



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

**PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO DE
NICARAGUA**

Volumen II

EVALUACIÓN DEL AREA DEL VOLCÁN COSIGÜINA

OCTUBRE DE 2001



CONTENIDO

ILUSTRACIONES	5
RESUMEN EJECUTIVO	8
1. DESCRIPCION DEL AREA	13
1.1 LOCALIZACIÓN	13
1.2 EXTENSIÓN DEL ÁREA	13
1.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS	14
2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE	17
2.1 CONCESIONES	17
2.2 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN	17
2.2.1 <i>Estudios Existentes</i>	17
2.2.2 <i>Estudios del Plan Maestro-2000</i>	19
2.3 PERFORACIÓN DE EXPLORACIÓN Y DE DESARROLLO	24
2.4 PRODUCCIÓN	24
2.5 ESTADO ACTUAL	24
3. ASPECTOS GEOLOGICOS, VULCANOLOGICOS E HIDROLOGICOS	25
3.1 MARCO GEOLÓGICO	25
3.1.1 <i>Marco Geológico Regional</i>	25
3.1.2 <i>Marco Geológico Local</i>	34
3.2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA	38
3.2.1 <i>Volcán Cosigüina</i>	38
3.2.2 <i>Centros Volcánicos Parásitos</i>	44
3.2.3 <i>Extensión y Posibles Características de Cuerpos Intrusivos</i>	45
3.3 HIDROLOGÍA	46
3.4 RIESGOS GEOLÓGICOS	48
3.4.1 <i>Riesgo de Erupción Volcánica</i>	48
3.4.2 <i>Riesgo de Derrumbe</i>	50
3.4.3 <i>Riesgo Sísmico</i>	51
3.4.4 <i>Otros Riesgos</i>	53
4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL	55
4.1 MANIFESTACIONES TERMALES	55
4.1.1 <i>Tipo, Localización y Extensión</i>	55
4.1.2 <i>Quimismo y Geotermometría</i>	59
4.2 INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS	61



4.3	RESULTADOS DE LA PERFORACIÓN	61
5.	NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO	62
5.1	LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE CALOR	62
5.2	ZONAS DE ASCENSO.....	63
5.5	DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS	63
5.4	TEMPERATURA.....	64
5.5	QUÍMICA DEL FLUIDO	65
5.6	PROFUNDIDAD, ESPESOR Y EXTENSIÓN DEL RECURSO	65
6.	ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS	66
6.1.	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	66
6.2	CÁLCULO DE RESERVAS	68
6.3	COMENTARIOS	68
7.	ASPECTOS AMBIENTALES.....	70
7.1	INFORMACIÓN EXISTENTE.....	70
7.2	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	71
7.2.1	<i>Aspectos Socioeconómicos.....</i>	<i>71</i>
7.2.2	<i>Aspectos Abióticos</i>	<i>77</i>
7.2.3	<i>Aspectos Bióticos</i>	<i>79</i>
7.3	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	81
7.3.1	<i>Situación Ambiental General.....</i>	<i>81</i>
7.3.2	<i>Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico</i>	<i>82</i>
8.	ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS.....	86
8.1	ACCESO	86
8.1.1	<i>Caminos Principales.....</i>	<i>86</i>
8.1.2	<i>Caminos Secundarios.....</i>	<i>87</i>
8.1.3	<i>Consideraciones para la Construcción de Caminos</i>	<i>88</i>
8.1.4	<i>Otras Consideraciones Sobre el Acceso</i>	<i>89</i>
8.2	USO DE LA TIERRA	89
8.3	DISPONIBILIDAD DE SITIOS PARA PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN	90
8.4	DISPONIBILIDAD DE AGUA	90
8.5	FACTIBILIDAD DE REALIZAR TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y DESARROLLO	91
9.	OPCIONES PARA INVESTIGACION Y DESARROLLO	94
10.	REFERENCIAS.....	101
T A B L A S.....	106



FIGURAS	121
ILUSTRACIONES	138
ANEXO A: ESTUDIO GEOQUIMICO E HIDROGEOLOGICO	140
A.1 ALCANCE.....	140
A.2 METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	140
A.2.1 <i>Programa de las Actividades de Campo</i>	140
A.2.2 <i>Base de Datos Hidrogeología y Química de Fluidos</i>	142
A.3 RECOPIACIÓN DE LOS RESULTADOS	144
A.3.1 <i>Muestras de Aguas</i>	144
TABLAS	150
FIGURAS	182
ILUSTRACIONES	194
ANEXO B: ANALISIS PETROGRAFICO DE ROCAS	195
B.1 INTRODUCCIÓN	195
B.2 DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS.....	195
TABLAS	200
FIGURAS	205



