



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

**PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO DE
NICARAGUA**

Volumen III

**EVALUACIÓN DEL ÁREA DE
VOLCÁN CASITA - SAN CRISTÓBAL
Parte A: Texto, Tablas y Figuras**

OCTUBRE DE 2001



CONTENIDO

| | |
|--|----|
| ILUSTRACIONES | 5 |
| RESUMEN EJECUTIVO | 8 |
| 1. DESCRIPCION DEL AREA | 17 |
| 1.1 LOCALIZACIÓN | 17 |
| 1.2 EXTENSIÓN | 18 |
| 1.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS | 18 |
| 2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE | 22 |
| 2.1 CONCESIONES | 22 |
| 2.2 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN | 22 |
| 2.2.1 <i>Estudios Existentes</i> | 22 |
| 2.2.2 <i>Estudios del Plan Maestro-2000</i> | 27 |
| 2.3 PERFORACIÓN DE EXPLORACIÓN Y DE DESARROLLO | 32 |
| 2.4 PRODUCCIÓN | 33 |
| 2.5 ESTADO ACTUAL | 33 |
| 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS, VULCANOLÓGICOS E HIDROGEOLOGICO | 35 |
| 3.1 MARCO GEOLÓGICO | 35 |
| 3.1.1 <i>Marco Geológico Regional</i> | 35 |
| 3.1.2 <i>Marco Geológico Local</i> | 45 |
| 3.2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA | 51 |
| 3.2.1 <i>Volcán San Cristóbal</i> | 51 |
| 3.2.2 <i>Volcán Casita</i> | 54 |
| 3.2.3 <i>Caldera La Pelona</i> | 56 |
| 3.2.4 <i>El Chonco – Loma La Teta</i> | 58 |
| 3.2.5 <i>Cerro Moyotepe</i> | 59 |
| 3.2.6 <i>Centros Volcánicos Parásitos</i> | 60 |
| 3.2.7 <i>Resumen</i> | 62 |
| 3.3 HIDROLOGÍA | 63 |
| 3.4 RIESGOS GEOLÓGICOS | 65 |
| 3.4.1 <i>Riesgo de Erupción Volcánica</i> | 66 |
| 3.4.2 <i>Riesgo de Deslizamientos y Flujos de Detritos</i> | 69 |
| 3.4.3 <i>Riesgo de Inundación</i> | 74 |
| 3.4.4 <i>Riesgo Sísmicos</i> | 75 |
| 4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL | 77 |



| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.1 | MANIFESTACIONES TERMALES | 77 |
| 4.1.1 | <i>Tipo, Localización y Extensión</i> | 77 |
| 4.1.2 | <i>Quimismo y Geotermometría</i> | 80 |
| 4.2 | INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS | 82 |
| 4.2.1 | <i>Tipo</i> | 82 |
| 4.2.2 | <i>Cobertura</i> | 84 |
| 4.2.3 | <i>Resultados</i> | 84 |
| 4.3 | RESULTADOS DE PERFORACIÓN | 85 |
| 5. | NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO | 87 |
| 5.1 | LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE CALOR | 87 |
| 5.2 | ZONAS DE ASCENSO | 89 |
| 5.3 | DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS | 90 |
| 5.4 | TEMPERATURA | 90 |
| 5.5 | QUÍMICA DEL FLUIDO | 91 |
| 6. | ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS | 93 |
| 6.1 | RESERVAS DE CATEGORÍA 2 | 94 |
| 6.1.1 | <i>Definición de Parámetros</i> | 94 |
| 6.1.2 | <i>Cálculo de Reservas</i> | 96 |
| 6.1.3 | <i>Comentarios</i> | 96 |
| 6.2 | RESERVAS DE CATEGORÍA 3 | 97 |
| 6.2.1 | <i>Definición de Parámetros</i> | 97 |
| 6.2.2 | <i>Cálculo de Reservas</i> | 99 |
| 6.2.3 | <i>Comentarios</i> | 99 |
| 7. | ASPECTOS AMBIENTALES | 100 |
| 7.1 | INFORMACIÓN EXISTENTE | 100 |
| 7.2 | CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES | 101 |
| 7.2.1 | <i>Aspectos Socioeconómicos</i> | 101 |
| 7.2.2 | <i>Aspectos Abióticos</i> | 106 |
| 7.2.3 | <i>Aspectos Bióticos</i> | 110 |
| 7.3 | ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES | 112 |
| 7.3.1 | <i>Situación Ambiental General</i> | 112 |
| 7.3.2 | <i>Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico</i> | 113 |
| 8. | ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS | 117 |
| 8.1 | ACCESO | 117 |
| 8.1.1 | <i>Carreteras y Caminos</i> | 117 |
| 8.1.2 | <i>Consideraciones para la Construcción de Caminos</i> | 119 |



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

| | | |
|---------------------------|--|------------|
| 8.1.3 | Otros | 120 |
| 8.2 | USO DE LA TIERRA..... | 121 |
| 8.3 | DISPONIBILIDAD DE SITIOS PARA PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN..... | 121 |
| 8.4 | DISPONIBILIDAD DEL AGUA | 123 |
| 8.5 | FACTIBILIDAD DE REALIZAR TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y DESARROLLO..... | 124 |
| 9. | OPCIONES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO | 126 |
| 9.1 | TERMINACIÓN DE LA ETAPA DE PRE-FACTIBILIDAD | 126 |
| 9.2 | ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD | 129 |
| 9.3 | OTRAS OPCIONES PARA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO | 133 |
| 10. | REFERENCIAS..... | 135 |
| T A B L A S..... | | 142 |
| F I G U R A S..... | | 167 |



ILUSTRACIONES

Tablas

- III-2.1 Principales Estudios Existentes Sobre el Área del Volcán Casita - San Cristóbal
- III-3.1 Erupciones Históricas del Volcán San Cristóbal
- III-3.2 Probabilidad de Erupción del Volcán San Cristóbal
- III-6.1 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 2), Área de Volcán Casita - San Cristóbal
- III-6.2 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3), Área de Volcán Casita - San Cristóbal
- III-7.1 Población en el Área Volcán Casita - San Cristóbal
- III-7.2 Datos estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas Más Cercanas al Área de Volcán Casita - San Cristóbal
- III-7.3 Lista de Especies de Flora para el Área Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)
- III-7.4 Lista de Especies Animales para el Área Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)
- III-7.5 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área del Volcán Casita - San Cristóbal



- III-9.1 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Área del Volcán Casita - San Cristóbal
- III-9.2 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área de Volcán Casita - San Cristóbal

Figuras

- III-1.1 Mapa de ubicación, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-1.2 Imagen Landast, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-2.1 Área de concesión geotérmica solicitada, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-3.1 Esquema tectónico de la región Centroamericana y del Caribe (Weinberg, 1992)
- III-3.2 Providencias fisiográficas de Nicaragua (McBirney *et al.*, 1965)
- III-3.3 Estratigrafía y evolución tectónica de la parte occidental de Nicaragua
- III-3.4 Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)
- III-3.5 Esquema estratigráfico y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)
- III-3.6a Esquema geológico del área del Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-3.6b Leyenda del esquema geológico del área Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-3.7 Frecuencia de erupciones históricas, Volcán San Cristóbal
- III-4.1.1 Mapa regional de áreas de estudio, Volcán Casita - San Cristóbal y SO de Volcán San Cristóbal, Nicaragua
- III-4.1.2 Mapa de temperaturas medidas, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua



- III-4.1.3 Mapa hidrogeológico de síntesis, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-4.2.1 Mapa de ubicación de sondeos MT-AMT/RVT y de conductancia eléctrica, Casita-San Cristóbal-Volcán Telica-El Ñajo, Nicaragua (Electrodyne Surveys, 1980)
- III-5.1 Modelo geotérmico conceptual, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-6.1 Histograma de capacidad energética, Volcán Casita
- III-6.2 Probabilidad acumulativa de capacidad energética, Volcán Casita
- III-6.3 Reservas naturales y áreas protegidas vigentes, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-7.2 Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua
- III-8.1 Elementos infraestructurales, Volcán Casita - San Cristóbal, Nicaragua



RESUMEN EJECUTIVO

El área del Volcán Casita - San Cristóbal comprende un grupo de estructuras volcánicas ubicada al extremo NO de la Cordillera de los Marrabios. Las investigaciones del Estudio Plan Maestro Geotérmico han sido realizadas sobre un área de 350 km², incluyendo sectores aledaños al macizo volcánico, en particular hacia el N. 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.

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. No existen pozos geotérmicos profundos, pero hacia el N hay muchos pozos someros (100 m o menos de profundidad) para el aprovechamiento de aguas que surten a la población local o para riego.

El grupo volcánico se compone de tres edificios principales. La porción NO es el cono regular del estrato-volcán activo de San Cristóbal (1,745 m s.n.m.). La parte central es el Volcán Casita (1,405 m s.n.m.), con una topografía más compleja y erosionada. El SE es la Caldera La Pelona, constituida por un edificio de menor altitud con un amplio cráter de fondo plano que subyace parcialmente al edificio del Casita. Además de estos edificios hay algunos volcanes menores al NNE y al O de San Cristóbal y varios conos y otras estructuras volcánicas subsidiarias.

El Volcán San Cristóbal y el Volcán Casita están principalmente constituidos por lavas, depósitos piroclásticos y depósitos de tipo lahar de composición basáltica a basáltico-andesítica, con presencia subordinada de rocas andesíticas y dacíticas. 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.

Durante los siglos 16 y 17, el Volcán San Cristóbal 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. Es probable que la Caldera La Pelona inició su formación, y en gran medida se completó, antes del crecimiento del Casita y no ha estado activo en tiempos históricos.

Aparte de las grandes emisiones de vapor y gases del cráter del Volcán San Cristóbal, las manifestaciones termales más significativas del área se encuentran en el cráter del Casita, donde existe un sector con intensa alteración ácida, rica en azufre, que presenta fumarolas ligeramente activas de hasta 98°C . Estas emiten los gases típicos de los sistemas hidrotermales con cierta influencia magmática y se caracterizan por valores de los geotermómetros químicos en el rango de $240^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$. 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 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°C y 97.5°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-SO₄-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). Es poco probable que estos manantiales representen una descarga de un sistema hidrotermal 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, y levantamientos electromagnéticos y eléctricos relativamente primitivos, efectuados durante un estudio de reconocimiento realizados en 1978. Tampoco estudio proporciona información útil como para la interpretación de la actividad geotérmica, aunque el estudio electromagnético sugiere la presencia de una zona de muy alta conductividad situada en el complejo volcánico.

Los riesgos geológicos identificados en el área varían considerablemente de un sitio a otro, dependiendo de las condiciones locales. En el sector oriental existe un riesgo volcánico relacionado con la actividad del Volcán Telica, ubicado hacia el SE. El riesgo relacionado con el volcán San Cristóbal incluye coladas de lava (principalmente en las laderas NO y SO), la removilización de depósitos no consolidados existentes en sus laderas, y actividad explosiva de baja a moderada intensidad. 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 flujos 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. 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. 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. 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 de 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. 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/km².

Las reservas potenciales asociadas con todo el complejo volcano-magmático se han estimado como reservas de Categoría 3. 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. 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 ultima 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 portuaria 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 económica local; y
- la población local proporcionará una fuente abundante de mano de obra para todas las actividades a desarrollar;
- no se anticipan problemas ni costos importantes derivados de la atenuación adecuada de los potenciales impactos ambientales negativos.

Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- el desarrollo de la zona identificada como la más promisorio 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 ambientales 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.

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 investigaciones de pre-factibilidad, y para completar esta etapa se recomienda realizar los siguientes estudios:

- 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 km²)
- 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.) el presupuesto total mínimo debería ser de aproximadamente \$515,000 a \$540,000 durante el periodo de 8 meses. Seria 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.

Las investigaciones de factibilidad para un desarrollo inicial de hasta 50 MW deben consistir de las siguientes actividades básicas, con un presupuesto total de unos \$5.8 millones durante un período de 2 años:

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



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

- 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 \$3.0 a \$4,0 millones, 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.



1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

1.1 Localización

El área de Volcán Casita – San Cristóbal es la segunda de las áreas que se localizan más hacia el NO de las zonas con potencial geotérmico, incluidas dentro del ámbito del Estudio Plan Maestro Geotérmico. Se encuentra localizada en el Departamento de Chinandega e incluye parte de los municipios de Chinandega, Villanueva, Somotillo, Chichigalpa y Posoltega (**Figura III-1.1**).

El área está definida principalmente por el grupo de volcanes contiguos donde se incluye el alto cono del Volcán San Cristóbal, y el Volcán Casita. Dentro del grupo también se incluyen: la Caldera La Pelona, localizada al E del Volcán Casita; El Chonco, hacia el O del San Cristóbal; Cerro Moyotepe, al N de los volcanes San Cristóbal y Casita; así como una serie de conos y chimeneas subsidiarios o de menor importancia. En la sección 3.2 se describen en detalle los diferentes volcanes de este grupo.

El grupo volcánico forma una parte importante de la Cordillera de los Marrabios, que es una cadena volcánica con tendencia hacia el NO, dentro de la Depresión Nicaragüense. La definición geológica del área se describe en la sección 3.1.

Las principales ciudades que se encuentran cerca de esta área son Chinandega y El Viejo, localizadas a corta distancia hacia el SE del Volcán San Cristóbal, y León, localizada a unos 30 km al SSE del Volcán Casita. La distancia desde Managua a esta área es de unos 100 km y se dispone de acceso directo mediante una de las carreteras principales.



1.2 Extensión

El complejo volcánico forma la parte central del área de interés relacionada con recursos geotérmicos. La extensión del complejo volcánico es de aproximadamente 160 km², con forma de un ovalo alargado que corre a lo largo de la tendencia de la Cordillera de los Marrabios. Aunque esta es el área de investigaciones más intensas para propósitos del Estudio Plan Maestro Geotérmico, el estudio ha incluido efectivamente toda la región comprendida entre UTM 1389 N a 1417.5 N y UTM 492 E a 518 E (ver el capítulo 4).

La presencia de diversos manantiales de agua entre caliente y tibia a cierta distancia del edificio volcánico, en particular hacia el N y NE, extienden el área de interés geotérmico y, por lo tanto, el área de investigación, más allá de los propios volcanes, hacia las áreas bajas de los alrededores. Tomando en cuenta la posible extensión máxima de tales áreas, la totalidad de las investigaciones comprende una superficie en el orden de los 350 km². Igual que en otras áreas que se investigan, la extensión de se podrá re-definir en un futuro, conforme se complete el trabajo exploratorio adicional.

1.3 Características Fisiográficas

La forma del terreno dentro del área de estudio es característica de la Depresión Nicaragüense, dentro de la cual se localiza. La topografía de la parte central del área está dominada por los diferentes volcanes que componen el complejo Casita-San Cristóbal (**Figura III-1.2**). La mayor elevación en esta zona se encuentra en el Volcán San Cristóbal, cuyo pico cónico bastante regular se levanta a una altura máxima de 1,745 m, lo cual lo convierte en el volcán más alto de Nicaragua. En años recientes, el cráter en la cumbre del San Cristóbal ha liberado, en forma más o menos constante y hasta el presente, un gran volumen de gas volcánico.



El Volcán Casita, que forma la parte central del complejo, tiene una forma más ancha, de menor elevación en la cima (1,405 m) y con topografía más compleja y erosionada, sobre todo en el lado S. Posee varios cráteres y chimeneas en la cima; uno de los cráteres se ha preservado intacto, y los demás permanecen en forma de restos erosionados. La Loma La Pelona (Caldera La Pelona), que forma la parte SE del complejo, es aún más amplia y de menor altitud, con un amplio cráter de fondo plano adjunto al Volcán Casita, y de topografía compleja y relativamente quebrada en su costado SE.

Los volcanes de El Chonco y Cerro Moyotepe son edificios más pequeños y con laderas relativamente empinadas, que están parcialmente deformados por colapso, erosión o actividad tectónica. Ambos están localizados en los flancos del Volcán San Cristóbal, estando El Chonco en el flanco Oeste y el Cerro Moyotepe en el lado NE. Dentro, y en los márgenes del complejo volcánico, se encuentra una serie de conos y cráteres más pequeños, aunque ninguno de ellos constituye una manifestación topográfica de importancia.

Excepto en el margen SE, donde se convierte en una serie de pequeñas crestas, el complejo volcánico muestra pendientes bastante regulares que descienden hasta encontrar la llanura circundante. La pendiente se torna moderada a elevaciones de unos 200 a 400 m, y desciende suavemente hasta convertirse en llanuras casi planas. Hacia el N, las llanuras se extienden hasta la frontera con Honduras, a través de zonas húmedas que incluyen parte del Estero Real. Al NE del complejo, las llanuras están interrumpidas ocasionalmente por colinas bajas, incluyendo el grupo de Loma Ojo de Agua, y un poco más hacia el NE, las colinas de los alrededores de Mina El Limón.

Hacia el SE existe una depresión ancha con elevación máxima de unos 250 m, que separa el complejo Casita-San Cristóbal del Volcán Telica, que se encuentra a unos 10 km de La Pelona. Una depresión mayor, de casi 70 km, ocurre al NO, entre el Volcán San Cristóbal y el siguiente



de los volcanes activos recientes, el Cosigüina. La mayoría del terreno en esta depresión es bajo, interrumpido ocasionalmente por colinas de altura moderada. Hacia el S y el O del complejo, las llanuras se extienden sin interrupción hasta el Océano Pacífico.

Excepto los pocos asentamientos humanos importantes, el área de estudio consiste principalmente de tierras agrícolas escasamente pobladas. Gran parte del complejo se desnuda de forma natural, por la actividad volcánica y, en algunos casos, por la actividad hidrotermal. En las partes de mayor pendiente, la agricultura se encuentra dominada por plantaciones de café, mientras que en las áreas bajas se encuentra un uso más diversificado de la tierra. El desarrollo agrícola es más intenso en las áreas adyacentes a los costados S y O del complejo.

Las aguas superficiales son bastante limitadas dentro del complejo volcánico. No existen lagos, y solamente unos pocos arroyos y manantiales permanentes. En las tierras bajas circundantes hay aguas superficiales más abundantes, donde pueden encontrarse arroyos y estanques, y pantanos en las zonas más bajas, especialmente en los sectores N y NE.

Dentro de esta área el clima es variable debido a cambios en temperatura y precipitación promedios, lo cual tiene que ver con la fisiografía del área. La precipitación de lluvias oscila típicamente entre 1,500 a 1,800 mm anuales, aunque pueden ocurrir variaciones importantes, como las causadas por el Huracán Mitch en 1998. En el mes de Octubre de ese año, la precipitación mensual alcanzó los 1,984 mm, y causó deslizamientos de tierra y deslaves que provocaron grandes daños y la muerte de 2,000 personas de los poblados de El Porvenir y Rolando Rodríguez en el flanco S del Volcán Casita (ver ubicaciones en la [Figura III-1.1](#)).

Las márgenes del complejo volcánico y las planicies circundantes son, en su mayor parte, fácilmente accesibles por carretera, mientras que dentro del complejo, el acceso se limita a unos pocos caminos sin pavimentar. A lo largo de la margen S del área pasan algunas carreteras



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

importantes, así como en gran parte de las márgenes O y N. Caminos menos secundarios se extienden alrededor de los costados NE y E del complejo, y un camino en condiciones bastante aceptables llega hasta la cima del Volcán Casita, donde se han instalado torres de comunicaciones. Este camino provee también acceso a la caldera La Pelona. En el resto de la zona hay caminos aislados que alcanzan una poca distancia hacia la parte superior de los flancos de los diferentes edificios volcánicos.



2. EXPLORACIÓN Y DESARROLLO GEOTÉRMICO EXISTENTE

2.1 Concesiones

A la fecha de este informe no está vigente ninguna concesión para exploración o explotación geotérmica en el área de Casita-San Cristóbal. El 29 de Junio de 1999, Tritón Energía S.A., una subsidiaria de Black Hawk Mining de Canadá, hizo una solicitud al INE para una concesión de exploración geotérmica dentro de un área de 128 km² que incluía la cima del Volcán Casita, parte de la Caldera La Pelona, y porciones del flanco Norte del Volcán Casita (**Figura III-2.1**). La información disponible indica que esta es la primera concesión que se concede dentro del área del complejo volcánico. Según información recibida del INE, Tritón Energía no ha completado los tramites necesarios para la concesión, y por lo tanto ésta no ha sido concedida.

En 1998 Tritón Energía solicitó y obtuvo una concesión en la zona de El Bonete, al NE del complejo Casita-San Cristóbal. La extensión de esta concesión fue de 90 km², y el periodo de exploración otorgado fue de 2 años. Se llevaron a cabo algunas investigaciones de exploración, incluyendo estudios geológicos y geofísicos, dentro del área dada en concesión; sin embargo, Tritón renunció oficialmente la concesión en 1999.

2.2 Trabajos de Exploración

2.2.1 *Estudios Existentes*

El área de Volcán Casita - San Cristóbal se ha investigado en el curso de algunos de los estudios importantes realizados sobre el recurso geotérmico de Nicaragua. Todo el trabajo llevado a cabo hasta la fecha se ha limitado a estudios superficiales, excepto la medición de temperatura realizada en unos pocos pozos someros. También se han emprendido algunos estudios independientes sobre la geología y vulcanología del área, que no tienen relación con la investigación de recursos geotérmicos. Durante los últimos dos años ha habido una serie de



estudios sobre peligros geológicos relacionados con la inestabilidad de las laderas y la posibilidad de inundaciones, como consecuencia del importante derrumbe y flujo de detritos que sucedió en Octubre de 1998 durante el Huracán Mitch.

Tomando en consideración varios estudios llevados a cabo antes del Estudio Plan Maestro, se han investigado con algún detalle los aspectos geológicos, vulcanológicos y geoquímicos del área, mientras que las investigaciones geofísicas han sido mucho más limitadas. Los principales estudios existentes acerca del área de Volcán Casita – San Cristóbal se resumen en la Tabla III-2.1, y a continuación se comentan brevemente.

Texas Instruments, 1970

El primer estudio que consideró en detalle los aspectos geotérmicos del área fue el que llevó a cabo Texas Instruments (1970). El trabajo de campo emprendido dentro del estudio incluyó el mapeo de la geología general del sector del Volcán Casita – Caldera La Pelona del complejo volcánico, así como la identificación de zonas de fumarolas en el área. Se identificaron nueve zonas diferentes de fumarolas, y se recolectaron 7 muestras de gas en 4 de estas zonas, para un análisis parcial (gas seco H₂, O₂, CO₂ y H₂S únicamente). Se recolectaron y analizaron muestras de agua en 4 manantiales y pozos de la vecindad del complejo volcánico (la mayoría en el lado N), y se hicieron observaciones de campo (temperatura de manantiales o pozos, profundidad total, profundidad hasta el agua, nombre y descripción) en 47 localidades adicionales. Las investigaciones geofísicas se limitaron a un único perfil AMT (audio magneto telúrico) que se extendió dentro del área desde el SE, al lado N del complejo volcánico, y terminando en Las Grietas.

Basándose en estas investigaciones, el área fue categorizada como la tercera más activa dentro de las que se investigaron (después de Momotombo y San Jacinto – Tizate); sin embargo, no se le asignó ninguna prioridad para su desarrollo.



IECO – Lahmeyer, 1980

Este inventario y evaluación de recursos geotérmicos de Nicaragua incluyeron investigaciones geológicas, geoquímicas, hidrológicas y geofísicas del área de Volcán Casita – San Cristóbal. Los estudios geológicos consistieron de un mapeo a escala regional, incluyendo la identificación de lineamientos regionales en la mayor parte de la Depresión Nicaragüense. No se llevó a cabo ningún mapeo local detallado. Las investigaciones geoquímicas incluyeron muestreo y análisis de aguas en 19 puntos de la vecindad del complejo volcánico, y toma de muestras adicionales en zonas más distantes. Los resultados del estudio se utilizaron para caracterizar la temperatura de aguas someras y superficiales, y sus características, en una amplia zona al NE del complejo volcánico, como parte de la evaluación geoquímica regional. Se analizaron los patrones de flujo de aguas someras subterráneas y su relación con las aguas termales, así como la distribución a escala regional de la tabla de agua.

El patrón regional de anomalía gravimétrica se evaluó basándose en el trabajo de Parsons Corp. (1972); en el área no se realizó nuevo trabajo de gravimetría. Se hicieron unos 20 sondeos geoelectrónicos en las zonas que rodean al complejo volcánico, como parte de un estudio regional de la Cordillera de los Marrabios. Los sondeos los realizó la empresa Electrodyne Surveys, usando la técnica MT-AMT y RVT (*roving vector telluric* en Inglés), así como el método de dipolos ecuatoriales modificados. Se utilizaron para definir el patrón de conductancia “por encima del basamento eléctrico” en el área de Casita – San Cristóbal y en la región al SE. No obstante, la baja densidad de estaciones y la falta de sondeos dentro del complejo volcánico no permitieron una detallada definición de la estructura de resistividad eléctrica en el área.

Se uso los datos disponibles para evaluar la sismicidad del Oeste de Nicaragua, incluyendo el área de Casita – San Cristóbal. Este trabajo, como los demás estudios geofísicos, fue de carácter regional. No se llevó a cabo ninguna perforación sistemática de pozos de gradiente de temperatura; sin embargo se mencionó la existencia de dos pozos someros (de profundidad



menos de 65-70 m) en las vecindades, y de los cuales se reportaron resultados geológicos y perfiles de temperatura. Se hizo un análisis integral de los resultados obtenidos en los diferentes estudios, a fin de relacionar las características geológicas, geoquímicas, hidrológicas y geofísicas del área.

OLADE, 1981

El estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de Nicaragua llevado a cabo por OLADE (1981) incluyó la evaluación y categorización del áreas de Volcán Casita – San Cristóbal junto con otras áreas de recursos investigadas. Se hizo una evaluación y resumen de las características geológicas del área, y se presentaron descripciones de los principales centros volcánicos. Se reportaron resultados de los análisis de 12 nuevas muestras de productos volcánicos provenientes de varios de los centros, y se hizo un análisis químico de 6 muestras (ver el Anexo B, Tabla III-B.4) y se hizo un análisis petrológico basado en estos resultados.

En el área de Casita – San Cristóbal se recolectaron únicamente tres muestras de agua, pero se presentó un breve resumen de la hidrología de la zona, basado en trabajos anteriores. Se revisaron las investigaciones geofísicas previas, aunque no se emprendió nuevo trabajo geofísico como parte del estudio de reconocimiento.

Con base en estos estudios, Casita – San Cristóbal fue clasificada como área de muy alta prioridad para investigaciones geotérmicas y desarrollo más a fondo (junto con las áreas de Volcán Cosigüina, San Jacinto-Galán y Apoyo-Mombacho).

Hazlett, 1977

Hazlett (1977) realizó una detallada investigación geológica y vulcanológica del complejo volcánico Casita-San Cristóbal, como base de una tesis de investigación para el Dartmouth College (Colegio Universitario Dartmouth). En este estudio se incluyó la elaboración de un



mapa geológico del complejo, y el análisis e interpretación del historial volcánico, la petrografía, la composición química de productos volcánicos (ver el Anexo B, Tabla III-B.4) y petrología del complejo, con énfasis en el Volcán San Cristóbal. El estudio se resumió y actualizó en un trabajo escrito publicado unos años más tarde (Hazlett, 1987). La investigación incluyó también monitores sísmico, geodésico y geoquímico con fines de investigación de riesgos volcánicos, y se presentó una evaluación de los peligros potenciales (de nuevo, con énfasis en el Volcán San Cristóbal).

Estudios Relacionados con Peligros por Derrumbes / Inundaciones

El catastrófico derrumbe e inundación que ocurrió como consecuencia de las fuertes lluvias durante el Huracán Mitch en 1998 condujo a que investigadores, tanto de Nicaragua como fuera del país, realizaran una serie de estudios del derrumbe y del potencial de recurrencia de eventos similares. Los estudios iniciales, realizados inmediatamente después del desastre, se enfocaron en determinar la secuencia de eventos y las causas y mecanismos que condujeron a tan destructiva actividad (p.ej., Sheridan *et al.*, 1998; Carreño Collatupa, 1998). Estudios posteriores (Guevara *et al.*, 1999; Scott, 1999) abordaron riesgos de carácter más general impuestos por inestabilidad de las pendientes y el potencial de derrumbes de tierra e inundaciones en esa área, utilizando la interpretación del evento de 1998 como base para enfrentar riesgos futuros. Los estudios de van Wyk de Vries *et al.* (1999, 2000) representan un intento de relacionar la ocurrencia del derrumbe de tierra con procesos de mayor escala de formación y colapso del edificio volcánico.

Otras Investigaciones

Ninguna otra investigación publicada trata de manera completa el potencial de recursos geotérmicos en el área de Volcán Casita – San Cristóbal. OLADE (1982) realizó una pequeña recolección de muestras de agua para reconocimiento al S del Volcán Casita. Puede haber



otras investigaciones de reconocimiento emprendidas por entidades privadas interesadas en el desarrollo geotérmico; sin embargo, para el Estudio Plan Maestro no se pudo disponer de datos provenientes de tales investigaciones.

La mayor parte de los estudios disponibles sobre características geológicas, hidrológicas y geofísicas del área, además de los que ya se han discutido, han tenido una naturaleza más bien regional. En años recientes un grupo de la República Checa ha estado investigando la actividad volcánica y los peligros del complejo Casita-San Cristóbal; sin embargo, no se pudieron obtener los resultados de estas investigaciones para ser usados en el Estudio Plan Maestro.

2.2.2 *Estudios del Plan Maestro-2000*

En el ámbito del Estudio Plan Maestro, GeothermEx planificó y realizó estudios diseñados para complementar la información disponible sobre el área del Volcán Casita – San Cristóbal. Primero se realizó una revisión detallada de la literatura y de los datos existentes; incluyendo la obtención de fotografías aéreas (serie de INETER, 1996, escala 1:40,000) e imágenes de satélite (Landast 5 del 6 de Enero de 1987). Después de la revisión de los datos existentes, se elaboró un modelo geotérmico preliminar del área, a fin de caracterizar el nivel de conocimiento del área y de su potencial geotérmico. El modelo geotérmico preliminar se usó para identificar y planear los estudios complementarios que serían de mayor utilidad para mejorar el conocimiento técnico del área.

Durante el transcurso de una serie de visitas al área se realizaron estudios de campo de observación y muestreo. A continuación se proporciona una descripción de las actividades de campo, y el consiguiente análisis de los datos.



Geología – Vulcanología

Después de una revisión completa de los estudios geológicos y de la literatura existente sobre el área, se examinaron y analizaron las fotografías aéreas e imágenes de satélite para identificar y caracterizar manifestaciones de interés geológico. Aquí se incluyen, los centros de reciente actividad volcánica, otras manifestaciones volcánicas, y lineamientos que puedan reflejar la presencia de estructuras geológicas. En lo posible, se llevó a cabo la verificación de campo de estas manifestaciones, y se compararon los resultados con mapas y reportes anteriores sobre la geología volcánica del área.

Las investigaciones de campo incluyeron visitas a aquellas zonas de mayor interés geológico dentro y alrededor del complejo volcánico. Con el fin de evaluar mejor los riesgos geológicos del área, se inspeccionaron las zonas de derrumbe originadas durante el Huracán Mitch en 1998. Se examinaron los principales depósitos volcánicos del área, y se recolectaron 9 muestras representativas de rocas para posibles análisis (ver Anexo B). Se llevó a cabo el análisis petrográfico de 7 muestras, y se seleccionaron 2 muestras, una del Volcán Casita y la otra de El Chonco, para datación por el método de termo-luminiscencia.

La información geológica y las observaciones se sintetizaron para elaborar un mapa geológico que resumiera las principales características de interés del área. Además, ha sido interpretada la historia volcánica y la evolución del área, así como su régimen estructural, poniendo especial énfasis en su posible relación con la actividad hidrotermal. Además se ha efectuado una evaluación de los riesgos geológicos del área.

Hidrología y Geoquímica

Se recolectó y organizó en forma de base de datos toda la información geoquímica proveniente de los estudios anteriores, para luego seleccionar los sectores de mayor interés para la ejecución de investigaciones y muestreos adicionales. Al mismo tiempo se recolectó también la



información disponible sobre la hidrología y la hidrogeología del área, con el fin de obtener un marco de referencia general para interpretación de los datos hidrogeoquímicos.

El trabajo de campo llevado a cabo como parte del Estudio Plan Maestro se realizó en tres zonas del área de Volcán Casita - San Cristóbal. Los trabajos efectuados en cada zona tenían objetivos distintos y diferentes resultados.

En las planicies al N y el NE del complejo volcánico se hizo un muestreo de agua subterránea, para complementar los datos existentes. Este trabajo consistió en la recolección de 14 muestras de agua para análisis químico completo, 5 muestras de agua para análisis de isótopos estables de agua, 3 muestras de agua para análisis de tritio, y una muestra de agua para análisis de isótopos estables de oxígeno en sulfato disuelto. Adicionalmente, se hicieron observaciones hidrológicas en 28 localidades (de las cuales se tomaron 14 muestras).

En el Volcán Casita, se llevó a cabo una recolección de muestras de gas en fumarolas y salidas de gas, en sitios donde todavía no se disponía de datos. En suma, se tomaron 7 muestras de gas para análisis químicos, 4 muestras de gas para análisis de isótopos de helio, y observaciones de manifestaciones termales en 13 localidades (de las cuales se muestrearon 7).

Al NO, O, SO y S del Volcán San Cristóbal se hizo un reconocimiento regional de aguas subterráneas en áreas no estudiadas con anterioridad, en busca de indicios de manifestaciones geotérmicas. A esta área se le conoce como SO del Volcán San Cristóbal, y el trabajo consistió en la recolección de 10 muestras de agua para análisis químico completo, 5 muestras de agua para análisis de isótopos estables de agua, y observaciones hidrológicas en 23 estaciones (de las cuales se muestrearon 10).

La recolección de muestras al NE del complejo volcánico incluyó muestreo de los manantiales calientes en áreas que en general se conocen como Monte Largo (temperatura máxima de 88°C)



y (Finca o El) Bonete (máximo 78°C), que han sido de interés como posibles zonas de descarga. Se trató también, pero sin éxito, de muestrear los gases de manantiales gaseosos en Bonete. No se pudo llegar a un manantial caliente cerca de Bonete, conocido como Laguna El Tule, debido a que no existe un puente sobre el Río Tecomapa, cuyo nivel estaba demasiado alto para ser cruzado con seguridad. Los datos existentes de muestras de los manantiales El Tule (68°C) muestran una química similar a El Bonete, solamente más diluida. Finalmente, se realizó una visita a la Mina Santa Pancha, con el objetivo de volver a muestrear las aguas calientes reportadas anteriormente a diferentes profundidades de la mina (máximo 75°C). Sin embargo, se supo que las bombas de la mina no funcionaban desde 1985, lo que imposibilitó la recolección de muestras.

Las muestras recolectadas fueron enviadas a laboratorios calificados para su análisis, y los resultados se incorporaron en la base de datos químicos del Estudio Plan Maestro. Se realizó un análisis exhaustivo de todo el juego de datos, para evaluar la calidad de toda la información, calcular los geotermómetros químicos, analizar las relaciones entre especies químicas, y evaluar (si la evidencia lo permitía) el origen y evolución de los fluidos termales. Los resultados de esta valuación se presentan en la sección 4.1.2 y en el Anexo A de este volumen.

Geofísica

Las investigaciones geofísicas llevadas a cabo previamente en el área de Volcán Casita – San Cristóbal han sido de carácter regional o de cobertura muy limitada (ver sección 2.2.1). Un repaso de las características de la zona, incluyendo la extensión y tipo de la actividad volcánica y de manifestaciones termales, condujo a la categorización del área según una base técnica, para estudios geoelectrónicos a realizar dentro del ámbito del Estudio Plan Maestro. No obstante, al momento de planificar y ejecutar los estudios de campo, estaba pendiente una solicitud para concesión de exploraciones dentro del área. Con el propósito de evitar la posibilidad de conflicto



con las actividades de una firma desarrolladora privada, se decidió no iniciar ningún estudio geofísico dentro del área de Volcán Casita – San Cristóbal como parte del Estudio Plan Maestro.

Síntesis de la Información

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

Estudios Ambientales

Los estudios ambientales involucraron la obtención de información sobre el marco regulatorio ambiental de Nicaragua, tanto en general como para desarrollo geotérmico. Se dio especial atención a la obtención de la información más corriente sobre el estado de cualquier Área Protegida o Reserva Natural dentro del área del estudio. Además se recolectaron datos sobre las condiciones ambientales en la zona, tales como datos de clima, uso de la tierra, de flora y la fauna, y características y condiciones de los principales cuerpos de agua.

Durante el curso de las investigaciones de campo en las áreas de geología, geoquímica e hidrología, la información existente se complementó con observaciones sobre las condiciones ambientales del momento. Esto incluyó observación directa y conversaciones con residentes locales.



Además, se analizaron los posibles beneficios y/o daños que un proyecto geotérmico pudiese aportar a la región. La obtención y análisis de los datos recolectados permitió evaluar la relación del medio ambiente con un proyecto geotérmico en sus diversas etapas de desarrollo.

Estudios Logísticos e Infraestructurales

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

Los principales datos recolectados y analizados se refirieron a:

- características de las vías de acceso al área, y tipo y condición de carreteras, caminos y otros medios de transporte dentro del área;
- condiciones del terreno y del uso de la tierra que pudieran afectar los esfuerzos de exploración y desarrollo;
- posibles fuentes de suministro de agua;
- disponibilidad de bienes y servicios que se pudieran requerir para el desarrollo; y
- ubicación del área con respecto a líneas de transmisión eléctrica.

2.3 Perforación de Exploración y de Desarrollo

En el área de Volcán Casita – San Cristóbal no se han perforado pozos profundos de exploración y desarrollo. Los únicos pozos que se conocen en el área son de profundidad somera (120 m o menos), con unas excepciones que se describen a continuación, y la mayoría de ellos se han perforado para el suministro de agua subterránea. IECO-Lahmeyer (1980) reportó resultados de



dos pozos con menos de 120 m de profundidad en la planicie NE del complejo volcánico, que aparentemente habían sido perforados para observación de gradientes de temperatura. Para ambos pozos se reportó la litología de fondo de pozo y los perfiles de temperatura.

Durante los años 1980, se perforaron algunos pozos más profundos en el área de Santa Carlota, al N del complejo volcánico. Se encontró muy poca información en relación con estos pozos, a pesar de que se llevó a cabo una búsqueda específica durante el Estudio Plan Maestro. Por lo tanto, es incierta el número, profundidad y demás características de estos pozos, aunque se cree que produjeron agua tibia o caliente; también es limitada la cantidad de información química disponible acerca del agua que producían. Se dice que todos estos pozos han sido taponados y abandonados.

2.4 Producción

Hasta la fecha no ha habido ninguna producción comercial de fluidos geotérmicos en el área del Volcán Casita – San Cristóbal. Es probable que exista algún uso informal de las aguas termales provenientes de manantiales y pozos someros por parte de la población local, con fines tales como baño y lavado.

2.5 Estado Actual

Hasta la fecha, las investigaciones realizadas en el área de Volcán Casita – San Cristóbal son suficientes como para inferir la existencia de un recurso geotérmico, y para caracterizar de una forma general el potencial geotérmico del área. Los aspectos geológicos y geoquímicos de la zona ya se han caracterizado a fondo mediante estudios previos y el trabajo realizado durante el Estudio Plan Maestro. No obstante, la información geofísica ha sido muy limitada, y virtualmente no hay disponible ninguna información de condiciones subterráneas. La información disponible es suficiente para clasificar el área dentro de la etapa de pre-factibilidad



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

de investigación. Sería necesario poco trabajo adicional para completar la etapa de pre-factibilidad (ver Capítulo 9).



3. ASPECTOS GEOLÓGICOS, VULCANOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICO

3.1 Marco Geológico

3.1.1 *Marco Geológico Regional*

Aspectos Generales

El área de Volcán Casita – San Cristóbal se ubica en el sector SO de Nicaragua. Tectónicamente se encuentra en la parte meridional del Bloque Chortis, que es una unidad de corteza principalmente continental perteneciente a la Placa Caribe. Más precisamente, el área se ubica al interior de la Depresión Nicaragüense, la cual es una amplia zona subsidente desarrollada paralelamente a la costa del Pacífico y a la Fosa Mesoamericana (ver [Figura III-3.1](#))

Al interior de la Depresión Nicaragüense, en proximidad de su margen SO, se encuentra la Cordillera Volcánica Cuaternaria, la cual es un segmento del Arco Volcánico Centroamericano, y presenta una importante actividad en el complejo volcánico de Casita – San Cristóbal. La Depresión está flanqueada hacia el SO por la planicie y los relieves costeros del Pacífico y hacia el NE por el Altiplano del Interior, donde afloran formaciones volcánicas y sedimentarias del Terciario (ver [Figura III-3.2](#)).

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



correlacionado con las porciones inferiores del Grupo Coyol, el cual aflora más ampliamente en el Altiplano del Interior (McBirney *et al.*, 1965; Weyl, 1980; Weinberg, 1992).

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

Evolución Geológica y Tectónica

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

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



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

- Fase del Plioceno - Pleistoceno Inferior. A partir del Plioceno ocurrieron marcados cambios en el régimen general de esfuerzos tectónicos, que resultaron en la formación de estructuras de extensión con rumbo NE-SO, acompañadas por una migración del volcanismo desde el Altiplano del Interior hacia el Pacífico. Estos fenómenos sugieren un incremento del ángulo de subducción de la placa de Coco y una reducción de la velocidad de convergencia entre las placas de Coco y Caribe, posiblemente a raíz del desplazamiento hacia el NE del Bloque de Chortis. Las deformaciones de esta fase son principalmente fallas normales, como aquellas que originaron la Depresión Nicaragüense, interpretada por Weinberg (1992) como un semi-graben limitado en su lado sur-oriental por fallas NO-SE inclinadas al NE.
- Fase del Pleistoceno Superior - Holoceno. A partir del Pleistoceno Superior, hasta la actualidad, se instauró un nuevo régimen de esfuerzos tectónicos en la región, caracterizado por una componente principal de compresión N-S, la cual genera fallas de corrimiento lateral NE-SO y NO-SE y fallas normales de rumbo N-S. Las estructuras más evidentes son depresiones tectónicas de tipo “pull-apart”, la más importante de las cuales se ubica en correspondencia de la ciudad capital y es conocida como “Graben de Managua”.

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

La Depresión Nicaragüense



La Depresión Nicaragüense es una de las estructuras morfológico-tectónicas que forman parte de la Zona Marginal Pacífica de Centro América y representa un amplio sector de tierras bajas, que se extienden con rumbo NO-SE por todo Nicaragua, desde el Golfo de Fonseca hasta desaparecer en la Planicie Costera del Atlántico de Costa Rica. Su extensión excede los 500 km, con un ancho promedio de 50 km y una elevación variable entre los 35 y los 50 m s.n.m. (Weyl, 1980).

