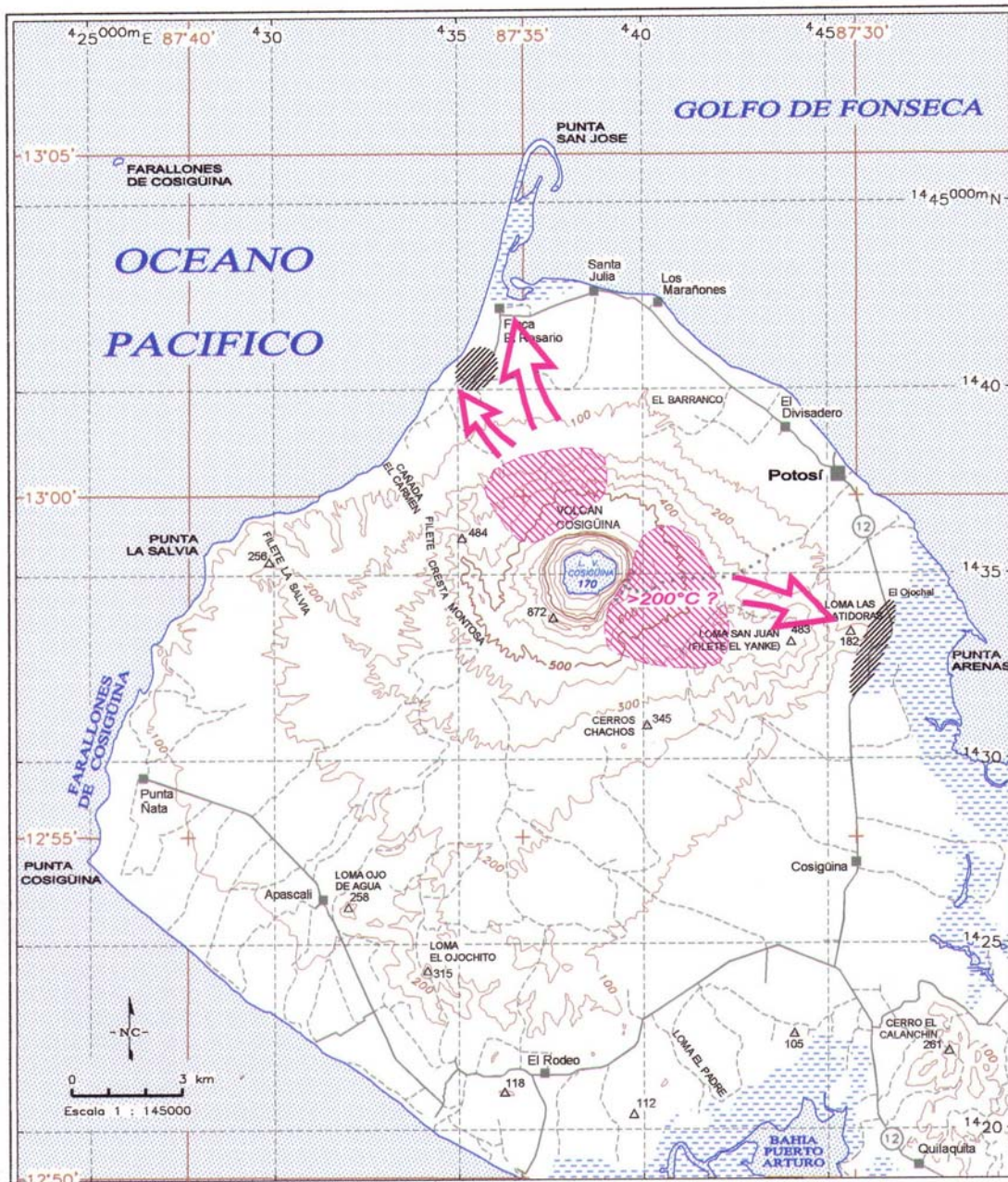
3. Actividades recomendadas con la meta final de comprobar factibilidad (ver los capítulos 9 de los Volúmens II - XI).

## **FIGURAS**














**LEYENDA**

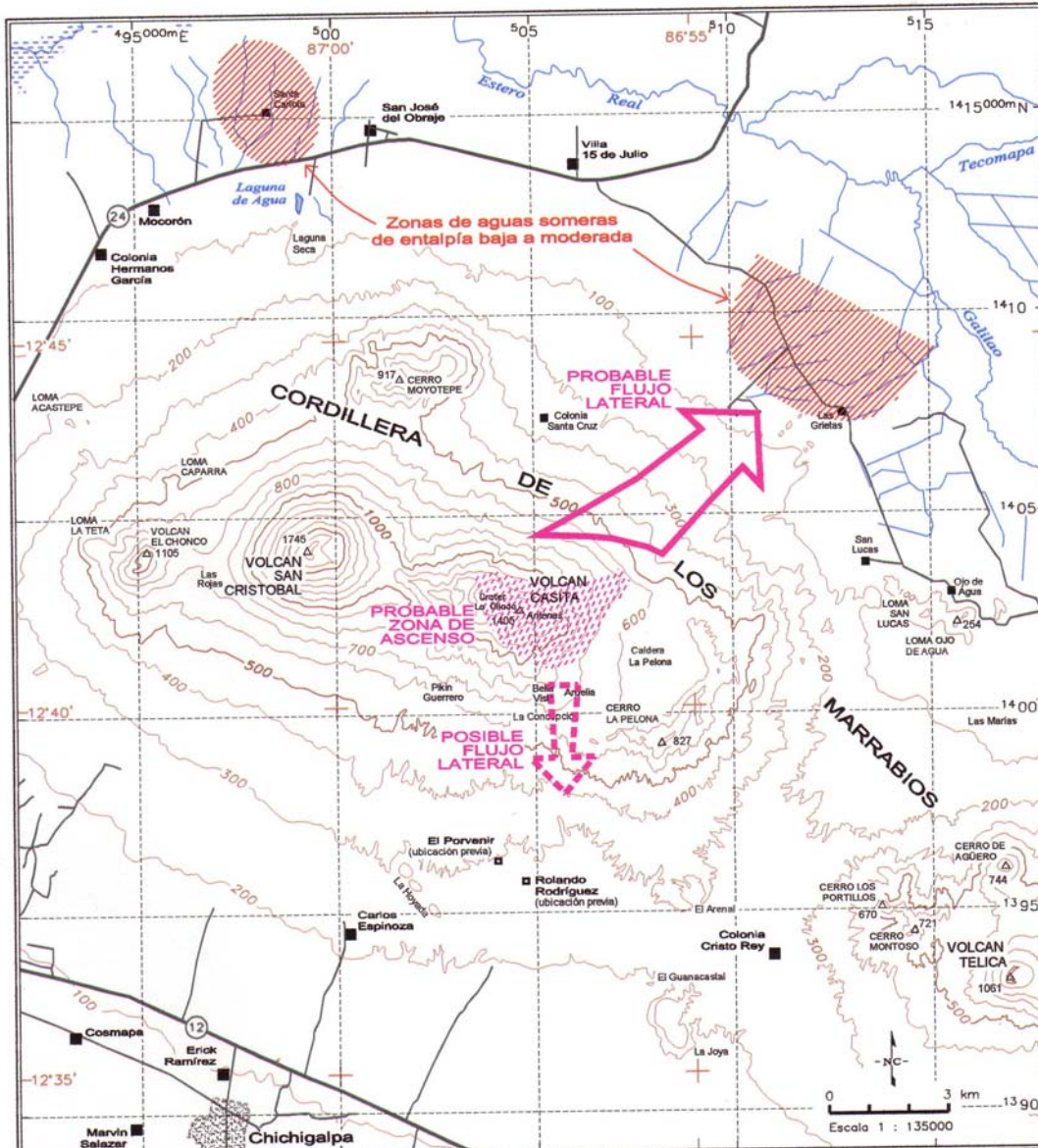
-  Posible zona de ascenso de fluidos
-  Probables flujos laterales
-  Zona de descarga
-  Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
-  Zonas bajas salitrosas, manglares y pantanos transitables