ILUSTRACIONES

Tablas

- II-2.1 Principales Estudios Existentes sobre el Área del Volcán Cosigüina
- II-6.1 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3), Área del Volcán Cosigüina
- II-7.1 Población de la Península de Cosigüina
- II-7.2 Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas Más Cercanas al Área Volcán Cosigüina
- II-7.3 Lista de Especies Vegetales para el Área Protegida, Volcán Cosigüina (FUNDENIC-SOS, 1999)
- II-7.4 Lista de Especies Animales para el Área Protegida, Volcán Cosigüina (FUNDENIC-SOS, 1999)
- II-7.5 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Área de Volcán Cosigüina
- II-9.1 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Área del Volcán Cosigüina
- II-9.2 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad, Área del Volcán Cosigüina



Figuras

- II-1.1 Mapa de ubicación, Península de Cosigüina, Nicaragua
- II-1.2 Mapa de ubicación, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-1.3 Mapa de ubicación, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-3.1 Esquema tectónico de la región Centroamericana y del Caribe (Weinberg, 1992)
- II-3.2 Provincias fisiográficas de Nicaragua (McBirney et al., 1965)
- II-3.3 Estratigrafía y evolución tectónica de la parte occidental de Nicaragua
- II-3.4 Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyck de Vries, 1993)
- II-3.5 Esquema geológico del área Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-4.1 Mapa de ubicación de manantiales y pozos en la Península de Cosigüina, Nicaragua
- II-4.2 Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-4.3 Mapa hidroquímico de síntesis, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-5.1 Esquema del modelo del sistema geotérmico del Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-6.1 Cálculo de reservas, Volcán Cosigüina



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- II-7.1 Reservas naturales y áreas protegidas vigentes, Volcán Cosigüina, Nicaragua

- II-7.2 Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), Volcán Cosigüina, Nicaragua

- II-8.1 Elementos infraestructurales, Volcán Cosigüina, Nicaragua



RESUMEN EJECUTIVO

El área de estudio del Volcán Cosigüina se localiza en el extremo NO de la Cordillera Volcánica de Nicaragua. Consiste principalmente de la península formada por el Volcán Cosigüina (altura 872 m) y de las zonas bajas que lo circundan. La ciudad más cercana a esta área es Chinandega, localizada a unos 50 km hacia el SE. Aparte del volcán y de dos zonas de colinas bajas, el área tiene una topografía relativamente suave. Toda el área se caracteriza por un bajo nivel de desarrollo y una densidad de población muy baja. Las zonas planas están dedicadas a la agricultura, que por lo general es poco intensiva, y en la mayoría de las áreas con terrenos más inclinados persiste algo de bosque.

El Cosigüina es un volcán ancho de tipo escudo. En 1835 tuvo una fuerte erupción explosiva, que en la única erupción histórica que se reconoce en forma concluyente. Este evento fue responsable de la formación del cráter actual, y se considera como una de las mayores erupciones volcánicas ocurridas en las Américas en tiempos de la historia escrita.

El Cosigüina representa una importante fuente potencial de calor magmático, pero no existe mucha información disponible para determinar la forma del complejo magmático o para identificar posibles intrusiones laterales que pueden extenderse por fuera del complejo central. La escasez de centros volcánicos parásitos, alejados del cono central, sugiere que las intrusiones laterales son escasas.

Por la presencia de rocas relativamente permeables en la superficie, el agua superficial es escasa y existen muy pocos cursos de agua permanentes. El drenaje subterráneo presumiblemente se produce a través de lavas permeables y/o depósitos piroclásticos. La presencia de varios pozos de agua distribuidos alrededor de las llanuras costeras indica que existe un acuífero o acuíferos bastante extenso(s) en una gran parte del área.



No existen manantiales, con excepción de la orilla oriental de la península, donde por un tramo de aproximadamente seis km a elevaciones próximas al mar afloran aguas con temperaturas que oscilan desde 35° hasta 49°C, algunas con caudales elevados, que representan flujo desde el acuífero freático hacia los pantanos adyacentes del Estero Real. Se nota también que los manantiales se agrupan cerca de una colina ancha compuesta de rocas volcánicas pre-caldéricas.

Los aspectos químicos e isotópicos de estos manantiales indican claramente que existe un flujo de agua geotérmica, que se origina en el núcleo del Volcán Cosigüina y se desplaza hacia el E. En la mayoría de la zona el componente geotérmico se mezcla con grandes cantidades de agua meteórica, pero existe un solo manantial que produce agua con 2,000 mg/l de Cl (cloruro) y una temperatura de 49°C. Los datos químicos indican que el agua de este manantial tiene un componente geotérmico con una concentración de 5,500 mg/l Cl a una temperatura de por lo menos 220°C.