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

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



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

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

No existen muchas informaciones directas acerca de la estratigrafía al interior de la Depresión. Datos geofísicos (Elming *et al.*, 1997) evidencian la presencia de un basamento resistivo y con elevada densidad alrededor de los 2 km de profundidad, cubierto por formaciones conductivas que constituyen el relleno de la Depresión. Los únicos datos de observación directa disponibles derivan de las perforaciones efectuadas en los campos geotérmicos de Momotombo y de San Jacinto-Tizate (este último ubicado en la porción oriental del macizo volcánico de Telica), en la porción NO de la Depresión. En ambos campos, debajo de la secuencia aluvial/lacustre y



volcánica cuaternaria, que alcanza espesores de hasta 500-600 m, se reconocieron espesas secuencias de vulcanitas pliocénicas, con abundantes intercalaciones de material volcánico retrabajado y sedimentos continentales.

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

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



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

La Cordillera Volcánica Cuaternaria

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

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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

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

3.1.2 Marco Geológico Local

La geología del área de Volcán Casita – San Cristóbal está dominada por el edificio volcánico del mismo nombre, y por las condiciones impuestas por la Depresión Nicaragüense, dentro de la cual está situada el área. La **Figura III-3.6** muestra un mapa sintetizado de la geología local



dentro del complejo volcánico y las zonas bajas circundantes. El mapa se basa en el trabajo realizado como parte del Estudio Plan Maestro, y en estudios previos incluyendo el que hizo Hazlett (1977), donde se investigó en detalle la geología volcánica del área.

Estratigrafía

La mayor parte de las rocas expuestas en la superficie del área de estudio son de edad Cuaternaria, consistiendo principalmente de depósitos volcánicos recientes dentro del complejo Casita – San Cristóbal, y de depósitos aluviales/coluviales en las zonas bajas circundantes. En varios sitios dentro y cerca del área se encuentran expuestas rocas más antiguas:

- Las Colinas bajas de Loma Ojo de Agua y Loma San Lucas, localizadas al NE de la Caldera La Pelona, están compuestas de rocas volcánicas más antiguas, principalmente lavas de composición basáltica a andesítica. Estas han sido asignadas al Grupo Coyol, que en general ocupa un rango de edad del Mioceno al Pleistoceno temprano (**Figura III-3.4**). Hazlett (1977) consideró estas rocas como parte del Coyol Inferior, y por lo tanto pertenecientes a la parte más antigua de este rango; no obstante, OLADE (1981) considera que son más recientes, basándose en su analogía con exposiciones similares en el NO del complejo Casita – San Cristóbal (ver más adelante). Las rocas del Grupo Coyol están expuestas más extensamente al NE del área de estudio, en la zona que incluye el distrito de Mina El Limón.
- Al NO del Volcán San Cristóbal se observan afloramientos diseminados de rocas del Grupo Coyol, a lo largo del eje de la Cordillera de los Marrabios. Hazlett (1977) describió estas rocas como andesitas, dacitas, basaltos y aglomerados, tanto del Coyol Inferior como del Coyol Superior. Parsons Corp. (1972) reportó una datación radiométrica de 1.9 ± 0.9 millones de años a partir de una muestra tomada de estos



afloramientos. Tal datación colocaría potencialmente a estos afloramientos en o cerca del límite entre los periodos Terciario y Cuaternario.

- A lo largo de la margen SO de la Depresión Nicaragüense, cerca de la costa Pacífica y al SO del complejo volcánico, se encuentran rocas expuestas del Grupo Tamarindo. El afloramiento más cercano de tales rocas ocurre a unos 10 km al SO de la Carretera 12, cerca de Chichigalpa. Hazlett (1977) describe estos afloramientos como ignimbritas, tobas, andesitas y aglomerados, principalmente del Grupo Tamarindo Inferior. Por lo tanto, es probable que estas rocas sean de edad Miocénica.

Es posible anticipar que rocas ya sean del Grupo Coyol o del Grupo Tamarindo, o de ambos, estén subyacentes a depósitos volcánicos más jóvenes del complejo volcánico Casita – San Cristóbal. No obstante, existe muy poca información para determinar cuál de estos grupos predomina, o cuál tipo de litología puede ser más abundante. Presumiblemente, rocas de edad Terciaria de estos dos grupos subyacen los sedimentos aluviales más recientes que rodean el complejo volcánico.

Los depósitos del complejo volcánico se superponen a las formaciones volcánicas más antiguas, y probablemente en algunos sitios se superponen a sedimentos aluviales de edad Cuaternaria. A juzgar por las rocas actualmente expuestas dentro de la zona, los depósitos del complejo activo consisten principalmente de lavas, depósitos piroclásticos localizados, y depósitos de tipo lahar. Depósitos piroclásticos más diseminados, incluyendo capas de pómez, parecen estar asociados con la Caldera La Pelona, aunque no son típicos de la actividad volcánica del complejo (McBirney, 1955; Hazlett, 1977). Parece haber un predominio de rocas de composición basáltica a basáltico-andesíticas, con una pequeña proporción de rocas andesíticas y dacíticas (ver Anexo B).



Los depósitos sedimentarios recientes de las zonas bajas que rodean el complejo volcánico no han sido estudiados o descritos en detalle. OLADE (1981) estimó que los sedimentos que yacen sobre las formaciones Terciarias en la llanura de Chinandega-León alcanzan un espesor de por lo menos 200 m, y consisten principalmente de sedimentos volcánicos y aluviones. IECO-Lahmeyer (1980) reportó las litologías encontradas a profundidades hasta 70 m en dos pozos someros perforados en la llanura al NO del edificio volcánico; los depósitos encontrados en estos dos pozos consistían principalmente de limo, arena y grava, con capas ocasionales de pómez. Hay muy poca o ninguna información disponible a partir de la cual estimar el espesor de los sedimentos más recientes en la llanura del Noroeste.

Estructura

La estructura geológica del complejo volcánico de Casita-San Cristóbal y áreas circundantes ha sido evaluado en varios estudios, incluyendo los de Texas Instruments (1970) y Hazlett (1977). Más recientemente se han llevado a cabo estudios de la estructura dentro de la parte central y S del Volcán Casita, como parte de la investigación sobre actividad de deslizamientos ocurridos en el mismo (*p.ej.* van Wyk de Vries *et al.*, 1999, 2000). Como parte del Estudio Plan Maestro se llevó a cabo un análisis de la estructura del área, basado en gran medida en el examen e interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, con posteriores verificaciones realizadas durante las visitas al campo. A pesar de que algunos estudios concuerdan en relación con las estructuras más prominentes en el área, existen diferencias en cuanto a detalles, probablemente como consecuencia de diferencias en metodologías y criterios aplicados para la identificación de las estructuras. La **Figura III-3.6** presenta las estructuras sobresalientes identificadas mediante análisis realizados dentro del ámbito del Estudio Plan Maestro.

Las conclusiones más importantes en relación con la estructura geológica en el área de Volcán Casita – San Cristóbal se pueden resumir como sigue:



- Hay poca expresión estructural dentro del Volcán San Cristóbal y en el edificio del Volcán El Chonco – Loma La Teta. La ausencia de estructuras definidas dentro del San Cristóbal pueden explicarse mediante los depósitos muy recientes que virtualmente cubren todo el volcán, aunque la aparente ausencia de deformaciones dentro de El Chonco sugiere la posibilidad de que la parte NO del complejo sea en realidad estructuralmente menos activa que la parte SE.
- Varias fallas definidas con tendencia en más prominente en la parte central del Cerro Moyotepe, que parecen estar asociadas con el colapso gravitacional local del volcán en varios segmentos, más que como resultado de esfuerzos tectónicos regionales.
- La ocurrencia de fallas y fracturas es más prominente en la parte central del Volcán Casita. Dos importantes lineamientos sub-paralelos corren hacia el NE a través el centro del volcán, uniendo el cráter central (La Ollada) y, aparentemente interceptando una o más estructuras con tendencia más hacia el N (Figura III-3.6). Hazlett (1977) consideró los dos lineamientos como fallas que forman los bordes de un graben, aunque, sin embargo, en las investigaciones del Estudio Plan Maestro, se ha encontrado muy poca evidencia directa para esta conclusión.
- La deformación estructural dentro del Volcán Casita coincide en localización tanto con la zona de actividad fumarólica generalizada dentro y cerca de la cima, como con la zona más afectada por inestabilidad de la ladera en el flanco S del volcán. Es razonable asumir que tanto la actividad termal como la actividad de derrumbes se puede incrementar por la presencia de fallas y fracturas activas. Sin embargo, se debe reconocer que la actividad termal y la consiguiente alteración de depósitos superficiales pueden tender a hacer que las estructuras sean más distinguibles e identificables, y por lo tanto, que no se pueda cuantificar con facilidad cuánto más es el grado de actividad estructural del Volcán



Casita que en el resto del complejo. Además, la alteración creada por la actividad termal ciertamente ha tenido un efecto en la estabilidad de las laderas, como se ha discutido en la sección 3.4.

- En la parte del complejo conocida como Caldera La Pelona, las fallas y fracturas son también relativamente más prominentes. A lo largo del margen SE del edificio, varios lineamientos con clara tendencia NE dominan la topografía, evidenciando un cinturón de deformaciones estructurales a lo largo de una tendencia congruente con la que prevalece en la Cordillera de los Marrabios.
- Existen pequeñas estructuras (cráteres) de colapso, presentes en diferentes partes del complejo (ver la sección 3.2.6). En sitios donde los cráteres ocurren en grupos de 2 o 3, se alinean a lo largo de tendencias que corren de NO a NNO (**Figura III-3.6**).
- Con la excepción del límite de la Caldera La Pelona, no es posible identificar ninguna otra estructura de caldera importante dentro del complejo volcánico, indicando esto, ya sea que no han habido erupciones importantes del Volcán San Cristóbal o del Volcán Casita que provoquen la formación de calderas, o que han ocurrido hace tanto tiempo que las estructuras asociadas con ellas ya han sido sepultadas por depósitos más recientes. Cabe mencionar que la forma actual de la Caldera La Pelona es un tanto angular en lugar de circular, lo que sugiere que hubo algún control ejercido por estructuras locales.
- Pocas o ningunas estructuras es identificables en las llanuras que rodean el edificio volcánico, lo cual probablemente se debe más a sedimentación muy reciente en las áreas de la llanura, que a la ausencia de estructuras. Es razonable anticipar que por lo menos algunas de las estructuras más prominentes encontradas dentro del edificio volcánico se extienden dentro de las llanuras adyacentes.



3.2 Actividad Volcánica

Toda la reciente actividad volcánica en el área de Casita-San Cristóbal ha ocurrido en el edificio volcánico actual, que se compone de varios centros volcánicos importantes y menores. El único de los centros que se sabe ha estado activo en tiempos históricos es el Volcán San Cristóbal, que ha experimentado varias erupciones importantes desde el siglo 16, y que ha estado activo en forma intermitente desde los años 1970. Por lo menos varios de los centros volcánicos, incluyendo el Volcán Casita y el Volcán El Chonco, parecen haber estado activos durante los últimos 20,000 años (ver dataciones de rocas en el Anexo B).

El complejo Casita-San Cristóbal se localiza hacia el extremo NO de la Cordillera Volcánica de Nicaragua, y es el que está más hacia el NO de todo el grupo de volcanes que forman la Cordillera de los Marrabios. El complejo del Volcán Telica se localiza inmediatamente al SO del Casita-San Cristóbal, separados por una zona baja que tiene unos 4 km de ancho y unos 250 m de elevación. Los depósitos de los dos complejos volcánicos se traslapan en esta zona (**Figura III-3.6**). Hacia el NO, el volcán joven más cercano es el Cosigüina, a una distancia aproximada de 60 km. Entre el San Cristóbal y el Cosigüina, a lo largo del eje de la cordillera volcánica, existen afloramientos de rocas volcánicas más antiguas.

3.2.1 *Volcán San Cristóbal*

Forma y Composición

El Volcán San Cristóbal (llamado también El Viejo) es el más alto de los volcanes de Nicaragua, alcanzando una elevación de 1,745 m. Es un estrato-volcán de forma regular, tomando la forma de cono de lados empinados que se levanta en las llanuras de la Depresión Nicaragüense y en las partes adyacentes del complejo volcánico. El cráter central tiene paredes muy empinadas, y ha constituido recientemente la principal salida de las erupciones. Los depósitos del San Cristóbal se traslapan con los de cercanos más antiguos centros volcánicos dentro del complejo, y la lava



que fluye del volcán se extiende a más de 10 km, alcanzando las llanuras circundantes del SO, NO y NE (Figura III-3.6).

El edificio volcánico está compuesto principalmente de secuencias de capas intercaladas de lava y tefra, aunque también están presentes depósitos de tipo lahar. Hazlett (1977) observó que no hay evidencia morfológica de que en el pasado un colapso importante del volcán haya causado una erupción a gran escala, aunque pequeñas erupciones a veces han truncado la cima hasta unos 100-200 m.

La parte superior del cono, por encima de los 800 m de elevación, está cubierta principalmente por tefra volcánica. Una estructura de deslizamiento con dirección hacia el NO de la cima es quizás el resultado de re-movilización de depósitos de tefra, o el paso de una colada de lava importante. Aparte de esto, la forma de cono se encuentra escasamente interrumpida por efectos de la erosión. Cerca, o debajo del punto de quiebre de pendiente en el cono volcánico, a alturas entre los 400 y los 800 m, se encuentran depósitos superficiales de lahar, y las coladas de lava predominan por debajo de los 400 m. Hazlett (1977) identificó más de 15 coladas importantes que se pudieron ubicar en un mapa y categorizar de acuerdo con su edad relativa; varias de estas coladas se extienden desde el mismo cono central o cerca de él, hacia las llanuras por debajo de los 200 m de elevación. Se reporta que todas las coladas son AA (tipo de colada con superficie muy rugosa), y la mayoría de ellas parece que se originaron en chimeneas del cono del volcán, a pesar de que pueden haber ocurrido erupciones desde los flancos (Hazlett, 1977).

Las lavas y demás depósitos eruptivos del Volcán San Cristóbal son de composición predominantemente basáltica, aunque se ha identificado por lo menos un flujo de composición andesítica (Hazlett, 1987). Típicamente, las lavas caen dentro de un rango muy estrecho en cuanto a su composición, con contenidos de sílice del 50-52%. Los fenocristales más abundantes son de plagioclasa, siendo comunes también los olivinos y piroxenos; la magnetita es abundante



en forma local. En el Anexo B (Tabla III-B-4) se muestran los análisis químicos de muestras representativas tomadas durante estudios anteriores. Los basaltos son de composición toleítica, con características petrológicas que sugieren una fuente de magma que es más bien típica de un emplazamiento de arco isleño que de un ambiente continental (Hazlett, 1987).

Historia de la Actividad

Una revisión de la información disponible no permitió descubrir ninguna datación radiométrica que pudiera usarse para caracterizar cuantitativamente la historia temprana del Volcán San Cristóbal. No obstante, Hazlett (1977) llevó a cabo un detallado estudio de las características de las coladas expuestas de lava, lo cual permitió determinar las edades relativas, así como llegar a algunas conclusiones generales acerca de la edad e historial de la actividad. El estudio indicó que:

- 40% de las coladas expuestas (12 de un total de 30) representan lavas que probablemente están dentro del rango de varios miles a varias decenas de miles de años de antigüedad;
- cerca del 50% de las coladas (14 de un total de 30) representan lavas que tienen un rango de edad de cientos a varios miles de años de antigüedad; y
- 10-15% de las coladas (3 o 4 de un total de 30) representan lavas dentro de un orden de antigüedad de cientos de años.

El mismo estudio estimó una edad general del Volcán San Cristóbal en 20,000-30,000 años, basándose en la analogía con otros volcanes de América Central. Sin embargo, esto no corresponde a la edad general del complejo Casita-San Cristóbal, que puede ser mayor.

Como se mencionó anteriormente, no se ha encontrado evidencia de episodios que provocaran colapsos importantes en el edificio. La evidencia disponible sugiere que la historia volcánica del



San Cristóbal puede consistir principalmente de erupciones estrombolianas (de intensidad entre moderada y explosiva), similares a las que se han observado en tiempos históricos.

La actividad histórica del San Cristóbal ha sido reportada desde los años 1520, y las erupciones del volcán se resumen en la **Tabla III-3.1**. Todas las erupciones históricas parecen haberse originado dentro o cerca del cráter central. Los periodos de actividad fumarólica en el cráter central han sido de una duración mucho mayor que las erupciones observadas. Se dice que el volcán estuvo activo durante la mayor parte del siglo 16, aunque la principal actividad fue posiblemente fumarólica (Hazlett, 1987). De igual forma, a lo largo de la mayor parte del periodo desde 1971 hasta el presente, han ocurrido emisiones de gas.

Durante 1684 – 1685 sucedieron una serie de intensas erupciones estrombolianas. Desde entonces el volcán estuvo esencialmente dormido hasta 1971, cuando ocurrió una serie de pequeñas explosiones, depositando tefra que llegó hasta Chinandega y otras comunidades hacia el O y el SO. En 1976 ocurrieron otras erupciones estrombolianas, acompañadas de la formación de un pozo de colapso en el cráter central (Hazlett, 1987). Desde esa ocasión, el volcán ha producido varias erupciones de ceniza, siendo la más importante la que ocurrió en 1997, cuando se formó una columna eruptiva de 2,500 m de altura. Hasta el año 2000 han continuado las erupciones intermitentes, la actividad sísmica y fuertes descargas de gas del cráter central.

3.2.2 *Volcán Casita*

Forma y Composición

El Volcán Casita forma la parte central del complejo volcánico (**Figura III-3.6**). Igual que el San Cristóbal, se trata de un estrato-volcán; sin embargo, tiene una forma más amplia, más baja y más erosionada, con una elevación máxima de 1,405 m. Su parte superior es alargada a lo largo de una tendencia ONO, y parece contener varios cráteres en la cima. Solamente el más grande, y que está situado más hacia el centro (La Ollada), permanece todavía intacto; los demás ya han



sido erosionados parcialmente, y hasta puede haber habido otros que han sido completamente destruidos por la erosión.

El flanco S del Casita está erosionado en forma más conspicua, con empinadas laderas irregulares en el flanco superior y topografía moderadamente irregular más abajo. Los flancos E y NE son más regulares y menos empinados que los del S. Hacia el O el volcán se une con el edificio del San Cristóbal, cuyos depósitos se traslapan con los del Casita. Hacia el E, el Volcán Casita desciende hacia la Caldera La Pelona, y sus depósitos han llenado parcialmente la caldera.

Comparado con el San Cristóbal, una mayor proporción del Casita está cubierto por depósitos de tipo lahar, aunque en los mapas se han localizado algunas coladas extensas de lava, especialmente en la parte baja del flanco NE, extendiéndose hasta 10 km desde la cima. La abundancia de lahares puede deberse en parte a la falta de actividad reciente, lo cual ha permitido que los depósitos superficiales se erosionen. No obstante, un examen de los materiales erosionados expuestos cerca de la cima indican que, cuando el volcán estuvo activo, comúnmente se formaron lahares o depósitos de material piroclástico grueso.

Las lavas del Volcán Casita son predominantemente basálticas, aunque una evidencia limitada sugiere que las andesitas pueden ser más comunes que en el San Cristóbal, y que las lavas son ligeramente más ricas en álcali. En el Anexo B (Tabla III-B.4) se incluyen análisis químicos de muestras representativas tomadas durante estudios existentes. Las plagioclasas y los piroxenos son comunes como fenocristales, en tanto que los olivinos parecen ser menos comunes.

En una importante extensión del área de la cima pueden encontrarse fumarolas, que en su mayoría parecen reflejar la presencia de actividad hidrotermal, y no una expresión directa de actividad volcánica. En el Capítulo 4 se discuten con mayor amplitud las fumarolas y otras manifestaciones de tipo termal.



Historia de la Actividad

Se dispone de muy poca evidencia directa con la cual deducir la historia eruptiva del Volcán Casita, y es un tanto incierto deducir si el volcán ha estado activo en tiempos históricos. Mooser *et al.* (1958) han reportado que hubo actividad durante el siglo 16, aunque no suministraron fechas específicas o detalles de las erupciones. La Smithsonian Institution (2000) concluyó que las erupciones del siglo 16 son inciertas, y que podrían más bien asociarse a otros volcanes de la Cordillera de los Marrabios. El actual carácter erosionado de la cima sugiere que, en cualquier caso, ha habido poca actividad dentro de por lo menos los últimos miles de años.

Una muestra de lava recolectada en el Cráter La Ollada para el Estudio Plan Maestro fue datada en $12,000 \pm 1,000$ años por el método de termo-luminiscencia (ver el Anexo B). Debido a que esta muestra se recogió del medio de la pared del cráter, es probable que no represente la actividad más reciente del Casita. Por lo tanto, existe una buena posibilidad que el volcán haya estado activo durante los últimos 10,000 años, y que mucha de esta actividad haya sido concurrente con la del San Cristóbal. A pesar de que los depósitos del Casita pueden ser, en promedio, más viejos que los del San Cristóbal, su actividad temprana podría no superar mucho la del San Cristóbal. El edificio del Casita probablemente se formó de una manera muy similar a la del San Cristóbal, es decir, mediante erupciones estrombolianas repetidas, de composición bastante constante. Como en el caso del San Cristóbal, no hay evidencia de una erupción a gran escala que condujera al colapso del edificio y a la formación de una caldera durante el génesis del Casita.

3.2.3 Caldera La Pelona

Forma y Composición

La Caldera La Pelona (o Cerro La Pelona) es un amplio volcán de altura mediana que forma el extremo E del complejo volcánico. Tiene una elevación máxima de 827 m. Su principal



característica es un valle de laderas empinadas, con un suelo nivelado de 3 a 4 km en diámetro, lo cual se ha interpretado como una caldera, formada probablemente durante las últimas etapas de actividad volcánica, a juzgar por la aparente falta de conos más jóvenes u otros centros eruptivos dentro del edificio de La Pelona. Al O y al N el edificio se traslapa con depósitos del Volcán Casita, los cuales también cubren gran parte del suelo de la caldera. Al NE, E y S, la superficie del terreno baja desde el borde de la caldera con pendiente moderada e irregular. Tal como se mencionó en la sección 3.1.2, parece que la topografía se ha visto afectada en partes por deformación estructural.

Las rocas expuestas en la superficie consisten principalmente de depósitos de tipo lahar, y no se han localizado en mapas las extensas coladas de lava (Hazlett, 1977). No obstante, a lo largo de las márgenes N y E de la caldera, McBirney *et al.* (1965) observaron capas de piedra pómez asociados con la formación de la caldera. OLADE (1981) reportó también la presencia de flujos piroclásticos y depósitos causados por la erupción que formó la caldera

El quimismo de las rocas de la Caldera La Pelona (ver Anexo B, Tabla III-B.4) varía desde basálticas a dacíticas, aunque parecen predominar más las rocas silíceas (andesitas a dacitas), en contraste con los volcanes Casita y San Cristóbal. Esto puede constituir, en cierta forma, un artificio de muestreo preferencial de productos eruptivos de las etapas más recientes, pero en cualquier caso es un reflejo de un mayor grado de diferenciación, por lo menos en las etapas finales de actividad del volcán.

Historia de la Actividad

Históricamente, la Caldera La Pelona no ha estado activa, y se considera que probablemente es el más antiguo de los centros volcánicos del complejo Casita-San Cristóbal (Hazlett, 1977). Martínez *et al.* (1971) consideraron al volcán como de edad plio-pleistocénica. En nuestra opinión, esta es probablemente una sobre-estimación de la edad, aunque su relación morfológica



con el Volcán Casita sugiere que probablemente su desarrollo se inició y en gran medida se completó más temprano que el Volcán Casita o el San Cristóbal. No se dispone de dataciones radiométricas para evaluar cuantitativamente la edad de su actividad eruptiva.

El estilo de vulcanismo durante la mayor parte de la historia de La Pelona es un tanto incierto. Su forma es congruente con un desarrollo temprano como estrato – volcán, con erupciones similares a aquellas que formaron el Casita y el San Cristóbal. Sin embargo, la etapa final de actividad estuvo marcada por una gran erupción pliniana que formó la caldera. Como se anotó anteriormente, es posible que haya habido poca actividad eruptiva después que se formó la caldera, y es probable que la erupción que formó la caldera fue el evento más explosivo que haya sucedido en toda la historia del complejo Casita-San Cristóbal (Hazlett, 1987).

3.2.4 El Chonco – Loma La Teta

El Volcán El Chonco es un cono parcialmente erosionado, con una elevación máxima de 1,500 m, localizado al O del Volcán San Cristóbal. A pesar de la erosión, el cono ha conservado una forma bastante regular. El domo o parásito de la Loma La Teta, con un relieve de unos 100 m, se encuentra en la parte superior del flanco ONO de El Chonco. Parece estar presente un cráter parcialmente colapsado o abierto, así como también un cráter anidado o secundario colapsado, a una corta distancia al NO de la cumbre.

La mayor parte de los depósitos de El Chonco se encuentran dentro de una distancia de unos 2 km de la cima; sin embargo, por lo menos dos coladas se extienden más allá, llegando una de ellas a unos 9 km al SO. La forma de El Chonco es entonces el resultado de la extrusión de magma tanto del tipo de formación de domo, como del tipo de formación de coladas (Hazlett, 1977). En gran parte del cono se encuentran también depósitos de tipo lahar.



Las rocas en El Chonco son predominantemente andesita y basalto-andesitas, con fenocristales de plagioclasa y piroxenos. En contraste, la Loma La Teta es un domo de dacitas altamente viscosas, ricas en plagioclasa, apatita y magnetita.

El Chonco no ha estado en erupción en tiempos históricos. Hazlett (1977) toma nota de reportes anteriores de actividad fumarólica en los años 1970, pero en la actualidad no hay evidencia de fumarolas. A una muestra recolectada en el flanco superior de El Chonco para el Estudio Plan Maestro se le determinó, por el método de termo-luminiscencia, una edad de $15,000 \pm 2,000$ años (ver el Anexo B). La extrusión de Loma La Teta es aparentemente más joven; por lo tanto, la actividad más reciente dentro del edificio es, en términos generales, contemporánea con la del Volcán Casita. El periodo total de formación de El Chonco puede ser, a grandes rasgos, similar al del Casita, basándose en similitudes morfológicas de ambos volcanes.

3.2.5 Cerro Moyotepe

El Cerro Moyotepe es un pequeño volcán compuesto, localizado cerca del margen N del complejo volcánico, al N del Volcán San Cristóbal y del Volcán Casita (Figura III-3.6). Tiene la forma de una cresta alargada con sentido E-O, de pendiente moderada, con una elevación máxima de 917 m. Parece que existen allí 3 chimeneas volcánicas con pequeños conos y sus respectivos cráteres localizados a lo largo de la cresta, además de 2 chimeneas más pequeñas más hacia abajo del flanco N, en el lado O.

El edificio del Cerro Moyotepe está erosionado solo moderadamente, aunque ha sido deformado por colapso parcial causado por desplazamiento de varias fallas normales de dirección N-S, a través de su cresta en la cumbre. Según Hazlett (1977), el colapso se centró en el cono central de la cresta, y le bajó la altura a la cumbre en unos 50 a 250 m. Debido a que las fallas no se han ocultado por erosión o por deposición de material, se infiere que el colapso ocurrió durante una etapa tardía de la actividad del volcán.



Las rocas expuestas en la mayoría del edificio del Moyotepe son lavas y tefras alteradas, mientras que por debajo de los 250 m están presentes depósitos de lahar, que en apariencia se extienden unos 5 km al Norte de la cima (Hazlett, 1977). La lava de Moyotepe es similar a la del San Cristóbal, aunque parece ser en general más silícea. Información limitada sugiere que las rocas tienen una composición desde basaltos a andesitas, con fenocristales de plagioclasa, piroxeno y olivinos.

El Cerro Moyotepe no ha hecho erupción en tiempos históricos, y el grado de erosión, deformación y alteración superficial observado indica que no ha estado activo durante por lo menos varios miles de años. No se tienen disponibles dataciones radiométricas para determinar la edad absoluta de cualquiera de los estados de actividad del volcán.

OLADE (1981) concluyó que el Moyotepe “puede ser considerado mucho más viejo que La Pelona”, mientras que Hazlett (1987) creyó que La Pelona era más viejo. Observaciones realizadas durante el Estudio Plan Maestro apoyan esta última opinión. Basándose en la evidencia disponible, Moyotepe es ciertamente más viejo, por lo menos en cuanto a su actividad más reciente, que el San Cristóbal, y puede ser más viejo que el Casita y El Chonco, pero probablemente es más joven que La Pelona. Parece haberse formado por erupciones repetidas de varias de sus chimeneas, cuya actividad probablemente se traslapa en el tiempo.

3.2.6 Centros Volcánicos Parásitos

En varios sitios del complejo volcánico están presentes centros subsidiarios o parásitos, que pueden agruparse en dos categorías generales:

- Pequeños conos parásitos de tefra o de cenizas, y domos de lava, casi todos presentes en la parte O del complejo, en los flancos del Volcán San Cristóbal, El Chonco y el Cerro



Moyotepe. Aquí se incluyen los domos de lava de Loma La Teta y Loma Caparra (Figura III-3.6).

- Cráteres de tipo maar y conos de tobas de hasta 1 km de diámetro, formados aparentemente por explosiones freato- magmáticas, dentro de las cuales se incluyen:
 - el cono de toba de la Loma Acastepe, localizado a NO del Volcán El Chonco
 - una cadena con tendencia NNO de cráteres de poca altura, al O del Cerro Moyotepe, que conduce a Laguna Seca y a la Laguna de Agua, cerca de la Carretera 34.
 - una cadena con tendencia NO de por lo menos 3 cráteres cerca de Carlos Espinoza. En los mapas topográficos se conocen como el Lugar La Hoyada, aunque Hazlett (1977) los mostró en su mapa como Cráteres de Guanacastal. Este último nombre es más adecuado para una cadena similar de 2 o más cráteres más hacia el SE, localizados en la Comarca El Guanacastal.
 - varios cráteres poco definidos cerca de Lugar El Arenal, al NO de Colonia Cristo Rey.

Los cráteres freáticos y conos están alineados principalmente en grupos, lo que sugiere que los centros eruptivos se dieron a lo largo de diques que pudieron ser controlados estructuralmente. No obstante, la tendencia del alineamiento no es consistente, corriendo desde aproximadamente N5°O a cerca de N75°O. Debido a que muchos de los cráteres, si no todos, están localizados en zonas donde con frecuencia pudieron haber quedar enterrados por lavas, tefras, lahares o avalanchas de lodo, se puede inferir que se trata de manifestaciones relativamente recientes, y que muchos otros cráteres similares pueden haberse formado en el pasado y haber quedado enterrados posteriormente. Ninguno de los conos o cráteres freáticos parece haber sido el centro de actividad freática durante un periodo largo, o haber emitido volúmenes muy grandes de material.



3.2.7 Resumen

El complejo Casita-San Cristóbal está compuesto de 5 volcanes principales que se traslapan entre sí y que parecen haberse formado mediante procesos bastante simples de erupciones repetitivas, la mayoría de ellas de baja a moderada intensidad explosiva. Solamente en La Caldera La Pelona es posible deducir que sucedió un episodio de formación de caldera como resultado de erupciones altamente explosivas y de gran escala; los demás volcanes parecen tener simples estructuras compuestas

La composición de los productos eruptivos del complejo es típica de los volcanes de Nicaragua. Las composiciones analizadas van desde basalto a dacita, predominando sobre todo los tipos con menos sílice (basaltos y andesitas basálticas). Solamente La Pelona ha producido grandes cantidades de material dacítico; los otros volcanes son más bien de carácter basáltico a andesítico, siendo el San Cristóbal el más basáltico.

Con la información disponible no es posible reconstruir un historial cuantitativo de la actividad del complejo. Sin embargo, es probable que la secuencia general de edades de los volcanes, ordenados del más antiguo al más joven, sea como sigue:

- Caldera La Pelona
- Cerro Moyotepe
- Volcán El Chonco
- Volcán Casita
- Volcán San Cristóbal

Probablemente hay un traslape considerable entre los periodos en los cuales los diferentes volcanes han estado activos. Solamente se sabe con certeza que el San Cristóbal ha estado activo



en tiempos históricos, aunque es muy probable que El Casita y El Chonco hayan estado activos durante los últimos 10,000 años.

No hay certeza de que los diferentes volcanes del complejo estén asociados con distintas cámaras de magma, o si se han formado a partir de un único complejo magmático, posiblemente migratorio. La estructura de la Caldera La Pelona y el carácter diferenciado de sus productos eruptivos sugieren la presencia de una cámara distinguible de magma en la parte E del complejo, mientras que la similitud de los demás volcanes abre la posibilidad de que en el sector O haya una cámara común.

3.3 Hidrología

Dentro del complejo Casita-San Cristóbal no existen cuerpos importantes permanentes de agua superficial. Posiblemente esto es resultado de la composición de los volcanes, que están compuestos de depósitos de lavas y materiales piroclásticos relativamente permeables. El complejo es drenado por quebradas que en su mayoría fluyen en forma estacional, y siguen un patrón que no muestra un importante control estructural, excepto, en forma moderada, en el flanco S del Volcán Casita. En el lado SO del edificio volcánico, las quebradas eventualmente convergen en ríos que llegan al Océano Pacífico discurriendo por la llanura costera, y entre los cuales se incluyen, principalmente, el Río Posoltega, el Río Tesorero y el Río Atoya. El lado NE del complejo se encuentra dentro de la cuenca del Río Tecomapa, que se transforma hacia el NO en los pantanos de las tierras bajas del Estero Real. La división entre la cuenca del Pacífico y la del Estero Real sigue el eje aproximado de tendencia NO del complejo volcánico y de la Cordillera de los Marrabios.

En ambos lados afuera del complejo volcánico se encuentran importantes cuerpos permanentes de agua superficial en las llanuras por debajo de los 100 m de elevación. En el lado SO, cursos de agua estacional importantes y menores descienden desde las alturas, convirtiéndose en



arroyos permanentes que parecen seguir sus cursos originarios (sin modificación por actividades humanas).

En el lado NE, las faldas de los volcanes caen hacia una llanura más baja con poca inclinación, y en muchos sitios los arroyos perennes han sido canalizados o han sido conducidos de manera artificial por intervención del hombre, para drenar las áreas circundantes. Tales canales se encuentran principalmente en elevaciones entre 20 y 60 m. Más allá de unos 10 km de distancia a partir de las cimas de los volcanes, la elevación del terreno baja a menos de 10 m, y se forma un extenso pantano alrededor del Estero Real, el Río Tecomapa y sus tributarios. En varios sitios en las llanuras del N es posible encontrar manantiales (tanto fríos como tibios).

El patrón de flujo de aguas subterráneas en el área de estudio probablemente es similar al del drenaje superficial. No hay evidencia de la presencia de importantes barreras específicas para el flujo del agua subterránea dentro del complejo volcánico, aunque diques u otros cuerpos intrusivos pueden desviar localmente el curso sobre distancias cortas. Fuera del complejo, el flujo de agua subterránea puede verse perturbado por formaciones pre-cuaternarias (rocas del Grupo Coyol en el NO, y rocas del Grupo Tamarindo en el SE) que llegan a profundidades someras o afloran a la superficie. Tales perturbaciones pueden suceder, por ejemplo, alrededor de las rocas del Grupo Coyol expuestas en el complejo de colinas de Loma Ojo de Agua – Loma San Lucas. Hacia el SE del complejo volcánico, Krásný *et al.* (1998) infieren que la presencia de rocas del Grupo Tamarindo a profundidades someras menos permeables (aflorando en algunos sitios), cerca de la costa del Pacífico, puede formar una barrera parcial al flujo del agua subterránea, y que también puede evitar el ingreso de agua de mar a las áreas del interior. Esta barrera llega a ser menos importante, e incluso llega a desaparecer del todo hacia el NO, cerca de Chinandega, conforme se profundizan las rocas del Grupo Tamarindo.



Hay una carencia casi total de mediciones de elevación de la superficie piezométrica dentro del complejo volcánico, aunque son más frecuentes alrededor de sus márgenes y en las planicies circundantes. Estos datos, según los ha resumido Krásný *et al.* (1998), indican que la superficie piezométrica desciende regularmente de acuerdo con la topografía alrededor del complejo volcánico. La pendiente de la superficie es más gradual en el lado SO, mientras que el NE desciende con gran inclinación a 20 m o menos, cerca del margen del complejo.

En las planicies a ambos lados del complejo volcánico, en los sedimentos volcánicos y en otras rocas encontradas a profundidad somera, hay presencia de abundantes acuíferos de agua subterránea. Krásný *et al.* (1998) caracterizan la transmisividad de los acuíferos en, y más allá de los márgenes del complejo volcánico, como “alta” a “muy alta.” Las aguas subterráneas son en general de buena calidad, con baja alcalinidad y niveles medios de salinidad; sin embargo, al NE del complejo volcánico se tornan más salinas. En general, la salinidad parece estar más relacionada con la inclusión de agua salada a través del Estero Real que a contribuciones aportadas por agua termal.

Se dispone de poca información dentro del complejo volcánico en relación con las características del agua subterránea. Sin embargo, considerando la composición de los volcanes, es probable que puedan existir acuíferos subterráneos productivos (para agua subterránea y/o agua termal) en muchas localidades del complejo.

3.4 Riesgos Geológicos

El área de Volcán Casita – San Cristóbal está sujeta a riesgos geológicos asociados con la actividad volcánica y sísmica, inestabilidad de las laderas, e inundaciones. El grado de intensidad con el que se presenta cada tipo de riesgo varía considerablemente de un sitio a otro dentro del área, dependiendo de las condiciones topográficas y geológicas locales, entre otros



factores. En las siguientes secciones se comentan los diferentes riesgos, con énfasis en su impacto potencial sobre, o interacción con, la exploración y el desarrollo geotérmico.

3.4.1 *Riesgo de Erupción Volcánica*

Para fines de discusión, es conveniente categorizar las fuentes potenciales de riesgo de erupción que puedan afectar el área de estudio como sigue:

- erupción del Volcán San Cristóbal;
- erupción de otro volcán dentro del complejo Casita-San Cristóbal; y
- erupción del Volcán Telica.

Para el área de estudio, el riesgo del Volcán San Cristóbal es mayor, ya que históricamente ha estado activo. Tal como se discutió en la sección 3.2, otros volcanes en el complejo, especialmente el Casita y El Chonco, pudieron haber estado activos en tiempos bastante recientes (dentro de los últimos miles de años), y tienen la capacidad de activarse de nuevo en el futuro. La probabilidad de tal reactivación no se puede calcular cuantitativamente, pero, tomando en cuenta la falta de actividad durante un periodo de siglos o de milenios, es pequeña la probabilidad de que cualquiera de los otros volcanes supongan un riesgo significativo durante la vida activa de un proyecto de desarrollo geotérmico (aproximadamente 30 años). No obstante, sería prudente realizar por lo menos un monitoreo mínimo de los volcanes inactivos, con el fin de detectar a la primera oportunidad cualquier nueva actividad.

El Volcán Telica, que frecuentemente ha estado activo en tiempos históricos, se localiza fuera del área de Casita – San Cristóbal, pero es capaz de dispersar tefra en una zona muy grande, sobre todo hacia el O (en dirección de Casita – San Cristóbal). Basado en observaciones de campo, Navarro (INETER-CEPREDANAC, 1994) concluyó que las zonas dentro de un radio de 15 km de la chimenea principal del Telica, podrían ser objeto de caídas de escorias y cenizas,



con posibles acumulaciones de hasta 0.5 m o aun más. La parte E del complejo Casita-San Cristóbal yace dentro de tal distancia, y todo el complejo está sujeto a la caída de tefra de por lo menos unos pocos centímetros en el caso de una erupción importante. Estas mismas zonas pueden ser afectadas por lluvias ácidas asociadas con intensos fenómenos de degasificación del volcán. Estos impactos potenciales no son severamente destructivos, pero se deben tomar en cuenta al planear y diseñar un desarrollo geotérmico, particularmente si éste se va a localizar hacia el extremo E del complejo. Además, sería ventajoso supervisar de cerca la actividad del Telica durante la operación del proyecto, con el fin de prepararse adecuadamente para cualquier impacto que pudiera ocurrir.

Basándose en la historia eruptiva del Volcán San Cristóbal, son dos los tipos de erupción que se puede considerar que tienen la probabilidad más alta de suceder:

- Caídas de tefra proveniente de erupciones desde la chimenea central
- Flujos de lava originados dentro o cerca del cono central

Las erupciones de chimeneas subsidiarias o parásitas, incluyendo explosiones freáticas con formación de cráteres tipo maar, tienen una probabilidad más baja de suceder, pero siempre son posibles. Es difícil de evaluar cuantitativamente su frecuencia en los últimos miles de años, pero se debe notar que en general estas erupciones han sido pequeñas, sin afectar grandes áreas. Basándose en la historia eruptiva del volcán, es poco probable, aunque no imposible, que suceda una erupción de tipo pliniano (de alta intensidad explosiva), que tendría el potencial de causar daño catastrófico en toda el área y aún más allá.

Hazlett (1977) evaluó la frecuencia de los principales flujos de lava del San Cristóbal, y concluyó que, en promedio, las grandes coladas no ocurren con mayor frecuencia que una vez cada pocos siglos. Además, las coladas de lava afectan únicamente ciertas áreas dentro y alrededor del volcán, dada su configuración topográfica. Las faldas que se extienden al SW



hacia Chichigalpa y al NO hacia Mocerón tienen mayor probabilidad de verse afectadas por flujos de lava (ver **Figura III-3.6**). En general, el riesgo de lahares u otros tipos de removilización de depósitos superficiales existentes es probablemente mayor en el San Cristóbal que el riesgo de flujos de lavas, dentro de un periodo dado de tiempo (ver la sección 3.4.2).

Las erupciones de tefra han ocurrido más frecuentemente que los flujos de lava, por lo menos en tiempos históricos (Tabla III-3.1), y pueden afectar un área mayor. Hazlett (1977) enuncia que las erupciones aisladas pueden crear acumulaciones de tefra del orden de los 35-80 cm en las ciudades cercanas de Chinandega y El Viejo. Acumulaciones similares o aun mayores pueden ocurrir cerca y dentro del volcán, y el potencial de una acumulación importante es mayor en el lado O, donde los vientos prevalecientes tenderían a concentrar la caída de cenizas. La deposición de unas pocas decenas de cm o más de ceniza crea el riesgo de colapso de tejados en las edificaciones, así como impedimento de todo tipo de actividades.

Asumiendo que este comportamiento continuaría siendo típico del Volcán San Cristóbal, la probabilidad estadística de una erupción de tefra (de intensidad explosiva baja a moderada) dentro de un periodo dado de tiempo puede ser calculada a partir de la siguiente relación:

$$P = 1 - e^{-(t/r)}$$

donde:

P = probabilidad de erupción;

t = intervalo de tiempo para el cual se calcula la probabilidad; y

r = intervalo de recurrencia

La **Figura III-3.7** muestra la historia de las erupciones más importantes del volcán desde 1528, basada en los datos presentados en la Tabla III-3.1. La Tabla III-3.2 presenta las probabilidades de una erupción del volcán, durante intervalos de tiempo que van desde 30 días hasta 30 años. Como se indica en la tabla, la historia en el pasado muestra una posibilidad baja de erupción



(menos de 10%) en periodos de hasta unos 5 años, pero una probabilidad moderada a alta de que sucederá una erupción dentro de un periodo de 20 años o más.