Datos topográficos: INETER (1988)








**Figura I-3.2.1:**  
**Esquema del modelo del sistema geotérmico de Volcán Cosigüina, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: I-3.2.1.DWG	SCALE: 1 : 145000
<small>GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804</small>		PLOTDATE: 27JUN2001	DRAWN: RRS APP: RCH
<small>TEL (510) 527-9878 FAX (510) 527-8184 EMAIL WWW.GEOTHERMEX.COM</small>		PAGE SETUP: VC05-1	REV: APROD/OCT00/FEB01 JUN01





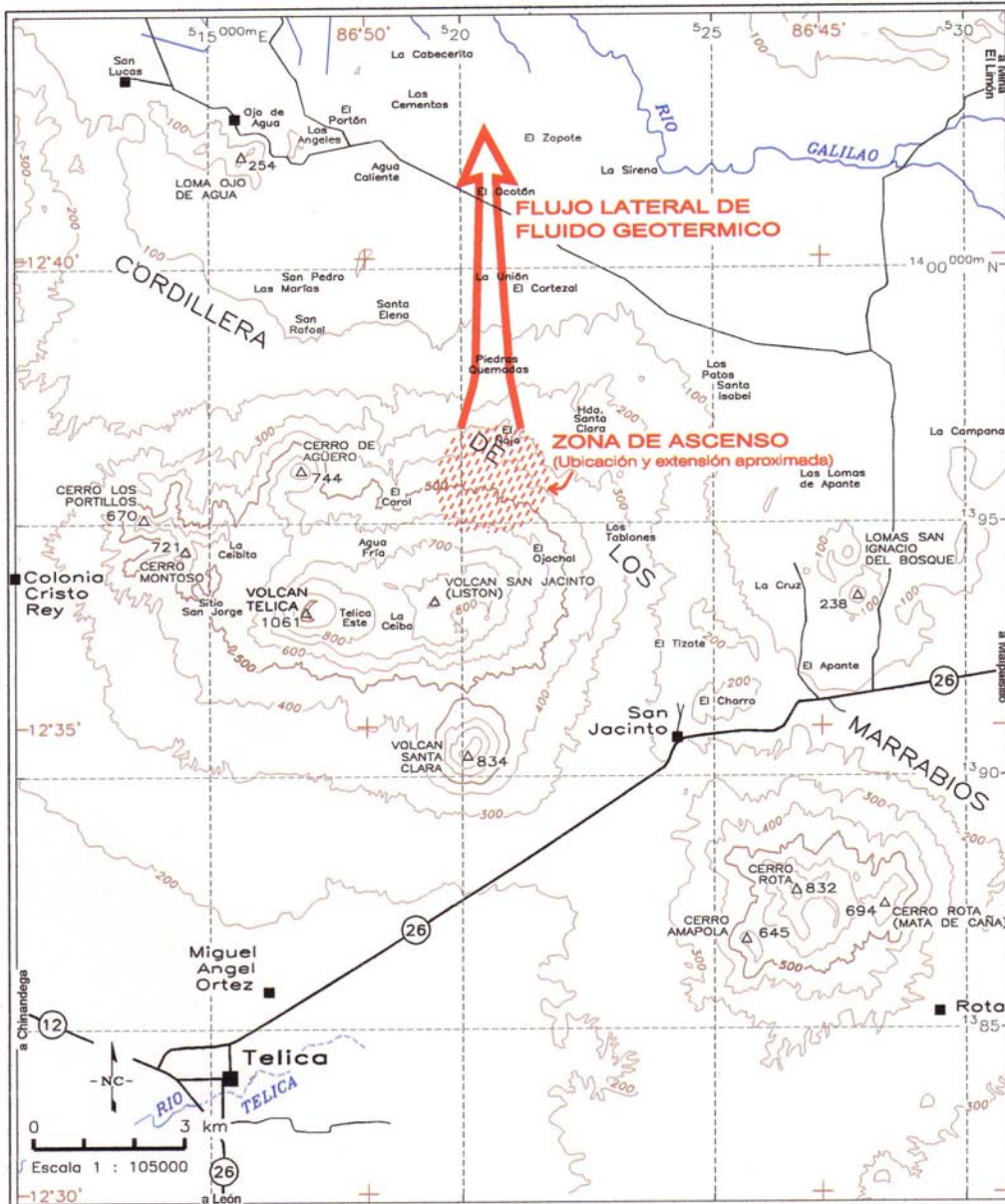
**LEYENDA**

-  Ciudad
-  Poblado
-  Poblados destruidos por derrumbe, 1998
-  Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
-  Datos geográficos: INETER (1988)
-  Carretera nacional
-  Camino secundario

**Figura I-3.3.1:**  
**Modelo geotérmico conceptual,**  
**Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua**

**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL. (510) 527-9878 FAX (510) 527-8184 EMAIL: INFO@GEOTHERMEX.COM

SCALE: 1 : 125000	PLTDATE: 29MAY2001
FILE: I-3.3.1.DWG	DSGNR: RYS APP: RCH
PAGE SETUP: WCS-1	REV: NWR,APP,03.05, OCT01/JAN/MAR/01



**LEYENDA**

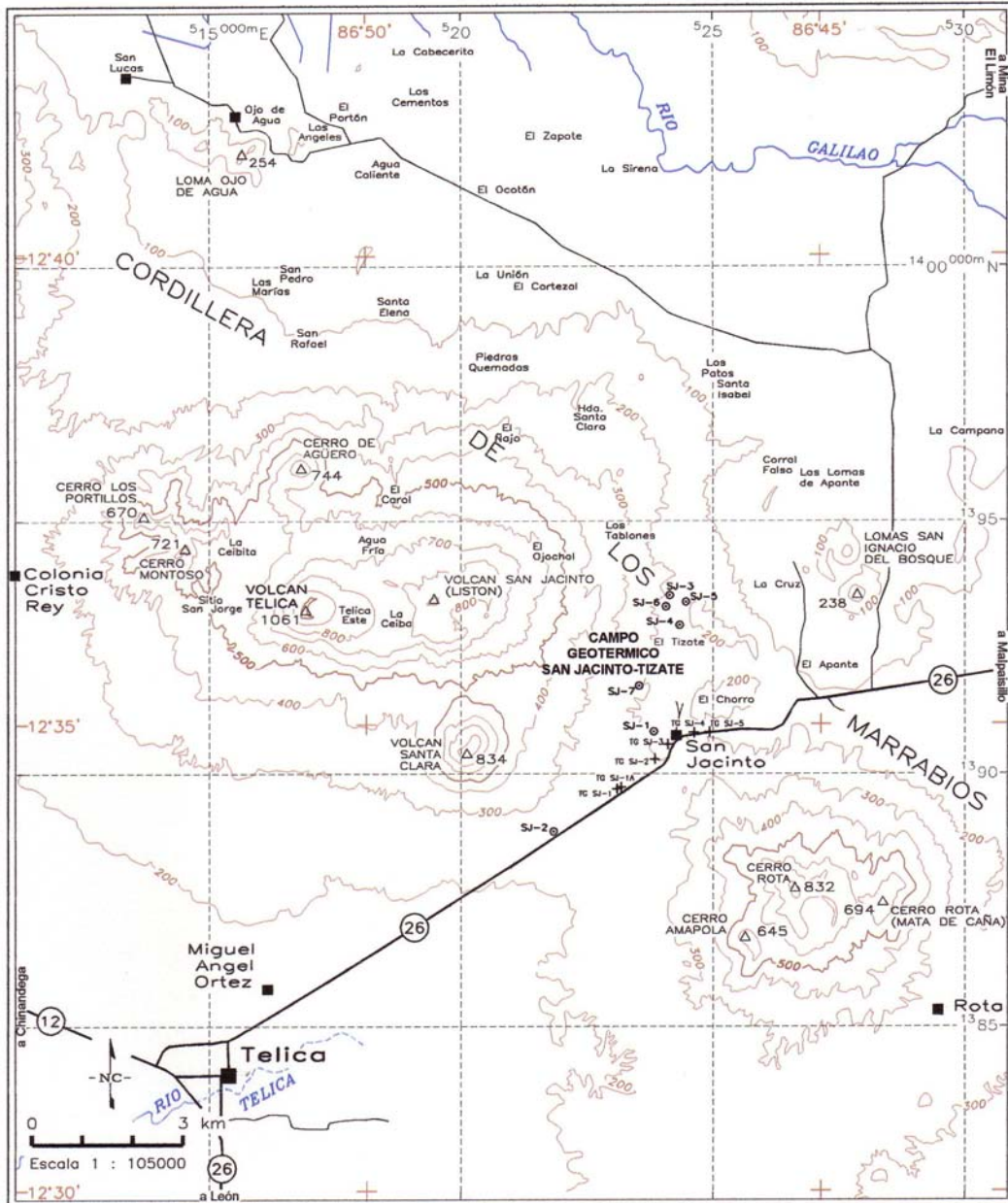
- Poblado
- (12)— Carretera nacional
- Camino secundario
- 100— Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)

Datos topográficos: INETER (1988)

**Figura I-3.4.1:**  
**Modelo geotérmico conceptual,**  
**Volcán Telica-El Najo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>	FILE: I-3.4.1.DWG	SCALE: 1 : 105000
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS	PLTDATE: 22OCT2001	DRAWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804	PAGE SETUP/VELELN	REV: DEC99/PROO/JAND1
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL: MW@GEOTHERMEX.COM		JUL01/OCT01