Cabe mencionar que, tal como se muestra en la **Figura III-3.7**, el San Cristóbal ha mostrado una tendencia a estar en erupción más frecuentemente en ciertos periodos, con periodos más largos de inactividad. Por lo tanto, la probabilidad de erupción es quizás más grande de lo que indica la Tabla III-3.2, en el tanto en que el volcán permanezca en su actual estado de actividad (que se inició en 1971), durante el cual, en promedio ha estado en erupción cada 6 años.

Debe mencionarse también que las descargas de gas volcánico del San Cristóbal representan un riesgo para la propiedad y, potencialmente para la salud, a causa de su naturaleza ácida y tóxica. Este riesgo afecta principalmente una porción del sector O del volcán, y puede ser evaluado, por lo menos cualitativamente, de manera específica en cada sitio, mediante monitoreo de las condiciones mientras dura la descarga de gas, como lo ha hecho durante una cantidad de años.

3.4.2 Riesgo de Deslizamientos y Flujos de Detritos

El desastroso deslizamiento y flujo de detritos que sucedió en el flanco S del Volcán Casita el 30 de Octubre, 1998 mostró dramáticamente los riesgos asociados con la inestabilidad de las laderas en el complejo volcánico Casita-San Cristóbal. Se trató de un complejo movimiento de sólidos y agua, provocado por las fuertes lluvias del Huracán Mitch, cuya máxima precipitación ocurrió el 30 de Octubre, con 484 mm. El movimiento se inició en forma de un deslizamiento con un volumen estimado de 200,000 m³, que se transformó en una avalancha de detritos, luego en un flujo de detritos (lahar) y entonces en flujos más diluidos con cantidad limitada de sólidos, conforme bajó por las laderas. El flujo de detritos se extendió a lo largo de una distancia de más de 7 km, destruyendo por completo los poblados de El Porvenir (Augusto César Sandino) y Rolando Rodríguez y afectando a otros, causando más de 2,000 víctimas fatales. En la **Figura III-3.6** se muestra el área principal que se vio afectada.



El evento de 1998 ha sido descrito y analizado ampliamente por una cantidad de investigadores, incluyendo a Sheridan *et al.* (1998), Carreño Collatupa (1998), Guevara *et al.* (1999), Scott (1999), y van Wyk de Vries *et al.* (1999, 2000). En este trabajo no se presentará un análisis detallado del evento, pero los siguientes puntos son importantes para determinar el riesgo de los movimientos de tierra asociados con el Volcán Casita, y sus implicaciones para el desarrollo geotérmico:

- El evento se inició como un deslizamiento ocurrido en una zona de roca alterada por actividad hidrotermal cerca de la cima del volcán (justo al SO del pico donde están instaladas unas torres de telecomunicaciones). La alteración está asociada con actividad fumarólica dentro y en los alrededores del área de la cumbre, aunque la zona donde se observa roca alterada es más extensa que la actual área de fumarolas activas. Este tipo de alteración somera está dominada por formación de minerales arcillosos a partir de la mayoría de los componentes de las rocas, lo cual las torna menos competentes y les permite deformarse plásticamente, especialmente cuando se saturan con agua.

En sitios donde hay rocas no alteradas o menos alteradas que sobreyacen o que se encuentran en sitios de mayor altitud que aquellas altamente alteradas por arcillas, la pendiente puede adquirir una sobre-inclinación y llegar a desestabilizarse por movimientos graduales o episódicos del material alterado, facilitando deslizamientos más grandes y catastróficos. Además, la roca alterada puede llegar a tener una mayor capacidad de fluir a mayores distancias debido a su plasticidad. Este fenómeno ha sido observado en otros volcanes de América Central, incluyendo el Volcán Mombacho, donde la roca alterada parece haber intervenido en el colapso del flanco S del volcán, y en el campo geotérmico de Zunil (cerca del Volcán Santa María) en Guatemala, donde un deslizamiento mató a más de 20 residentes locales en 1991. Por lo tanto, la presencia de roca alterada por arcillas en áreas de mucha inclinación, especialmente en presencia de



fumarolas constantes o de actividad de manantiales calientes, representa un tipo singular de riesgo debido al proceso continuado y potencialmente rápido de desestabilización de las laderas.

- La topografía del flanco S del Volcán Casita indica que eventos similares de derrumbes combinados con flujos de detritos han ocurrido con relativa frecuencia en este sector del volcán. Esto también es típico de zonas sujetas a las condiciones mencionadas anteriormente de laderas pronunciadas y roca alterada. Guevara *et al.* (1999) evaluó el grado de riesgo al que están sujetas las diferentes partes del flanco S, en razón de los movimientos del terreno e inundaciones, mencionando que las comunidades localizadas en la parte superior de las laderas se encuentran particularmente en riesgo, igual que las zonas a menores altitudes que están cercanas a los cauces de los arroyos y ríos existentes.
- El deslizamiento de Octubre de 1998 se originó en una zona donde existe convergencia de diferentes fallas u otro tipo de fracturas cerca de la cumbre del volcán. Las fracturas pueden llegar a jugar un papel importante en la desestabilización de la roca, propiciando derrumbes. Sin embargo, tal como se discutió en la sección 3.1.2, es complejo establecer una relación causa – efecto entre fallas, actividad hidrotermal e identificación de manifestaciones estructurales, y es difícil evaluar la forma en que la deformación estructural contribuye con la inestabilidad de las laderas. Es probable que el fallamiento, el cual es común en muchas áreas volcánicas, por sí solo no sea suficiente para crear las condiciones de inestabilidad de las laderas encontradas en el flanco S del Volcán Casita.
- Otras partes del Volcán Casita también se vieron afectadas por movimientos del terreno durante el Huracán Mitch, aunque éstos fueron de magnitud mucho menor que el flujo que destruyó El Porvenir y Rolando Rodríguez. El más notable de estos otros flujos fue uno que se movió hacia el E desde la cima, y que eventualmente se derramó en una gran



parte del terreno de la Caldera La Pelona. Durante las actividades de campo para el Estudio Plan Maestro se observó que un flujo similar había afectado el interior del cráter central en la cima (La Ollada). Este flujo debe haberse originado a partir de un deslizamiento en la pared del cráter, aunque es incierto cuándo ocurrió.

Basándose en la evidencia discutida anteriormente, el flanco S del Volcán Casita presenta un alto grado de riesgo por deslizamientos y flujos de detritos que pueden dañar el desarrollo geotérmico dentro de esta zona. Si bien es cierto que la gran magnitud del evento de Octubre de 1998 probablemente fue el resultado de un conjunto poco común de condiciones climatológicas, eventos más pequeños pueden ocurrir con mayor frecuencia. Sería poco recomendable emprender una gran actividad de desarrollo en las laderas empinadas del flanco S, tanto en razón del riesgo existente, como porque la actividad de desarrollo (particularmente movimientos de tierra y re-orientación de drenajes para obras civiles) tienen el potencial de agravar las condiciones de inestabilidad de las laderas. Si se va a realizar algún tipo de desarrollo en esta zona, es importante que se supervisen de cerca las condiciones de estabilidad de las laderas, y si fuera necesario, que en etapas tempranas del desarrollo se implementen los debidos procedimientos para mitigar la inestabilidad (tales como drenajes y refuerzos).

Las laderas más bajas del flanco S del Casita presentan también riesgo de flujo de detritos e inundación, lo cual puede evitarse en alguna medida localizando instalaciones y caminos lo más lejos posible de cauces de arroyos y de zonas bajas.

Los flancos N y E del Volcán Casita no parecen estar sujetos al mismo grado alto de riesgo que el flanco S, en vista de que sus laderas son más suaves y no parece que haya habido una historia reciente de importantes movimientos del terreno. Los riesgos también parecen ser de moderados a bajos dentro de los edificios de La Pelona, El Chonco y Moyotepe (ver **Figura III-3.6**). Todas estas zonas tienen algún potencial para deslizamientos o flujos de detritos en los sitios donde las



laderas son suficientemente empinadas, aunque eventos catastróficos importantes no parecen ser frecuentes.

El Volcán San Cristóbal presenta riesgo de lahar debido a los depósitos de tefra no consolidada que se han acumulado en la parte superior de las laderas durante erupciones relativamente recientes. Los depósitos de tefra pueden ser removilizados por lluvias estacionales fuertes, lo que permite que se desarrollen flujos de lodo o lahares conforme el material se mueve pendiente abajo. Tales movimientos son más comunes en las laderas superiores del volcán, que están prácticamente deshabitadas, aunque los flujos pueden bajar mayores distancias por los cauces, afectando potencialmente las áreas desarrolladas de la zona baja. Durante la estación de lluvias del año 2000 hubo lahares de este tipo relativamente pequeños pero potencialmente destructivos.

El análisis de fotografías aéreas indica que las laderas N, NO y NE del Volcán San Cristóbal se han visto afectadas más fuertemente por lahares de magnitud pequeña a moderada durante tiempos recientes (quizás en los últimos siglos). Durante periodos sostenidos de erupciones de tefra, las laderas O y NO pueden ser objeto de un grado mayor que el normal de riesgo debido a la acumulación de material en estos sectores del volcán; no obstante que el riesgo de lahares sería excedido por el de deposición generalizada de tefra (ver sección 3.4.1), excepto en las cercanías de los cauces de quebradas.

El riesgo de lahares en las faldas del Volcán San Cristóbal puede considerarse moderado a distancias mayores a unos cuantos km de la cima (debajo de una elevación de 500 – 600 m). El riesgo para las instalaciones se verían disminuidos si éstas se localizan lejos de las áreas que tienen mayor probabilidad de verse afectadas. Hazlett (1977) acota que el daño causado por flujos de tamaño pequeño se pueden evitar construyendo barreras de poca altura (paredes de piedra) que desvíen el flujo lejos de áreas sensibles.



3.4.3 Riesgo de Inundación

Durante los períodos de lluvias fuertes pueden ocurrir inundaciones, ya sea independientemente o asociadas con movimientos del terreno como los que ocurrieron durante los eventos de Octubre de 1998 comentados anteriormente. Los movimientos de tierra pueden agravar el riesgo de inundación en zonas de baja o moderada pendiente, al concentrar agua junto con sólidos en forma de pulsos que se pueden extender en un área grande, y al bloquear cauces de arroyos, desviando así el recorrido de las aguas hacia áreas que normalmente no se ven afectadas. Como resultado, el riesgo de inundación en las faldas del complejo volcánico es mayor en las siguientes zonas:

- El flanco Sur del Volcán Casita, a elevaciones entre unos 100 y 500 m. El suelo de los cráteres en la cima (La Ollada) y Caldera La Pelona también están sujetos a riesgo de por lo menos inundación parcial, con o sin movimientos de tierra asociados a ella.
- Los flancos del Volcán San Cristóbal, por debajo de elevaciones de unos 500 m. El flanco NO puede estar sujeto a un nivel mayor de riesgo que los otros sectores, en razón de su topografía e historia aparente de movimientos de tierra.

Las llanuras que rodean el complejo volcánico están sujetas a riesgo de inundación por acumulación de agua durante periodos de lluvia intensa. Los sectores NE y N son objeto de un mayor nivel de riesgo debido a la topografía tan baja en estas zonas. En comparación, las llanuras del SO y del O bajan en forma más gradual y uniforme, haciendo que las inundaciones de gran cobertura sean menos probables. Sin embargo, Wheelock *et al.* (2000) reportan la ocurrencia de inundaciones importantes en la vecindad de Chinandega en por lo menos 7 años del siglo 20.

La zona principal de riesgo en la planicie al NE y N del complejo volcánico incluye la mayoría, si no todas, las áreas por debajo de los 20 – 40 m de elevación (dependiendo de las condiciones



locales), en el sector que se extiende desde las colinas de Loma Ojo de Agua – Loma San Lucas en el E, a través de la zona de Villa 15 de Julio en el Norte, hasta la zona cercana a la Colonia Hermanos García en el NO. La posibilidad de inundación es indudablemente mayor en periodos sostenidos de lluvia extraordinariamente intensa, como la que cayó durante el Huracán Mitch. Por los datos presentados por Wheelock *et al.* (2000), la frecuencia de tales periodos de lluvia (con precipitación en exceso de 1,000 mm dentro de un mes) puede ser de quizás 5 hasta 10 años de cada siglo. Septiembre y (más frecuentemente) Octubre son los meses que tienen una probabilidad importante de lluvias de esta intensidad.

3.4.4 Riesgo Sísmicos

Desde el punto de vista sísmico, existe el riesgo general relacionado con la situación geodinámica de margen continental convergente y con la existencia de una zona de subducción activa a lo largo de la Fosa Centroamericana, ubicada unos 150 km afuera de la costa Pacífica de Nicaragua. El campo regional de esfuerzos tectónicos está caracterizado por un esfuerzo principal de compresión en sentido N-S, el cual está activando un sistema de fracturas que incluye fallas de tipo “strike slip” con rumbo NE-SO y NO-SE y fallas tensionales de rumbo N-S (Weinberg, 1992). Los movimientos tectónicos en correspondencia de los sistemas estructurales arriba mencionados han generando sismos, en varios casos muy intensos y destructivos, a lo largo de toda la historia reciente de Nicaragua, afectando principalmente la región de la Depresión Nicaragüense (ver Wheelock *et al.*, 2000).

Como ya evidenciado en la anterior sección 3.1.2, el área bajo examen está caracterizada por la presencia de varias fallas u otras zonas de fracturas (ver **Figura III-3.6**). Debido a que estas fracturas son manifestaciones relativamente recientes, cabe la posibilidad de que una o más de ellas puedan tornarse sísmicamente activa en algún momento en el futuro. Sin embargo, no ha habido estudios específicos para determinar si algunas de las fallas en el área tienen un historial



reciente de actividad; además, es posible que se observe alguna sismicidad asociada con otras fallas todavía no detectadas.

Los estudios regionales de sismicidad indican que la actividad sísmica y el grado de riesgo de una actividad futura dentro del área del Casita – San Cristóbal son típicos del resto de la Cordillera Volcánica de Nicaragua. Han sido registrados varios sismos, hasta por lo menos la magnitud Richter 6.9, que han afectado la vecindad de Chinandega y Corinto durante los últimos 300 años, incluyendo unos 16 temblores y terremotos fuertemente sentidos en la región desde 1919 (Wheelock *et al.*, 2000). Por lo tanto, dentro del periodo de vida de un proyecto de desarrollo geotérmico (20 – 30 años), sería prudente anticipar la ocurrencia de eventos sísmicos por lo menos en el rango de magnitud 5 a 7 en la Escala de Richter.

Las condiciones geológicas en ciertas zonas pueden crear un elevado nivel de riesgo de daño a personas y a la propiedad, como resultado de eventos sísmicos. Tales áreas incluyen laderas pronunciadas e inestables donde los deslizamientos pueden ser activados por sismos, o bien ciertas áreas bajas donde la presencia de sedimentos no consolidados pueden causar movimientos amplificados del terreno.



4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL

4.1 Manifestaciones Termales

4.1.1 *Tipo, Localización y Extensión*

En una extensa zona del complejo volcánico Casita-San Cristóbal, y en áreas aledañas, se examinaron, dentro del ámbito del Estudio Plan Maestro, las manifestaciones de actividad termal, incluyendo fumarolas, suelos alterados, manantiales tibios y calientes, pozos de agua tibia y pozos que mostraran anomalías químicas, que pudieran relacionarse con aguas geotérmicas. En la **Figura III-4.1.1** se muestra la extensión del área total investigada. Las manifestaciones termales más importantes se concentran dentro y en áreas marginales del complejo volcánico, cuya localización y características se muestran en la **Figura III-4-1-2**.

Dentro del complejo volcánico, aparte de las emisiones grandes de vapor y gases volcánicos del cráter del Volcán San Cristóbal (y temperatura de más de 600°C reportadas por Hazlett, 1987), las manifestaciones termales naturales de importancia se ubican en el cráter y en las faldas superiores NE, E y SE del Volcán Casita. Sin embargo, en gran parte de la región baja al N del complejo volcánico, y en una zona de la parte S existen también pozos con temperaturas elevadas (**Figura III-4-1-2**). Finalmente, en el extremo NE de la zona de estudio se encuentran los manantiales termales de Monte Largo. Como se explica más adelante, basándose en su química, no hay evidencia como para relacionar las manifestaciones de Monte Largo con una fuente de calor en la zona del complejo volcánico.

El cráter del Volcán Casita (La Ollada) tiene un campo de fumarolas ligeramente activas dentro de la pared interna N, que produce vapor a 98°C en un área de intensa alteración ácida, rica en azufre. En contraste, en la cara E de la montaña existe una área mayor de 6 km², que va desde el nivel del cráter hacia abajo, hasta 550 m de elevación, con vegetación escasa, suelo caliente



común, y numerosas salidas de gas a temperaturas entre 57° y 97.5°C. Estos orificios carecen de depósitos de azufre y aparte de una matriz de lodos color rojo oscuro, no poseen la intensa alteración que tiene el cráter. A elevaciones entre medias y altas, el caudal con el que fluyen algunos de estos orificios es bastante fuerte, resoplando con notable presión. Las temperaturas más altas (hasta 97.5°C, utilizando un sensor electrónico calibrado, de precisión) se encuentran al sondear el suelo caliente en elevaciones menores, donde las emisiones de gas son muy débiles. Las temperaturas máximas encontradas a mayor elevación fueron de 93.5°C en los orificios de descarga más fuerte.

En la base NE de esta área, a una elevación de 550 m, un poco al N de un sitio conocido como Argentina (en la margen N de la Caldera La Pelona), existe un sitio de roca volcánica brechada donde había un manantial que produjo agua muy caliente durante unos 2 meses después del Huracán Mitch. En Abril de 2000 se midió en este sitio una temperatura de 97°C en el suelo.

La anomalía térmica del Volcán Casita fue objeto de un reconocimiento detallado por parte de Texas Instruments (1970), quienes describieron los diferentes centros de emisiones más fuertes. Su informe carece de un mapa detallado a escala adecuada para ubicar con certeza todas las localidades que se describen. Sin embargo, parece muy probable que el límite SO de la anomalía incluya la zona superior del deslizamiento catastrófico que afectó la ladera S del Volcán durante las etapas finales del Huracán Mitch en 1998. Las investigaciones de campo realizadas como parte del Estudio Plan Maestro mostraron que la zona de rocas alteradas asociada con la actividad fumarólica actual en el área de la cumbre del Casita es más extensa que la zona actual de fumarolas. Esta se extiende hasta la zona de la ladera superior S del volcán, donde se originó el deslizamiento, y probablemente más hacia el O (ver también sección 3.4.2).

La distribución de datos en la **Figura III-4.1.2** es clave en la hidrología somera del subsuelo del área: esencialmente, no existen fuentes de agua superficial o subterránea que se encuentren por



encima de los 100 m de elevación en el lado Norte del complejo volcánico, ni por encima de unos 250 m en el lado Sur. A mayores elevaciones, el agua meteórica rápidamente se infiltra en rocas volcánicas jóvenes y parece que la profundidad de la tabla de agua y/o el tipo de la misma, no ha permitido el desarrollo de pozos.

Aunque las temperaturas más bajas del agua subterránea en toda la región del estudio están por debajo de los 30°C, en elevaciones por debajo de los 100 m en el lado N y NE del complejo volcánico la mayoría de las aguas están entre 30° y 40°C, y hay dos zonas de pozos con temperaturas anómalas. La primera anomalía de pozos, bien definida y entre 45° y 55°C, ocurre en el NE, a lo largo de 5 km por el camino entre Villa 15 de Julio y Ojo de Agua (**Figura III-4.1.2**). El punto más caliente en esta área anómala es un pozo excavado de 55°C (cuyo temperatura fue medida en 2000) en la Hacienda Alsacia, donde la elevación del terreno es de unos 35 m y el agua se encuentra a unos 18 m de profundidad. Por toda esta zona caliente los pozos son someros, y es probable que el agua caliente yace en un acuífero freático.

A unos 5 km más hacia el NE de Alsacia (y apenas dentro del área de estudio) están los manantiales de 88°C de Monte Largo, y a otros 7 km hacia el NE están los manantiales del Bonete con temperatura de 78°C. La localización de la anomalía en Alsacia es notablemente colineal en sentido NE-SO, con Monte Largo y el Bonete en el NE, y con la extensa zona caliente de la cara E del Volcán Casita hacia el SO (ver anteriormente).

En Santa Carlota, al extremo O de la zona N, se encuentra la segunda anomalía de pozos de alta temperatura. A mediados de los años 1980 se perforó una serie de pozos de irrigación, descubriéndose que eran de agua “caliente” y gases a presión, por lo que fueron taponados y abandonados. La única muestra que tiene su temperatura reportada, de un total de 5 muestras de agua con elevado contenido de cloro, es de 42°C, aunque los geotermómetros químicos indican temperaturas más altas (ver más adelante). En el límite SE de Santa Carlota existe también un



manantial frío, lo que sugiere que el manantial produce agua que fluye sobre estratos impermeables que sellan el agua más caliente y los gases de abajo.

Otra anomalía de temperatura se encuentra en la Región S, a unos 10 km al E de Chichigalpa, donde se han reportado cuatro pozos con temperaturas de 37° a 39°C.

4.1.2 *Quimismo y Geotermometría*

Como parte del Estudio Plan Maestro se llevó a cabo un estudio detallado de la química de las aguas subterráneas (tanto frías como termales), fumarolas y salidas de gases en el área del Volcán Casita - San Cristóbal. El estudio incluyó la recolección y análisis de nuevas muestras, además de una revisión completa de los datos existentes. Los detalles del estudio se encuentran en el Anexo A del presente informe. La investigación ha abarcado las siguientes zonas (ver [Figura III-4.1.1](#)):

- una zona grande de estudios detallados que abarca el complejo volcánico, dividida en Región N y Región S;
- una zona de reconocimiento al SE del Volcán San Cristóbal y;
- unos manantiales calientes y aguas calientes de minas ubicadas al NE de la zona estudiada en detalle (Laguna El Tule, Finca el Bonete, Mina El Limón y Mina Santa Pancha: ver la [Figura III-A.1](#) del Anexo A).

La región de reconocimiento al SE del Volcán San Cristóbal fue estudiada porque no existían datos adecuados para concluir con confianza que no hay evidencia de descarga de aguas termales en esta zona. Consecuentemente, como parte del Estudio Plan Maestro se efectuó un estudio de campo y muestreo de pozos y manantiales en esta región con tal objetivo (ver Anexo A). No se encontró evidencia de anomalías de interés (con excepción de la anomalía de Santa Carlota, que



también yace dentro de la Región N del complejo volcánico de Casita - San Cristóbal), y por lo tanto esta región no se menciona más.

En la **Figura III-4.1.3** y en los siguientes párrafos se resumen las principales características de las aguas termales y fumarolas en el área de Volcán Casita – San Cristóbal. En el Anexo A puede encontrarse información detallada acerca de las manifestaciones termales y sus características químicas.

En el cráter del Volcán Casita (**Figura III-4.1.3**), el gas contenido en el vapor de agua tiene una composición hidrotermal típica, con 97.4 vol % de CO₂ (dióxido de carbón) y 0.24 a 1.2 vol.% de otros componentes. Los geotermómetros de gas son uniformemente altos, entre 240° y 400°C, y los isótopos de helio muestran un carácter típicamente magmático, derivado del manto, con isótopos de helio $^3\text{He}/^4\text{He}(R_c/R_{\text{aire}}) = 7.37$.

Los gases recolectadas en las bocas calientes en el lado E del Volcán Casita (Figura III-4.1.3) consisten de 95.5% a 97% de aire caliente y húmedo, mezclado con CO₂ y H₂S (sulfuro de hidrógeno) de origen geotérmico. No es sorprendente que las mismas muestras tengan razones de isótopo de helio de 1 a 1.6, las cuales son equivalentes a la razón en aire (1.4). Los isótopos de yodo en muestras recolectadas en la misma área tienen razones que son características de agua meteórica reciente.

En la anomalía de Alsacia (**Figura III-4.1.3**) las aguas de 45° a 55°C son notablemente diluidas, de tipo catión mezclado – bicarbonato con alcalinidad de solamente 200 a 300 mg/l de HCO₃ (alcalinidad en forma de bicarbonato), y Cl (cloruros) entre 10 y 25 mg/l únicamente. Los geotermómetros de estas aguas concuerdan con las temperaturas medidas, y se trata indudablemente de aguas someras meteóricas, calentadas por conducción y posiblemente por vapor. Las aguas de la anomalía al E de Chichigalpa en el S son muy semejantes a éstas.



Las aguas termales de Monte Largo (88°C) en la **Figura III-4.1.3**, y de El Bonete (78°C), El Tule (68°C), La Mina El Limón (máximo 38°C) y La Mina Santa Pancha (máximo 75°C) hacia el NE y E (ver la **Figura III-A.1** del Anexo A) tienen una composición de sodio-calcio-sulfato con 40-80 mg/l de Cl, menos de 40 mg/l de HCO₃ y 800-950 mg/l de SO₄ (sulfato). Los gases de un orificio caliente en El Bonete tienen una composición de aproximadamente 98 a 99 vol % de nitrógeno y de 1 a 1.4 vol.% de argón. Este tipo de gas es característico únicamente de sistemas geotérmicos con temperaturas entre relativamente bajas a moderadas, que no están relacionadas con una fuente de calor volcánico. Las temperaturas máximas de geotermómetro de aguas son de 140° a 150°C. Aguas termales con temperaturas igualmente moderadas se encuentran en localidades diseminadas en las tierras altas volcánicas del Terciario, hacia el N de la Depresión, donde el calentamiento, con gran certeza, es causado por circulación profunda en un régimen de elevado flujo calórico inter-crustal. Hay datos isotópicos que indican que estas aguas no son co-genéticas con las aguas termales de Volcán Casita - San Cristóbal, como lo son las de Alsacia.

No existen muchos datos químicos confiables de los pozos calientes de Santa Carlota, en el NO. Sin embargo, hay evidencia de un sello rocoso somero que sella por debajo de si mismo agua gaseosa de tipo Na-Ca-SO₄-Cl (sodio-calcio-sulfato-cloruro). La cantidad máxima de Cl es de unos 470 mg/l. Los geotermómetros son de 100°C y hasta quizás hasta 130°C. La extensión o profundidad de este acuífero caliente no se ha confirmado. Geográficamente, esta área está más cerca del Volcán San Cristóbal que del Volcán Casita.

4.2 Investigaciones Geofísicas

4.2.1 *Tipo*

En el área de estudio se han realizado solamente dos tipos de estudios geoelectricos. Estos son:

- sondeos MT-AMT/RVT (MT significa “magnetotelúrico”, AMT significa “audiomagnetotelúrico, y RVT significa en Inglés “roving-vector telluric”); y



- sondeos de dipolo ecuatorial modificado.

Estos estudios se realizaron en 1978 y fueron reportados por Electrodyne Surveys (1980). Los sondeos de dipolo posiblemente suministraron valores confiables de resistividad. Sin embargo, de acuerdo con las normas actuales, la mayor parte de la metodología de Electrodyne, así como la instrumentación y técnicas de interpretación para los métodos naturales de campo (MT-AMT/RVT), se consideraría primitiva. Por ejemplo, los datos escalares MT y AMT se obtuvieron solamente en tres frecuencias, utilizando registradores de cinta de papel y magnetómetros tipo “fluxgate.” Se utilizó únicamente un modelo unidimensional (1D). Actualmente, se obtiene información de tensores MT y AMT de banda ancha de cinco componentes por medio de instrumentos muy sensibles, se usa el método de referencia magnética remota para reducir el ruido coherente, se calcula la impedancia del tensor o se usan otros métodos eléctricos para corregir desviaciones estáticas, y se pueden usar modelos 2D y 3D. El método RVT usado por Electrodyne no es confiable debido a que está sujeto a variaciones estáticas y a efectos 2D o 3D no reconocibles. Salvo los sondeos de dipolo, se considera que de tal información se pueden obtener solamente resultados cualitativos; es decir, las cifras indican únicamente magnitudes relativas.

La primera investigación geofísica que cubrió el área fue probablemente un estudio Bouguer de gravedad realizado en 1972. El título del mapa donde se presentan los resultados del estudio es “Mapa preliminar de gravedad de Bouguer, Catastro e Inventario de Recursos Naturales – Primera Edición, Marzo 1972,” que es parte de un reporte emitido por Parsons Corporation (1972). Sin embargo, como el mapa gravimétrico de tal informe no estaba disponible, se utilizó una reproducción del informe de Electrodyne Surveys (1980) para revisión y análisis dentro del Estudio Plan Maestro.



4.2.2 Cobertura

La investigación llevada a cabo por Electrodyne Surveys (1980) a nivel de reconocimiento incluye únicamente 19 sondeos de tipo MT-AMT/RVT y 10 sondeos de dipolo ecuatorial modificado en toda la Cordillera de Los Marrabios. La mayoría de los sondeos se hicieron en la vecindad del complejo volcánico Casita-San Cristóbal, pero la densidad de la cobertura es muy baja, y no se hicieron mediciones dentro del mismo complejo volcánico (ver [Figura III-4.2.1](#)). Las estaciones para sondeo tienen una distribución muy irregular, con separaciones desde 0.5 hasta 18 km.

El estudio de reconocimiento gravimétrico de 1973 cubre toda el área de estudio, aunque solamente a escala regional (1:500,000). La documentación disponible no muestra la distribución exacta de las mediciones hechas dentro del área, aunque sí es claro que la densidad de cobertura fue muy baja como para permitir la definición de anomalías específicas de menos de 5-10 km de ancho en el área de Casita – San Cristóbal. Es probable que hubo muy poca o ninguna cobertura en la parte central del complejo volcánico. Por lo tanto los resultados gravimétricos no proveen información importante como para interpretar la estructura geológica u otros aspectos geológicos que puedan estar relacionados con la actividad geotérmica dentro y cerca del complejo volcánico.

4.2.3 Resultados

Basándose en la naturaleza de los estudios realizados por Electrodyne (1978), el mapa de conductancia mostrado en la [Figura III-4.2.1](#) debe ser visto de una manera cualitativa. La figura indica una zona de alta conductancia (excediendo los 1,000 mhos), que incluye la parte central del área de estudio, y que sugiere muy alta conductancia dentro del complejo volcánico. No obstante, no hay evidencia directa de que el complejo volcánico en sí sea altamente conductivo, debido a que dentro de él no se hicieron sondeos. La definición de la zona conductiva en la



figura se basa en estaciones localizadas casi en su totalidad al N de los volcanes (solamente dos están localizadas al S). La localización general y la separación de los sitios de medición en los cuales se basa el mapa torna muy difícil inferir mucho acerca del patrón de conductividad de la región. El hecho de que la alta conductividad esté abierta en su lado N, hacia el Estero Real y el Golfo de Fonseca, sugiere que la anomalía en esa área puede estar relacionada con la presencia de agua de mar en los acuíferos del valle, que drenan al N, hacia el golfo.

El estudio geoelectrico, que podría detectar anomalías que fuesen representativas de uno o más sistemas geotérmicos, no cubrió el área que puede tener mayores posibilidades geotérmicas dentro del complejo volcánico. Por lo tanto, no provee información para permitir inferir la presencia y ubicación de posibles zonas de actividad geotérmica que se puedan extender, por ejemplo, desde la zona de fumarolas en el Volcán Casita hacia abajo en las faldas inferiores del volcán. En la planicie al NE del volcán Casita, donde la temperatura del agua en varios pozos señala una anomalía de 43°-55° C, tres sondeos MT/AMT espaciados entre 3.5 y 5 km no definieron un cambio significativo en la conductancia total aparente de las rocas y el estudio no detectó ninguna zona de interés geotérmico.

El mapa preliminar de anomalía de gravedad de Bouguer del Oeste de Nicaragua (Parsons Corporation, 1972) muestra muy poco detalle en razón de la densidad tan baja de estaciones de medición. Sin embargo, muestra que el complejo volcánico de Casita-San Cristóbal está asociado con una anomalía de gravedad positiva que excede los 35 mgal. Esto concuerda con el patrón de alta gravedad a lo largo de toda la Cordillera de Los Marrabios.

4.3 Resultados de Perforación

Tal como se discutió en la sección 2.3, en el área de Volcán Casita – San Cristóbal no se han perforado pozos profundos para fines de exploración o desarrollo geotérmico. Las mediciones



de temperatura y el muestreo de fluidos se han realizado en una serie de pozos someros dentro del área de estudio, cuyos resultados se discuten en la sección 4.1.

Están disponibles perfiles de temperatura y información litológica de dos pozos someros perforados en los llanos al NE del complejo volcánico (IECO-Lahmeyer, 1980). Uno de los pozos está localizado cerca de la Hacienda El Ocotón, y el otro a unos 5 km NE de Villa 15 de Julio. El primero mostró una temperatura máxima de unos 40°C a una profundidad aproximada de 32 m, invirtiéndose la temperatura por debajo de esta profundidad a unos 38°C a 65 m (que es la profundidad máxima de los datos presentados, a pesar de que se ha reportado que la profundidad del pozo es de 115 m). El segundo alcanzó una temperatura de unos 33°C a 55 m de profundidad, con un pequeño gradiente positivo de temperatura en los últimos 20 m del pozo. Estos resultados concuerdan con las mediciones de temperatura reportados para otros pozos en la misma zona (ver sección 4.1.2 y [Figura 4.1.3](#)). Los datos litológicos de los pozos se discuten en el Capítulo 3 de este Volumen, sección 3.1.2.



5. NATURALEZA DEL RECURSO GEOTÉRMICO

5.1 Localización de la Fuente de Calor

El activo Volcán San Cristóbal y el resto de los otros volcanes, entre dormidos e inactivos, del complejo Casita-San Cristóbal, son producto de una persistente actividad magmática que probablemente ha persistido de forma continua durante varias decenas de miles de años. Por lo tanto, es posible inferir que debajo del complejo volcánico existe una potencial fuente de calor magmático importante y bien desarrollada. En la sección 3.2 se discuten algunas de las características que se anticipan pueda tener el cuerpo, o cuerpos, de magma que se alojan debajo de los volcanes; éstas, junto con algunas otras características posibles se resumen más adelante.

No se dispone de suficiente evidencia como para determinar con certeza si la actividad volcánica del complejo se ha originado a partir de una única cámara de magma (la cual pudo haber estado estacionaria o haber migrado con el tiempo), o de dos o más cámaras independientes que alimentan volcanes en forma individual. La similitud química de los productos eruptivos en general sugiere la existencia de una sola cámara y Hazlett (1997) citó factores estructurales que van a favor de una fuente única. Por otro lado, los grados de diferenciación del magma, variables y no sistemáticos que presentan los diferentes volcanes, constituyen una evidencia posible de que se trata de fuentes separadas. Las distintas características de la Caldera La Pelona, en el extremo E del complejo que posee las lavas más diferenciadas del complejo y que ha experimentado una erupción pliniana importante, indican que este volcán puede haber sido producido por su propia cámara de magma, que ha persistido en el mismo sitio durante un periodo largo de tiempo.

Para el Casita, San Cristóbal, El Chonco y el Moyotepe hay menos bases para inferir la existencia de cámaras separadas de magma, y existe la posibilidad de que más bien el magma haya sido aportado por un complejo común. En el mejor de los casos, se puede inferir que la actividad magmática continúa en una o más zonas debajo de la parte O del complejo volcánico.



La profundidad del cuerpo o cuerpos de magma tampoco puede establecerse de manera exacta a partir de los datos disponibles, pero sí es posible que el magma tendería a acumularse en o cerca del nivel de densidad neutral (LED, o “level of equal density” en inglés), lo cual sucede entre 3 y 5 km de profundidad. Por lo tanto, existe una razón para esperar que la fuente potencial de calor magmático dentro del complejo volcánico consista de una o más cámaras relativamente someras, junto con sus cuerpos intrusivos asociados.

Algunas intrusiones, extendiéndose hacia afuera de los volcanes centrales, pueden haber creado fuentes locales de calor que, aunque más pequeñas, son potencialmente más someras que las del cuerpo o cuerpos centrales de magma. Las diferentes bocas parásitas, incluyendo los diferentes conjuntos de cráteres tipo maar localizados en los flancos inferiores de los volcanes, indican que posiblemente se extienden diques u otras intrusiones hacia afuera, hasta 10 km o más de los centros volcánicos principales. El alineamiento de cráteres y conos sugiere que los diques preferentemente están orientados en dirección que va de N-S a NO-SE. Tal como se comentó en la sección 3.2, la actividad eruptiva de estos sitios periféricos parece ser de corta duración, por lo que los diques o complejos de diques no necesariamente representan fuentes de calor de largo plazo.

Es probable que exista una fuente de calor magmático para la actividad geotérmica que se ha desarrollado dentro y en los márgenes del complejo volcánico. En contraste, tal como fue discutido en la sección 4.1, la actividad termal en varios sitios más distantes de los volcanes (incluyendo los manantiales calientes de Monte Largo y El Bonete) parece estar asociada con una fuente de calor separada y no magmática. En estos casos, las aguas termales probablemente se calientan por circulación a niveles profundos dentro de una zona de elevado gradiente regional de temperatura. El alto gradiente está relacionado con, aunque no es el resultado directo de, la actividad magmática y volcánica de la región.



5.2 Zonas de Ascenso

La presencia de una extensa actividad fumarólica indica que la zona de la cima del Volcán Casita, o cerca de ella, es la más importante en cuanto a ascenso de fluidos geotérmicos en el complejo volcánico. La **Figura III-5.1** muestra la ubicación probable y la extensión posible de tal zona de ascenso, basándose en la distribución de fumarolas y en el suelo caliente del área de la cumbre. Por el momento hay poca evidencia a partir de la cual se puedan inferir detalles de un movimiento profundo de fluidos, pero es probable que el ascenso consista de agua originalmente meteórica, calentada por el complejo magmático/intrusivo a una profundidad de varios kilómetros, que sube a través de rocas fracturadas de los actuales volcanes y formaciones subyacentes.

Es posible que existan otras zonas de ascenso dentro del complejo volcánico, aunque no existe evidencia directa a partir de la cual se pueda inferir su presencia o localización. Si existen otros ascensos, es más probable que estén localizados en la parte O del complejo, asociados con actividad volcánica reciente del San Cristóbal y El Chonco.

Como se mencionó anteriormente, los diferentes sistemas termales localizados en las planicies al NE del complejo volcánico (Monte Largo, Bonete, y otros) probablemente están asociados con zonas de ascenso separadas y localizadas. En estos sitios, el agua emigra hacia formaciones más profundas de la Depresión Nicaragüense, subiendo ya sea a través de sedimentos permeables y rocas volcánicas o a lo largo de conductos formados por fracturas. No existe una base que permita determinar con exactitud los mecanismos de ascenso de fluidos.

La anomalía termal identificada en el área de Santa Carlota pudo haber sido creada ya sea por ascenso de fluido no magmático (como se infiere en el área de Monte Largo), o por ascenso de fluido magmático local, o por la salida de fluidos termales desde una fuente en el S, dentro del complejo volcánico. Se nota, en la **Figura III-3.6**, que Santa Carlota se encuentra alineada con una



serie de centros volcánicos y cráteres en la faldas N del Volcán San Cristóbal (Laguna de Agua, Laguna Seca y dos otros centros sin nombres). Es probable que esta alineación N-S es la representación de una fractura profunda, que ha permitido la ascendencia de magma, gases, vapor y agua caliente. No existe suficiente evidencia para distinguir entre las posibilidades del origen de la anomalía termal Santa Carlota, pero es muy posible que existe una zona de ascenso en o cerca del flanco Norte del Volcán San Cristóbal.

5.3 Dirección del Movimiento de los Fluidos

La información disponible indica que la principal dirección de flujo lateral en la zona de ascenso del Volcán Casita es al NE, hacia la zona de aguas termales someras en la vecindad de Hacienda Alsacia (ver **Figuras III-4.1.3** y **III-5.1**). Este flujo sucede posiblemente a través de formaciones volcánicas fracturadas, a niveles que pueden estar desde ligeramente por encima del nivel del mar hasta profundidades considerables. La dirección NE de flujo concuerda con la tendencia estructural predominante en el área, aunque no hay evidencia directa de que el flujo lateral esté controlado por estructuras específicas.

Puede haber también algún flujo de agua termal al S de la zona de ascenso, hacia una anomalía termal más pequeña al Este de Chichigalpa (**Figuras III-4.1.3** y **III-5.1**). Si existe un flujo lateral en esta dirección, probablemente es menos importante que el flujo del NE.

El flujo lateral posiblemente ocurre conjuntamente con las anomalías termales de la llanura del NE (incluyendo Monte Largo, El Bonete y Santa Carlota), aunque hay poca evidencia a partir de la cual inferir detalles sobre el flujo en estas zonas. Tal como se comentó anteriormente, la anomalía en Santa Carlota bien puede estar asociada con movimientos localizados de fluido, o por flujo lateral más extenso en una zona de ascenso más distante.

5.4 Temperatura



La geotermometría química aplicada a los gases de fumarolas del Volcán Casita indica que las temperaturas máximas en el sistema geotérmico superan, y pueden ser sustancialmente más altas de los 240°C. Considerando el tamaño inferido de la zona de ascenso y de la zona lateral de salida de fluidos hacia el NE, existe una buena posibilidad de que el sistema geotérmico del Casita sea el sitio de un yacimiento importante en el cual la temperatura bien puede exceder los 200°C.

Debido a que las aguas termales muestreadas en la vecindad de Hacienda Alsacia son aguas meteóricas someras calentadas por conducción o por vapor de agua, no suministran evidencia significativa acerca de las temperaturas más profundas en esta parte del sistema geotérmico. Por consiguiente, es incierto hasta cuánto sube la temperatura en el área de la cima del Volcán Casita. Lo mismo se aplica para la posible salida hacia el S.

Las anomalías termales localizadas en Monte Largo, El Bonete y otras zonas similares en la planicie al NE del complejo volcánico, parecen derivarse de fuentes con temperaturas máximas de 140° a 150°C. La información limitada de que se dispone sobre la anomalía termal en Santa Carlota indica una temperatura en la fuente de por lo menos 100° a 130°C.

5.5 Química del Fluido

Los fluidos geotérmicos del sistema del Casita alcanzan la superficie únicamente en el área de la cumbre del volcán, donde el vapor de agua proveniente de la ebullición del fluido más profundo se descarga en las fumarolas. Hasta donde se sabe, no existe ningún sitio donde el líquido del sistema descargue en la superficie, excepto quizás en forma muy diluida. Por lo tanto, la evidencia que se tiene acerca de la química del agua geotérmica es muy limitada.

La composición del gas descargado por las fumarolas es típica de los sistemas hidrotermales que se alimentan con agua de origen fundamentalmente meteórico. La composición isotópica de



helio de las fumarolas indica la presencia de un componente magmático en el fluido, lo cual es también típico de un ambiente volcánico. No hay evidencia de fluidos ácidos dentro del sistema, aunque no se puede excluir la posibilidad de que estén presentes.