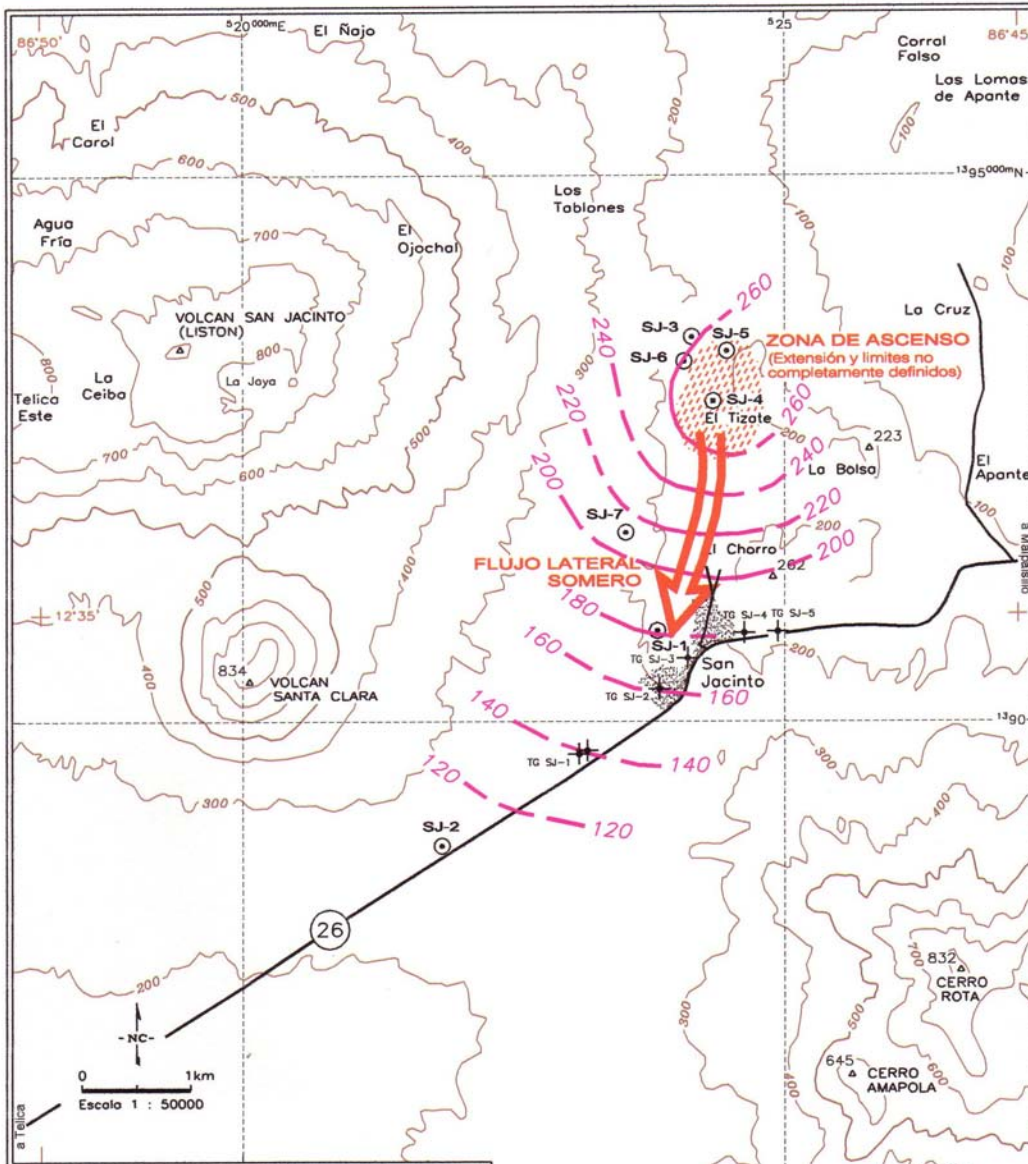


**LEYENDA**

■ Poblado	SJ-2 ⊕ Pozo geotermico profundo
⊖(12) Carretera nacional	⊕ Pozo gradiente somero (aprox. 60m) de Texas Instruments (1970)
— Camino secundario	
-100- Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)	
Datos topograficos: INETER (1988)	

**Figura I-3.5.1:**  
**Mapa de ubicación,**  
**San Jacinto-Tizate, 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: I-3.5.1.DWG SCALE: 1 : 105000 PLOTDATE: 29OCT2001 DRAWN: RRS APP: RCH PAGE SETUP: VIELELN REV: DEC89/APROD/JUN01 JUL01/OCT01
--	---



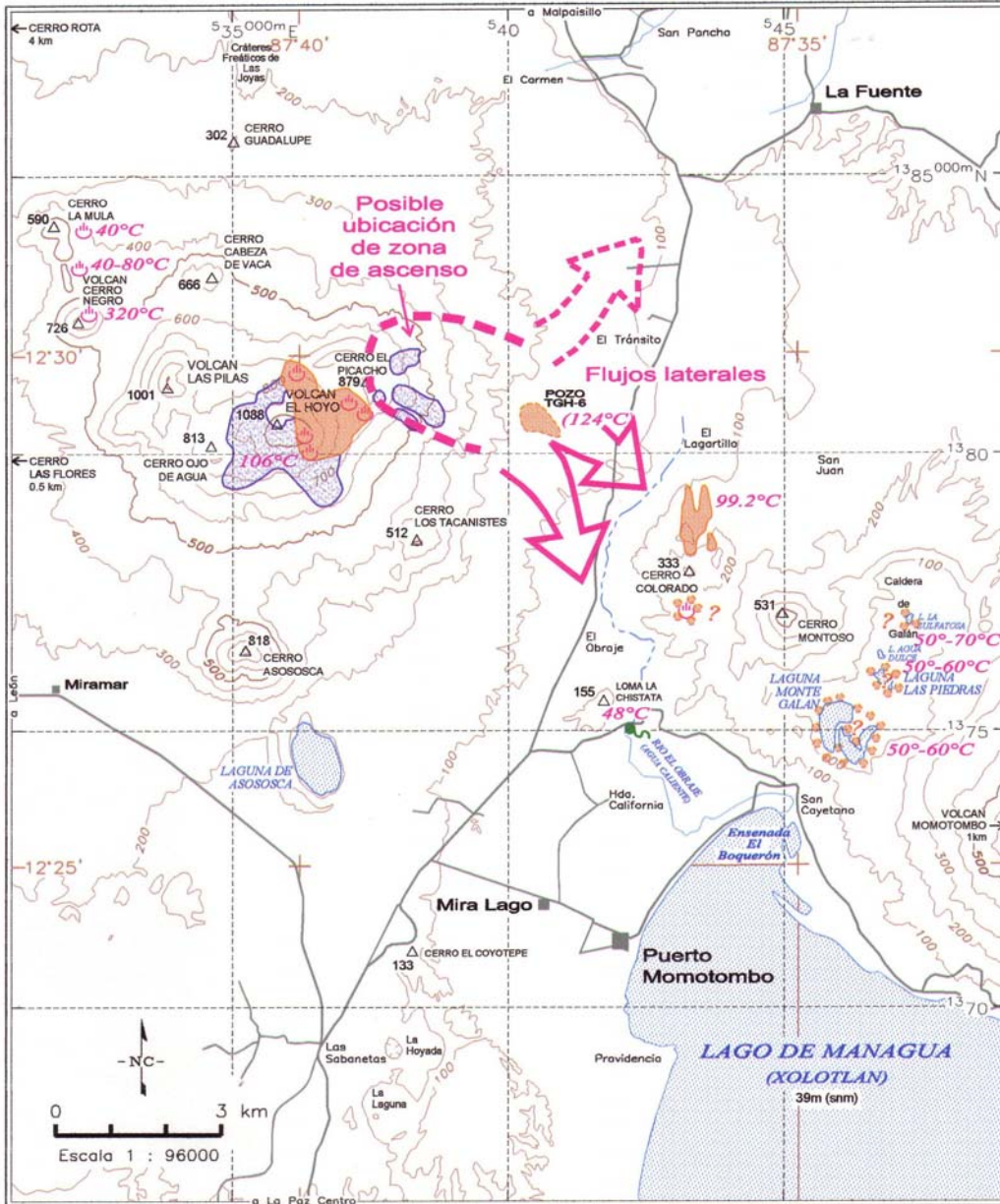
**LEYENDA**

- Poblado
  - Pozo geotérmico profundo
  - Pozo gradiente somero (aprox. 60m) de Texas Instruments
  - 200- Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
  - 200- Isothermas a -1,000 m s.n.m.
  - Zona de ascenso
  - Flujo lateral somero
- Datos topográficos: INETER (1988)

**Figura I-3.5.2:**  
**Modelo geotérmico conceptual,**  
**San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

<p><b>GeothermEr, Inc.</b>          GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS          5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804          TEL. (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL: <a href="mailto:www@geothermol.com">www@geothermol.com</a></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: small;">FILE: I-3.5.2.DWG</td> <td style="font-size: small;">SCALE: 1 : 50000</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">PLOTDATE: 26OCT2001</td> <td style="font-size: small;">DRAWN: RRS</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">PAGE SETUP: VSUTZ-1</td> <td style="font-size: small;">APP: RCH</td> </tr> </table>	FILE: I-3.5.2.DWG	SCALE: 1 : 50000	PLOTDATE: 26OCT2001	DRAWN: RRS	PAGE SETUP: VSUTZ-1	APP: RCH
FILE: I-3.5.2.DWG	SCALE: 1 : 50000						
PLOTDATE: 26OCT2001	DRAWN: RRS						
PAGE SETUP: VSUTZ-1	APP: RCH						





**LEYENDA**

- 40°C Fumarolas y emisiones de gases húmedos, con temperatura
- 48°C Manantial termal y temperatura
- Zona de alteración hidrotermal y/o suelo caliente
- Area con crecimiento anómalo de la vegetación

**Figura I-3.6.1:**  
**Modelo geotérmico conceptual,**  
**El Hoyo-Monte Galán, 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@GEOOTHERMEX.COM

FILE: I-3.6.1.DWG	SCALE: 1 : 96000
PLOTDATE: 30OCT2001	DRAWN: RRS APP.: RCH
PAGESETUP: ELH-MG	REV: NOV00/JUN/OCT01



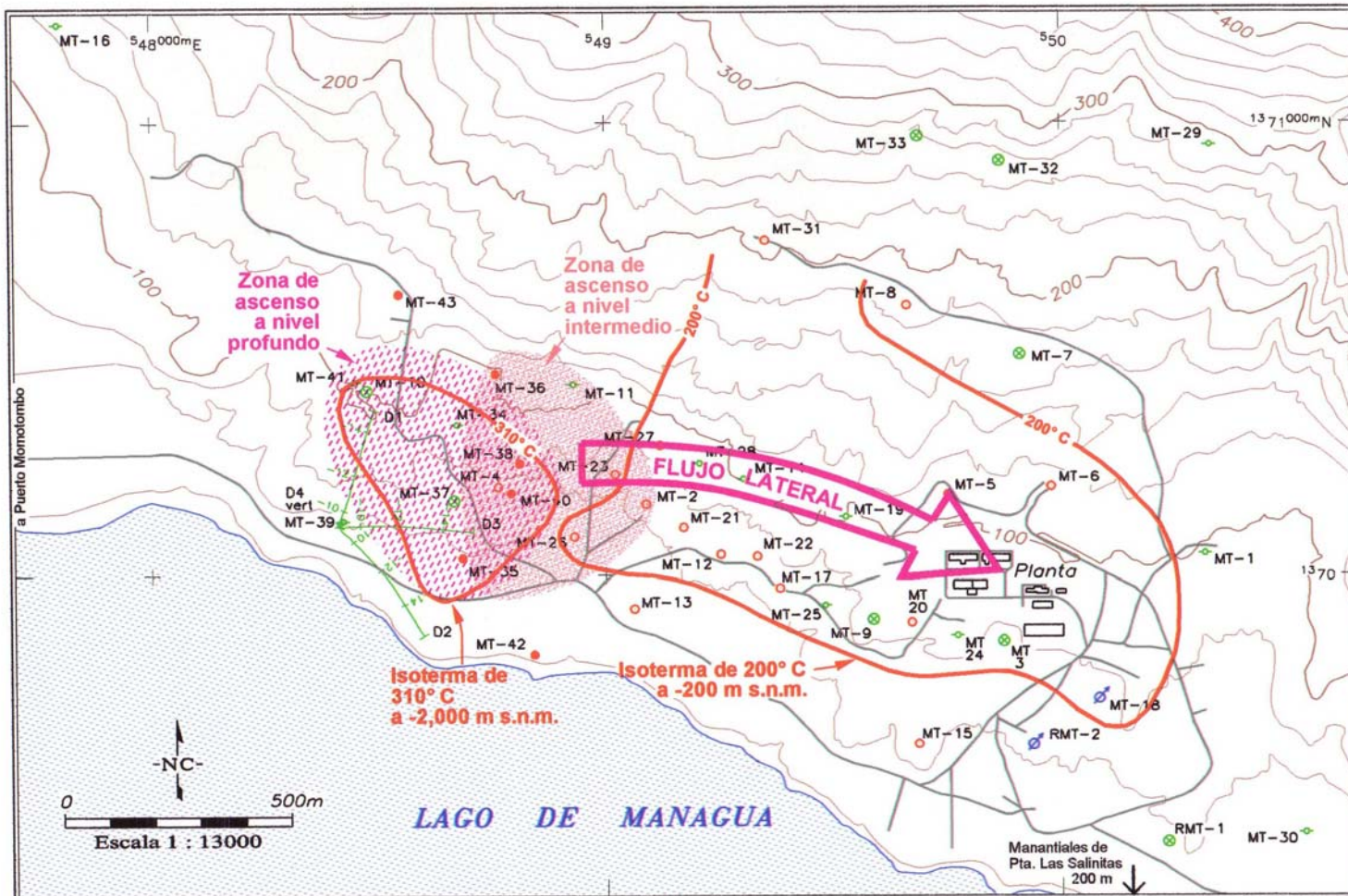
**LEYENDA**

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

**Figura I-3.7.1: Mapa de ubicación, Momotombo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: I-3.7.1.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: NOV98/AFRO/AJLOO
TEL. (510) 927-9878 FAX (510) 927-8164 EMAIL MW@GEOHERMEX.COM			JUNG/OCT01