Las aguas termales a baja temperatura alrededor de los márgenes del complejo volcánico son aguas diluidas del tipo catión mezclado – bicarbonato, con muy bajo contenido de cloro. Como se discutió anteriormente, su química no es representativa de fluidos geotérmicos más profundos y más calientes. El agua de la anomalía termal de Santa Carlota es menos diluida, del tipo Na-Ca-SO₄-Cl (sodio-calcio-sulfato-cloruro), con concentración de cloro de alrededor de 470 mg/l (basado en la información muy limitada disponible).

Las aguas termales de Monte Largo, El Bonete, El Tule, La Mina Limón y La Mina Santa Pancha tienen una composición de sodio-calcio-sulfato, con concentraciones bajas de cloro (40-80 mg/l), menos de 40 mg/l HCO₃ y 800 - 950 mg/l SO₄. Parecen también ser isotópicamente diferentes de las que se encuentran alrededor de los márgenes del complejo volcánico.



6. ESTIMACIÓN DE RESERVAS ENERGÉTICAS

El área de Volcán Casita – San Cristóbal comprende el complejo volcánico de Casita – San Cristóbal, que, tal como se discutió en el Capítulo 5, representa una importante fuente potencial de calor magmático. Dentro de una parte del complejo volcánico, en la vecindad de la cumbre y en los flancos del Volcán Casita, existe suficiente evidencia de manifestaciones geotérmicas e información como para inferir la presencia de un sistema hidrotermal explotable potencial de alta temperatura, y para estimar su tamaño y demás características. El gran tamaño y la actividad reciente del complejo sugieren la posibilidad de que esté presente otro sistema potencialmente explotable, aunque todavía no se ha identificado o inferido ninguno. En las llanuras al NE del complejo volcánico (en localidades tales como Monte Largo, El Bonete y El Tule) se han identificado anomalías hidrotermales menores, pero parecen ser, sobre todo, sistemas de baja temperatura de potencial limitado para explotación de generación de energía, aunque pueden ser factibles sus aplicaciones de uso directo.

Basándose en estas características, las reservas de energía geotérmica recuperable en el área del Volcán Casita – San Cristóbal se han estimado como sigue:

- Las reservas 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.
- Las reservas potenciales asociadas con todo el complejo volcánico Casita – San Cristóbal que se han estimado como reservas de Categoría 3, usando la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I.



6.1 Reservas de Categoría 2

6.1.1 *Definición de Parámetros*

Las distribuciones probabilísticas de los parámetros críticos necesarios para el cálculo volumétrico de reservas en el sistema geotérmico de Casita se han estimado con base en el modelo conceptual presentado en el Capítulo 5. La estimación de estos parámetros se describe más adelante. A algunos de ellos que son comunes a todas las áreas del Estudio Plan Maestro, o que son demasiado inciertos para ser estimados en forma específica, se les ha asignado los valores típicos descritos en el Volumen I, Anexo B. Dentro de ellos se incluyen capacidad calórica volumétrica de la roca del yacimiento, porosidad de la roca, vida útil de la planta eléctrica, factor de capacidad de la planta, factor de utilización, y temperatura de salida. Todos los parámetros utilizados para el cálculo de reservas del sistema del Casita se resumen en la Tabla III-6.1.

Localización y Extensión del Yacimiento

La extensa zona de fumarolas dentro y en los alrededores de la cima del Volcán Casita indica la presencia de un sistema geotérmico activo de alta temperatura (**Figuras III-4.1.3, III-5.1**). Tal como se discutió en el Capítulo 5, probablemente en coincidencia con el campo de fumarolas ocurre una zona de ascenso, así como una zona de flujo lateral que probablemente se extiende al NE del área de la cima. Tanto la zona de ascenso como por lo menos una parte de la zona de flujo lateral puede comprender un yacimiento geotérmico de alta temperatura.

Conservadoramente se puede estimar que el yacimiento de alta temperatura incluye el área de fumarolas más calientes y más activas, que se extiende por más de 4 km². Existe una buena probabilidad de que el sistema geotérmico sea más grande, ocupando una extensión igual a por lo menos el área total donde están presentes las fumarolas, la cual es de por lo menos 10 km². Si el yacimiento se extendiera aún una corta distancia hacia el NE en la dirección inferida del flujo lateral, ocuparía un área de más de 20 km². Utilizando estas estimaciones bastante



conservadoras, se ha asumido una distribución probabilística triangular para el área del yacimiento, definida con valor mínimo, más probable y máximo de 4, 10 y 24 km² respectivamente.

Espesor del Yacimiento

No se dispone de evidencia directa mediante la cual se pueda estimar el espesor del yacimiento geotérmico del que se pueda extraer calor. Por lo tanto se ha seleccionado una distribución probabilística rectangular que cubre un rango bastante amplio de espesores. Se ha asumido un espesor mínimo de 1,000 m, ya que sería poco común para un sistema de este tipo, alimentado por un volcán, estar restringido a un intervalo menor que este. Es probable que se pueda recuperar calor de un intervalo con mucho más espesor. Aún cuando se obtenga producción de fluido de una zona limitada, el calor sería recuperado en un intervalo vertical muy amplio conforme se explote el sistema. Por consiguiente, se han asumido los 3,000 m como límite superior para la distribución de probabilidades del espesor del yacimiento del sistema.

Temperatura Promedio del Yacimiento

La evidencia que se discutió en las secciones 4.1.2 y 5.4 indica que el sistema geotérmico del Casita se alimenta de un fluido con temperatura original de por lo menos 240°C, y quizás mayor. No obstante, esta estimación se basa en muestras de gas provenientes de un número limitado de fumarolas, y además, la temperatura promedio en el yacimiento es probable que sea menor que la del fluido fuente, sobre todo si el yacimiento es grande. Considerando las posibles incertidumbres asociadas con la estimación de la temperatura del yacimiento, se ha usado un rango conservador de 200°C a 260°C para representar la distribución probabilística rectangular de la temperatura promedio del yacimiento.



6.1.2 Cálculo de Reservas

La distribución probabilística de las reservas recuperables de energía en el sistema geotérmico del Volcán Casita se calculó utilizando los parámetros descritos anteriormente y la metodología mostrada en el Anexo B del volumen I. La distribución calculada se resume en la Tabla III-6.1, y se muestra gráficamente en las Figuras III-6.1 y III-6.2.

El valor medio de la distribución probabilística es de aproximadamente 224 MW, con una desviación estándar de 120 MW. El 10º percentil de la distribución es de unos 100 MW; es decir, existe un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan tal valor, basándose en las presunciones utilizadas (Figura III-6.2). El valor medio de la capacidad es de unos 198 MW. El valor medio de la energía recuperable por unidad de área es de aproximadamente 18 MW/km².

6.1.3 Comentarios

El método probabilístico de estimación volumétrica indica que con el sistema localizado en la cima y los flancos superiores del Volcán Casita posiblemente se hallan asociadas reservas considerables de energía geotérmica recuperable. La desviación estándar de 120 MW indica que hay una importante incertidumbre en cuanto a esta estimación. Sin embargo, existe una fuerte probabilidad de que las reservas disponibles de calor, en caso de poder explotarse económicamente, sean suficientes para alimentar a un proyecto de generación de energía de tamaño importante. Se necesitarían investigaciones adicionales para determinar con mayor exactitud las reservas máximas del sistema.

Tal como se comentó con mayor detalle en el Anexo B del Volumen I, la presencia de reservas energéticas calculadas con el método volumétrico no asegura que dichas reservas puedan ser recuperadas económicamente para la producción de energía geotérmica. La confirmación del potencial del recurso en el Volcán Casita requerirá, como en cualquier otro sitio, que se perforen



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

6.2 Reservas de Categoría 3

6.2.1 *Definición de Parámetros*

Los parámetros críticos utilizados para calcular las reservas de Categoría 3 asociadas con el complejo volcánico Casita – San Cristóbal se resumen en la Tabla III-6.2, y se discuten a continuación. A los demás parámetros necesarios para el cálculo se les asignó los valores estándar utilizados para todas las áreas, como se describe en el anexo B del Volumen I.

Volumen de la Cámara Magmática

El volumen de la cámara de magma/complejo intrusivo asociado con el complejo volcánico ha sido estimado de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. El complejo Casita – San Cristóbal se compone de varios volcanes importantes, dentro de los que se incluyen el Volcán San Cristóbal, Volcán Casita, Caldera La Pelona, Volcán El Chonco y el Cerro Moyotepe. El volumen de la cámara de magma/complejo intrusivo asociado con el grupo de centros volcánicos se estimó basándose en el volumen de productos eruptivos, tal como lo indica el volumen total del edificio volcánico.

Como parte del Estudio Plan Maestro se calculó un volumen de 111 km³ para el edificio volcánico. Independientemente, Carr (1984) estimó un volumen total de 125 km³ para el Volcán Casita y “otros”; por lo tanto, la estimación de 111 km³ es razonablemente conservadora. Se ha asumido un valor de 110 km³ como límite inferior de la distribución de probabilidad para el volumen de magma emplazado, y se ha asumido que el límite superior es el doble, o sean 220 km³.



Profundidad de la Cámara Magmática

No se dispone de información directa con la cual estimar de manera confiable la profundidad del emplazamiento de magma debajo del complejo volcánico Casita – San Cristóbal. En ausencia de información más específica para estimar la profundidad del magma de manera más precisa, se ha usado el rango “estándar” de 3 a 7 km para definir los límites de la distribución probabilística rectangular.

Edad del Emplazamiento

El historial eruptivo inferido de los diferentes volcanes indica que el emplazamiento de magma dentro del complejo Casita – San Cristóbal se inició por lo menos hace decenas de miles de años. Hazlett (1977) estimó una edad de 20,000 a 30,000 años para el Volcán San Cristóbal, que es el más joven de los volcanes del complejo. No hay consenso en cuanto a la edad de inicio de la actividad en el complejo, pero considerando las características observadas y las relaciones entre los volcanes, es plausible inferir una edad de hasta por lo menos el doble que la inferida para el San Cristóbal. Se ha asumido una distribución probabilística rectangular para la edad del emplazamiento de magma, con límites de 30,000 a 70,000 años, con lo cual se toma en cuenta las incertidumbres en cuanto a la edad de la actividad en el complejo.

Temperatura del Magma

Para la temperatura original del magma emplazado dentro del complejo volcánico se ha asumido un rango estimado de 900° a 1,100°C. Es el mismo rango asumido para las demás áreas en las cuales se ha aplicado la misma metodología, en ausencia de información adicional a partir de la cual estimar las temperaturas del magma.



6.2.2 *Cálculo de Reservas*

Las reservas potenciales de energía recuperable asociadas con el complejo volcánico Casita – San Cristóbal se han estimado basándose en los parámetros descritos anteriormente, y en la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I. Los resultados de esta estimación se resumen en la Tabla III-6.2. En la **Figura III-6.3** se describe gráficamente la distribución de reservas en función de la distancia al centro del volcán, con el rango de incertidumbre indicado por la desviación estándar del cálculo de reservas. La suma de las reservas potenciales asociadas con el complejo magmático da una estimación total de 676 MW, basándose en el valor medio de la distribución probabilística.

6.2.3 *Comentarios*

Se debe notar que, como en todas las áreas asignadas a la Categoría 3 para el cálculo de reservas de energía, los resultados presentados anteriormente son una representación estadística del potencial que tiene el área, y no prueban de manera concluyente que esté presente un recurso geotérmico comercialmente explotable. Todavía más importante, la existencia de un volumen suficiente de roca permeable que permita la convección de fluido, y el desarrollo de un yacimiento explotable tendrían que ser demostrados mediante exploración adicional y, en última instancia, realizar perforaciones profundas para confirmar la presencia de tal recurso.

Las reservas de Categoría 2 calculadas para el sistema geotérmico del Volcán Casita representan una estimación más refinada de la magnitud de un subconjunto de las reservas indicadas por la metodología de la Categoría 3. Es decir, las reservas de Categoría 2 no aumentan el potencial máximo indicado por la estimación para la Categoría 3. No obstante, las reservas de Categoría 2 conllevan un nivel más alto de certeza que las de Categoría 3, en lo que se refiere tanto a la exactitud de la estimación como a la localización inferida del recurso geotérmico.



7. ASPECTOS AMBIENTALES

7.1 Información Existente

A pesar de la existencia de una zona de Reserva Natural en el macizo volcánico de Casita – San Cristóbal, no existen muchos estudios sobre aspectos naturales y ambientales del área. La investigación más reciente que trata estos temas de manera sistemática, aunque preliminar, es un estudio llevado a cabo por FUNDENIC-SOS (1999) en el ámbito del proyecto de evaluación y redefinición del sistema de áreas protegidas de Nicaragua, del cual, por lo tanto, se hace amplia referencia en este informe. La información de este estudio se complementó con datos obtenidos durante los estudios de campo realizados dentro del ámbito del Estudio Plan Maestro, mediante observaciones directas en el área, y conversaciones con personas de la localidad sobre aspectos del ambiente natural, uso de la tierra y otras materias como productos forestales.

En lo que se refiere a las condiciones climáticas, se observa que las estaciones meteorológicas del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) están en su mayoría localizadas en las principales ciudades, y por lo tanto no existen datos específicos en el área de estudio. Las estaciones meteorológicas más cercanas se ubican en León, unos 20 km al SO, y en Chinandega, unos 35 km al ONO, cuyos registros son tomados como referencia climática principal. Informaciones adicionales se obtuvieron de los mapas regionales sobre parámetros climáticos publicados por INETER, de los cuales, los principales son el Mapa de Precipitación Media Anual y el Mapa de Temperatura Media Anual (INETER, 1997a y b). Por un breve período (abril 1994 - junio 1995), durante el proyecto de Intergeoterm S.A. en el cercano Campo Geotérmico de San Jacinto, fueron registrados datos locales de temperatura (bulbo húmedo y bulbo seco) para el cálculo de la humedad relativa, en la zona de El Tizate (DAL SpA, 1995).



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

7.2 Características Ambientales

7.2.1 *Aspectos Socioeconómicos*

Población y Uso de la Tierra

Alrededor del macizo volcánico Casita - San Cristóbal existen algunos centros poblados importantes y población dispersa en centros menores y comarcas rurales. La mayoría de la población se encuentra, sin embargo, en las zonas de planicie y, principalmente, a lo largo de las carreteras que rodean el macizo volcánico. En los relieves volcánicos, a elevaciones mayores de 300-400 m s.n.m., la población es muy limitada y concentrada en pequeñas comunidades o fincas cafetaleras como las que existen en la ladera SE del Volcán Casita a elevaciones variables entre los 600 y 700 m s.n.m. (Bellavista, Argelia, La Concepción). Toda la porción superior del macizo volcánico es prácticamente despoblada, si se excluyen algunos moradores y los cuidadores de las antenas de radio-transmisión que viven en la cumbre del Volcán Casita.

El área Volcán Casita - San Cristóbal queda completamente incluida en el Departamento de Chinandega y, en su mayoría, en el municipio de Chinandega, con la excepción del sector meridional del Volcán Casita que es parte de los municipios de Posoltega y Chichigalpa. Los centros poblados más importantes se encuentran en la planicie al SO del macizo volcánico, donde corre la Carretera Nacional No. 12 y existen importantes actividades agroindustriales en la fértil planicie que se extiende desde la base del macizo volcánico hasta la costa del Pacífico. La ciudad más importante es Chinandega, cabecera departamental, con aproximadamente 82,000 habitantes, que se ubica en la base de la estribación occidental del Volcán San Cristóbal. Otros centros importantes son Chichigalpa, con aproximadamente 24,500 habitantes, que es un



importante centro de producción industrial de caña de azúcar y sede del Ingenio San Antonio, y Posoltega, con unos 2,200 habitantes. En el sector al NE del macizo volcánico la población es más escasa, las actividades agrícolas son mucho menos desarrolladas y el único centro de cierto interés es Villa 15 de Julio, con 2,143 habitantes, ubicado en la base de la ladera NE del Cerro Moyotepe.

Los principales datos demográficos de la población en la zona Volcán Casita - San Cristóbal, incluyendo todos los Municipios de Chinandega, Chichigalpa y Posoltega (que abarcan todo el edificio volcánico y las planicies inmediatamente adyacentes), se presenta en la **Tabla III-7.1**, donde se reportan los datos oficiales del último censo nacional, subdivididos por municipios, zonas urbanas y comarcas, y por rangos de edades de la población (INEC, 1995). Las comarcas más cercanas al área interés geotérmico (las laderas del macizo volcánico) son La Mora, Hermanos García y La Grieta, en el sector N y NE del macizo volcánico, y El Guanacastal, El Ojochal, San José del Tololar, El Pellizco Occidental, Sirama, Cosmapa y San Benito, en el sector SO.

Se recuerda que los poblados de Rolando Rodríguez y El Porvenir (Augusto Cesar Sandino), así como otras comunidades menores ubicadas en la ladera SO del Volcán Casita, fueron completamente destruidos por el deslave ocurrido en octubre de 1998, durante el Huracán Mitch (ver sección 3.4 del presente volumen).

Se estima que más del 90% de los terrenos en el área, incluyendo la Reserva Natural, son de propiedad privada (FUNDENIC-SOS, 1999). Dentro de la zona de reserva no existen poblaciones desarrolladas, pero existen varias fincas cafetaleras y pequeñas poblaciones, especialmente en el sector SE del Volcán Casita. Dentro de la planicie interna de la Caldera La Pelona hay una finca grande dedicada a la producción de café, ganado y otros productos. Los mayores núcleos poblados se ubican alrededor del edificio volcánico, donde existen importantes



actividades agroindustriales y ganaderas. Como ya se mencionó anteriormente, los pobladores del área son básicamente campesinos que tienden a aceptar con entusiasmo cualquier proyecto que pueda generar trabajo y mejorar las condiciones económicas locales. Por otro lado hay que tomar en consideración que la presencia de grandes fincas cafetaleras en la ladera SE del Volcán Casita podría ser fuente de conflictos con los propietarios de las tierras.

Gran parte de las tierras dentro del complejo volcánico tiene poco o ningún uso. Dentro de esto se incluyen las laderas superiores y áreas de mucha pendiente de los volcanes, y una parte considerable de las planicies más bajas y suaves, particularmente en el lado NE del complejo. En los lados SO y NO del complejo, se ha emprendido un raleo del bosque para uso agrícola, que ha extendido en forma generalizada hasta elevaciones de 300 a 500 m, mientras que en los lados NE y SE permanece gran parte del bosque en elevaciones tan bajas como los 100 – 200 m (ver **Figura III-1.2**). Las observaciones realizadas durante el Estudio Plan Maestro sobre patrones de uso de la tierra sugieren que, en gran medida, el progreso de la deforestación se ha visto limitado por el patrón existente de tenencia de la tierra, donde prevalecen las grandes extensiones con el acceso limitado.

La mayoría de las llanuras que rodean el complejo volcánico están dedicadas al uso agrícola, excepto dentro de las áreas urbanas, que en su mayoría consisten de las ciudades y poblados de Chinandega, Chichigalpa, Posoltega, y una serie de pequeñas poblaciones asentadas a lo largo de las carreteras, en los costados N y S de los volcanes. El tipo de agricultura que se practica es mixto, pero en general se encuentra agricultura más intensiva en el lado SO del complejo volcánico, comparando con el lado SE. En el N y el NE, el desarrollo de la tierra está limitado por condiciones progresivamente más húmedas, y existen muy pocos asentamientos más allá de las comunidades cercanas a la Carretera 24. Como consecuencia, la agricultura más intensiva en los alrededores del perímetro N del complejo volcánico se da en forma de una faja de 4 a 6 km de ancho, entre las laderas de los volcanes y los humedales del Río Tecomapa y el Estero Real.



Aún dentro de esta faja de terreno, la mayor parte de la tierra está dedicada a usos de baja intensidad, como la cría de ganado.

Sitios Culturales y Arqueológicos

No se conocen sitios arqueológicos en esta área. Sin embargo, es probable que existan y que no hayan sido todavía descubiertos a causa de las espesas capas de cenizas muy recientes que cubren las áreas aledañas al macizo volcánico.

Turismo

La zona podría tener un importante interés para el turismo naturalístico y el ecoturismo, pero la falta de estructuras de apoyo, y la dificultad de acceso a muchas zonas, hacen que estas actividades sean prácticamente desconocidas en el área. Dentro de los sitios que se puede considerar que tienen potencial como destinos turísticos se incluyen:

- Volcán San Cristóbal, que ha experimentado una continua actividad fumarólica y una actividad eruptiva intermitente durante los últimos años;
- Volcán Casita, que es el sitio de una importante actividad fumarólica, posee un cráter central escénico y la cumbre es accesible mediante un camino.
- Caldera La Pelona, un extraordinario y amplio valle volcánico, rodeado de bosque;
- las laderas superiores del Volcán El Chonco y el Cerro Moyotepe;
- el sitio del catastrófico deslizamiento de tierra y flujo de detritos en el flanco S del Volcán Casita, donde recientemente se fundó un parque conmemorativo; y



- las diversas zonas de manantiales tibios y calientes que se encuentran en las planicies al NE del complejo volcánico.

Áreas Protegidas

El Decreto 1320-83 establece como Reserva Natural todas las porciones de los cerros El Chonco, Moyotepe, San Cristóbal y Casita con elevación superior a los 300 m s.n.m. El artículo 3 de este decreto, el cual está diseñado para evitar el deterioro ecológico, prohíbe muchas actividades, incluyendo la construcción de ninguna obra de ingeniería. Este artículo se describe con más amplitud en el Apéndice G del Volumen I.

La reciente evaluación técnica del área protegida (FUNDENIC-SOS, 1999) ha identificado niveles mínimos de intervención en el 58% del área, y un 7% de superficie con vegetación de arbustiva que, si es manejada adecuadamente, puede permitir la recuperación del bosque natural. La zona incluye atractivos naturales e históricos, tal como los sitios de potencial turístico mencionados anteriormente.

En la cumbre del Volcán Casita existe además un bosque de Ocote (*Pinus oocarpa*) que representa el límite meridional de la presencia natural de dicha especie en el continente americano. En el Cerro El Chonco ha sido reportada la presencia de una población de Lapa Roja (*Ara macao*, especie en peligro de extinción), mientras que otras especies de fauna en peligro de extinción, o de particular interés, han sido reconocidos en diferentes sectores de la Reserva (FUNDENIC-SOS, 1999).

Todo esto condujo a la propuesta de elevar esta área a la categoría de Parque Nacional, manteniendo básicamente el límite existente, con la variante de extender la zona protegida debajo de los 300 m en correspondencia con los bosques y prolongaciones de antiguas coladas de



lava, que por su carácter pedregoso no pueden utilizarse con fines agrícolas. Esta propuesta actualmente está siendo evaluada por las instituciones competentes.

En lo que se refiere al Área de Amortiguamiento, el límite propuesto por FUNDENIC-SOS sería básicamente el camino que rodea el complejo volcánico en sus lados SE, NE y NO y la curva de nivel de los 200 m en el lado SO. Los límites legales actuales de la Reserva Natural y los límites propuestos para su modificación, se presentan en las **Figuras III-7.1 y III-7.2**.

7.2.2 Aspectos Abióticos

Topografía

La topografía dentro del complejo volcánico Casita - San Cristóbal varía entre moderada a inclinada, con condiciones del terreno dependiendo estrechamente de la edad y tipo de volcanismo, deformación estructural y actividad geotérmica presentes dentro de los diferentes volcanes que lo componen. El Volcán San Cristóbal tiene la forma de un cono de lados bien pronunciados, con suaves laderas inferiores que se tornan más pronunciadas hacia la cima, especialmente por encima de los 700 m de elevación. El Volcán Casita presenta laderas moderadas en su lado N, pero su flanco S es más pronunciado e irregular, debido en parte a alteración hidrotermal y deformación estructural dentro y en los alrededores del área de la cima (ver Capítulo 3). El interior de la Caldera La Pelona es bastante plano, pero el edificio que la rodea en algunos sitios es más inclinado y de terreno más quebrado. Los volcanes El Chonco y Cerro Moyotepe en su mayor parte tienen costados de laderas pronunciadas

Hacia el SE del complejo volcánico hay una depresión baja y casi plana que separa el Casita - San Cristóbal del complejo volcánico de Telica. En todas las otras direcciones, las estribaciones bajas de los volcanes se unen con una amplia planicie con elevación de unos 100 a 300 m. Hacia el SO, la planicie se inicia cerca de los 300 m y baja gradualmente alejándose del edificio



volcánico, continuando en forma no interrumpida hacia el Golfo de Corinto en la costa Pacífica. Hacia el N, la llanura se inicia cerca de los 100 m y rápidamente baja hasta menos de 40 m; en un tramo de pocos km desciende hacia la zona pantanosa de los ríos Galilao, Tecomapa y el Estero Real.

Hacia el NO, a lo largo del eje de la Cordillera Volcánica, la llanura continúa sin interrupción por casi 20 km antes de alcanzar una cadena de colinas de menos de 500 m de elevación. Más hacia el NO, aproximadamente a unos 60 km de distancia del Volcán San Cristóbal, se encuentra el Volcán Cosigüina, que es el volcán más cercano que ha estado activo recientemente en esta dirección.

Hidrología

Las características hidrológicas del área de estudio se discuten detalladamente en la sección 3.1. Ningún cuerpo importante de agua superficial permanente se encuentra dentro del edificio volcánico o en las llanuras circundantes por encima de una elevación de unos 100 m. El edificio se drena mediante un patrón regular de varias quebradas estacionales; la escorrentía puede incrementarse mucho durante los periodos de lluvia intensa. La planicie al SO del edificio volcánico se drena gradualmente hacia el Océano Pacífico por medio de varios ríos importantes. Hacia el NE, el drenaje no es tan bueno debido a la topografía baja, y en muchos sitios se han excavado canales para mejorar el drenaje para agricultura.

En la mayoría o en todas las llanuras alrededor de los volcanes, y probablemente dentro de una gran parte del complejo volcánico hay presencia de acuíferos subterráneos. Los patrones de flujo de las aguas subterráneas posiblemente son sencillos, y similares a aquellos que corren por la superficie, ya que no se conoce la existencia de barreras importantes que impidan el flujo del agua en el terreno.



Características Físico-Químicas /Bacteriológicas de Cuerpos de Agua

No fue posible localizar información completa sobre características químicas o bacteriológicas de las aguas superficiales, en gran parte debido a la falta de lagos y ríos permanentes en la mayor parte del área de estudio. Krásný *et al.* (1998) describieron las características químicas de las aguas subterráneas de la mayor parte del área de estudio. Los siguientes comentarios se aplican al tipo y calidad de las aguas subterráneas someras.

La mayoría de las aguas en los márgenes del complejo volcánico y en las planicies de los alrededores son de varios tipos de bicarbonato. Los pocos datos disponibles del complejo volcánico indican que las aguas allí son también predominantemente del tipo bicarbonato, siendo el Na (sodio) y el Ca (calcio) los principales iones secundarios. En las llanuras al SE de los volcanes, son muy comunes las aguas de HCO₃-Mg (bicarbonato-magnesio, con o sin Ca), estando también presentes aguas con HCO₃-(Na, Ca). Al N del complejo volcánico predominan las aguas de tipo HCO₃-Mg (con Na local significativo), sobre todo al O de Villa 15 de Julio, mientras que al N y al SE de esta localidad el tipo predominante es HCO₃-Na, con o sin Ca.

Solamente en zonas de poca extensión se encuentran presentes aguas no carbonatadas. Aguas de sulfato se encuentran en una estrecha zona que se extiende al NNE de Monte Largo; los tipos de aguas presentes en esta zona incluyen SO₄-Ca-Na (sulfato-calcio-sodio), SO₄-Cl-Ca (sulfato-cloruro-calcio) y SO₄-Cl-Na (sulfato-cloruro-sodio). Hacia el SE de Loma Ojo de Agua, en la vecindad de Las Marías, se reportan aguas de tipo Cl-Mg dentro de una zona de solamente unos pocos km².

La concentración de sólidos disueltos totales tiende a correlacionarse estrechamente con la elevación, indicando que principalmente son el resultado de la incursión de agua salada dentro del acuífero subterráneo. Al NE del complejo volcánico se encuentran concentraciones superiores a 500 mg/l (aunque generalmente no exceden los 1,000 mg/l) en una amplia zona coincidente con las planicies alrededor de los tributarios del Estero Real, pero raramente se



encuentran en sitios donde la elevación del terreno supera los 100 m. Al SE del complejo generalmente no se encuentran concentraciones que excedan los 500 mg/l, salvo a unos pocos km de la costa del Pacífico.

En diferentes sitios, incluyendo varias zonas amplias por debajo de los 100 – 150 m en las llanuras que se extienden desde Posoltega a Chinandega, y en la vecindad de Monte Largo se encuentran concentraciones moderadamente altas de boro (0.5 a 1.0 mg/l). En muchos sitios en las planicies al NO de los volcanes, en la vecindad de El Viejo y Tonalá, ocurren altas concentraciones de nitrato.

Las características físicas y químicas de las aguas asociadas con actividad termal se describen con mayor detalle en el Capítulo 4 y en el Anexo A de este volumen.

Clima

La precipitación media anual en el área varía entre los 1,500 mm en la planicie al NE del macizo volcánico, y los 1,800 mm en la ladera SO del volcán y en la planicie de Chinandega, donde existe una zona (entre El Viejo y Posoltega) caracterizada por precipitaciones más elevadas de lo normal en la zona de la Depresión Nicaragüense. En esta misma zona, durante el Huracán Mitch a finales de Octubre de 1998, se registraron precipitaciones muy intensas que en la Estación Hidrometeorológica de Chinandega, superaron la norma histórica mensual en un 504.3%. La precipitación media de Octubre en Chinandega es de 328 mm, mientras que en Octubre de 1998 se registraron 1,984 mm, 1,611 de los cuales concentrados en los últimos diez días del mes. En un solo día, el 30 de Octubre de 1998, se registraron 485 mm de lluvia, es decir un valor muy superior a la norma histórica mensual. El período calculado de recurrencia para fenómenos de este tipo en la estación meteorológica de Chinandega es de aproximadamente 110 años (INETER, 1998).



La temperatura media anual en las planicies alrededor del volcán es de aproximadamente 27°C y, en los relieves volcánicos, decrece con la elevación hasta los 18°C estimados en la cumbre del Volcán San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999). En el Anexo G del Volumen I se presentan mapas de líneas de contorno mostrando la precipitación y la temperatura promedio anuales de la parte O de Nicaragua.

Como consecuencia de las significativas variaciones de temperatura y de precipitación que existen en el macizo volcánico del Casita - San Cristóbal, se originan diferentes condiciones climáticas locales, las cuales, según el estudio de FUNDENIC-SOS, incluyen las siguientes zonas climáticas: Tropical con transición a húmedo, Tropical húmedo, Sub-tropical con transición a húmedo, Sub-tropical húmedo y Montano húmedo.

No hay disponibles datos relacionados con la dirección y velocidad de los vientos que prevalecen dentro del complejo volcánico Casita – San Cristóbal, ni tampoco en las planicies al N y al NE del complejo. En la Tabla III-7.2 se muestran los datos de viento en las estaciones meteorológicas más cercanas, en Chinandega y León.

7.2.3 Aspectos Bióticos

Flora

En las zonas bajas de las laderas del complejo volcánico se encuentran en general bosques fuertemente intervenidos con vegetación de tipo tropical, mientras que en las zonas más altas (arriba de los 1,000 m s.n.m.), especialmente en el Volcán Casita, la temperatura más fresca propicia el crecimiento de un bosque latifoliado subtropical, localmente manejado como sombra para cafetales. En la cumbre del Volcán Casita existen sectores con pinares de ocote (*Pinus oocarpa*), los cuales representan el límite meridional de extensión geográfica para esta especie en el continente americano. En las partes altas de las laderas del San Cristóbal se encuentran áreas



boscosas con predominancia de quebracho (*Lysiloma* sp.), mientras que en la cumbre del volcán la vegetación es muy escasa debido a la intensa actividad fumarólica y a las recientes erupciones.

En la ladera meridional del volcán San Cristóbal, donde existen intensos fenómenos de erosión acelerada en depósitos piroclásticos poco consolidados, se presentan poblaciones características de una agavácea de hojas muy amplias no muy bien identificada. En el Volcán El Chonco existe por lo contrario, un bosque bien conservado, con densa masa de árboles y abundante fauna. Entre la flora herbácea existen varias orquídeas epífitas, que incluyen las especies *Encyclia* spp., *Oncidium carthaginense* y otra *Oncidium* spp. las cuales, en Nicaragua, han sido hasta ahora reconocidas solamente en esta zona (FUNDENIC-SOS, 1999).

En la Tabla III-7.3 se ofrece un listado de todas las especies vegetales identificadas por FUNDENIC-SOS (1999) en el área.

Fauna

Las zonas boscosas que todavía recubren porciones significativas de este complejo volcánico actúan como refugio natural de la fauna. Esta era originalmente muy abundante en el área, pero ahora está confinada en las partes menos accesibles de las laderas volcánicas, debido a la intensa deforestación y expansión de la frontera agrícola que se ha dado en los últimos 50 años en toda la zona alrededor del volcán y hasta en porciones intermedias de sus laderas.

La Tabla III-7.4 presenta un listado de todas las especies animales identificadas en el área durante las investigaciones de FUNDENIC-SOS (1999). La asociación faunística es típica de bosques tipo tropical y subtropical. Los mamíferos están bien representados e incluyen varias especies de particular interés ecológico (incluidas en los Apéndices del informe de CITES, 1977), como son: el perezoso, el coyote, el venado malacate, la guardatinaja, la guatusa, el zorro espín, el puma, el zorro mión, el perico oso, el mapachín, el micoleón y el pizote, entre otros. En



las zonas más boscosas parecen también existir por lo menos dos especies de monos: el mono araña (especie seriamente amenazada de extinción) y el mono cara blanca. La población de aves es también abundante y variada e incluye una reducida población de lapa roja (Ara macao), especie amenazada de extinción, que ha sido identificada en los bosques del Volcán El Chonco, varias especies de loras, gavilanes y el tucán, que son también especies protegidas (Apéndice II de CITES, 1977). Los reptiles incluyen la boa, varias Colubridae, la cascabel, la castellana, el garrobo negro, la iguana verde y varias especies de lagartijas.

7.3 Análisis de las Condiciones Ambientales

7.3.1 *Situación Ambiental General*

Las tierras dentro del área de Volcán Casita – San Cristóbal han sido objeto de diferentes grados de degradación ambiental que se correlacionan de manera aproximada con la densidad de la población en las diferentes zonas. Las condiciones ambientales generales dentro del área se pueden categorizar como sigue:

- Las planicies que rodean el complejo volcánico y, en algunos sitios, los márgenes de los volcanes, han sido sometidos al grado más alto de degradación ambiental, con una deforestación casi total y conversión de la tierra a usos agrícolas (y en unos pocos sitios a urbanizaciones).
- Los flancos de los volcanes, hasta alturas intermedias, han sido utilizados menos intensamente, pero aún así han sido degradados en cierto grado, por deforestación parcial y agricultura menos intensiva. Lo mismo puede decirse de gran parte de la zona de baja elevación, al N y al NE del complejo volcánico, en la vecindad del Estero Real, Río Galilao y Río Tecomapa.



- Los flancos superiores y las cimas de los volcanes están relativamente intactas en la mayoría de las zonas (aunque no todas). En estos sitios todavía quedan especies nativas del bosque y especies animales.

Las zonas de bosque virgen o menos intervenido son probablemente las de mayor sensibilidad ambiental. La Reserva Natural establecida dentro del complejo provee algún grado de protección ambiental a estas zonas. No obstante, al observar las condiciones en el área durante el Estudio Plan Maestro se observa que, en términos prácticos, la fuente principal de protección para las áreas de bosque es su falta de accesibilidad, lo cual es consecuencia del terreno empinado y la falta de caminos de acceso, y al tipo de manejo que practican los principales terratenientes del área. En la actualidad, no parece haber una seria sensibilidad en relación con el turismo o con el uso particular de la tierra, salvo en las pocas zonas de desarrollo urbano y de agricultura intensiva.

La densidad de población en toda el área es baja, particularmente en el mismo complejo volcánico. Sin embargo, puede darse un creciente asentamiento de poblaciones y presión por desarrollo, sobre todo a lo largo del corredor entre las ciudades principales de Chinandega y León. El desarrollo en forma intensiva en un futuro cercano o inmediato parece menos probable en los márgenes N, NE y E del área.

7.3.2 Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico

Considerando las condiciones indicadas arriba, el desarrollo geotérmico podría aportar ciertos beneficios ambientales al área de Volcán Casita – San Cristóbal. Estos incluyen:

- un incremento en la tasa local de empleo, particularmente durante las fases de desarrollo y construcción, así como en la fase de operación;



- mejoras en la infraestructura, tales como caminos de acceso nuevos o reparados, suministro de agua y, posiblemente, el establecimiento o avance de servicios locales;
- diversificación de la economía local, y posible estimulación de otras actividades económicas, tales como turismo (al agregarle al área un nuevo punto de interés) y mejorar las vías de acceso;
- posible mejoramiento del grado de protección ambiental dentro de la zona afectada, al establecerse un mejor monitoreo de condiciones y actividades dentro de la zona y asegurar el mayor refuerzo de los reglamentos ambientales existentes; y
- reducción de la contaminación del aire (a escala regional), si la generación geotermoeléctrica desplaza alguna fuente de energía que produce más contaminación.

Los siguientes aspectos ambientales podrían ser importantes en las actividades planeadas o propuestas de exploración y desarrollo (ver la Tabla III-7.5):

- 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.
- Posible incremento de la erosión a causa de excavaciones y otras actividades. Este tipo de impacto puede darse como resultado de la construcción de plataformas para perforación e instalaciones de la planta en caso de que el desarrollo se de en áreas de fuerte pendiente. También puede ser como resultado de la construcción o mejora de caminos, lo cual puede ser necesario en gran medida, dependiendo de la zona de desarrollo.



- Posible impacto en las aguas superficiales y subterráneas. No se espera que tales impactos sean muy significativos, en vista de la carencia generalizada de agua, y a la capacidad de evitar o mitigar la contaminación de aguas subterráneas utilizando métodos adecuados.
- Posible desplazamiento de residentes o del uso actual de la tierra. Esto tampoco parece ser un impacto importante, debido a que la densidad de población es baja y el uso de la tierra en general es de baja intensidad, en sitios donde los datos existentes indican el potencial más importante para desarrollo geotérmico. No obstante, es posible que surjan conflictos con los dueños de terrenos, por lo cual es importante que se establezca un entendimiento entre los desarrolladores del proyecto y los terratenientes en una etapa temprana del proyecto.
- Posibles impactos causados por ruido y contaminación del aire sobre los residentes locales durante la perforación exploratoria, el desarrollo y la construcción. Es probable que estos impactos afecten solamente a unas pocas personas, en vista de la baja densidad de población en zonas de mayor potencial de desarrollo.

En resumen de los impactos negativos, medidas de atenuación y el monitoreo ambiental de las etapas necesarias para completar la factibilidad se presenta en la Tabla III-7.5. La mayoría de las medidas de atenuación están basadas en la aplicación de todos los buenos diseños y buenas prácticas de ingeniería civil, hidráulica, de perforación y de yacimientos. Como consecuencia, no tienen una valoración económica aparte de los gastos normales para las obras de estas disciplinas. Los gastos típicos para estas obras se presentan en el capítulo 9 y en más detalle en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro. Igualmente, los gastos típicos para la preparación de los Estudios de Impacto Ambiental que son necesarios para llegar a la factibilidad se presentan en el capítulo 9 y en más detalle en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro. En



cuanto a las obras únicas especiales de atenuación, el costo de reforestación (si es necesario) se estima en no más de \$5,000 y la construcción de sistemas sépticos para las aguas negras de los campamentos se estima en no más de \$500.

Las posibles restricciones impuestas por las áreas protegidas existentes y propuestas son de gran importancia para un eventual desarrollo geotérmico en el área. En el Anexo G del Volumen I de este informe se discute este aspecto con cierto detalle. Debido a que, por las razones mencionadas anteriormente, los impactos benéficos de un desarrollo geotérmico en el área del Volcán Casita – San Cristóbal podrían ser eventualmente mayores que los negativos, sería preferible contar con una política regulatoria que permita el desarrollo geotérmico dentro del marco de protección ambiental en el área, antes de tener una política altamente restrictiva o excluyente.



8. ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGÍSTICOS

8.1 Acceso

8.1.1 *Carreteras y Caminos*

El área de Volcán Casita – San Cristóbal está conectada con otras partes de Nicaragua mediante dos carreteras importantes, y las planicies inmediatamente adyacentes a estas carreteras son accesibles por medio de numerosos caminos secundarios, muchos de los cuales están en buena condición. El acceso es más limitado en casi todas las otras partes del área, y en particular, los caminos que ingresan al complejo volcánico son pocos y a menudo en mal estado. La **Figura III-8.1** muestra la localización y tipo de las principales carreteras y caminos locales de penetración dentro del área de estudio.

La Carretera 12, que une la ciudad de Chinandega con León hacia el SE y, eventualmente, con la ciudad capital, Managua, pasa a lo largo de la llanura al SO del complejo volcánico y permite el acceso a las principales zonas de población de Nicaragua. La Carretera 24 discurre a lo largo de las márgenes NO y N del complejo volcánico antes de doblar en dirección al N hacia la ciudad de Somotillo, cerca de la frontera con Honduras. Ambas carreteras estaban en buenas condiciones a mediados del año 2000, después de la reparación de los daños causados por el Huracán Mitch en 1998. La Carretera 24 también se prolonga al SO de Chinandega, dando acceso a las instalaciones portuarias de Corinto, en la costa del Pacífico.

De la Carretera 24, cerca de Villa 15 de Julio, se deriva un camino no pavimentado pero bien mantenido, que pasa a lo largo del margen NE del complejo volcánico y continúa hasta eventualmente unirse con la Carretera 26 cerca de Malpaisillo, más allá del complejo volcánico de Telica. Aunque en la depresión formada entre el Volcán Telica y el complejo Casita – San



Cristóbal existen varios caminos secundarios, no hay ninguna carretera principal que atraviese la zona y el acceso es malo en este sector.

Los caminos que se derivan de las carreteras principales descritas anteriormente son en su mayoría secundarios, y de calidad variable. En la mayor parte de los márgenes SO, O, y NO del complejo volcánico, estos caminos proveen acceso a sitios distanciados 1 a 2 km de la mayoría de los puntos con elevación de 300 a 400 m; sin embargo, en muchos sitios es necesario emplear vehículos de doble tracción para pasar con seguridad. A mayor altura, el acceso al Volcán El Chonco, Volcán San Cristóbal y al Cerro Moyotepe es muy limitado, y las rutas que se muestran en los mapas tienden a estar muy mal mantenidas y en muchos casos intransitables.

El acceso a los flancos y a la cima del Volcán Casita se realiza principalmente mediante un único camino que sale de la Carretera 12, cerca de Chichigalpa. Este camino pasa por las zonas tanto bajas como altas que fueron dañadas por deslizamientos y flujo de detritos durante el Huracán Mitch, pero ya ha sido reparado y en algunos sitios se le cambió la ruta. El camino se bifurca cerca de La Concepción, un ramal conduciendo a la plantación de Argelia, y el otro a Bella Vista, continuando hacia las antenas de comunicaciones instaladas en el lado E de la cumbre del volcán. El camino tiene un portón y se debe obtener un permiso del propietario para continuar el viaje hasta Bella Vista o Argelia. Además, algunas partes del camino son muy empinadas, haciendo necesario el uso de la doble tracción.

El acceso con vehículo al área de la cumbre del Casita está limitado al camino que lleva a las antenas. Un camino que se extendía hasta el cráter central y, posiblemente bajaba por el flanco N del volcán ahora está intransitable, pero sí se puede recorrer a pié. En el flanco S del volcán, la única ruta alterna es la que conduce a Pikin Guerrero, que pasa a través de la zona que sufrió grandes daños durante el Huracán Mitch.



Existe acceso muy limitado a través de caminos, a los flancos del NE del Volcán Casita y La Pelona. Un camino que se extiende desde Villa 15 de Julio a Colonia Santa Cruz tiene un portón al S de la Colonia, y su condición no fue verificada durante el Estudio Plan Maestro. Los mapas topográficos muestran que llega hasta la cumbre del Volcán Casita, pero al considerar el estado de caminos similares en el área, es probable que la parte superior del camino esté ahora intransitable.

Una serie de caminos bien establecidos y otros no tanto proveen acceso a la mayor parte del interior de la Caldera La Pelona, a partir de la finca Argelia. El ingreso a los flancos exteriores del E de La Pelona está limitado a unos pocos caminos aislados cuya condición es incierta.

8.1.2 Consideraciones para la Construcción de Caminos

A pesar de que en la actualidad el ingreso es limitado en muchas partes del área de estudio, en muchos sitios es factible la construcción de nuevos caminos para tener acceso a sitios de interés. En general, se puede predecir que la construcción de caminos no tendría dificultades o costos extraordinarios, salvo en las siguientes zonas:

- Los flancos superiores de los volcanes. Esto incluye: las zonas por encima de los 600 – 700 m de elevación en El Chonco; las zonas por encima de los 300 m de elevación en la ladera N del Cerro Moyotepe, y de los 500 m en su ladera S; las zonas por encima de los 700 – 800 m en San Cristóbal; en general las zonas por encima de los 800 – 900 m en Casita; y en la cresta al SE de Caldera La Pelona. La construcción de caminos es posible en partes de estas zonas, pero los costos pueden ser altos y el recorrido probablemente limitado.



- El flanco S del Volcán Casita. Tal como se comentó en la sección 3.4, esta zona está sujeta a importantes riesgos asociados con inestabilidad de las laderas; por lo tanto, la construcción de caminos en esta zona debe evitarse o planificarse con cuidado.
- El flanco SE del edificio de La Pelona. La topografía empinada y compleja de esta zona es probable que limite la posibilidad de construir caminos y que la construcción sea difícil.
- Las zonas bajas en los alrededores del Estero Real, Río Tecomapa y Río Galilao. Las condiciones de humedad en estas áreas pueden hacer necesario que los caminos tengan que diseñarse especialmente, aumentándose los costos de construcción.

Dentro de la zona donde se ha inferido la presencia del sistema geotérmico de Casita, descrito en el Capítulo 5, sería posible construir caminos en algunas partes del área de la cima, en gran parte del flanco NE del volcán, y en los márgenes de la Caldera La Pelona, según se requiera para llegar a los sitios de perforación y de construcción de instalaciones. Algunas áreas más empinadas pueden ser inaccesibles, y tal como se anotó anteriormente, se debe evitar, o planear con cuidado la construcción de nuevos caminos en el flanco superior Sur del volcán debido a problemas de inestabilidad de las laderas. Puede ser necesario mejorar en algunas secciones los principales caminos de penetración del área, para permitir el tránsito de ciertos camiones y equipos pesados. A pesar de que existen algunos problemas relacionados con el ingreso a la zona de interés, los aspectos de construcción de caminos probablemente no constituirían un impedimento serio para el desarrollo.

8.1.3 Otros

En la ciudad de Chinandega hay un pequeño aeropuerto regional, y además también hay una serie de pistas de aterrizaje no muy bien mantenidas dentro del área, la mayoría de ellas localizadas en las fincas de las planicies adyacentes al complejo volcánico. La localización



de las pistas de aterrizaje que se muestran en los mapas topográficos se indican en la **Figura 8.1.1**; su condición no ha sido verificada. Como se anotó anteriormente, existen facilidades portuarias en Corinto, el principal puerto comercial de Nicaragua, ubicado en la costa Pacífica al SO de Chinandega.

8.2 Uso de la Tierra

En el Capítulo 7 se describe uso que actualmente se le da a la tierra en el área de estudio. Es poco probable la ocurrencia de conflictos fundamentales entre un desarrollo geotérmico y los actuales usuarios de la tierra, en vista de la baja densidad de población y a la ausencia de desarrollo intensivo agrícola o industrial en la mayor parte del área. Sin embargo, puede ser necesario planificar y negociar con los terratenientes para evitar conflictos relativos al uso de la tierra y al acceso.

8.3 Disponibilidad de Sitios para Perforación y Construcción

Los mismos comentarios vertidos en la sección 8.1.2 con respecto a la potencial construcción de caminos se aplican generalmente a los sitios potenciales para la perforación y las instalaciones superficiales. Las mismas zonas que se ha mencionado que presentan posibles dificultades para la construcción de caminos, presentarán también limitaciones similares, y en algunos casos hasta más severas, para el establecimiento de pozos e instalaciones.

Cabe mencionar que al momento de establecer instalaciones, se deben tomar en consideración los riesgos geológicos descritos en la sección 3.4. Esto significa, ya sea que se debe evitar levantar instalaciones en las siguientes zonas, o que éstas se deben diseñar y erigir basándose en los riesgos específicos que se apliquen en cada caso:

- Las laderas superiores y la mayor parte de las laderas occidentales del Volcán San Cristóbal (debido a riesgos asociados con erupciones de tefra).



- Parte de las laderas inferiores del Volcán San Cristóbal (debido a riesgo de lahares cerca de cauces de arroyos).
- Gran parte del flanco S del Volcán Casita, y partes de la Caldera La Pelona (debido a riesgos asociados con inestabilidad de las laderas en las estribaciones superiores del Casita).
- Zonas cercanas a los cauces de arroyos o ríos en la planicie al SO del complejo volcánico, y gran parte de la llanura al N y al NE del complejo (debido a riesgo de inundaciones).

En todas partes del área se deben tomar en cuenta los riesgos derivados de la actividad sísmica, diseñando sitios e instalaciones que soporten los eventos sísmicos que puedan ocurrir durante la vida activa de un proyecto.

Dentro de la zona del sistema geotérmico inferido, tal como se describe en el Capítulo 5, los sitios potenciales para pozos e instalaciones estarán en alguna medida limitados por la topografía, y por las mismas condiciones de estabilidad de las laderas que se mencionaron anteriormente para el flanco S del volcán. Además, algunas áreas de suelos alterados y de actividad fumarólica en la parte de la cumbre pueden no ser adecuadas para localizar las instalaciones de un proyecto. A pesar de estas limitaciones, es probable que existan suficientes sitios adecuados que permitan proceder con el desarrollo de un proyecto, en caso de encontrar un recurso adecuado. Podrían requerirse técnicas de perforación direccional para lograr acceso a una parte suficientemente grande del yacimiento geotérmico, desde sitios donde la perforación es posible.



8.4 Disponibilidad del Agua

Como se discutió en la sección 3.3, dentro del complejo Casita – San Cristóbal, por encima de una altitud de unos 100 m no existe cantidad significativa de agua superficial permanente. Bajo condiciones estacionales se puede obtener agua de algunas quebradas, pero probablemente sería necesario explotar agua subterránea para el suministro a operaciones de perforación de largo plazo y para el proyecto en general.

Probablemente es posible encontrar acuíferos en la mayor parte del complejo volcánico con capacidad suficiente para suplir de agua subterránea las actividades de desarrollo, aunque existen pocos datos específicos sobre las características de estos posibles acuíferos. La calidad del agua probablemente es adecuada en la mayoría de los sitios, aunque puede verse afectada localmente por la actividad geotérmica. La profundidad a la cual hay que perforar los pozos para suministro de agua, y la profundidad desde la cual hay que bombear el agua, variaría de acuerdo con la elevación del terreno, la elevación de la superficie piezométrica, y la presencia o ausencia de acuíferos intercalados. En general, se prevé que no se encontrarían mayores dificultades para conseguir el agua que se necesita, aunque los costos asociados con la perforación, conducción, bombeo y otros aspectos del suministro, serían importantes.

En las llanuras que rodean el complejo volcánico (por debajo de los 200 m de altitud), hay evidencia de la presencia de extensos acuíferos someros con transmisividad entre alta y muy alta. Por lo tanto, la perforación de pozos para el suministro de agua y la producción en la cantidad necesaria es posible que se logre con muy poca dificultad y a un costo moderado en terrenos de poca altitud. En zonas por debajo de los 100 m, podría haber agua superficial disponible en muchos sitios; sin embargo, en estas áreas bajas, particularmente al N y al NE del complejo volcánico, los niveles elevados de sólidos disueltos o la salinidad, pueden presentar problemas para algunos usos del agua.



8.5 *Factibilidad de Realizar Trabajos de Exploración y Desarrollo*

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 el área de Volcán Casita – San Cristóbal.

Los aspectos favorables se resumen como sigue:

- Baja probabilidad de conflictos con otros usos de la tierra, o con el turismo.
- Se espera sea factible en la mayoría de las zonas de elevación baja a intermedia, y en algunas zonas superiores la construcción de caminos, sitios de perforación e instalaciones superficiales.
- El agua para la perforación y otras actividades de desarrollo probablemente será fácil de obtener en la mayoría de las zonas.
- El área está bien conectada por carretera a las ciudades cercanas de Chinandega y León, y a la ciudad capital, Managua, y está cerca de instalaciones portuarias; por lo tanto, la disponibilidad de materiales, servicios y otras necesidades infraestructurales es bueno.
- Las principales líneas de transmisión de la red eléctrica nacional pasan por el área, cerca de las zonas probables con potencial de desarrollo geotérmico (**Figura III-8.1**).
- El desarrollo geotérmico acarrearía beneficios a la comunidad, incluyendo un incremento en la tasa de empleo y diversificación de la economía local, lo cual aumentaría el apoyo local a las actividades de desarrollo.
- La población local deberá ser 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 es probable que requiera una extensa red de caminos, y la disponibilidad de sitios para construcción de pozos e instalaciones en esta zona puede ser limitada. El mantenimiento de caminos de acceso puede a largo plazo también ser una fuente de costos agregados.
- El patrón de tenencia de la tierra en el área puede conducir a conflictos con los principales terratenientes sobre aspectos del uso de la tierra y el acceso.
- La existencia de ciertas zonas ambientalmente sensibles, la existencia de una Reserva Natural, y el posible establecimiento de un Parque Nacional dentro del área, puede limitar las actividades de desarrollo que se pueden realizar en ciertos sitios.
- Puede ser limitada la disponibilidad de personal local con habilidades y entrenamiento especializados.
- El área está sujeta a toda una serie de peligros geológicos, que tendrán que ser tomados en consideración al momento de planear y llevar a cabo actividades de desarrollo, especialmente en ciertas áreas donde son mayores los riesgos (ver sección 3.4).



9. OPCIONES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El área del Volcán Casita – San Cristóbal tiene importantes posibilidades de encontrar y explotar recursos geotérmicos, basándose en su reciente actividad volcánica y en la magnitud de sus manifestaciones termales. Dentro del volcán Casita existe suficiente evidencia como para inferir la presencia de un importante sistema geotérmico de alta temperatura, que podría tener la capacidad de alimentar un proyecto de generación eléctrica de tamaño apreciable (ver Capítulo 5).

Aún cuando la presencia y localización general del sistema geotérmico de Casita puede ser inferido con cierta confianza, es probable que se necesiten estudios adicionales antes de poder localizar e iniciar la perforación de los primeros pozos exploratorios para confirmar dicho recurso. Por lo tanto, debe considerarse que el área todavía está dentro de la etapa de investigaciones de pre-factibilidad. La sección 9.1 describe el trabajo que se necesitaría para completar la evaluación de pre-factibilidad del área de Casita, y en la sección 9.2 se discuten los requisitos generales para los estudios de factibilidad.

9.1 Terminación de la Etapa de Pre-Factibilidad

El área del Volcán Casita - San Cristóbal tiene importantes posibilidades de encontrar y explotar recursos geotérmicos, basándose en su reciente actividad volcánica y en la magnitud de sus manifestaciones termales. Dentro del Volcán Casita existen suficiente evidencia como para inferir la presencia de una importante sistema geotérmico de alta temperatura, que podría tener la capacidad de alimentar un proyecto de generación eléctrica de tamaño apreciable (ver Capítulo 5).

Las actividades adicionales que se desarrollen dentro de la etapa de pre-factibilidad deben dirigirse hacia el objetivo de definir con mayor confianza la extensión posible y los límites del sistema geotérmico dentro del Volcán Casita. Las investigaciones más adecuadas para cumplir



con este objetivo serían estudios geofísicos que complementen los datos geológicos y geoquímicos disponibles.

Los estudios geofísicos en el Casita deben consistir sobre todo, de estudios geoelectricos (mediante métodos MT, AMT o CSAMT) con densidad de estaciones entre mediana y alta, para evaluar la estructura de resistividad en la zona inferida de actividad geotérmica. El estudio debe cubrir, por lo menos, el área de la cima del volcán (en la extensión que lo permita el terreno) y una porción grande del flanco NE. Para completar, pueden incluirse otras zonas, incluyendo la parte superior del flanco S. Por lo tanto, debe anticiparse un área de estudio dentro del rango de 25-50 km². Los sondeos deben diseñarse para penetrar a una profundidad efectiva de por lo menos 2 km, y al diseñar el estudio deben tomarse en cuenta los posibles efectos de una amplia alteración superficial de la roca dentro del área de la cima y sus vecindades. El costo de tal estudio variaría según el área de cobertura, la metodología seleccionada, la densidad de estaciones, y las restricciones logísticas (incluyendo limitaciones de acceso) que prevalezcan en el momento de realizar el trabajo. Se debe programar un presupuesto de por lo menos US\$300,000 para un estudio completo.

Para complementar el trabajo geoelectrico sería útil contemplar un estudio gravimétrico detallado, el cual suministraría información adicional acerca de las condiciones que imperan en la parte central del complejo volcánico. Este trabajo puede realizarse, en términos generales, en forma simultánea con el estudio geoelectrico con el fin de optimizar la logística del proyecto. Probablemente sería deseable que los estudios gravimétricos cubran un área de estudio más amplia, con una densidad de estaciones entre mediana y alta. Igual que en el caso del estudio geoelectrico, el costo del estudio gravimétrico puede variar considerablemente, dependiendo de su diseño; debe contemplarse un presupuesto mínimo de unos \$50,000 a \$75,000.



Para una definición más completa de la estructura e historial volcánico del Volcán Casita, pueden considerarse estudios geológicos dentro de la etapa de pre-factibilidad. Este trabajo puede constar de un análisis detallado de fotografías aéreas e imágenes de satélite, investigaciones de campo y mapeo geológico, según se requiera, y posiblemente, datación de la edad de algunos productos seleccionados del volcán. Un presupuesto de unos US\$50,000 sería suficiente para tales estudios complementarios.

Podría considerarse la posibilidad de perforar algunos pozos exploratorios de profundidad entre somera e intermedia para complementar los estudios geofísicos. Entre estos pueden estar incluidos pozos de gradiente de temperatura (perforados a profundidades de hasta varios cientos de metros), y agujeros más profundos de diámetro menor con los que se puedan investigar de manera directa las condiciones del yacimiento. No obstante, en el Volcán Casita existen algunas desventajas específicas para la aplicación de estos métodos. Primero, la extensa actividad fumarólica cerca de la cima, y la posible salida de agua meteórica somera calentada por conducción o por vapor, tenderían a confundir o a complicar los gradientes de temperatura a profundidad somera. Esto puede disminuir la calidad de los resultados obtenidos en los pozos de gradiente de temperatura, o puede requerir que se perforen pozos más profundos y de mayor costo, para obtener información útil. Segundo, la falta de caminos de acceso dentro del área de interés puede limitar los sitios con disponibilidad para perforación, o puede significar que hay que invertir fondos considerables en la construcción de caminos durante la etapa de pre-factibilidad, si se van a perforar pozos de mayor profundidad. Esto puede incrementar considerablemente los costos de la información obtenida, así como demorar el progreso de las actividades del proyecto. Por tal razón, 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.



Los resultados de los estudios de pre-factibilidad deben evaluarse e integrarse junto con los resultados del trabajo previo realizado en el área, para obtener un modelo geotérmico conceptual actualizado del sistema del Casita. Basándose en este modelo, se pueden seleccionar los sitios y diseños para los pozos exploratorios iniciales (que se perforarían en la etapa de factibilidad). El presupuesto para esta evaluación general, junto con la preparación de un informe de pre-factibilidad con los planes de trabajo para una etapa de factibilidad, variaría dependiendo de la extensión de las investigaciones que haya que realizar, pero un presupuesto de \$100,000 estaría dentro de lo normal.

Si la perforación, no hay factores logísticos durante esta etapa. Hay factores ambientales menores en relación con la Concesión de Exploración (ver la Tabla III-9.1); estos se han estimado a base de estaciones contenidas en la Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro Geotérmico.

El presupuesto mínimo total para esta etapa del proyecto se espera sea del orden de \$50,000 a \$550,000 (ver la Tabla III-9.1).

9.2 Estudios de Factibilidad

ejemplos detallados de actividades requeridas para confirmar la factibilidad se presentan en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro. Las estimaciones descritas aquí, se resumen en la Tabla III-9.2, se basan en ejemplos específicos, haciendo los ajustes correspondientes de la condiciones locales para el área del Volcán Casita - San Cristóbal.

El elemento esencial dentro de las actividades de la etapa de factibilidad de los recursos geotérmicos en el área de Volcán Casita – San Cristóbal sería un programa de perforación profunda. Los pozos profundos permitirían comprobar la existencia de un recurso explotable, así



como evaluar su capacidad de producción y otras características. Por lo tanto, las investigaciones de factibilidad deben consistir de las siguientes tareas básicas:

- Estudios ambientales y actividades encaminadas a la obtención de permisos, según sean requeridos por dependencias del gobierno, para proceder con la perforación profunda.
- Perforación de pozos profundos, con mediciones y evaluación apropiadas.
- Pruebas de producción e inyección para determinar el comportamiento de los pozos y del yacimiento geotérmico, y obtener datos sobre la química de los fluidos.
- Evaluación integrada del recurso geotérmico, incluyendo una actualización del modelo conceptual, re-estimación de las reservas potenciales de energía recuperable, y evaluación de los requerimientos de perforación para el desarrollo del proyecto planeado.
- 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 planta, evaluación de los costos de desarrollo, y pronósticos sobre los ingresos económicos del proyecto.

Perforación en la Etapa de Factibilidad

La cantidad de pozos necesarios para demostrar la factibilidad dependerá del tamaño del proyecto considerado. Basándose en el tamaño potencial del recurso inferido en Casita a partir de los datos existentes, puede anticiparse que es posible contemplar inicialmente un proyecto de tamaño mediano, en el rango de los 20 a los 50 MW. En un proyecto así, para demostrar la factibilidad se necesitarían por lo menos dos pozos de producción y uno para inyección; se requerirían aún más si se planea desarrollar inicialmente un proyecto mayor.



La selección del diseño de los pozos de la etapa de factibilidad debe basarse en una consideración cuidadosa de factores técnicos, económicos y logísticos, incluyendo el costo y la dificultad de preparar caminos de acceso y plataformas de perforación, disponibilidad y costo de equipo de perforación, y los resultados potenciales a obtener de los diferentes tipos de pozos. Se pueden considerar pozos de diámetro reducido para reducir los costos iniciales, siendo posible perforar agujeros de diámetro pequeño con un costo del 50 al 70% del costo de los pozos de diámetro completo. No obstante, el diámetro reducido de tales pozos limitaría la capacidad de producción a largo plazo y puede restringir las opciones disponibles para realizar pruebas en los pozos. Sería razonable considerar cualquiera de las siguientes opciones de perforación en la etapa de factibilidad:

- Diseño con diámetro completo en todos los pozos. Esto conduciría al costo total más alto de todos, pero aumentaría al máximo la capacidad de los pozos si se logran resultados satisfactorios.
- Perforación del primer pozo o pozos con un diseño de diámetro reducido, y los pozos posteriores con un diseño de diámetro completo. Este enfoque tendría la ventaja de aprovechar la información de los primeros pozos, para reducir el riesgo de fallo en aquellos de mayor costo con diámetro completo.
- Perforación de todos los pozos con diámetro reducido, con el fin de disminuir los costos de la etapa de factibilidad. En efecto, esto trasladaría algunos de los costos de perforación a una etapa posterior del desarrollo. Si se seleccionara esta opción, sería importante asegurarse que el diámetro seleccionado es lo suficientemente amplio para que, por lo menos, se puedan realizar pruebas limitadas de producción, con el fin de demostrar el potencial de explotación económica del recurso.



La profundidad óptima de los pozos en la etapa de factibilidad no puede determinarse con precisión a partir de la información disponible en la actualidad. Una comparación con otros campos de características similares en América Central sugiere que sería útil tener capacidad de perforar hasta por lo menos 2,000 m, aunque es posible completar un pozo productivo a profundidades más someras, posiblemente alrededor de los 1,500 m. Una profundidad nominal todavía más somera, quizás unos 1,000 m, puede ser suficiente para los pozos de inyección.

El costo por pozo dependerá en gran medida de la profundidad a la cual se complete, y en menor grado en las condiciones geológicas asociadas con la perforación. Para las profundidades nominales mencionadas anteriormente, sería prudente presupuestar un mínimo de \$1,500,000 por cada pozo de producción con diámetro completo, y por lo menos \$1,000,000 por cada pozo de inyección de diámetro completo. Los costos de pozos con diámetro reducido pueden potencialmente estar en la mitad de estas cifras, pero sería razonable presupuestar cerca del 75% del costo de un pozo de diámetro completo, si se selecciona la opción de agujeros de diámetro reducido. A la luz de estos costos, puede esperarse que el presupuesto mínimo requerido para la perforación en la etapa de factibilidad esté dentro del rango de \$3,000,000 a \$4,000,000, con costos proporcionalmente mayores si el tamaño del proyecto planeado requiere perforar más del mínimo de 3 pozos (dos pozos productores, un pozo inyector).

Debido a la falta de caminos de acceso y a las condiciones locales difíciles del terreno en el Volcán Casita, es probable que antes de poder perforar los pozos exploratorios sea necesario realizar la construcción y mejora adicional de caminos, y quizás unas preparaciones más amplias que lo normal de las plataformas. El costo de estas actividades dependerá en gran medida de la cantidad y localización de los pozos que se van a perforar, pero sería prudente anticipar una inversión en el orden del \$750,000 para asegurarse el acceso necesario para perforación.



Costos de Otras Tareas de la Etapa de Factibilidad

Los preparativos necesarios para la perforación en la etapa de factibilidad, incluyendo actividades relacionadas con los permisos necesarios, posiblemente se pueden llevar a cabo con una suma de aproximadamente \$50,000, dependiendo de los requisitos regulatorios y otros factores. Las pruebas, registros y muestreos de los pozos puede hacerse con un costo alrededor de los \$200,000, aunque esta cifra puede variar considerablemente dependiendo de la cantidad de pozos a perforar en la etapa de factibilidad y de la cantidad de pruebas que se hagan.

Las actividades adicionales de evaluación, reportes, valoración integral del recurso, diseño preliminar de las instalaciones, análisis económico y administración del proyecto, se presentan en conjunto con los costos ambientales, logísticos y de perforación en la Tabla III-9.2.

Por lo tanto, el presupuesto mínimo para la evaluación de la etapa de factibilidad del sistema del Volcán Casita se estima que debe estar dentro del rango de \$5.8 millones (Tabla III-9.2). Si al concluir el estudio de pre-factibilidad se aconseja adicionalmente la perforación de 10 a 12 pozos de gradiente de temperatura (profundidad promedio 300m), esta cifra deberá ser afectada adicionando por lo menos \$0.8 millones. Si se perforan 2 pozos de diámetro reducido a profundidades de 1,250 m, el costo adicional será unos \$2.2 millones (ver detalles de los costos para la perforación en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro). El presupuesto necesario puede ser mayor si se plantea un desarrollo inicial superior a los 50 MW, o si se encuentran requerimientos logísticos o regulatorios mayores.

9.3 Otras Opciones para Investigación y Desarrollo

El sistema geotérmico que se infiere está presente en el Volcán Casita es el único recurso de alta temperatura en el área de Casita – San Cristóbal que está indicado claramente por los datos existentes. Sin embargo, tal como se ha discutido en el Capítulo 5, no se puede excluir la posible



existencia de otros sistemas de alta temperatura dentro del complejo volcánico. Por lo tanto, puede ser justificable una mayor exploración dentro y cerca del complejo, aunque la prioridad de mayores investigaciones y desarrollo puede enfocarse en forma razonable en Casita..

Estudios globales geoelectricos con una densidad mediana de estaciones en la mayor parte del complejo volcánico podrían identificar zonas de resistividad anómala que puede estar asociada con actividad geotérmica. En la zona o zonas que, con base en los estudios iniciales, se determine son promisorias, pueden realizarse estudios más detallados y, posiblemente, perforación de pozos de gradiente de temperatura. Una zona que muestra alguna evidencia de posible actividad geotérmica es la de Santa Carlota, donde se han reportado temperaturas de más de 100°C a profundidades someras (ver Capítulo 4). Las investigaciones en esta zona podrían estar dirigidas a determinar si esta anomalía termal es aislada, o si está conectada mediante flujo lateral, a un sistema de temperatura más alta dentro o cercano al complejo volcánico.

Otra opción de desarrollo que se puede considerar es la posible explotación de los sistemas de temperatura más baja que se infiere están presentes al NE del complejo volcánico, en sitios como Monte Largo, El Bonete y El Tule. La desventaja principal de estos sitios es la ausencia aparente de recursos de alta entalpía. Sin embargo, se tiene la ventaja de relativamente buenas condiciones de acceso, y la posibilidad de que se pueden perforar de pozos con bajos costos si se encuentran aguas con temperatura moderada (en el rango de quizás 120° a 140°C) a profundidades bastante someras. El agua en este rango de temperatura sería adecuada para una serie de aplicaciones directas, o posiblemente para generación de energía utilizando tecnología de ciclo binario. Las anomalías termales de Monte Largo y El Tule están muy cercanas a líneas de transmisión eléctrica, lo cual reduciría los costos de conexión y por lo tanto mejoraría la economía de un proyecto pequeño de generación, de baja temperatura.



10. REFERENCIAS

- Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence Dating. Academic Press, London, 359 pp.
- Bananera San Luis, 1997. Archivos de la bananera San Luis de Chinandega; análisis hechos por Laboratorios Laquisa, 1997.
- Burbach, G. V., C. Frohlich, W. D. Pennington, y T. Matumoto, 1984. Seismicity and tectonics of the subducted Cocos Plate. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, pp. 7719-7735.
- Carr, M. J., 1984. Symmetrical and segmented variation of physical and geochemical characteristics of the Central American volcanic front. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 20, No. 3-4, pp.231-252.
- Carr, M. J., M. D. Feingenson, y E. A. Bennet, 1990. Incompatible element and isotopic evidence for tectonic control of source mixing and melt extraction along the Central American arc. *Contributions in Mineralogy and Petrology*, Vol. 105, pp. 369-380.
- Carreño Collatupa, R., 1998. Evaluación del desastre y de peligro residuales en el volcán Casita; identificación y evaluación preliminar de peligros asociados a terrenos inestables en algunos puntos del norte y centro de Nicaragua. Ayuda Humanitaria y Cuerpo Suizo de Socorro en Caso de Catástrofe-AH+CSS, Agencia Suiza Para El Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Informe de Consultoría.
- CITES, 1977. Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Firmada en Washington el 3 de Marzo de 1973. Decreto No. 7. Publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 183, Agosto de 1977.



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

- Cruden, A., 1989. The structure of south-western Nicaragua. A preliminary assessment. University of Upsala. Swedish Cooperation, INMINES/SAREC Project. ID-nr: URAP 89001, Date 1989-02-07 (Informe no publicado).
- DAL / ELC / ENEL, 1995. Estudios de evaluación del potencial energético, factibilidad de la estabilización y de la tercera unidad geotermoeléctrica del campo geotérmico de Momotombo, Fase IA - investigaciones geocientíficas: informe de síntesis, Anexo C - Estudios geofísicos y Anexo D - Estudio geoquímico. Managua, Octubre de 1995. BID (Banco Interamericano de Desarrollo) Washington D.C., Estados Unidos. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad) Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia. ELC – Electroconsult, Milano, Italia.
- DAL Spa, 1995. Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate, Informe de factibilidad, Vol.1, Evaluación del recurso e ingeniería, Agosto de 1995. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL Spa, 1997. Proyecto geotérmico Momotombo, Pozo MT-43. Perforación, datos geológicos, mediciones y pruebas. Informe interno ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- Electrodyne Surveys, 1980. INE – Instituto Nicaragüense de Energía, Plan Maestro de desarrollo Eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua, Volumen 5.2, Geothermal Resources Inventory: Geophysics Investigations (Electrical Geophysical Surveys in Nicaragua 1978). Preparado por Consorcio IECO – LAHMEYER, Managua, Nicaragua, por Electrodyne Surveys Inc., Reno, Nevada EUA, Marzo de 1979.
- Elming, S. A. y T. Rasmussen, 1997. Results of magnetotelluric and gravimetric measurements in western Nicaragua, Central America. Geophysical Journal International, Vol. 128, No. 3, pp. 647-658.
- FUNDENIC-SOS, 1999. Evaluación y re-definición del sistema de Áreas protegidas del pacífico y centro norte de Nicaragua. Volumen. I: Áreas protegidas del pacífico. Informe no publicado, elaborado para MARENA/PROTIERRA/CBA, Managua, Nicaragua.



Guevara, G. y G. Dévoli, 1999. Peligro a inestabilidad de laderas e inundaciones en el Municipio de Posoltega. INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales), Managua, Nicaragua .

Hazlett, R. W., 1977. Geology and hazards of the San Cristobal volcanic complex, Nicaragua. Thesis (Master of Arts)-Dartmouth College, Hanover, NH., USA.

Hazlett, R. W., 1987. Geology of the San Cristobal volcanic complex, Nicaragua. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 33, No. 1-3, pp. 223-230.

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

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

INETER, 1997a. República de Nicaragua, Temperatura Media Anual en Grado Celsius (°C) periodo 1971-1990. Mapa, escala 1: 750,000. Mapa publicado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Dirección de Geodesía y Cartografía

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

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

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



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

Martínez, M. y J. G. Viramonte, 1971. Estudio Geológico de la Cordillera de los Marrabios. Servicio Geológico Nacional, publicado por Catastro e Inventario de Recursos Naturales, Managua, Nicaragua, 35 pp.

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

McBirney, A.R., 1955. The origin of the Nejapa Pits near Managua, Nicaragua. Bulletin of Volcanology, Vol.17, pp.145-154.

McBirney, A. R., 1958. Active volcanoes of Nicaragua and Costa Rica. Central America. Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields, pp. 107-146.

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

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

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

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

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



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

- OLADE, 1982. Aprovechamiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de prefactibilidad del área El Hoyo - San Jacinto, Informe geoquímico, hidrogeoquímica, parte A, B, C, Febrero 1982. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).
- Ostapenko, S. V., S. V. Spektor y Y. P. Netesov, 1998. San Jacinto-Tizate geothermal field, Nicaragua; exploration and conceptual model. *Geothermics*, Vol. 27, No. 3, pp. 361-378.
- Parsons, 1972. Final Technical Report, Volume IV, The Geology of Western Nicaragua. Tax Improvement and National Resources Inventory Project, Nicaragua, prepared under the supervision of Parsons Corporation in joint Venture with Marshall & Stevens Incorporated and International Aero Service Corporation, Operations Consultant. Managua, Nicaragua, March 1972. Datos geoquímicos en Chapter V, Termal Spring and Lake Water, con tablas asociadas.
- Reagan, M. K., J. D. Morris, E. A. Herrstrom, y M. T. Murrell, 1994. Uranium series and beryllium isotope evidence for an extended history of subduction modification of the mantle below Nicaragua. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 58, No. 19, pp. 4199-4212.
- Scott, K. M., 1999. Volcanic landslides, debris avalanches, and debris flows in Nicaragua resulting from Hurricane Mitch, October-November, 1998 - recommendations for mitigation from U.S. Geological Survey mission of January 19 - 30, 1999. Cascades Volcano Observatory, U.S. Geological Survey.
- Sheridan, M. F., C. Siebe, D. Bonnard, W. Strauch, M. Navarro, J. Cruz, y N. Buitrago, 1998. Informe sobre la avalancha y el flujo de agua con sedimentos, en el Volcán Casita, Nicaragua, disparados por el Huracán Mitch. Anexo I (p. 141-143) de: INETER, 1998, Las lluvias del siglo en Nicaragua. El Huracán Mitch, las lluvias y otros eventos ciclónico y su recurrencia en Nicaragua. 1892-1998.
- Simkin, T., y L. Siebert, 1994. *Volcanoes of the World*, 2nd edition, Smithsonian Institution, Washington, D.C. USA



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

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

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

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

Texas Instruments Inc., 1970. Final report, Geothermal resources project - Stage one, Part 2, Regional geology, Thermal manifestations of western Nicaragua. Prepared for government of Nicaragua, Ministry of Economy, Industry and Commerce, August 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (escrito por J.B. Thigpen).

Texas Instruments Inc., 1970. Reporte final, proyecto de recursos geotérmicos - Etapa una, Parte 7, Geoquímica del área del proyecto geotérmico Nicaragüense, para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Diciembre de 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (escrito por R. Bennett).

Texas Instruments Inc., 1971. Reporte final, Proyecto de recursos geotérmicos - Etapa una, Parte 1, Sumario del proyecto. Para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Febrero de 1971. Texas Instruments Incorporated, Services Group (escrito por D.E. Heilner y L.T. Braun).

Texas Instruments Incorporated Services Group, 1971. Final report, geothermal resources project Stage one, Part 10 - Conclusions and recommendations. Prepared for government of Nicaragua, Ministry of Economy, Industry and Commerce, February 1971. Texas Instruments Incorporated, Services Group.



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

- van Wyk de Vries, B., 1990(?). Preliminary report on the geology of the Managua aquifer. Sections for hydrogeological modeling. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Departamento de Volcanología. Informe no publicado (fecha incierto).
- van Wyk de Vries, B., 1993. Tectonics and magma evolution of Nicaraguan volcanic systems. Thesis (Doctoral), Department of Earth Sciences, The Open University, September 1993, 328 pp.
- van Wyk de Vries, B., N. Kerle, y D. Petley, 2000. Sector collapse forming at Casita volcano, Nicaragua. *Geology*, Vol. 28, No. 2, pp.167-170.
- van Wyk de Vries, B., N. Kerle, y J. Froger, 1999. Structural analysis of Casita slump: origin, hazards, and comparison with nearby volcanoes. Center de Recherches Volcaniques, Magamas et Volcansm, (UMR-6254), Universite Blaise Pascal, 63000 Clermont-Ferrand, France.
- Walker, J. A., M. J. Carr, M. D. Feingenson, y R. I. Kalamarides, 1990. The petrogenetic significance of interstratified high-and low-Ti basalts in central Nicaragua. *Journal of Petrology*, Vol. 22, pp. 1142-1163.
- Weinberg, R. F., 1992. Neotectonic development of western Nicaragua. *Tectonics*, Vol. 11, No. 5, pp. 1010-1017.
- Weyl, R., 1980. *Geology of Central America*. Gebrüder Borntraeger, Berlin y Stuttgart, Germany.
- Wheelock J., J. Incer, L. Cardenal, y A. Rodríguez, 2000. *Desastres naturales de Nicaragua. Guía para conocerlos y prevenirlos*. Hispamer, Managua.

T A B L A S

Tabla III-2.1: Principales Estudios Existentes Sobre el Area de Volcán Casita – San Cristóbal

| Estudio | Geología Vulcanología | Hidrogeología Geoquímica | Geofísica |
|---|---|---|--|
| Texas Instruments Inc., 1970 | Mapeo geológico de V. Casita – Caldera La Pelona; mapeo de áreas fumarólicas | Análisis químico de aguas (manantiales y pozos), y de gases de fumarolas | Perfil de AMT al NE del V. Casita (Ocotón – Las Grietas) |
| IECO-Lahmeyer, 1980 | Mapeo a escala regional (incluyendo lineamientos regionales) | Muestreo de aguas; identificación y caracterización de zonas anómalas | Sondeos MT-AMT/RVT y de dipolo ecuatorial modificado, a escala regional; interpretación de gravimetría |
| OLADE, 1981 | Síntesis geo-vulcanológica; estudio petrológico con análisis químicos de rocas volcánicas | Análisis químico de aguas y gases termales; interpretación geoquímica; síntesis hidrológica | Síntesis de estudios existentes |
| Hazlett, 1977, 1987 | Interpretación de la geología/vulcanología y riesgos geológicos del complejo, con énfasis en el V. San Cristobal; mapeo geológico y estudios petrográficos y petrológicos | | |
| Carreño Collatupa, 1998; Sheridan <i>et al.</i> , 1998; Scott, 1999; Guevara <i>et al.</i> , 1999; van Wyk de Vries <i>et al.</i> , 1999, 2000; y otros | Análisis del derrumbe y flujos del Huracán Mitch, y de riesgos de eventos parecidos | | |

Tabla III-3.1: Erupciones Históricas del Volcán San Cristóbal

| Fechas | Actividad |
|----------------------|---|
| 1528 (aproximado) | Cráter central; erupción explosiva (intensidad moderada a grande) |
| 1618? | Erupción explosiva? |
| 1680 | Erupción explosiva (intensidad moderada?) |
| 1684 (julio) | Cráter central; erupción explosiva (stromboliana) de intensidad moderada |
| 1685 (agosto) | Cráter central; erupción explosiva (stromboliana) de intensidad moderada |
| 1971 (3 may – 5 jul) | Cráter central; pequeñas erupciones de ceniza; explosiones freáticas |
| 1976 (9 – 16 mar) | Cráter central; erupción explosiva de intensidad baja |
| 1976 (29 agosto) | Cráter central; erupción explosiva de intensidad baja |
| 1977 (16 octubre) | Cráter central; pequeña erupción de ceniza |
| 1985 (2 septiembre) | Cráter central; posible explosión freática |
| 1987 (noviembre) | Posible erupción explosiva |
| 1997 (mayo) | Erupciones de ceniza, con columna hasta 2,500 m; daños a cultivos |
| 1998-2000 | Cráter central; pequeñas erupciones ocasionales de ceniza; lahares resultando de movilización de ceniza por lluvias |

Fuentes: Simkin et al. (1994), Hazlett (1977); Smithsonian Institution (2000)

Tabla III-3.2: Probabilidad de Erupción del Volcán San Cristóbal

| Intervalo | Probabilidad de Erupción |
|------------------|---------------------------------|
| 30 días | 0.2% |
| 6 meses | 0.9% |
| 1 año | 1.9% |
| 2 años | 3.7% |
| 5 años | 9.1% |
| 10 años | 17.3% |
| 15 años | 24.9% |
| 20 años | 31.7% |
| 25 años | 37.9% |
| 30 años | 43.5% |

**Tabla III-6.1: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 2),
Area de Volcán Casita-San Cristóbal**

| Parámetros Fijos | Zona del Volcán Casita | | |
|--|--|--------------------|----------------------------|
| | Capacidad volumétrica de calor (kJ/m ³ /°C) | 2,280 | |
| Temperatura de eyección (°C) | 30 | | |
| Factor de utilización | 45% | | |
| Factor de capacidad | 90% | | |
| Vida de operación de la planta (años) | 30 | | |
| Parámetros Inciertos | Mínimo | Más Probable | Máximo |
| Area del yacimiento (km ²) | 4.00 | 10.00 | 24.00 |
| Espesor del yacimiento (m) | 1,000 | | 3,000 |
| Porosidad de la roca | 3.0% | | 7.0% |
| Temperatura promedio (°C) | 200.0 | | 260.0 |
| Factor de recuperación | 10.0% | | 20.0% |
| Resumen de Resultados | Capacidad en MW | MW/km ² | Eficiencia de Recuperación |
| Promedio | 224.4 | 17.8 | 1.57% |
| Desviación Estándar | 119.8 | 6.8 | 0.32% |
| 25 percentil | 137.5 | 12.4 | 1.24% |
| 50 percentil | 197.6 | 16.8 | 1.50% |
| 75 percentil | 243.2 | 21.8 | 1.77% |

**Tabla III-6.2: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3),
Área de Volcán Casita-San Cristóbal**

| | | Complejo de Casita-San Cristóbal | |
|--|--------------------|---|---------------------|
| Parámetros Fijos | | | |
| Conductividad termal (kJ/m/s/°C) | | 0.0025 | |
| Calor específico de la roca (kJ/kg/°C) | | 1.0 | |
| Densidad de la roca (kg/m ³) | | 2,700 | |
| Porosidad de la roca | | 3.0% | |
| Calor de solidificación (kJ/kg/°C) | | 300 | |
| Gradiente inicial de temperatura (°C/km) | | 50 | |
| Límite de profundidad (km) | | 4.0 | |
| Intervalo de profundidad (m) | | 100 | |
| Temperatura de eyección (°C) | | 30 | |
| Factor de utilización | | 45% | |
| Temperatura límite (°C) | | 200 | |
| Parámetros Inciertos | | Mínimo | Máximo |
| Volume de magma (km ³) | | 110 | 220 |
| Profundidad de magma (km) | | 3 | 7 |
| Edad de magma (años) | | 30,000 | 70,000 |
| Temperatura de magma (°C) | | 900 | 1,100 |
| Factor de recuperación | | 5% | 10% |
| Resumen de Resultados | | | |
| Total de Reservas (MW) | | 676 | |
| | MW/km ² | Medio | Desviación Estándar |
| | Distancia = 0.0 km | 19.8 | 18.1 |
| | 0.5 km | 19.4 | 17.5 |
| | 1.0 km | 18.4 | 16.7 |
| | 2.0 km | 14.7 | 13.0 |
| | 3.0 km | 9.8 | 8.3 |
| | 5.0 km | 2.5 | 1.9 |