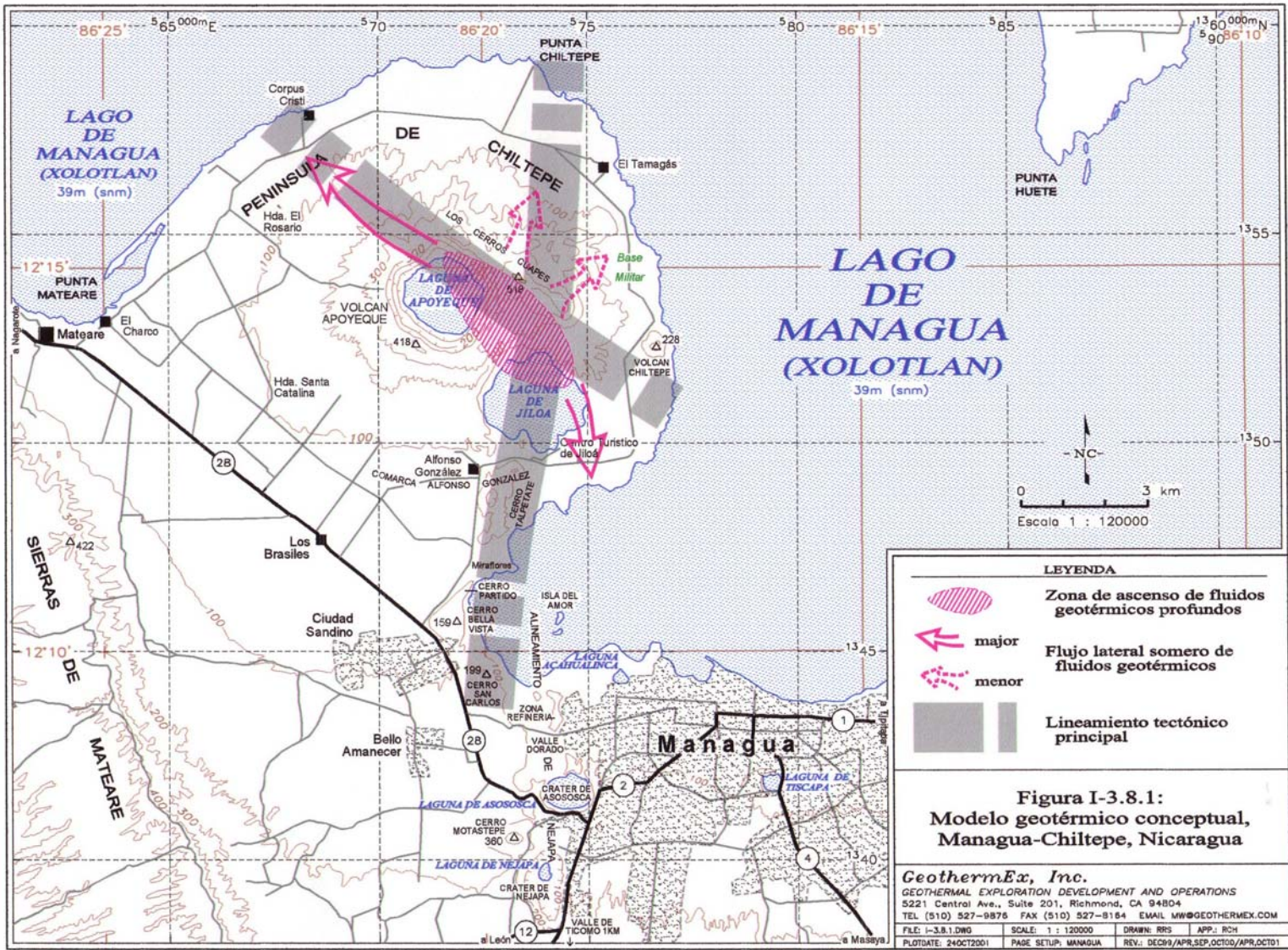
Leyenda	
●	Pozo de producción
⊕	Pozo de inyección
○	Pozo cerrado
◇	Pozo no comercial
⊗	Pozo abandonado
⊕	Pozo desviado, con elevación (en 200m)
—	Camino secundario
- 100 -	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 20m)