Tabla III-7.1: Población en el Area Volcán Casita - San Cristóbal y Alrededores

| Localidad | Población Total | Población por Rango de Edades (años) | | | |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 0-4 | 5-14 | 15-49 | >50 |
| Municipio de Chinandega | 117,037 | 18,161 | 32,726 | 54,578 | 11,572 |
| Zona Urbana | 82,047 | 11,890 | 22,139 | 39,601 | 8,417 |
| Comarca Hermanos García | 7,114 | 1,379 | 2,228 | 2,938 | 569 |
| Comarca La Grieta | 1,097 | 234 | 352 | 442 | 69 |
| Comarca Rancherías | 2,355 | 460 | 716 | 976 | 203 |
| Comarca la Grecia | 1,093 | 188 | 326 | 479 | 100 |
| Comarca La Mora | 5,446 | 887 | 1,604 | 2,388 | 567 |
| Comarca San Benito | 11,522 | 1,976 | 3,483 | 5,018 | 1,045 |
| Comarca El Raizal | 2,244 | 423 | 668 | 950 | 203 |
| Comarca El Trapichón | 2,400 | 434 | 734 | 980 | 252 |
| Municipio de Chichigalpa | 405 | 73 | 125 | 165 | 42 |
| Zona Urbana | 24,410 | 3,520 | 6,759 | 11,467 | 2,664 |
| Comarca Pellizco Occidental | 2,921 | 499 | 897 | 1,228 | 297 |
| Comarca Sirama | 1,710 | 248 | 550 | 734 | 178 |
| Comarca Cosmapa | 1,425 | 236 | 403 | 629 | 157 |
| Comarca Guanacastal | 1,945 | 356 | 604 | 794 | 191 |
| Comarca Cuitanca Norte | 2,259 | 447 | 663 | 969 | 180 |
| Comarca El Polvón | 900 | 140 | 260 | 416 | 84 |
| Comarca Mocerón | 6,045 | 849 | 1,525 | 3,019 | 652 |
| Municipio de Posoltega | 15,331 | 2,604 | 4,650 | 6,594 | 1,483 |
| Zona Urbana | 2,183 | 304 | 633 | 973 | 273 |
| Comarca José del Tololar | 2,172 | 366 | 626 | 985 | 195 |
| Comarca El Ojochal | 2,505 | 471 | 803 | 1,018 | 213 |
| Comarca Los Zanjones | 3,684 | 624 | 1,093 | 1,603 | 364 |
| Comarca Juan XXIII | 3,690 | 621 | 1,165 | 1,154 | 350 |
| Comarca Monte San Juan | 643 | 128 | 190 | 271 | 54 |

Fuente: INEC, Censo de Poblacion 1995

Tabla III-7.2: Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas Más Cercanas al Area de Volcán Casita – San Cristóbal

| Mes | Estación: Chinandega Epoca: 1966-1999 | | | | Estación: Leon Epoca: 1980-1999 | | | |
|-----|--|------|-------|--------|------------------------------------|------|-------|--------|
| | Velocidad (m/s) | | | Direc. | Velocidad (m/s) | | | Direc. |
| | Max. | Min. | Media | Media | Max. | Min. | Media | Media |
| Ene | 3.8 | 0.4 | 1.9 | N | 4.2 | 0.0 | 2.3 | E |
| Feb | 4.0 | 1.1 | 2.2 | SW | 5.0 | 0.1 | 2.6 | NE |
| Mar | 6.6 | 0.9 | 2.3 | SW | 4.7 | 0.0 | 2.5 | E |
| Abr | 3.5 | 0.7 | 1.9 | SW | 5.7 | 0.0 | 2.2 | E |
| May | 3.1 | 0.5 | 1.7 | SW | 4.3 | 0.1 | 2.0 | E |
| Jun | 2.9 | 0.3 | 1.3 | N | 3.7 | 0.0 | 1.7 | SE |
| Jul | 7.6 | 0.5 | 1.6 | E | 4.8 | 0.0 | 2.0 | E |
| Ago | 3.6 | 0.3 | 1.4 | N | 3.3 | 0.0 | 1.7 | E |
| Sep | 2.8 | 0.2 | 1.3 | N | 4.8 | 0.0 | 1.6 | SE |
| Oct | 2.7 | 0.2 | 1.2 | N | 4.7 | 0.0 | 1.7 | SE |
| Nov | 2.6 | 0.3 | 1.2 | N | 3.5 | 0.2 | 1.4 | NE |
| Dic | 3.1 | 0.5 | 1.6 | N | 3.5 | 0.0 | 1.9 | NE |
| Año | 3.2 | 0.6 | 1.6 | N | 3.7 | 0.3 | 2.0 | E |

Datos de INETER (2000)

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|------------------|---|-------------------|
| Acanthaceae | <i>Aphelandra scabra</i> (Schlecht. & Cham.) | Papagayo |
| | <i>Dyschoriste Skutchii</i> Leonard | |
| | <i>Aphelandra deppeana</i> (Schl. & Cham.) | |
| | <i>Blechum pyramidatum</i> (Lam.) Urb. | |
| | <i>Aphelandra</i> sp. | |
| | <i>Elytraria imbricata</i> (Vahl) Persoon | |
| | <i>Elytraria</i> sp | |
| Adiantaceae | <i>Adiantum capillus-veneris</i> | |
| | <i>Adiantum trapeziforme</i> | |
| | <i>Adiantum</i> Sp. | |
| Aizoaceae | <i>Mollugo verticillata</i> L. | |
| Amaranthaceae | <i>Amaranthus spinosus</i> L. | Bledo |
| | <i>Iresine diffusa</i> Humb. & Bonpl. | |
| Anacardiaceae | <i>Mangifera indica</i> L. | Mango |
| | <i>Spondias mombin</i> L. | Jocote Jobo |
| | <i>Spondias purpurea</i> L. | Jocote Garrobo |
| Annonaceae | <i>Annona reticulata</i> L. | Anona |
| | <i>Annona squamosa</i> L. | Anona |
| | <i>Sapranthus nicaraguensis</i> Seem. | Palanco/A |
| Apiaceae | <i>spananthe paniculata</i> Jacq. | |
| Apocynaceae | <i>Plumeria rubra</i> L. | Sacuanjoche |
| | <i>Nerium oleander</i> L. | |
| | <i>Rauvolfia tetraphylla</i> L. | Comida De Culebra |
| | <i>Stemmadenia obovata</i> (Hook. & Arn) K. Schum | Huevo De Chancho |
| | <i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) Schummann. | |
| | <i>Uruchitus andrienzii</i> | |
| Araceae | <i>Xanthosoma mexicanum</i> Liebt. | |
| Araliaceae | <i>Sciadodendron excelsum</i> Griseb | Lagarto |
| Areaceae | <i>Acrocomia vinifera</i> Oerst. | Coyol |
| | <i>Sabal mexicana</i> | Palma Pateña |
| Aristolochiaceae | <i>Aristolochia chapmaniana</i> | |
| | <i>Aristolochia maxima</i> | |
| Artocarpaceae | <i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg | Fruta De Pan |
| | <i>Gonolobus barbatus</i> HBK | |
| | <i>Macrocepis pleistantha</i> J. Sw. | |
| | <i>Matelea aspera</i> (Mill.) Stevens. | |
| Asteraceae | <i>Raccharis pendulata</i> Mill. | |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|--|---|--------------------|
| Asteraceae | <i>Cirsium mexicanum</i> DC | |
| | <i>Elephantopus mollis</i> HBK | |
| | <i>Guapaliium arvenantum</i> DC | |
| | <i>Montanoa hibiscifolia</i> (Benth.) Standl | |
| | <i>Stevia triflora</i> DC | |
| | <i>Tagetes microglossa</i> Benth | |
| | <i>Verbesina turbacensis</i> HBK | |
| | <i>Argeratum conyzoides</i> L. | Miona |
| | <i>Baltimora recta</i> L. | Flor Amarilla |
| | <i>Bidens bipnata</i> | Amor Seco |
| | <i>Bidens pilosa</i> L. | Amor Seco |
| | <i>Delilia biflora</i> (L.) Kuntze | |
| | <i>Erechtites hieracifolia</i> (L.) Raf. ex. DC | |
| | <i>Montanoa</i> sp. | |
| | <i>Conyzia</i> sp. | |
| | <i>Lagascea</i> sp. | |
| | <i>Tagetes</i> sp. | San Diego De Monte |
| | <i>Sonchus</i> sp. | |
| | <i>Emilia sochifolia</i> (L.) DC | Brochitas Rojas |
| | <i>Eupatorium</i> sp. | |
| <i>Melanipodium divaricatum</i> (Rich.) DC | Me Caso No Me Caso | |
| <i>Stevia triflora</i> DC | | |
| <i>Synedrella nodiflora</i> (L.) Gaertn. | | |
| <i>Tagetes subulata</i> Cervantes | Flor De Muerto | |
| <i>Tithonia rotundifolia</i> (Mill.) Blake | Jalacate De Monte | |
| <i>Tridax procumbens</i> L. | Botoncillo | |
| <i>Eclipta alba</i> (L.) Hassk. | | |
| <i>Ageratum conyzoides</i> L. | Azulita, Celestita | |
| Begoniaceae | <i>Begonia plebeja</i> Liemb. | Begonia |
| | <i>Schistophragnia pusilla</i> Benth. | |
| Bignoniaceae | <i>Amphilophium paniculatum</i> (L.) HBK | Pico De Pato |
| | <i>Crescentia alata</i> HBK | Jicaro Sabanero |
| | <i>Parmeniera aculeata</i> (HBK.) L. Wms | |
| | <i>Tabebuia ochracea</i> A. Gentry | Cortez |
| | <i>Cydista diversifolia</i> | Ahosmeca |
| | <i>Godmania aesculifolia</i> (HBK) Standl. | |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMUN |
|----------------|---|-----------------|
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia rosea</i> (Velloz.) DC. | Roble Macuelizo |
| | <i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex HBK | Sardinillo |
| | <i>Arrabidaea parviflora</i> (Schlecht.) Sandw | |
| Bixaceae | <i>Bixa orellana</i> L. | Achiote |
| Bombacaceae | <i>Bombacopsis quinatum</i> (Jacq.) Dugand | Pochote |
| | <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth | Ceiba |
| Boraginaceae | <i>Tournefortia volubilis</i> L. | |
| | <i>Tournefortia hirsutissima</i> L. | |
| | <i>Tournefortia maculata</i> Jacq. | |
| | <i>Cordia inermis</i> (Mill) I.M. Johnston | Achiopaste |
| | <i>Heliotropium</i> sp. | Cola De Ajacran |
| | <i>Cordia alliodora</i> (R. & P.) Oken | Laurel Macho |
| | <i>Cordia collococca</i> L. | Muñeco |
| | <i>Cordia dentata</i> Poir. | Tiguilote |
| | <i>Cordia panamensis</i> Riley | |
| | <i>Cordia salvadorensis</i> Standl. | |
| Bromeliaceae | <i>Tillandsia</i> sp | Gallito |
| | <i>Bromelia karatas</i> | Piñuela |
| | <i>Tillandsia usneoides</i> | Barba De Viejo |
| Burseraceae | <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. | Jijocuaño |
| Caesalpinaceae | <i>Bauhinia paulstia</i> Pers. | Uña De Gato |
| | <i>Cassia emarginata</i> L. | Vainillo |
| | <i>Cassia spectabilis</i> DC. | |
| | <i>Delonix regia</i> (Borger) Raf. | Malinche |
| | <i>Hymenaea courbaril</i> L. | Guapinol |
| | <i>Chamaecrista hispida</i> (Vahl.) Irwin & Barneby | |
| | <i>Cassia stenocarpa</i> Vog. | |
| | <i>Senna obtusifolia</i> | Frijolillo |
| | <i>Cassia grandis</i> L. | Carao |
| | <i>Ardisia revoluta</i> | Uva De Montaña |
| Caesalpinaceae | <i>Chamaecybe</i> sp. | Tamarindillo |
| Cannaceae | <i>Canna tuerckheimii</i> Kraenzlin | |
| Capparaceae | <i>Capparis indica</i> (L.) Fawc. y Rendle | Olivo |
| | <i>Gleonia pilosa</i> Benth. | |
| | <i>Gleonia parvisepala</i> Heilborn | |
| | <i>Gleonia</i> sp. | |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|------------------|---|--|
| Caprifoliaceae | <i>Sambucus mexicana</i> Muell. Arg. | Sauco |
| Caricaceae | <i>Carica papaya</i> | Papaya De Monte |
| Caryophyllaceae | <i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd. | Oreja De Chancho |
| Cecropiaceae | <i>Cecropia peltata</i> (L.) | Guarumo |
| Clethraceae | <i>Clethra mexicana</i> A. DC | |
| Clusiaceae | <i>Mammea americana</i> L. | Mamey |
| | <i>Calophyllum brasiliense</i> (Camb. Var. Rekoistand.) | Maria |
| Cochlospermaceae | <i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng. | Poro-Poro |
| Combretaceae | <i>Terminalia anazonica</i> (Gmel) Exell E. Pulle. | |
| | <i>Terminalia oblonga</i> (R. & P.) Steud. | Guayabón, Guayabillo |
| | <i>combretum laxum</i> | Papamiel |
| Commelinaceae | <i>Commelina diffusa</i> Burn. f. | Conchita |
| | <i>Commelina texcocana</i> | |
| | <i>Dichorisandra hexandra</i> (Aubl.) Standl. | |
| | <i>Tinantia erecta</i> (Jacq.) Schlecht. | |
| Convolvulaceae | <i>Ipomoea hirta</i> | Campanitas |
| | <i>Ipomoea congesta</i> (Burn) Merrill | Campanitas |
| | <i>Ipomoea minutiflora</i> (Mart. & Gal.) House | Campanitas |
| | <i>Ipomoea trifida</i> (HBK) Don | Campanitas |
| | <i>Merremia quinquefolia</i> | Campanitas |
| | <i>Operculina pteripes</i> (Don) O'Donnell | |
| | <i>Ipomoea squamosa</i> Choisy | |
| | <i>Evolvulus alsinoides</i> (L.) L. | |
| | <i>Ipomoea pes. caprae</i> (L.) Sweet | Jitamo-Campanita De Playa, Bejuco De Playa |
| | <i>Operculina</i> sp. | |
| Cucurbitaceae | <i>Polyclanthra cucumerina</i> Bertol. | |
| | <i>Rytidoscyllis gracilis</i> (Hook. & Arn.) | Anillito |
| | <i>Rytidoscyllis ciliata</i> (Hook. & Arn.) | Huevo De Gato |
| Cyperaceae | <i>Bulboscyllis juncoides</i> (Vahl.) Kukenth. | |
| | <i>Cyperus amabilis</i> Vahl. | |
| | <i>Cyperus diffusus</i> Vahl. | |
| | <i>Cyperus luzulae</i> (L.) Retzius. | |
| | <i>Cyperus odoratus</i> L. | |
| | <i>Cyperus tenuis</i> Swartz. | |
| | <i>Scleria hirtella</i> Swartz. | |
| Chrysobalanaceae | <i>Licania arborea</i> Seem. | Hoja Tostada |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMUN |
|----------------|--|-------------------------|
| Dilleniaceae | <i>Tetracera volubilis</i> L. | |
| Ebenaceae | <i>Diospyros nicaraguensis</i> Standl. | Chocoyo |
| Elaeocarpaceae | <i>Muntingia calabura</i> (Swartz) DC | Capulin |
| Euphorbiaceae | <i>Jatropha curcas</i> L. | |
| | <i>Sapium macrocarpum</i> Muell. Arg. | Leche Sapo |
| Euphorbiaceae | <i>Margaritaria nobilis</i> L. f. | |
| | <i>Acalypha garnieri</i> (Standl. & Steyerl.) | |
| | <i>Acalypha polytachya</i> Jacq. | |
| | <i>Acalypha</i> sp. | |
| | <i>Chamaesyce dioeca</i> (HBK) Millsp. | Golondrina |
| | <i>Chamaesyce hirta</i> (L.) Millsp. | Golondrina |
| | <i>Euphorbia hastata</i> Jacq. | |
| | <i>Ricinus communis</i> L. | Higuerilla |
| | <i>Dalechampia scandens</i> (L.) | Ortiguilla, Pringa Moza |
| | <i>Sapium macrocarpum</i> Muell. Arg. | Lechecuabo |
| Fabaceae | <i>Erythrina berteriana</i> Urbans | Elequeme |
| | <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp. | Madero Negro |
| | <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> (Donn. Smith) | Chaperno Negro |
| | <i>Lonchocarpus phlebifolius</i> Standl & Steyerl. | Pellejo De Toro/Cincho |
| | <i>Platymiscium pinnatum</i> | Coyote |
| | <i>Crotalaria quercetorum</i> Brand. | |
| | <i>Desmodium nicaraguensis</i> Oersted. | |
| | <i>Eriosema diffusum</i> (HBK) G. Don | |
| | <i>Indigofera suffruticosa</i> Mill. | Jiquelite |
| | <i>Indigofera</i> sp. | |
| | <i>Galactia acapulcensis</i> | Frijolillo |
| | <i>Eriosema</i> sp. | |
| | <i>Scylosanthes humilis</i> | |
| | <i>Aeschynomene americana</i> L. | |
| | <i>Crotalaria sagittalis</i> L. | Chin Chin |
| | <i>Desmodium tortuosum</i> | |
| | <i>Desmodium</i> sp. | |
| | <i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers. | Treucilla |
| | <i>Calopogonium mucunoides</i> Desv. | Bejuco Paeton |
| | <i>Centrosema sagittatum</i> (H. & B.) Brand & Riley | Pipirigallo |
| | <i>Galactia striata</i> (Jacq.) Urban | |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMUN |
|-----------------|---|----------------------------|
| Fabaceae | <i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC. | Pica Pica |
| | <i>Pachyrrhizus erosus</i> (L.) Urban | Jicama (Silvestre O Monte) |
| | <i>Pachyrrhizus</i> sp. | |
| | <i>Crotalaria retusa</i> | Chischil |
| | <i>Dalbergia retusa</i> (Hemsl) | Granadillo, Nambar |
| Fabaceae | <i>Galactia</i> sp. | |
| | <i>Mucuna</i> sp. | Ojo De Buey |
| | <i>Teramnus uncinatus</i> | Frijolillo |
| Flacourtiaceae | <i>Casearia corymbosa</i> H.B.K | Frutillo Cafe De Monte |
| Gentianaceae | <i>Centaurium quitense</i> (HBK) B. L. Robins. | |
| Gesneriaceae | <i>Achimenes longiflora</i> DC | Revienta Caballos |
| Hernandiaceae | <i>Gyrocarpus americanus</i> Jacq. | Talalate |
| Hidrophyllaceae | <i>Wigandia urens</i> (R. & P.) HBK | Chichicaste |
| Lamiaceae | <i>Hyptis conferta</i> Pohl. ex Benth. | |
| | <i>Hyptis oblongifolia</i> Benth. | |
| | <i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Briq. | |
| | <i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit. | Chan |
| | <i>Hyptis savannarum</i> Briq. | |
| Liliaceae | <i>Bomarea edulis</i> (Tussac.) Herbert. | |
| | <i>Echandia macrophylla</i> (Rose ex Weth.) | |
| | <i>Schoenocaulon officinalis</i> | |
| Lobeliaceae | <i>Lobelia laxiflora</i> HBK | Reina De La Montaña |
| Loranthaceae | <i>Phoradendron robustissimum</i> Eich. | |
| Malpighiaceae | <i>Bunchosia pilosa</i> HBK | |
| | <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) HBK | Nancite |
| | <i>Guadichaudia albida</i> C. & S. | |
| | <i>Stigmaphyllon humboldtiana</i> | |
| | <i>Banisteria</i> sp. | |
| Malvaceae | <i>Hibiscus radiatus</i> Cav. | |
| | <i>Malva viscus arboreus</i> Cav. | Quesillo-Amapola |
| | <i>Sida acuta</i> Burm. f. | Escoha Lisa |
| | <i>Sida rhombifolia</i> L. | |
| | <i>Abutilon</i> sp. | |
| Marantaceae | <i>Calathea macrosepala</i> Schum. | |
| Melastomataceae | <i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D Don | |
| | <i>Heterocentron subtriplinervium</i> (Link. & Otto) A. Braun & | |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|-----------------|--|--|
| Melastomataceae | <i>Tibouchina longifolia</i> (Vahl.) Baill. ex Cogn. <i>Schwackaea cupheoides</i> (Benth.) Cogn./ <i>Conostegia</i> sp. | Capirotes Cedro Real |
| Meliaceae | <i>Cedrela odorata</i> L. <i>Guarea excelsa</i> HBK | Tololo |
| Meliaceae | <i>Guarea glabra</i> Vahl. <i>Melia azedarach</i> L. <i>Trichilia americana</i> (sesse + mocino) pennington <i>Trichilia hirta</i> L. <i>Trichilia martiana</i> C. DC. <i>Swietenia humilis</i> Zucc. | Matapiojo Chichiclas Caoba |
| Menispermaceae | <i>Cissampelos pareira</i> L. | |
| Mimosaceae | <i>Acacia</i> sp. <i>Albizzia caribaea</i> (Urban) B. & R. <i>Albizzia guachepele</i> (HBK) Dugand <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. <i>Inga</i> spp. <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit <i>Lysiloma</i> spp. <i>Lysiloma auritum</i> (Schlecht.) Benth. <i>Calliandra capillata</i> Benth. <i>Mimosa albida</i> Humb. & Bonpl. <i>Mimosa pudica</i> L. <i>Pithecolobium saman</i> (Jacq.) Benth. | Guanacaste Blanco Gavilan Guanacaste Negro Cuajiniquil, Guabo Leucaena Quebracho Quebracho Zarza Común Dormilona Genizaro |
| Moraceae | <i>Brasium alicastrum</i> Swartz <i>Castilla elastica</i> Cerv. <i>Chlorophora tinctoria</i> (L.) Gaud <i>Ficus carica</i> L. <i>Ficus lapahtifolia</i> (Liebm.) Miq. <i>Ficus maxima</i> P. Mill. <i>Ficus oblongifolia</i> <i>Heliconia bihai</i> L. | Ojoche Palo De Hule Mora Higo Pico De Pajaro |
| Myristicaceae | <i>Myrica cerifera</i> L. | |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|----------------|--|------------------------------|
| Myrsinaceae | <i>Ardisia revoluta</i> HBK | Palo De Uva |
| Myrtaceae | <i>Eugenia hondurensis</i> A. Molina | Guayavita |
| | <i>Psidium guineense</i> Sw. | Guayavita |
| Nyctaginaceae | <i>Psidium sartorianum</i> | Arrayán |
| | <i>Pisonia macranthocarpa</i> (Donn. Smith) | Espino Negro |
| | <i>Neea psychotrioides</i> Donn. Smith | Brujo |
| | <i>Mirabilis jalapa</i> J. | Maravilla |
| Orchidaceae | <i>Epidendrum ciliare</i> L. | |
| | <i>Goovenia utriculata</i> (Sw.) Lindl. | |
| | <i>Pleurothallis quadrifida</i> | |
| | <i>Pleurothallis sclerophylla</i> Lindl. | |
| | <i>Goovenia sp</i> | |
| Osmundaceae | <i>Lygodium vestutum</i> | Helecho Trepador |
| Oxalidaceae | <i>Oxalis frutescens</i> L. | |
| Papaveraceae | <i>Bocconia arborea</i> Wats. | |
| | <i>Argemone mexicana</i> L. | Cardosanto |
| | <i>Bocconia sp.</i> | |
| Passifloraceae | <i>Passiflora filipes</i> Benth. | |
| Phytolacaceae | <i>Petiveria alliacea</i> L. | |
| | <i>Phytolacca icosandra</i> L. | |
| | <i>Phytolacca rivinoides</i> (Kunth. y Bouche) | |
| | <i>Rivinia humilis</i> L. | Coralillo, Comida De Culebra |
| Pinaceae | <i>Pinus oocarpa</i> Schiede | Pino |
| Piperaceae | <i>Peperomia pellucida</i> (L.) HBK | Frescura |
| | <i>Piper amalago</i> L. | |
| | <i>Piper arboreum</i> | |
| | <i>Piper jaquemontianum</i> Kunth. | |
| | <i>Piper marginatum</i> Jacq. | |
| | <i>Piper pseudo-fuligineum</i> C.DC | |
| | <i>Piper tuberculatum</i> Jacq. | |
| | <i>Piper umbellatum</i> L. | |
| | <i>Piper variabile</i> C.D | |
| | <i>Piper auritum</i> | Anisillo |
| Poaceae | <i>Aristida ternipes</i> Cav. | |
| | <i>Arundinella deppeana</i> Nees. | |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|---------------|--|----------------------------------|
| Poaceae | <i>Brachiaria fasciculata</i> | Mozote |
| | <i>Cenchrus brownii</i> Roem. & Schult. | Pata De Gallina |
| | <i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. | |
| | <i>Hackelochloa granularis</i> (L.) Kuntze | Jaragua, Zacate Jaragua |
| | <i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees.) Stapf. | |
| Poaceae | <i>Lasiacis procerrima</i> (Hack.) Hitchc. | |
| | <i>Lasiacis ruscifolia</i> (HBK) Hitchc. | |
| | <i>Leptochloa filiformis</i> (Lam.) Beauv. | Grana De Conejo, Zacate Conchita |
| | <i>Oplismenus burmannii</i> Beauv. | |
| | <i>Panicum hirticaule</i> Presl. | |
| | <i>Paspalum centrale</i> | |
| | <i>Paspalum plicatulum</i> Michx. | |
| | <i>Paspalum</i> sp. | |
| | <i>Pennisetum complanatum</i> (Nees.) Henzl. | Zacate |
| | <i>Reynchelytrum roseum</i> (Nees.) Steud. & Hubb. | |
| | <i>Setaria geniculata</i> (Lam.) Beauv. | |
| | <i>Setaria liebmannii</i> Fourn. | |
| | <i>Tripsacum</i> sp. | |
| | <i>Chusquea</i> sp. | |
| | <i>Bouteloua filiformis</i> . | Zacate |
| | <i>Stenotaphrum</i> sp ? | Zacate San Agustín |
| | <i>Paspalum notatum</i> | Zacate Nacional |
| | <i>Melinis minutiflora</i> | Zacate Melao |
| Polygalaceae | <i>Polygala gluchidiata</i> HBK | |
| | <i>Polygala gracillima</i> Wats. | |
| | <i>Polygala longicaulis</i> HBK | |
| | <i>Polygala monticola</i> | |
| | <i>Pteridium aquilinum</i> | Helecho Alambre |
| | <i>Polypodium</i> sp. | Helecho, Flotante |
| Portulacaceae | <i>Talinum paniculatum</i> | |
| Pteridaceae | <i>Peltapteris</i> sp. | |
| | <i>Pteridium aquilium</i> | |
| Pteridophyta | <i>Pityrogramma calomelanos</i> | Helecho |
| Rhamnaceae | <i>Karwinskia calderoni</i> Standl. | Guilguiste |
| | <i>Zizyphus guatemalensis</i> Hemsl. | Nanciguiste |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|------------------|--|---------------------|
| Rhamnaceae | <i>Celtis iguanaea</i> | |
| | <i>Govania lupoloides</i> | |
| Rosaceae | <i>Rubus cf. adenotrichus</i> Schlecht. | Zarzamora |
| Rubiaceae | <i>Allophylum occidentale</i> (Sw.) Radlk. | Huesito |
| | <i>Calycophyllum candidissimum</i> (Vahl) DC. | Madroño |
| | <i>Hamelia patens</i> (Jacq.) | Canilla De Venado |
| Rubiaceae | <i>Cupania dentata</i> DC. | Cola De Pava |
| | <i>Genipa americana</i> L. | Jagua |
| | <i>Borreria densiflora</i> DC. | |
| | <i>Borreria laevis</i> (Lam.) Griseb. | |
| | <i>Borreria suaveolens</i> Meyer | |
| | <i>Borreria verticillata</i> (L.G.F.W.) Meyer | |
| | <i>Borreria</i> sp. | |
| | <i>Diodia rigida</i> (Willd.) S. & G. | |
| | <i>Mitrocarpus hirtus</i> (L.) DC. | |
| | <i>Mitrocarpus</i> sp. | |
| | <i>Richardia scabra</i> L. | Oreja De Raton |
| | <i>Bouvardia ternu</i> Cav. Schl. | |
| | <i>Hamelia patens</i> Jacq. | |
| | <i>Psychotria erythrocarpa</i> | |
| | <i>Randia armata</i> | Comida De Lora |
| | <i>Psychotria pubescens</i> Swartz. | |
| | <i>Diodia</i> sp. | |
| | <i>Psychotria trichotoma</i> M.E.C. | |
| Sapindaceae | <i>Thouinidium decandrum</i> (Humb. y Bonpl.) Radlk. | Melero |
| | <i>Cupania</i> sp. | Cola De Paja, Piojo |
| Sapotaceae | <i>Mastichodendron capiri</i> Var. <i>tempisque</i> (Pittier) Cronq. | Tempisque |
| Scrophulariaceae | <i>Buchnera pusilla</i> HBK. | |
| | <i>Russelia sarmentosa</i> Jacq. | Lluvia De Coral |
| | <i>Scoparia dulcis</i> L. | Esencia Negra |
| | <i>Bacopa procumbens</i> (Mill.) Grenn. | |
| | <i>Buchnera pilosa</i> Benth. | |
| | <i>Castilleja arvensis</i> (Schlecht. & Cham.) | |
| | <i>Lamprolaxia viscosa</i> HBK. | |
| | <i>castilleja</i> sp. | |
| Schizaceae | <i>Anemia</i> sp. | |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|------------------|---|---|
| Selaginellaceae | <i>Selaginella</i> sp | |
| Simaroubaceae | <i>Alvaradoa amorphoides</i> Liemb. <i>Simarouba glauca</i> DC. | Zorrillo Acetuno- Talchocote |
| Solanaceae | <i>Solanum erianthum</i> D. Don. <i>Physalis lagascae</i> R. & S. <i>Solanum deflexum</i> Greenm. | Lavaplato |
| Solanaceae | <i>Acrístus arborescens</i> (L.) Schl <i>Capsicum annum</i> L. <i>Solanum nigrescens</i> Mart. E. Gal <i>Solanum schlechtendalianum</i> Walp. <i>Solanum corvum</i> Sw. <i>Cestrum</i> sp. | Chile Montero |
| Sterculiaceae | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. <i>Bytheria aculeata</i> Jacq. <i>Byttneria</i> <i>Waltheria indica</i> L. <i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) Karst. <i>Waltheria americana</i> | Guácimo De Ternero Bebechicha Mozote De Caballo Panamá Escoba Amarilla, Velluda |
| Thelypteridaceae | <i>Thelypteris dentata</i> | |
| Tiliaceae | <i>Apeiba tibourhou</i> Aubl. <i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz <i>Luhca candida</i> (T.C.) Mart. S Zucc <i>Corchorus orinocensis</i> HBK | Peine De Mico, Burillo Majagua Guacimo De Molenillo |
| Turneraceae | <i>Turnera ulmifolia</i> L. | Oreja De Coyote |
| Ulmaceae | <i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg. <i>Trania micrantha</i> (L.) Blume | Cagalera Capulin Negro, C. Macho |
| Urticaceae | <i>Myriocarpa longipes</i> Liebm. <i>Urera alceifolia</i> Gaud. <i>Urera baccifera</i> (L.) Gaud. <i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Griseb. <i>Myriocarpa yzabalensis</i> | Chichicaston |
| Valerianaceae | <i>Valeriana urticaefolia</i> | |
| Verbenaceae | <i>Priva lappulacea</i> (L.) Pers. <i>Aegiphila magnifica</i> Mold. <i>Aegiphila martinicensis</i> Jacq. <i>Clerodendron</i> sp. <i>Lantana camara</i> L. | Pega Pega Cuaquito, Cinco Negritos |

Tabla III-7.3: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN |
|----------------|---|---------------------------|
| Verbenaceae | <i>Lantana camara</i> L. | Cuaquito, Cinco Negritos |
| | <i>Lippia cardiostegia</i> Benth. | Tacote Blanco, Juanislama |
| Violaceae | <i>Hybanthus attenuatus</i> (H. & B.) G. K. Schulze | Cucharita |
| Vitaceae | <i>Cissus rhombifolia</i> Vahl | |
| | <i>Cissus sicyoides</i> L. | Quema Mano |
| Zygophyllaceae | <i>Kallstroemia maxima</i> (L.) Hook. & Arn. | Verdolagon |

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

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN | Grado de Amenaza (Apéndice CITES) |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| REPTILES | | | |
| Boidae | <i>Boa annulata</i> | Boa | II |
| Colubridae | <i>Oxibelis aeneus</i> | Chocoya-bejuquilla | |
| | <i>Erythrolamprus aesculapii</i> | Falso coral | |
| Crotalidae | <i>Spilotes pullatus</i> | Mica | |
| | <i>Agkistrodon bilineatus</i> | Castellana | |
| | <i>Crotalus durissus</i> | Cascabel | III |
| Iguanidae | <i>Ctenosaura similis</i> | Garrobo negro | |
| | <i>Iguana iguana</i> | Iguana verde | II |
| | <i>Sceloporus variabilis</i> | Lagartija | |
| AVES | | | |
| Accipitridae | <i>Circus cyaneus</i> | Aguilucho | II |
| | <i>Buteo jamaicensis</i> | Gavilan | II |
| | <i>Buteo sp.</i> | Gavilán | II |
| Caprimulgidae | <i>Chordeiles minor</i> | Pocoyo | |
| Cathartidae | <i>Carhartus aura</i> | Sonchiche | |
| | <i>Coragyps atratus</i> | Zopilote | |
| Columbidae | <i>Columbina talpacoti</i> | San Nicolas | |
| | <i>Leptotilla verreauxi</i> | Paloma frente blanca | |
| | <i>Columbina inca</i> | Tortolita | |
| | <i>Zenaida asiatica</i> | Palomas alas blancas | |
| Corvidae | <i>Calocitta formosa</i> | Urraca | |
| Cotingidae | <i>Tityra semifasciata</i> | | |
| Craidae | <i>Ortalis vetula</i> | Chachalaca | |
| Cuculidae | <i>Crotaphaga sulcirostris</i> | Pijul | |
| | <i>Piaya cayana</i> | Alma de perro-coba | |
| | <i>Coccyzus sp</i> | Pajaro león | |
| Falconidae | <i>Herpethoherus cassinians</i> | Guás (búlico), guaco | II |
| Fringillidae | <i>Vulturnia jacarina</i> | Volantinero | |
| | <i>Aimophila ruficauda</i> | Gorrion | |
| Icteridae | <i>Icterus schlatari</i> | Chichiltote | |
| | <i>Icterus sp</i> | Chichiltote | |
| | <i>Quiscalus mexicanus</i> | Zanate | |
| Momotidae | <i>Eumomota superciliosa</i> | Guardabarranco | |
| Parulidae | <i>Vermivora sp</i> | Chichis | |
| Phasianidae | <i>Colinus leucopogon</i> | Codorniz | |
| Picidae | <i>Melanerpes aurifrons</i> | Carpintero | |
| Psittacidae | <i>Amazona albifrons</i> | Cotorra | II |
| | <i>Brotojeris jugularis</i> | Zapoyol | II |
| Psittacidae | <i>Aratinga canicularis</i> | Catano | II |
| | <i>Amazona ochrocephala</i> | Lora | II |
| | <i>Ara macao</i> | Lapa roja | I |
| | <i>Brotojeris jugularis</i> | Chocoyo (Perico) Zapoyol (ito) | |
| Ramphastidae | <i>Pteroglossus torquatus</i> | Tucán | II |
| Sylviidae | <i>Poliptila albiloris</i> | Uraquillas | |

Tabla III-7.4: Lista de Especies Animales para el Area Protegida Complejo San Cristóbal (FUNDENIC-SOS, 1999)

| FAMILIA | NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMÚN | Grado de Amenaza (Apéndice CITES) |
|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| AVES | | | |
| Thyrannidae | <i>Myocetes similis</i> | Guis chiquito | |
| Thyrannidae | <i>Pitangus sulphuratus</i> | Bienteveo | |
| Thyrannidae | <i>Tyrannus sp</i> | Guis | |
| Thyrannidae | <i>Myarchus sp</i> | Guis | |
| Trochilidae | <i>Amazilia rutila</i> | Colibri, gurrion comun | II |
| Trogonidae | <i>Trogon citreolus</i> | Trogon | |
| Turdidae | <i>Turdus gragy</i> | Zensontle-petirojo | |
| MAMIFEROS | | | |
| Bradypodidae | <i>Bradypus variegatus</i> | Perezozo | III |
| Canidae | <i>Canis latrans</i> | Coyote | II |
| | <i>Mazana americana</i> | Venado malacate | II |
| | <i>Odocoileus virginianus</i> | Venado Cola Blanca (Rocio, Ramazón) | |
| Dasyproctidae | <i>Dasyprocta novemcinctus</i> | Cusuco | |
| | <i>Canillus paca</i> | Guardatinaja | III |
| | <i>Dasyprocta variegata</i> | Guatusa | III |
| Didelphidae | <i>Didelphis marsupialis</i> | Zorro cola pelada | |
| | <i>Caluromys deruvianus</i> | Comadreja | |
| Erethizontidae | <i>Coendu mexicanus</i> | Zorro Espin (chucho) | III |
| Felidae | <i>Felis concolor (no confirmada)</i> | Puma | I |
| Leporidae | <i>Sylvilagus floridanus</i> | Conejo | |
| | <i>Sylvilagus palustris</i> | Conejo | |
| Muscidae | <i>Mus musculus</i> | Raton bodega | |
| Mustelidae | <i>Spilogale augustifrons</i> | Zorro mión | II |
| | <i>Mephitis macroura</i> | | |
| Myrmecophagidae | <i>Tamandua tetradactyla</i> | Perico oso, perico lerdo | III |
| Procyonidae | <i>Procyon lotor</i> | Mapachin | II |
| | <i>Potos flavus</i> | Micoleon, cuyuso | II |
| | <i>Nasua narica</i> | Pizote | III |
| Rattidae | <i>Rattus norvegicus</i> | Rata | |
| Sciuridae | <i>Sciurus apachi</i> | Ardilla | |
| | <i>Sciurus sp.</i> | Ardilla café, ardilla mora | |

*: Especies migratorias.

Tabla III-7.5: 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 III-9.1: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Área de Volcán Casita - San Cristobal

| Actividad ¹ | Costo ¹ | 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 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL: | \$515,000 a \$540,000 | | | | | | | | | | | | | | | | |

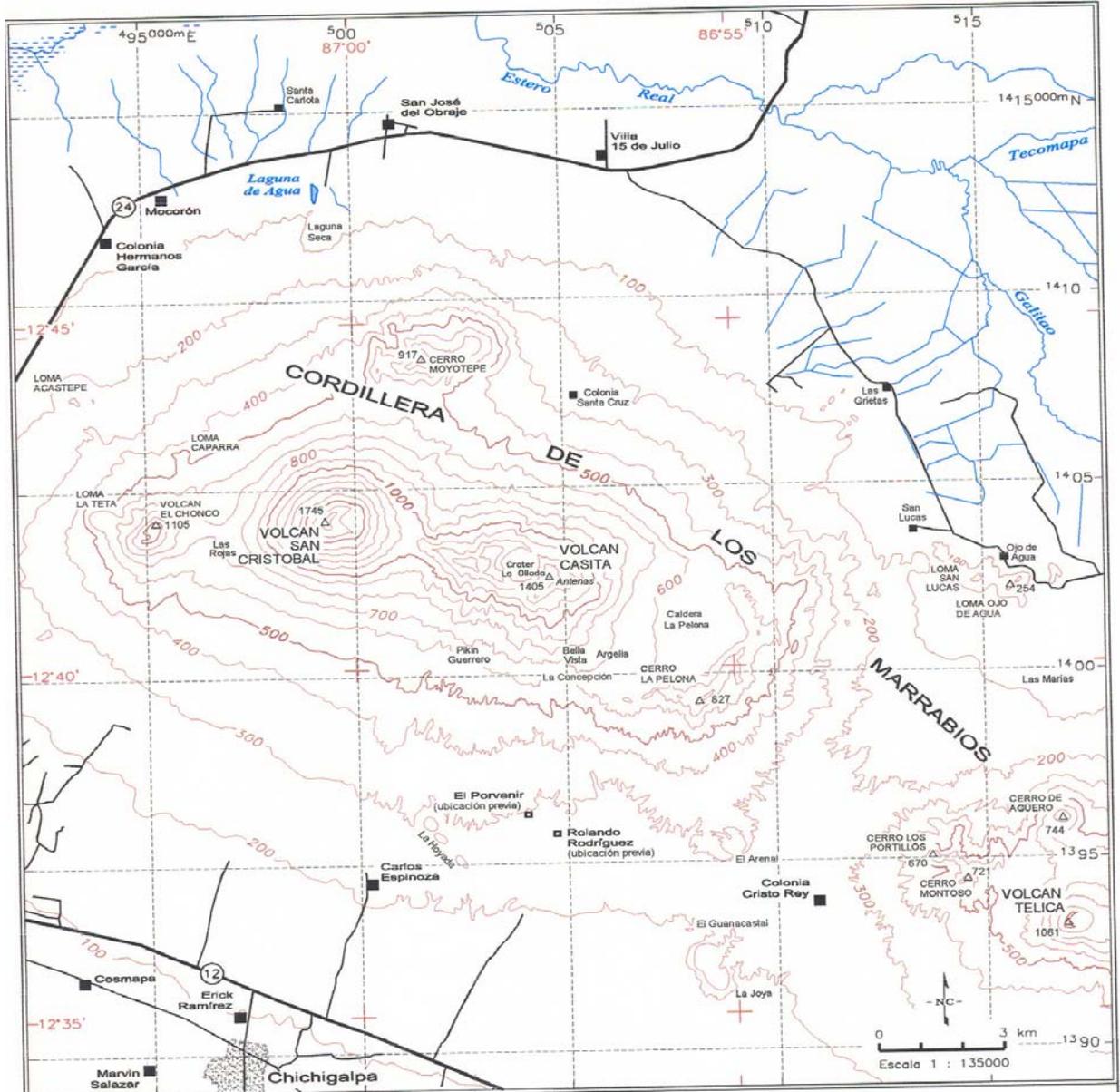
1 Las estimaciones no incluyen los posibles costos de alquiler de terrenos y derechos de paso (pagos a los dueños de terrenos).

Tabla III-9.2: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad,
 Área de Volcán Casita - San Cristobal

| Actividad ¹ | Costo ¹ | 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 | | | | | | | | |
| TOTAL: | \$5,815,000 | | | | | | | | | |

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

FIGURAS

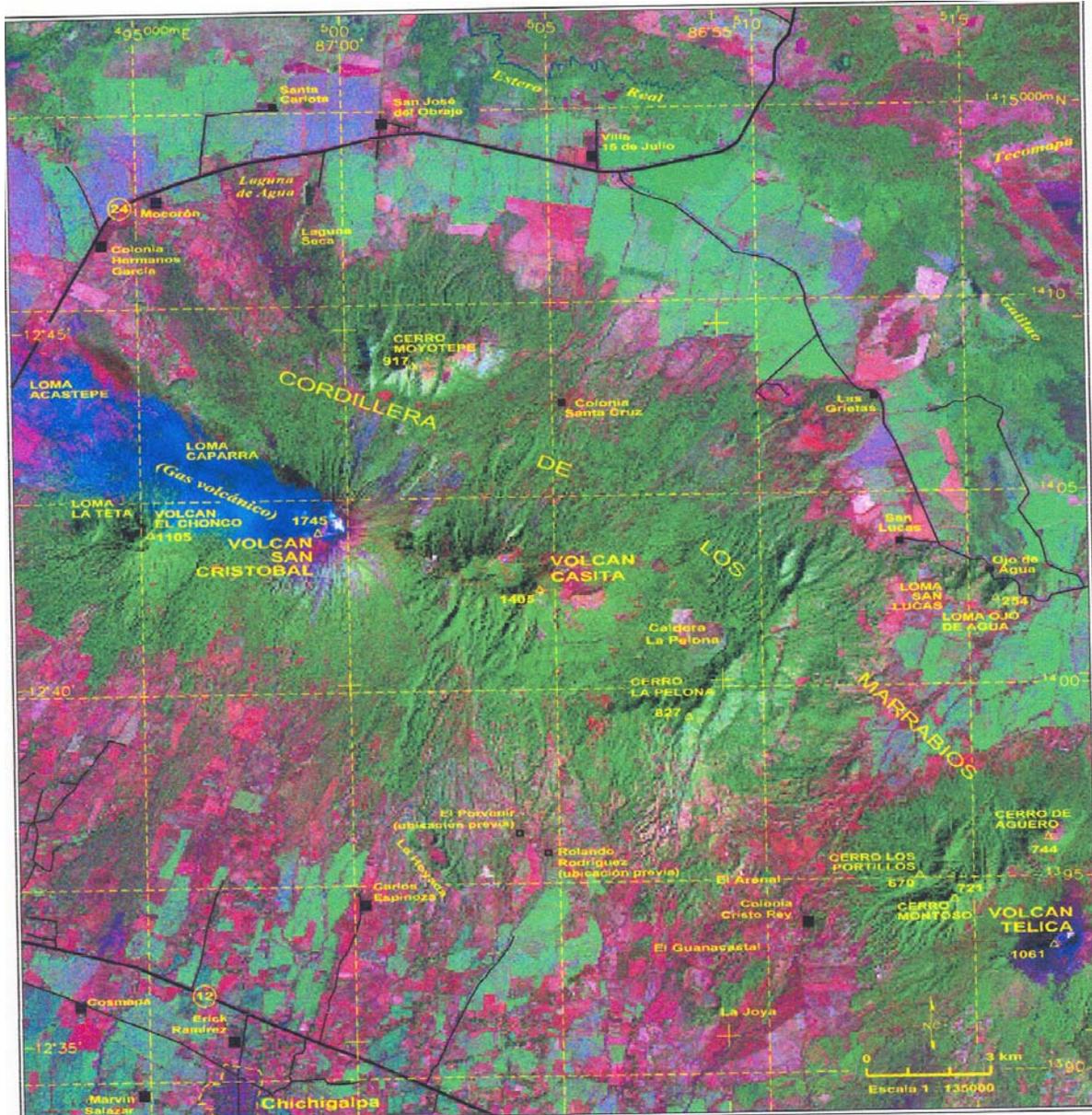


LEYENDA

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

Figura III-1.1:
Mapa de ubicación,
Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

| | | | |
|--|-------------------|-----------------------|-----------------|
| GeothermEx, Inc. GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL. (510) 927-9876 FAX. (510) 927-8164 EMAIL. MW@GEOTHERMEX.COM | SCALE 1 : 135000 | PLOTTDATE: 31MAR2001 | |
| | FILE: III-1.1.DWG | DRAWN: RRS | APP: RCH |
| | PAGE SETUP: VCS0- | REV: NMR_#PROG_23.00. | 0CT06/JAN/MAY01 |
| | | | |



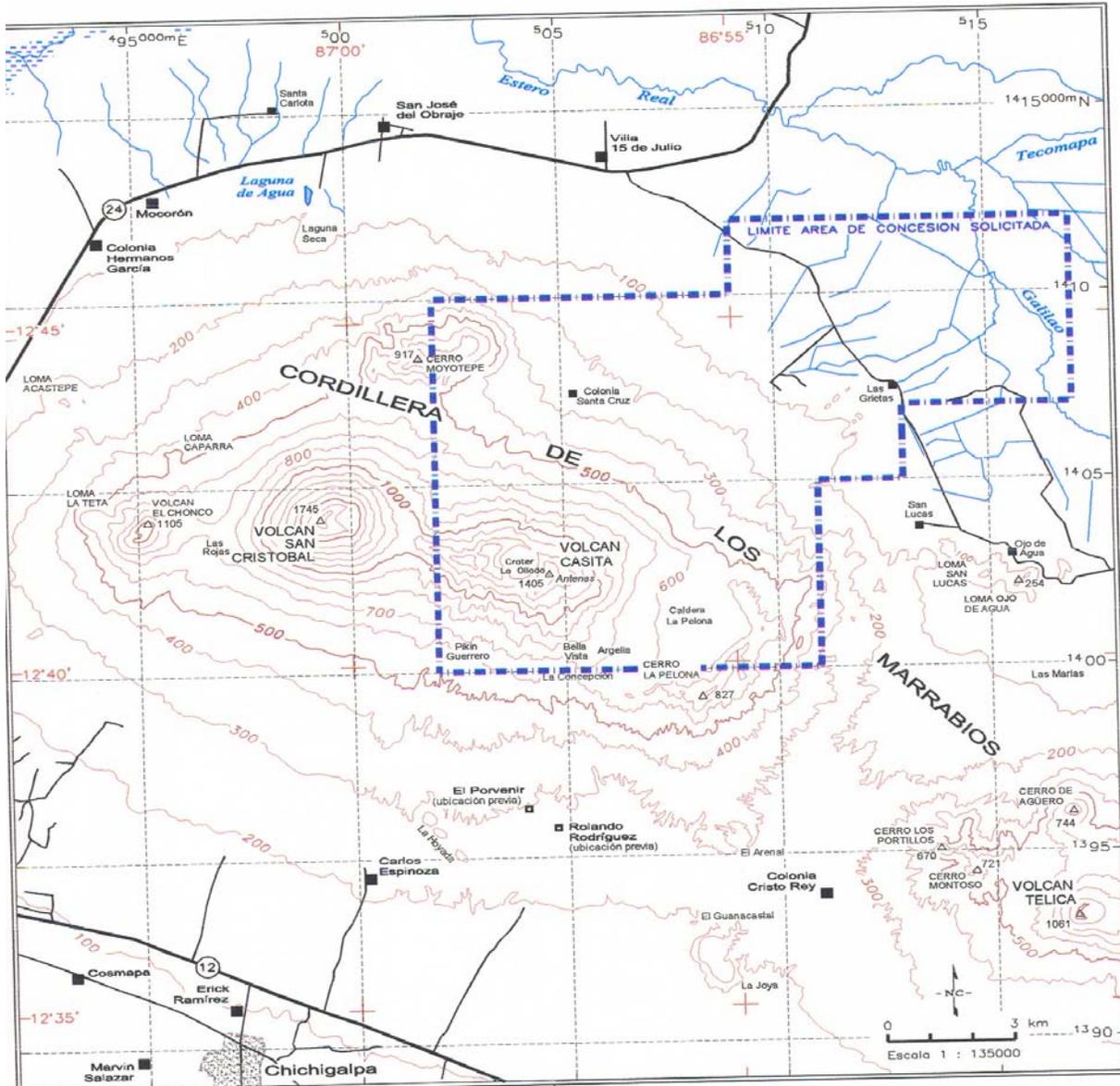
LEYENDA

| | |
|---------------|---------------------------------------|
| | Ciudad |
| | Poblado destruidos por derrumbe, 1998 |
| | Carretera nacional |
| | Camino secundario |
| 1745 Δ | Elevación, m s.n.m. |

Imagen satelitaria: Landsat 5, Jan 6, 1987

Figura III-1.2:
Imagen Landsat,
Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

| | | | |
|--|--|-------------------|----------------------|
| GeothermEx, Inc. | | SCALE 1 : 135000 | FILEDATE: 23MAY2001 |
| GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS | | FILE: 00-1.2.DWG | DESIGN: DSS APP: RCH |
| 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 | | FACE SETUP: VCSC- | REV: NAW/APR/ALD |
| TEL (510) 527-8876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEO THERMEX.COM | | | 0000/JAN/MAY/01 |

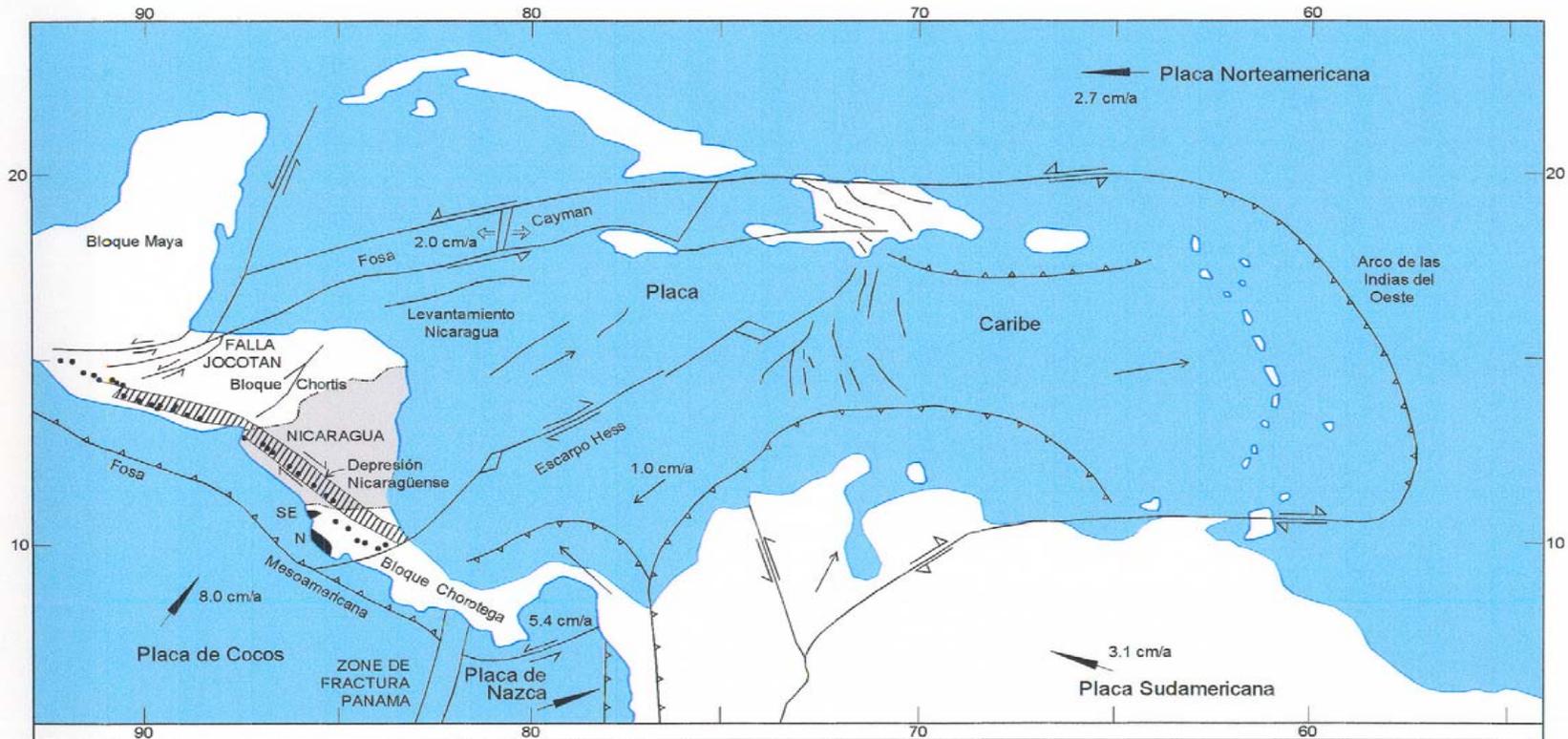


LEYENDA

| | |
|--|---|
| | Límite área de concesión solicitada |
| | 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 III-2.1:
Area de concesión geotérmica solicitada,
Volcán Casita-San Cristóbal, 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: NW@GEOTHERMEX.COM | SCALE 1 : 135000 FILE: III-2.1.DWG PAGE SETUP: VCS2-1 | PLTDATE: 24MAY2001 DRAWN: RRS APP: RCH REV: MAR/APROJ.AJL.OO, OCT00/SAN.MAY01 |
|--|---|---|



LEYENDA

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

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

GeothermEx, Inc.

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

PLOTDATE: 24OCT2001 DRAWN: RRS APP.: CWK

FILE: III-3.1.DWG PAGE SETUP: FIG 3.1

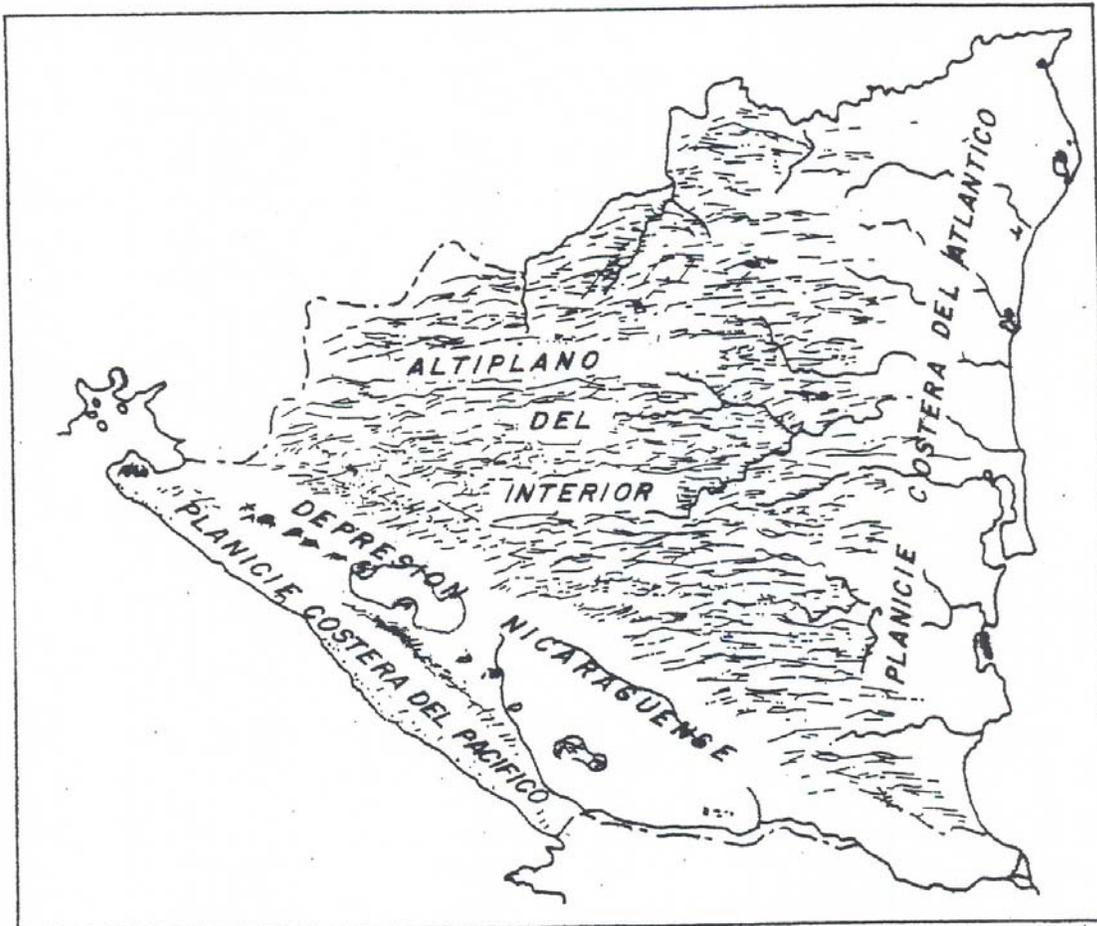
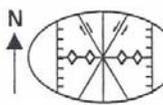
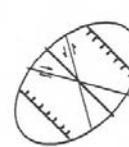
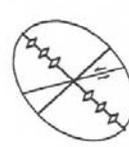


Figura III-3.2: Provincias fisiográficas de Nicaragua
(original de McBirney *et al.*, 1965)

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

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

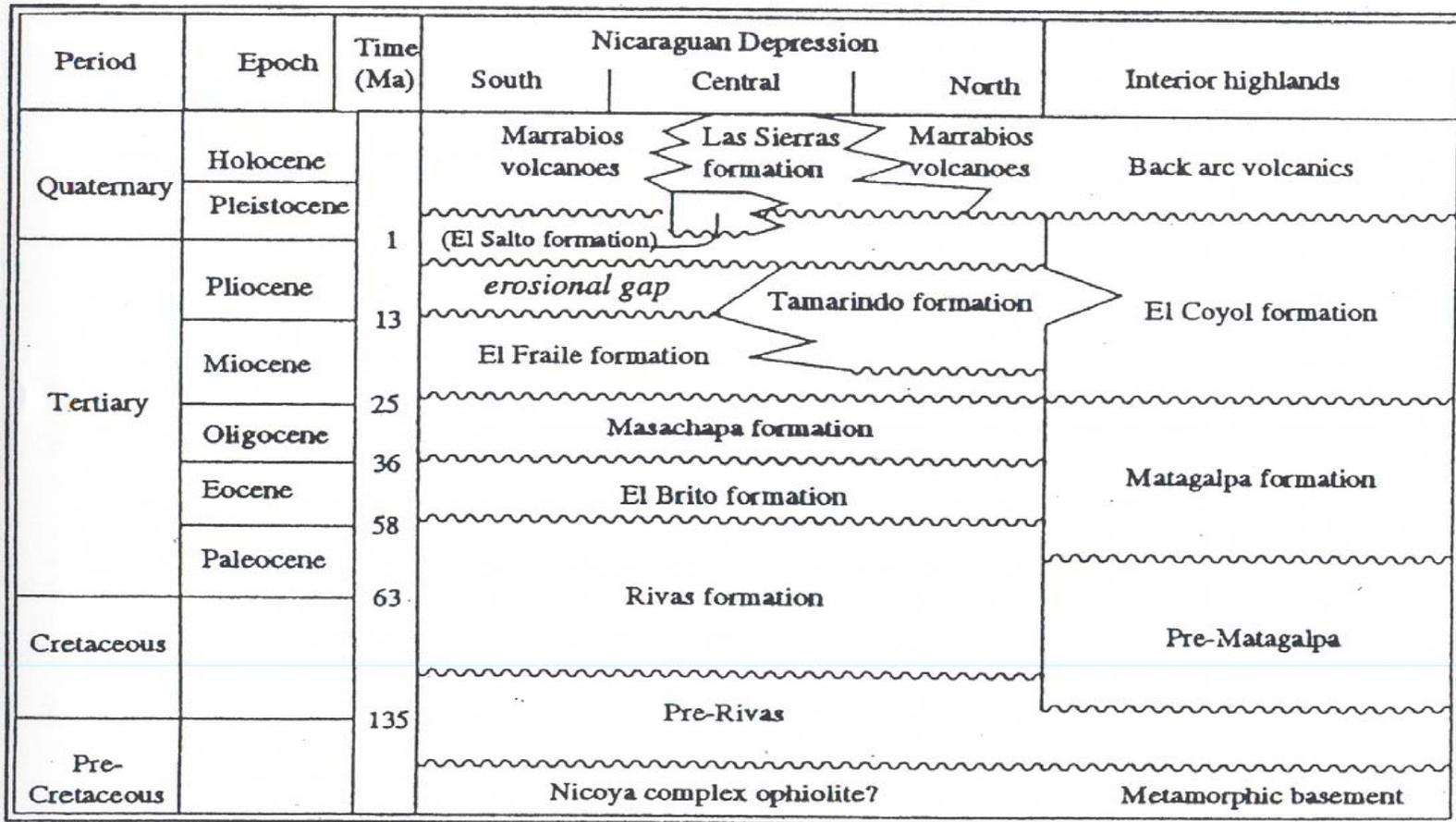


Figura III-3.4: Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)

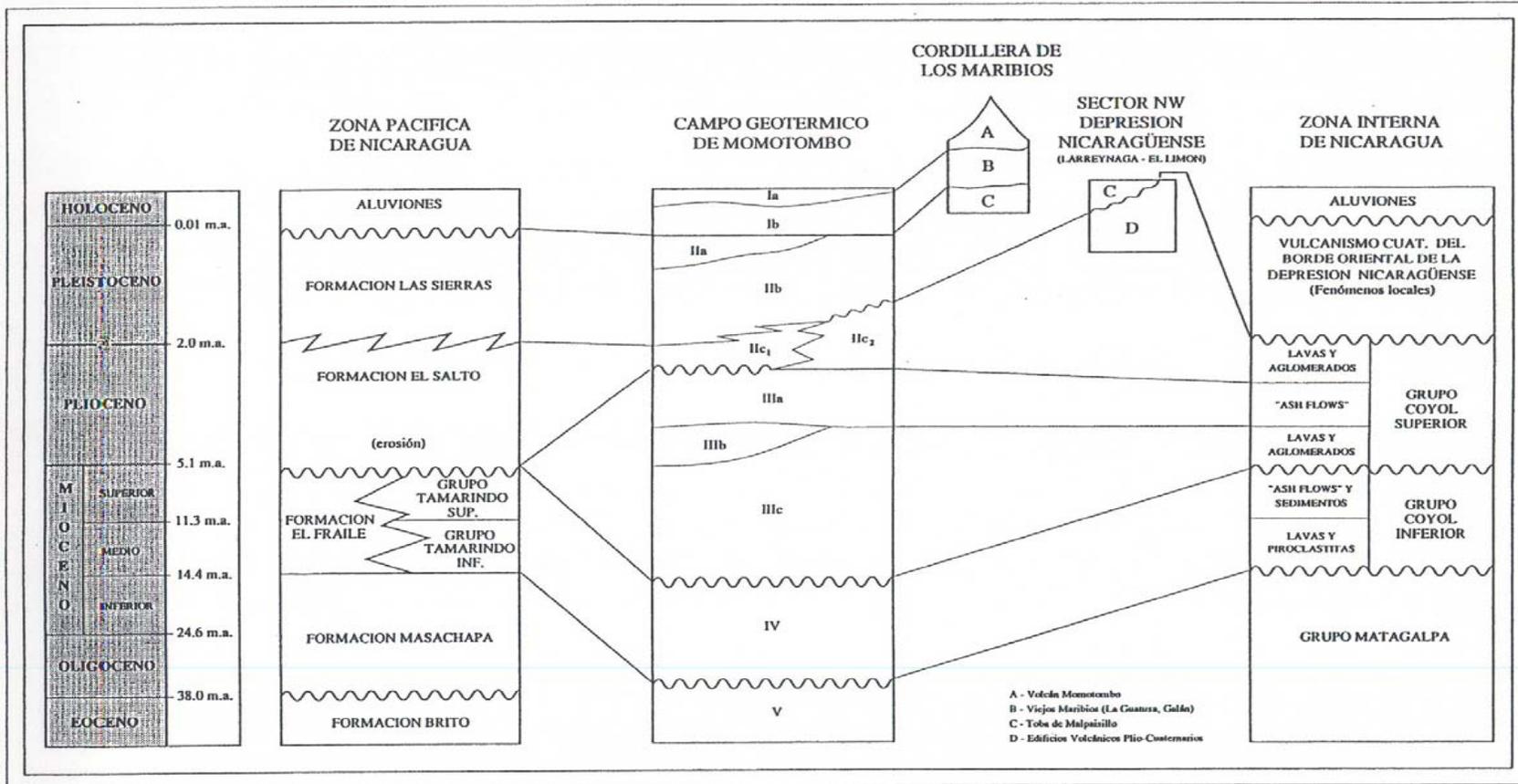
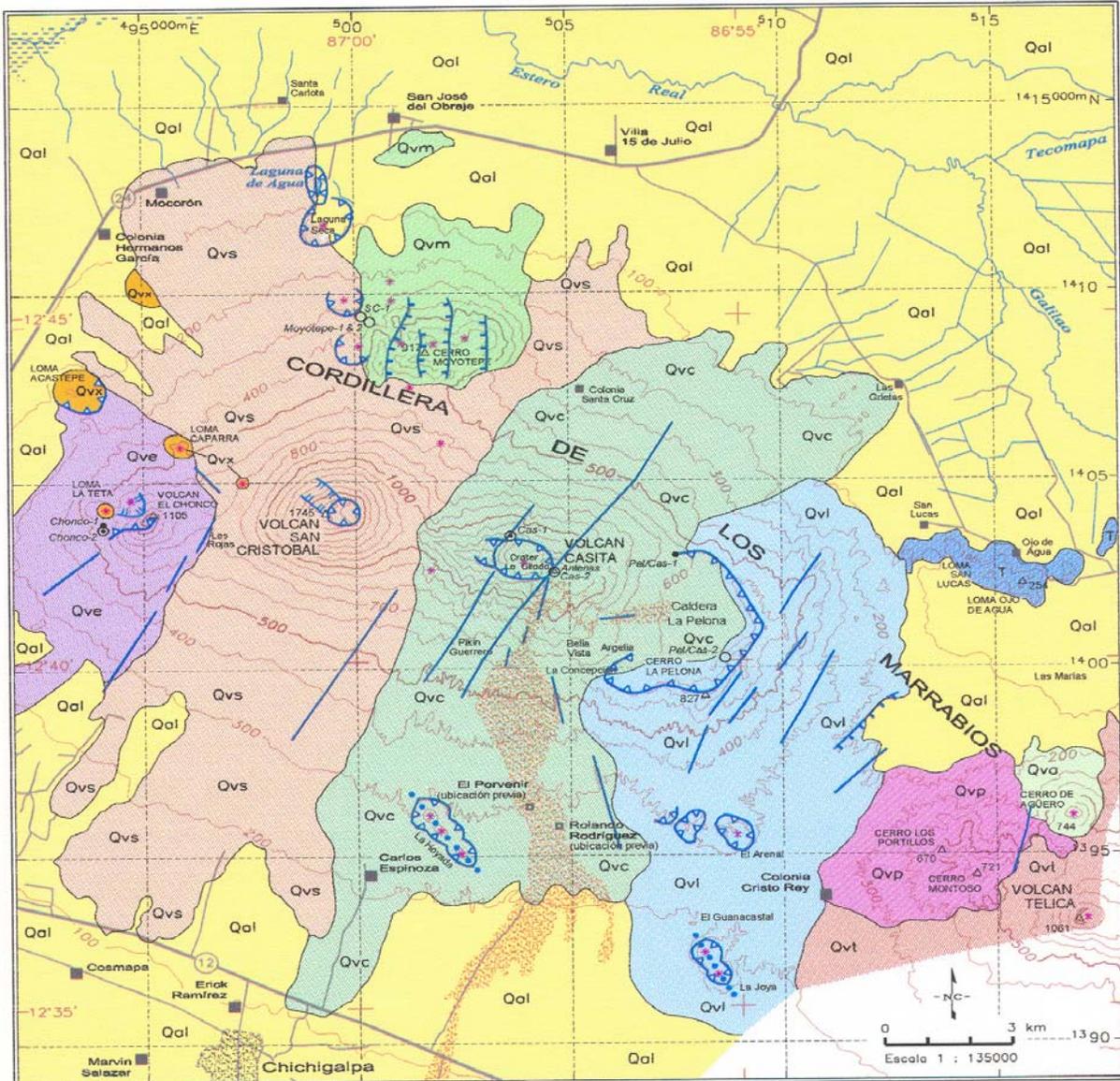


Figura III-3.5: Esquema estratigráfico y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)



LEYENDA

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

Figura III-3.6a:
Esquema geológico del área
Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

| | | | |
|--|--|------------------------|------------------------|
| GeothermEx, Inc. | | SCALE 1 : 135000 | PLTDATE: 21AUG2001 |
| GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS | | FILE: III-3.6a.DWG | DRAWN: RRS / APP, RCH |
| 8221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 | | REV: NAR, APR, JUL, 00 | REV: NAR, APR, JUL, 00 |
| TEL (510) 527-9878 FAX (510) 527-8184 EMAIL MW@GEOHERMEX.COM | | PAGE SETUP: VCS5-1 | |

LEYENDA GEOLOGICA

 Qol Depósitos aluvionales y coluviales

COMPLEJO VOLCANICO CASITA - SAN CRISTOBAL

 Qvs Edificio del Volcán San Cristóbal
 Qvx Depósitos de centros volcánicos parasíticos
 Qvc Edificio del Volcán Casita
 Qve Edificio de Volcán El Chonco - Loma La Teta
 Qvm Edificio de Cerro Moyotepe
 Qvl Depósitos de la Caldera La Pelona

COMPLEJO VOLCANICO DE TELICA

 Qvt Edificio del Volcán Telica
 Qva Edificio del Cerro de Agüero
 Qvp Edificio Cerro Montoso - Los Portillos

 T Formaciones volcánicas y subvolcánicas terciarias (no diferenciadas)

SIMBOLOS

| | | |
|---|--|--|
|  | Contacto geológico | • Muestra de roca (p.e. Cas-7) |
|  | Borde de caldera o cráter | ○ Muestra de roca análisis petrográfico |
|  | Falla | ⊙ Muestra de roca análisis petrográfico y datación |
|  | Límite de deslizamiento | |
|  | Lineamiento estructural | |
|  | Alineamiento de centros volcánicos | |
|  | Centro volcánico | |
|  | Zona principal afectada por deslizamiento y flujo de lodo en Octubre de 1998 | |

Figura III-3.6b:
Leyenda del esquema geológico del área
Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

GeothermEx, Inc.

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

SCALE 1 : 125000

PLOTDATE: 21AUG2001

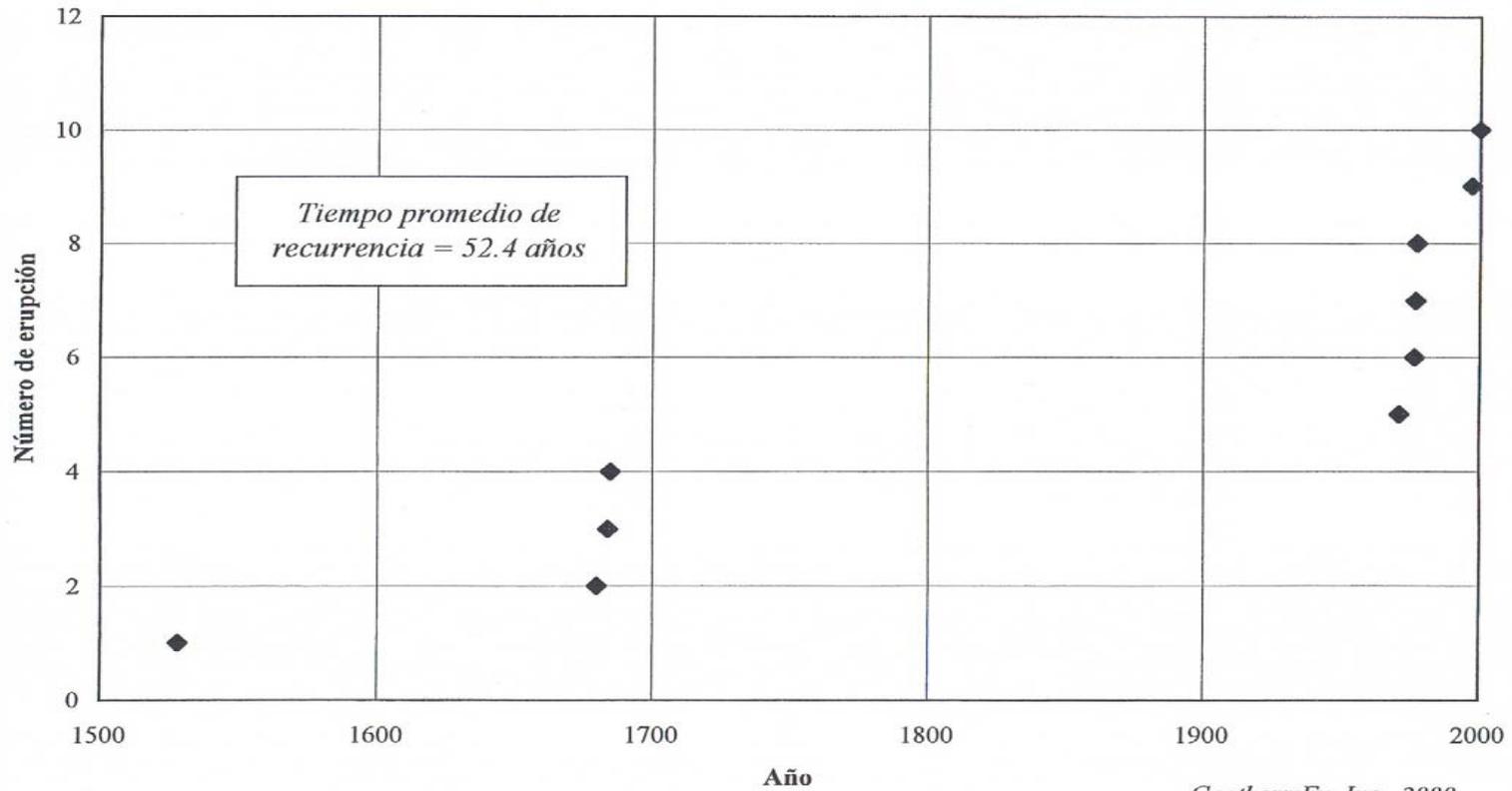
FILE: II-3.6b.DWG

DRWEN: RRS APP: RCH

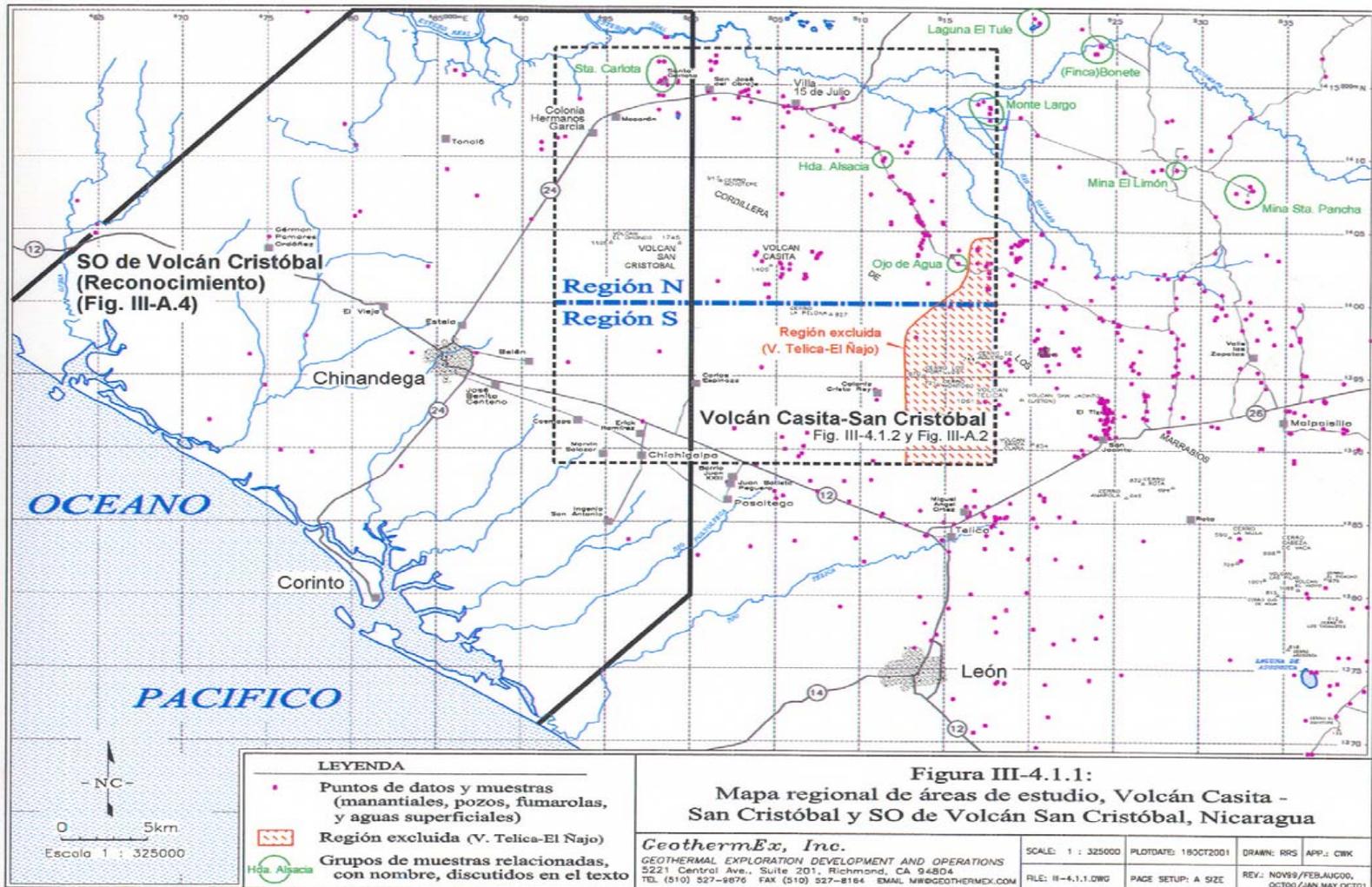
PAGE SETUP: VCSC-1

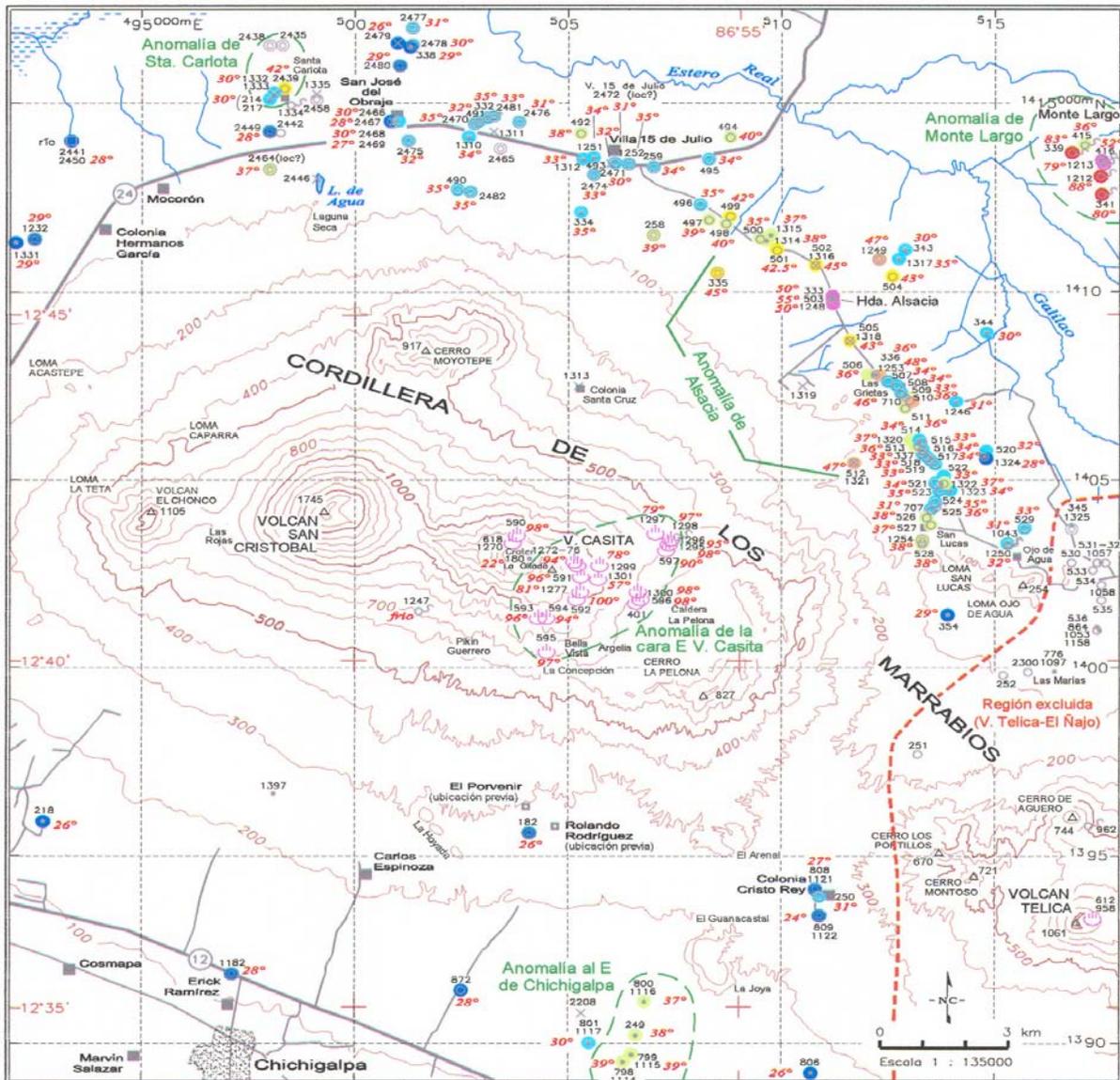
REV: MARAFRAKOS, OCT/DEC00/AUG01

Figura III-3.7: Frecuencia de erupciones históricas, Volcán San Cristóbal



GeothermEx, Inc. 2000



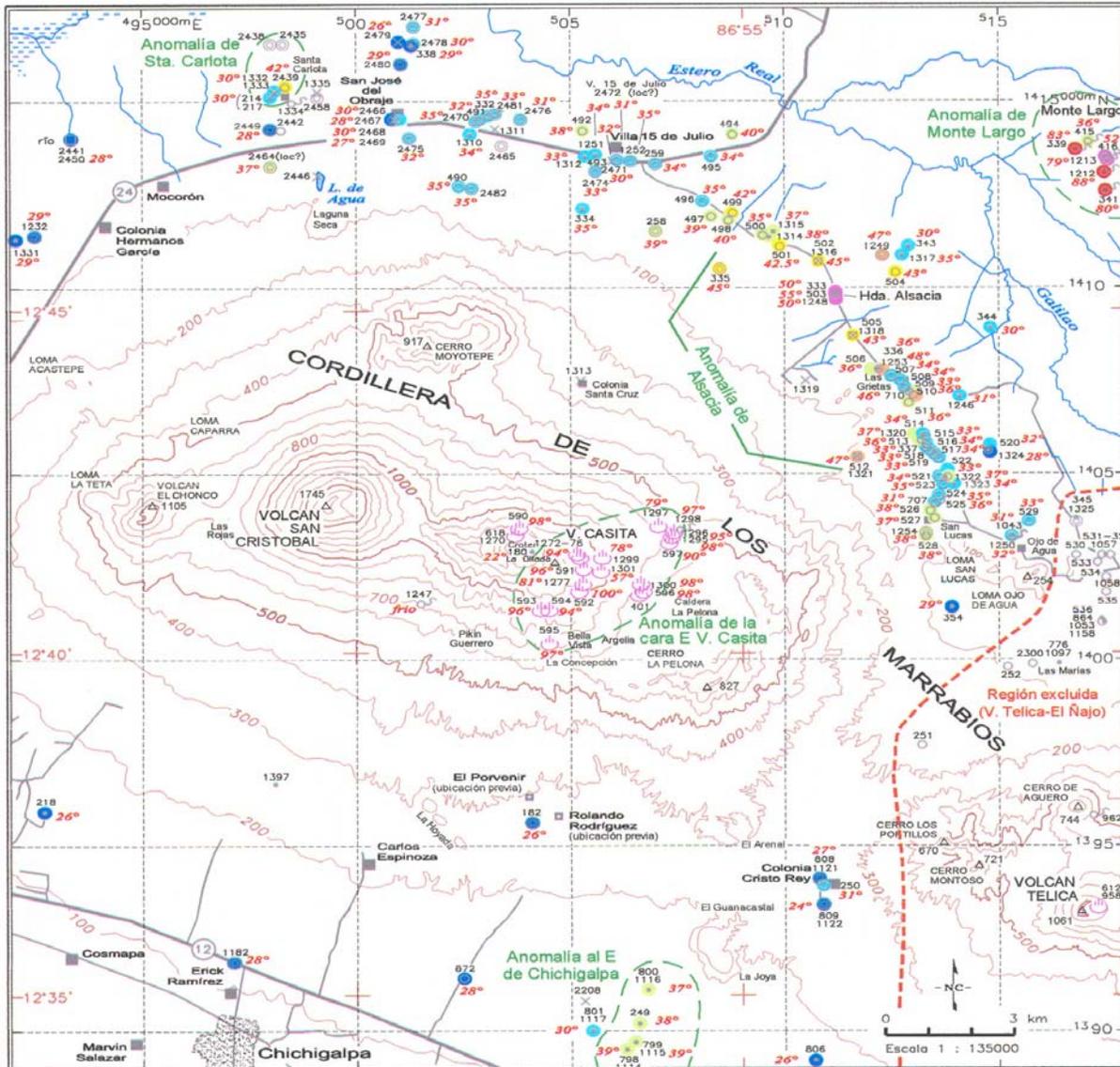


| LEYENDA | |
|--------------------------------------|--|
| □ Agua superficial (río,lago) | 1117 N/m de fila del archivo base de datos |
| ○ Pozo-sin especificarse | 39° Temperatura, °C |
| ⊕ Pozo excavado | — Límite de anomalía |
| ⊙ Pozo perforado | Temperatura máxima registrada |
| ⊖ Manantial | ● < 30° |
| ⊕ Fumarola/solfatará | ● ≥ 30° - 35° |
| × Tipo (pozo, manantial) desconocido | ● ≥ 35° - 40° |
| | ● ≥ 40° - 45° |
| | ● ≥ 45° - 50° |
| | ● ≥ 50° - 55° |
| | ● ≥ 55° - 60° |
| | ● ≥ 60° - 65° |
| | ● ≥ 65° - 70° |
| | ● ≥ 70° - 75° |
| | ● ≥ 75° - 80° |
| | ● ≥ 80° - 88° |