**Figura I-3.7.2:**  
**Modelo geotérmico conceptual,**  
**Momotombo, Nicaragua**

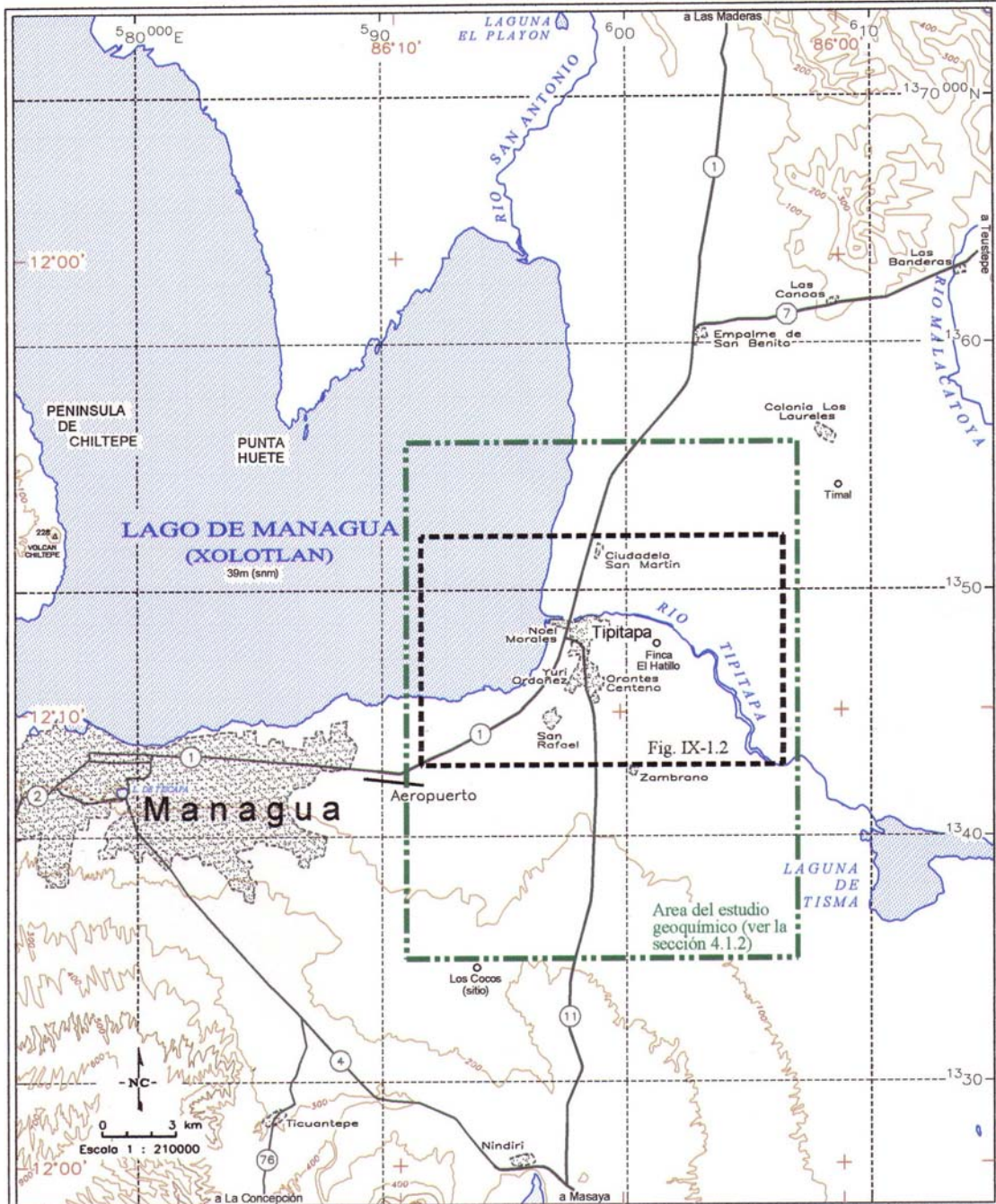
**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL (910) 527-9876 FAX (910) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: I-3.7.2.DWG	SCALE: 1 : 80000
PLOTDATE: 22JUN2001	DRAWN: RRS APP: CWK
PAGESETUP: MOMOT-2	REV.: NOV99/APR00/JUL00 JAN01/FEB01/JUN01









**LEYENDA**

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

**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

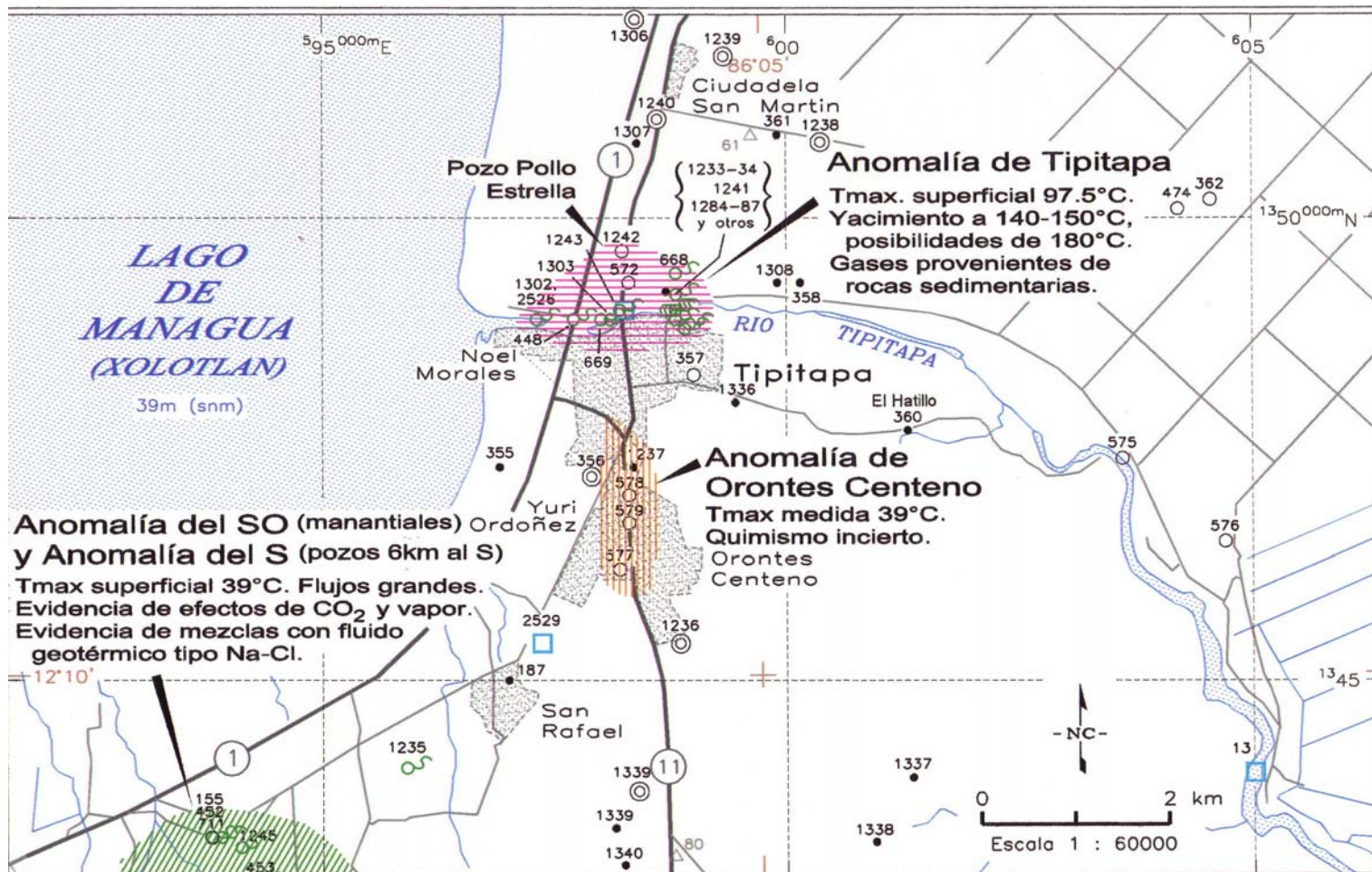
FILE: I-3.9.1.DWG	SCALE: 1 : 210000
PLOTDATE: 17OCT2001	DRAWN: RRS APP.: CWK
PAGESETUP: TIPITAPA	REV: FEB00/OCT00/MAY01 OCT01

**Figura I-3.9.1: Mapa de ubicación, Tipitapa, Nicaragua**

Fig. IX-1.2

Area del estudio geoquímico (ver la sección 4.1.2)





**Anomalia del SO (manantiales) y Anomalia del S (pozos 6km al S)**  
 T<sub>max</sub> superficial 39°C. Flujos grandes.  
 Evidencia de efectos de CO<sub>2</sub> y vapor.  
 Evidencia de mezclas con fluido geotermico tipo Na-Cl.

**Anomalia de Orontes Centeno**  
 T<sub>max</sub> medida 39°C.  
 Quimismo incierto.  
 Orontes Centeno

**Anomalia de Tipitapa**  
 T<sub>max</sub> superficial 97.5°C.  
 Yacimiento a 140-150°C,  
 posibilidades de 180°C.  
 Gases provenientes de rocas sedimentarias.

**LEYENDA**

- |   |                              |      |                                       |
|---|------------------------------|------|---------------------------------------|
| □ | Agua superficial (rio, lago) | 1245 | N/m de fila del archivo base de datos |
| ~ | Manantial                    | ⊖    | Anomalia de Tipitapa                  |
| ○ | Pozo-sin especificarse       | ⊕    | Anomalia de Orontes Centeno           |
| ● | Pozo excavado                | ⊗    | Anomalia del S y SO                   |
| ⊙ | Pozo perforado               |      |                                       |

**Figura I-3.9.2:**  
**Mapa hidroquímico de síntesis, Tipitapa, Nicaragua**

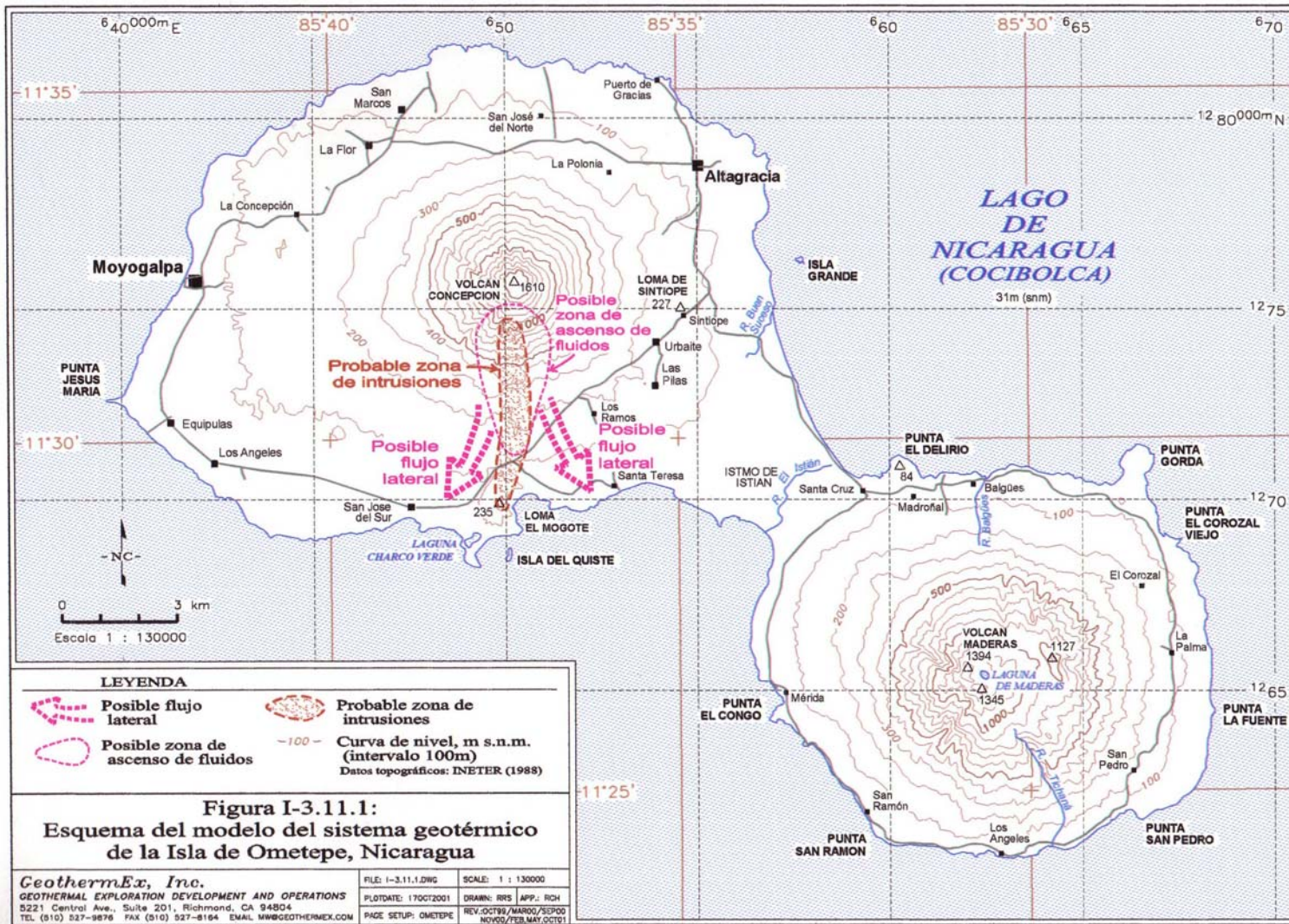
**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8184 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: I-3.9.2.DWG	SCALE: 1 : 60000
PLTDATE: 25OCT2001	DRAWN: RRS APP.: CWK
PAGE SETUP: TIPITAPA	REV: JAN, APR, OCT00/MAY01 OCT01









**Figura I-4.1**  
**Histograma de las Productividades de Pozos de la Región Centroamericana**