Figura III-4.1.2:
Mapa de temperaturas medidas,
Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (510) 527-9676 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| SCALE 1 : 135000 | PLTDATE: 29MAY2001 |
| FILE: III-4.1.2.DWG | DRAWN: RRS APP: CMK |
| REV: MW/AP/JUJ/DO, NOV/2000/MAY/01 | PAGE SETUP: VCS-1 |



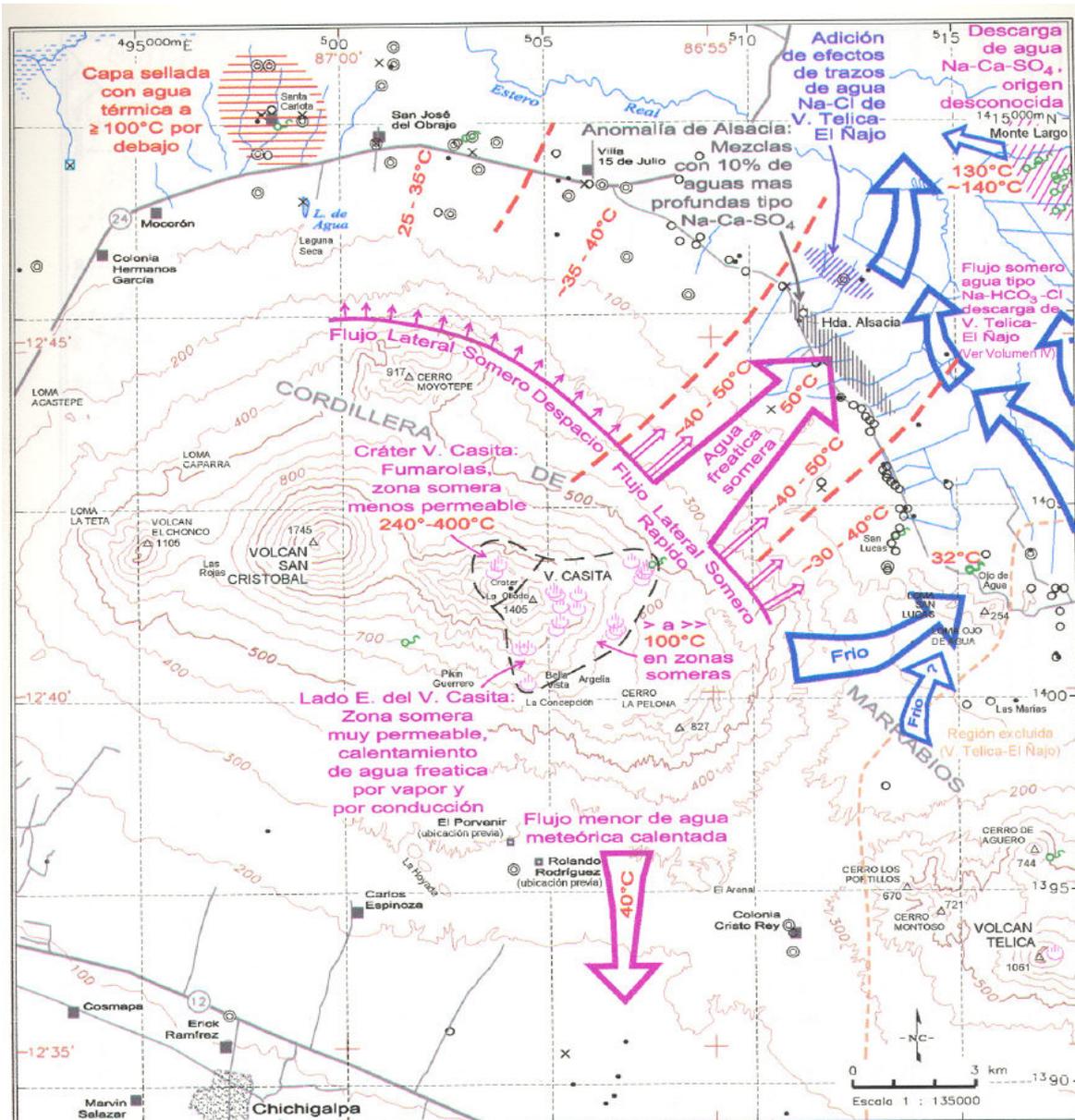
LEYENDA

| | |
|--------------------------------------|--|
| □ Agua superficial (río, lago) | 1117 N/m de fila del archivo base de datos |
| ○ Pozo-sin especificarse | 39° Temperatura, °C |
| • Pozo excavado | — Límite de anomalía |
| ⊙ Pozo perforado | Temperatura máxima registrada |
| ⊕ Manantial | ● < 30° |
| ⊕ Fumarola/solfatará | ● ≥ 30° - 35° |
| × Tipo (pozo, manantial) desconocido | ● ≥ 35° - 40° |
| | ● ≥ 40° - 45° |
| | ● ≥ 45° - 50° |
| | ● ≥ 50° - 55° |
| | ● ≥ 80° - 88° |

Figura III-4.1.2:
Mapa de temperaturas medidas,
Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL (510) 527-5674 FAX (510) 527-8184 EMAIL MHW@GEOTHERMEX.COM

| | |
|--------------------|-----------------------------------|
| SCALE 1 : 135000 | PLotted: 28MAY2001 |
| FILE: B-4.1.2.DWG | DESIGN: RRS APP: CMK |
| PAGE SETUP: VCSC-1 | REV: MML/APR/00, NOV/DEC/00/MAY01 |

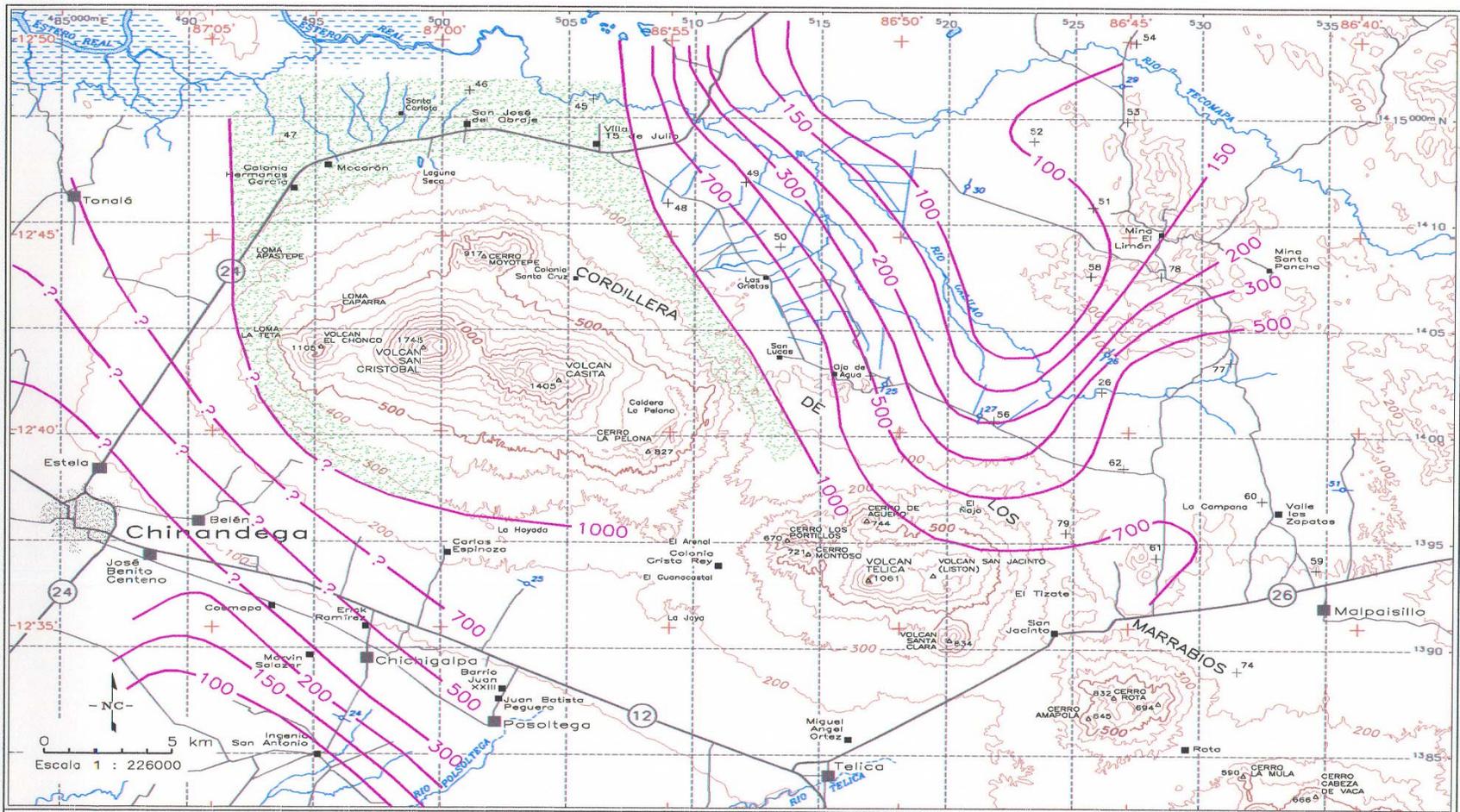


| LEYENDA | | |
|--------------------------------------|-----------|---|
| □ Agua superficial (río, lago) | 25 - 35°C | Temperaturas de fluidos debajo del superficie |
| ○ Pozo sin especificarse | --- --- | Isotermos de temperatura |
| ● Pozo excavado | ↔ | Flujo lateral somero tibio-caliente |
| ⊙ Pozo perforado | ↔ | Flujo lateral somero frío |
| ⊕ Manantial | | |
| ⊗ Fumarola/solfatará | | |
| × Tipo (pozo, manantial) desconocido | | |

Figura III-4.1.3:
Mapa hidrogeológico de síntesis,
Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

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

| | |
|----------------------|----------------------|
| SCALE 1 : 135000 | PLANTING: 150072001 |
| FILE: III-4.1.3.DWG | DRAWN: BRS APP: DM |
| DATE SETUP: 05/01/01 | REV: 001/01/01/01 |



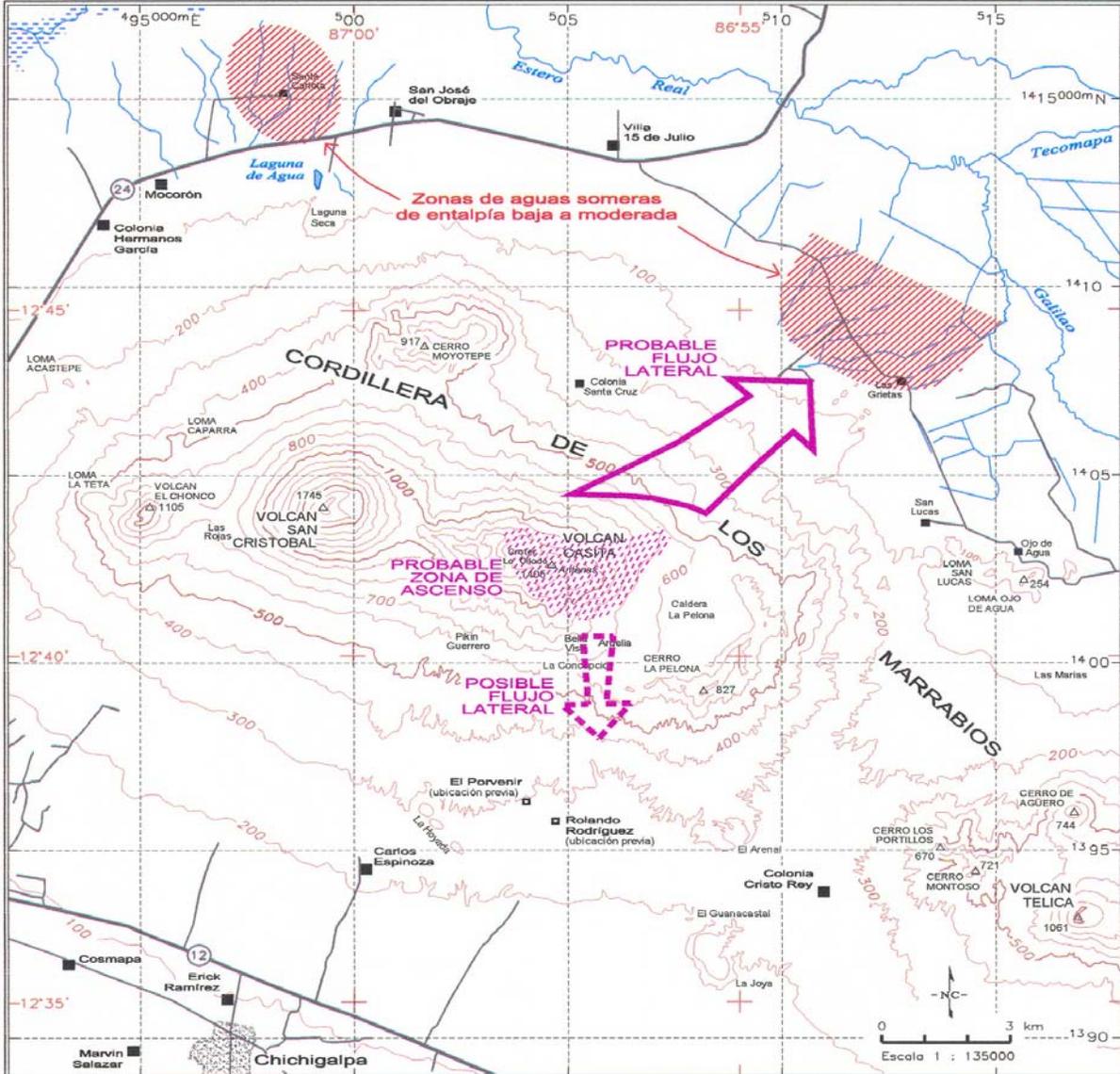
LEYENDA

- 79 + Sitio de sondeo MT-AMT/RVT
- 73 + Sitio de sondeo dipolo ecuatorial modificado
- Contorno de conductancia (mhos)
- Zona anómala de alta conductancia eléctrica

Figura III-4.2.1: Mapa de ubicación de sondeos MT-AMT/RVT y de conductancia eléctrica, Casita-San Cristóbal-Volcán Telica-EI Najo, Nicaragua (Electrodynne Surveys, 1980)

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

SCALE: 1 : 226000 PLOTDATE: 11SEP2001 DRAWN: RRS APP: RWG
 FILE: III-4.2.1.DWG PAGE SETUP: CASITA REV: NOV99/FEB00/JAN,SEP01



LEYENDA

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

Figura III-5.1:
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) 527-9876 FAX (510) 527-8184 EMAIL MW@GEOOTHERMEX.COM

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| SCALE 1 : 135000 | PLTDATE: 20MAR2001 |
| FILE: III-5.1.DWG | DRAWN: RRS APP: RCH |
| PAGE SETUP: V03C-1 | REV: MAR1999, JUL00, OCT00/ANR1999 |

Figura III-6.1: Histograma de capacidad energética, Volcán Casita

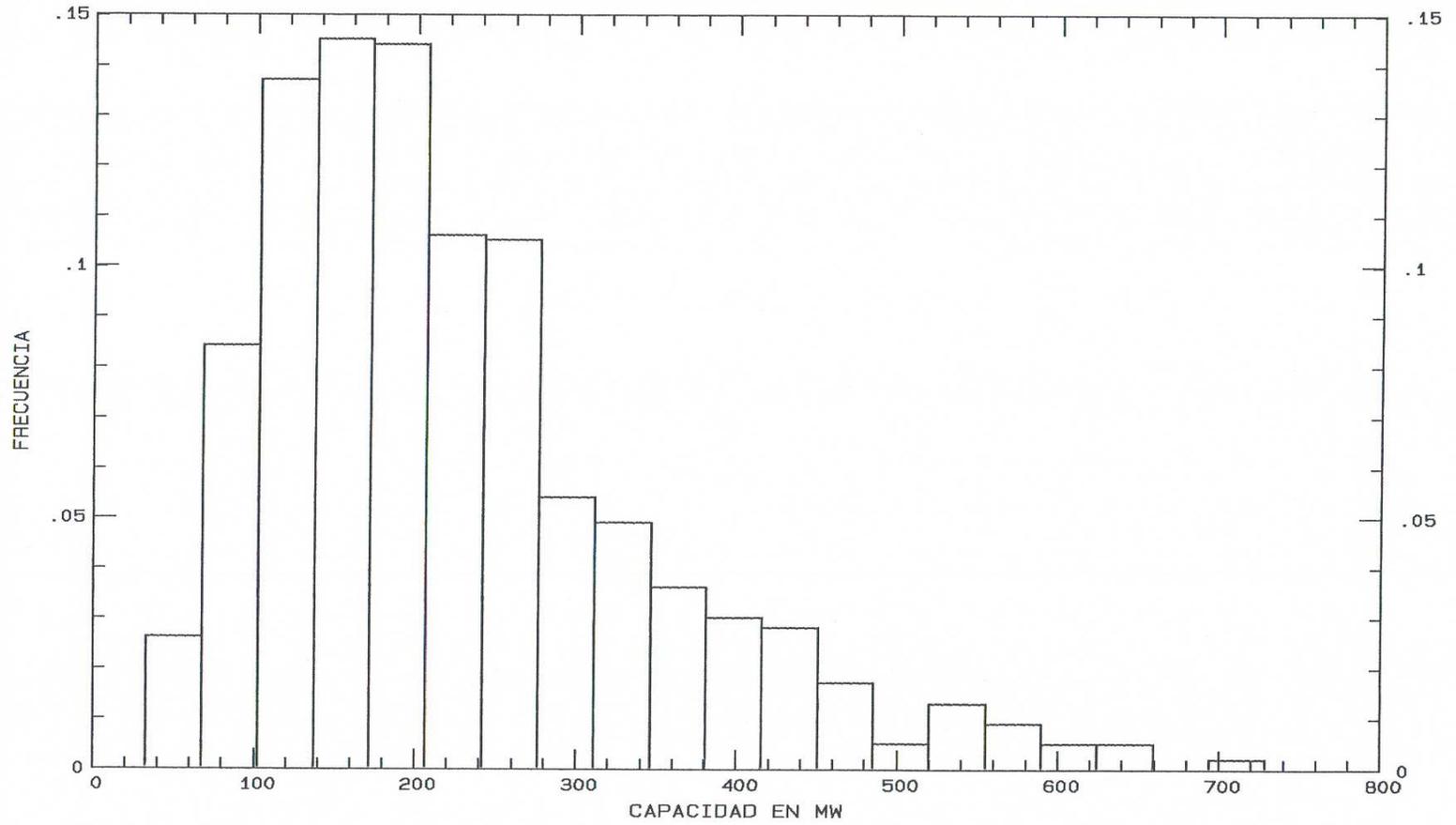
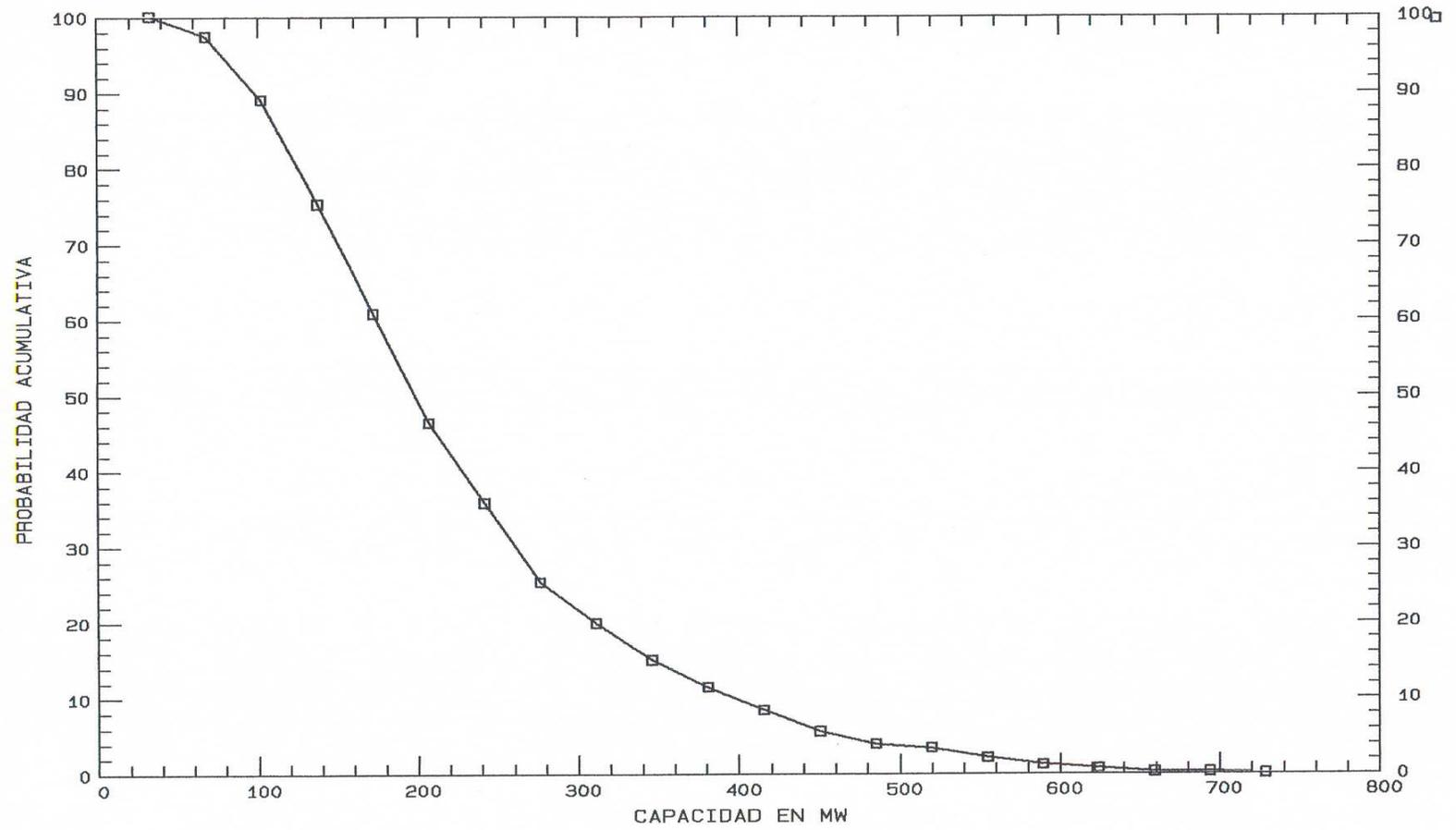
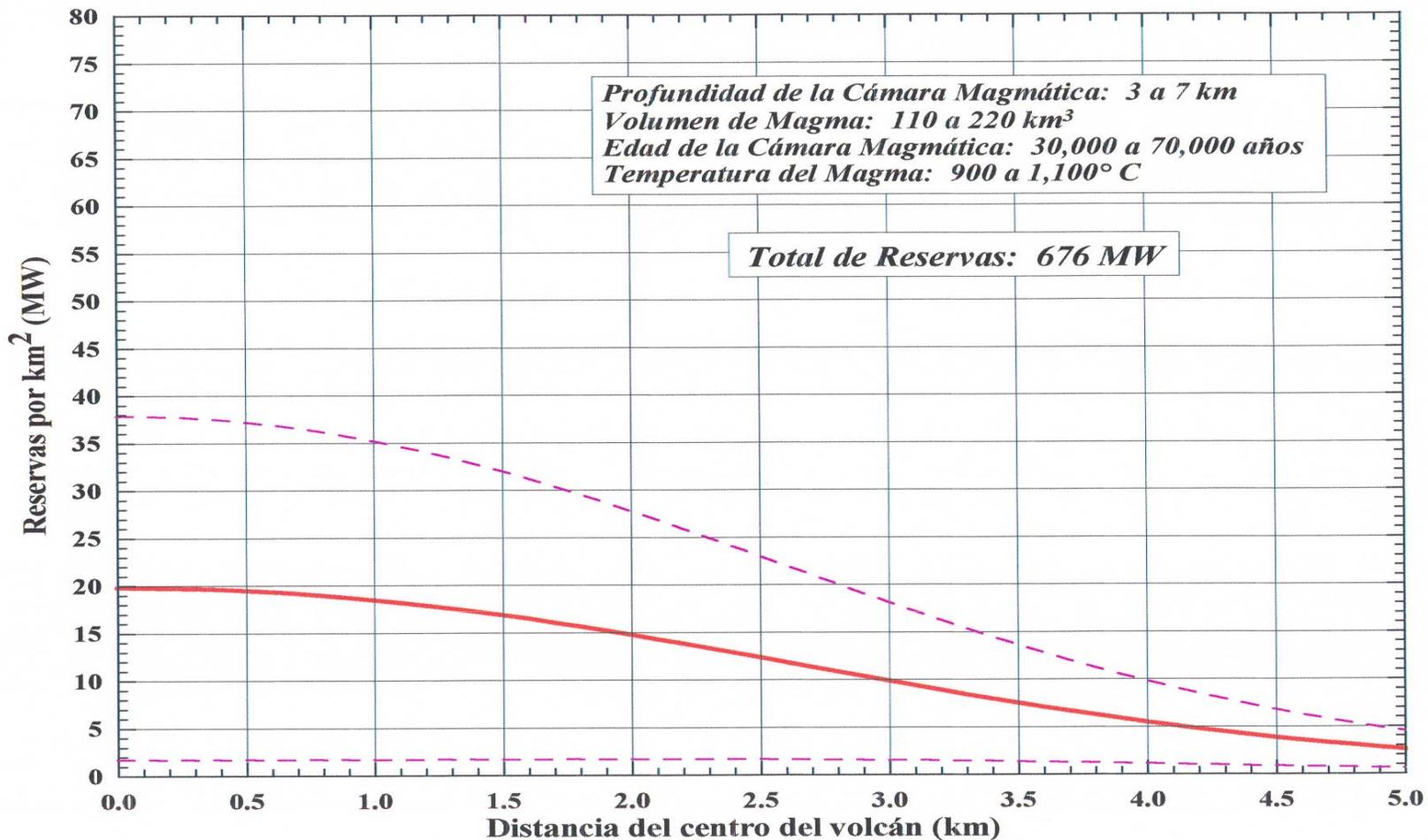


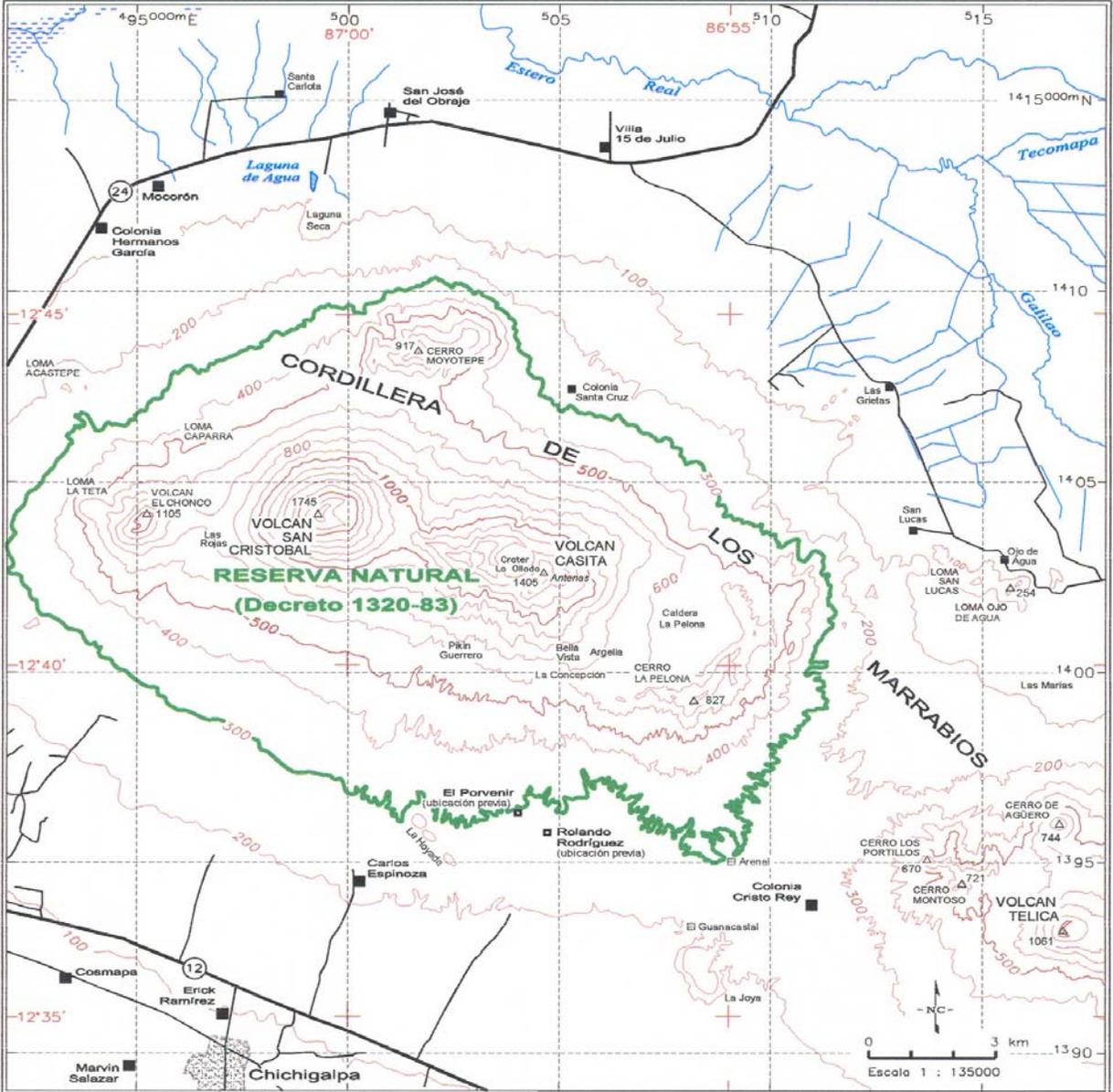
Figura III-6.2: Probabilidad acumulativa de capacidad energética, Volcán Casita



GeothermEx, Inc.
12-27-2000 Casi1cmp.plt

Figura III-6.3: Cálculo de reservas, complejo volcánico de Casita-San Cristóbal

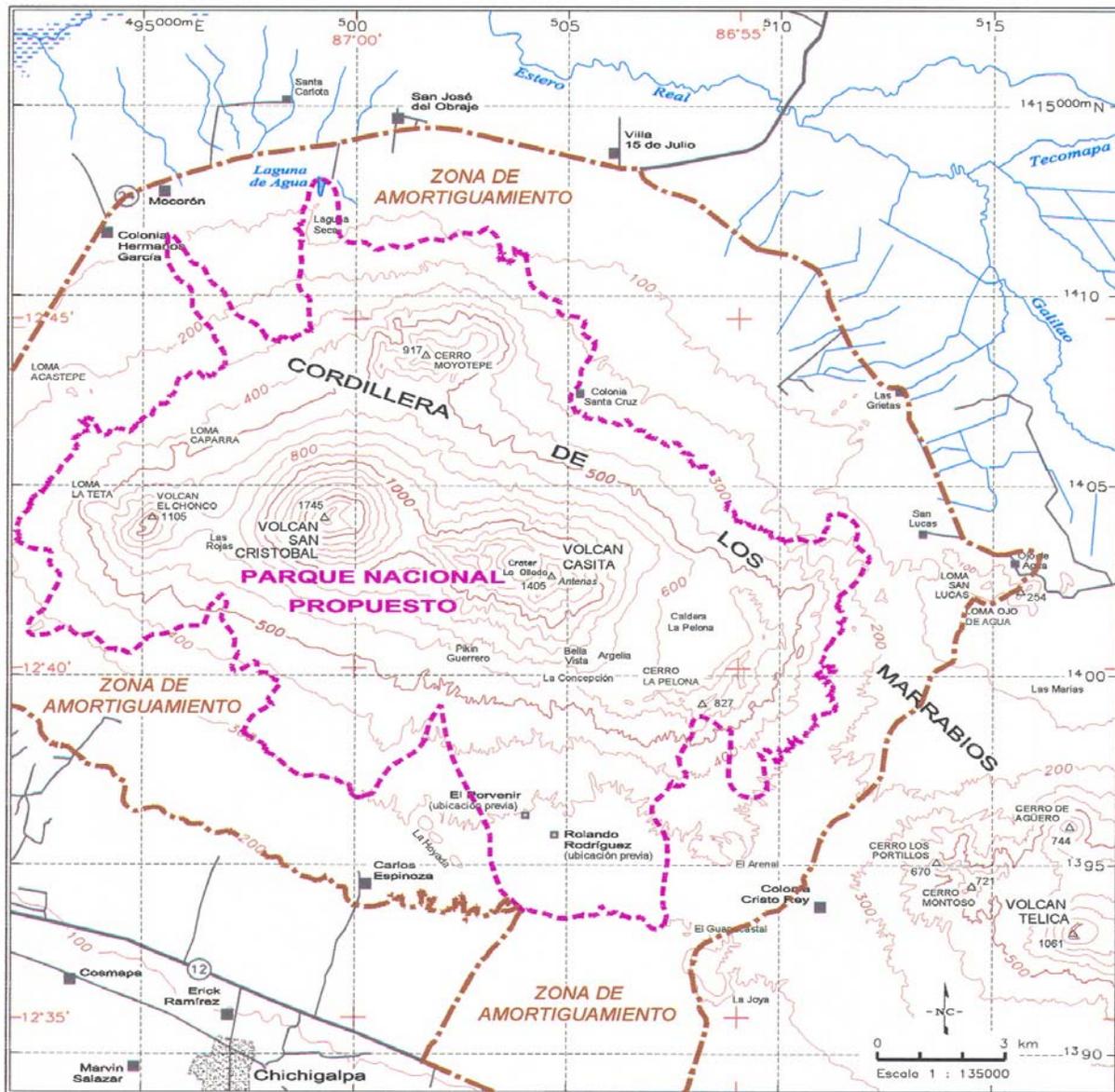




| LEYENDA | |
|---------|---|
| | Límite zona de reserva natural |
| | Ciudad |
| | Poblado |
| | Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m) Datos geográficos: INETER (1988) |
| | Carretera nacional |
| | Camino secundario |

Figura III-7.1: Reservas naturales y áreas protegidas vigentes, Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

| | | | |
|--|--|--------------------|---------------------------------------|
| GeothermEx, Inc. | | SCALE 1 : 135000 | PLTDATE: 26MAY2001 |
| GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS | | FILE: III-7.1.DWG | DRAWN: RRS APP: RCH |
| 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 | | PAGE SETUP: VCS5-1 | REV: N/A/PROJ.AJULOS, OCT00/JAN/MAY01 |
| TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEO THERMEX.COM | | | |

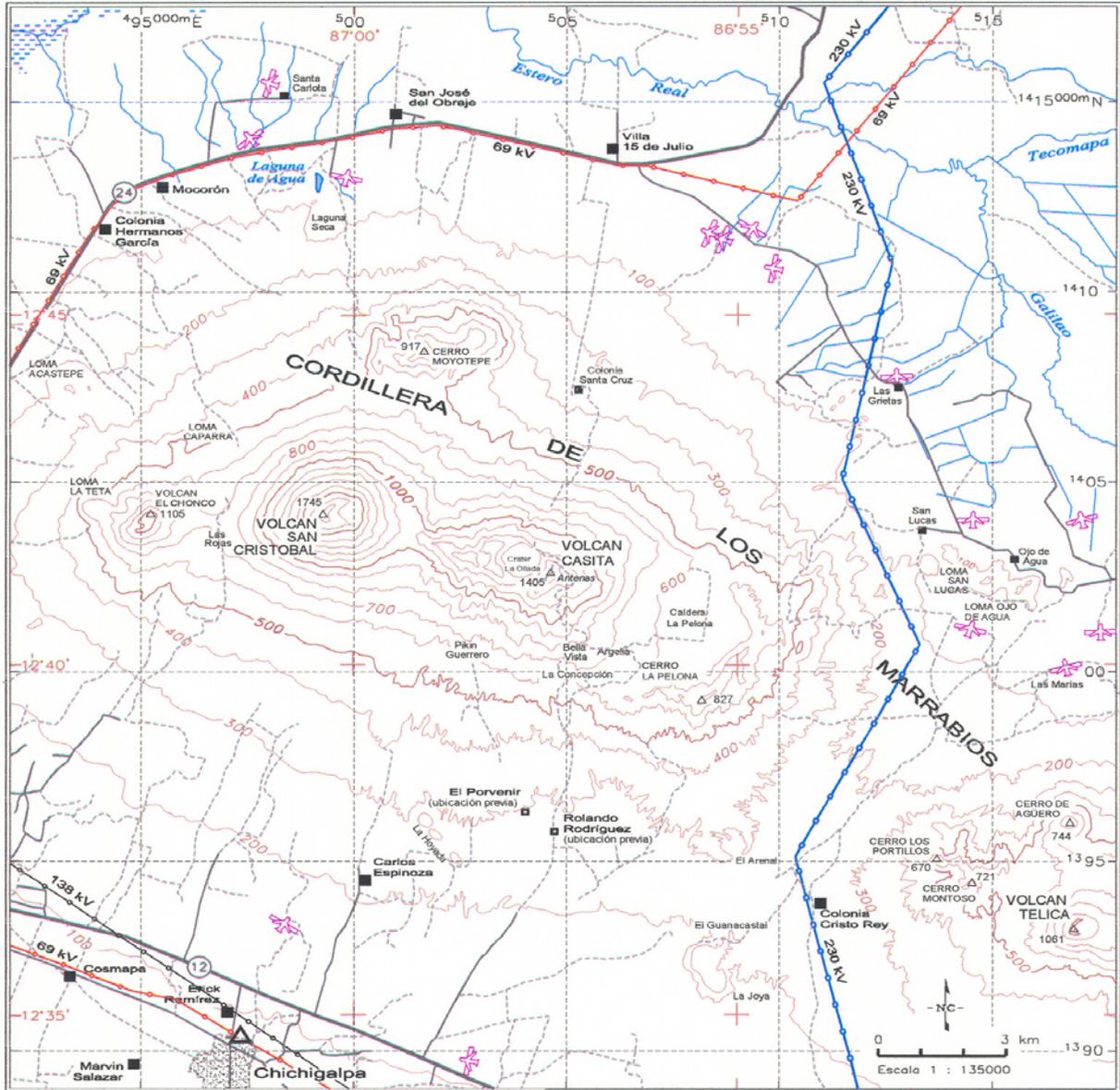


LEYENDA

| | |
|--|---|
| | Límite propuesto para la parque nacional |
| | Límite zona de amortiguamiento |
| | Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m) |
| | Datos geográficos: INETER (1988) |
| | Carretera nacional |
| | Camino secundario |

Figura III-7.2: Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

| | | | |
|--|--|---------------------|-------------------------|
| GeothermEx, Inc. | | SCALE 1 : 135000 | PLOTDATE: 29MAY2001 |
| GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS | | FILE: II-7.2.DWG | DRAWN: RRS APP: RCH |
| 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 | | | REV.: MNL/APP/00_08.00_ |
| TEL: (510) 527-8878 FAX: (510) 527-8184 EMAIL: MEX@GOTHERMEX.COM | | PAGE SETUP: VCSIC-1 | 00/00/JAN/MAY/01 |



| LEYENDA | |
|---------|---------------------------------------|
| | Ciudad; poblado |
| | Carretera nacional; camino secundario |
| | Camino sin mejoras |
| | 230kV |
| | 138kV |
| | 69kV |
| | Subestación eléctrica |
| | Pista de aterrizaje |

Figura III-8.1:
Elementos infraestructurales,
Volcán Casita-San Cristóbal, Nicaragua

GeothermEx, Inc.
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804
 TEL. (510) 527-8878 FAX (510) 527-8184 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

| | |
|--------------------|---|
| SCALE 1 : 135000 | PLOTDATE: 13SEP2001 |
| FILE: III-8.1.DWG | DRAWN: RRS APP: RCH |
| PAGE SETUP: VCSG-1 | REV: MAR, APR, JUL 00, OCT 00 / JAN, MAY, SEPT 01 |