No existe información disponible que permita identificar con certeza la ubicación de zonas de flujo ascendente de fluidos geotérmicos, pero es probable que la principal zona (o zonas) de ascenso se encuentre localizada por debajo de la porción más elevada del volcán, probablemente en el sector E y ESE.

El nivel general de riesgo volcánico es bajo en casi todo el área, y es moderado en el área cercana al cono volcánico. La probabilidad de que ocurra una erupción violenta durante la vida de un proyecto geotérmico (20 a 30 años) es bastante baja. Por lo general, el riesgo de derrumbes tampoco es muy alto. El riesgo sísmico es similar al de la mayoría de la Cordillera Volcánica, lo que implica que, en la vida de una instalación geotérmica puede ocurrir eventos sísmicos con intensidad en el rango cinco–seis en la escala de Richter.

Con el propósito de estimar las reservas recuperables de energía geotérmica, a esta área se le ha asignado la Categoría 3, y las reservas se han calculado con base en las características de la



actividad volcánica más joven del área, según la metodología descrita en le Anexo B del Volumen I.

El cálculo del calor magmático disponible indica un valor promedio para las reservas potenciales de más de 15 MW/km² cerca del centro del complejo, que desciende a menos de dos ó tres MW/km² a una distancia de cuatro a cinco km. La desviación estándar o el rango de incertidumbre es considerable. Sumando las reservas potenciales del área en la vecindad del volcán, la estimación total es de aproximadamente 425 NW para un plazo de 30 años.

Estos resultados son una representación estadística del potencial del área y no ofrecen una prueba concluyente de que exista un recurso geotérmico comercialmente explotable. Hasta que se hayan realizado trabajos de exploración adicionales, incluyendo la perforación profunda, será posible demostrar la existencia de roca permeable con un volumen suficiente que permita la convección del fluido y el desarrollo de un yacimiento comercialmente explotable.

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

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



- no se anticipan problemas ni costos importantes derivados de la atenuación adecuada de los potenciales impactos ambientales negativos.

Los aspectos desfavorables son:

- el área está lejos de las principales líneas de transmisión y de subestaciones eléctricas, siendo la más cercana la de la zona de Chinandega / El Viejo;
- el área también está distante de la mayoría de las zonas de servicios;
- la falta de caminos de acceso en muchas zonas dificultaría o haría más costosas las actividades de exploración y de algunos trabajos de desarrollo; y
- la existencia de áreas protegidas, y el posible establecimiento del propuesto Parque Nacional, podrían limitar las actividades de desarrollo en algunas zonas.

El área de Cosigüina se encuentra en la etapa de reconocimiento en lo que se refiere a la investigación de los recursos geotérmicos; sin embargo, hay razones para considerar que el área tiene potencial para descubrir un recurso comercial. Suponiendo un escenario en el cual el objetivo es un desarrollo de tamaño pequeño a intermedio para la generación eléctrica (3 á 20+ MW), un programa de exploración para delinear la zona más prominente de explotación.

- Investigaciones geoeléctricas (de tipo MT, AMT o CSAMT)
- Perforación de 10 a 12 pozos someros (100 a 300+ m) para la medición del gradiente de temperatura
- Investigaciones complementarias, tales como la interpretación geológica de detalle en áreas seleccionadas y gravimetría realizada con estaciones de moderada a alta densidad.
- Análisis completo y síntesis de los resultados de todas estas actividades, lo cual constituirá el estudio de pre-factibilidad.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

El presupuesto aproximado total para tales actividades sería unos \$1.3 a \$1.6 millones, durante un período de 12 meses.

Para la confirmación del recurso hasta el nivel de factibilidad se deberá contemplar la perforación de por lo menos dos pozos exploratorios profundos de diámetro comercial de producción y uno para la inyección, con costo total mínimo de unos \$4.0 millones. Las actividades adicionales de pruebas, evaluación, administración, reportes, estudios de impacto ambiental y concesiones y permisos resultan en un presupuesto para los estudios de factibilidad de aproximadamente \$5.3 millones, durante un periodo de 2 años.



1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

1.1 Localización

El área de Cosigüina se localiza en el extremo Noroeste de la Cordillera Volcánica de Nicaragua. Ocupa la península formada principalmente por el Volcán Cosigüina y las zonas bajas alrededor del mismo (Figura II-1.1). Hacia el Sudoeste, Oeste y Noroeste, se encuentra el Océano Pacífico, mientras que el Golfo de Fonseca se localiza hacia el Norte y el Nordeste de la península. Al otro lado del Golfo de Fonseca, se encuentra la República de El Salvador, a una distancia de aproximadamente 30 km, y la República de Honduras a unos 20 km hacia el Nordeste.

La ciudad más cercana es Chinandega, localizada a unos 50 km hacia el Sudeste. Toda el área de estudio de Cosigüina está localizada en el Municipio de El Viejo, en el Departamento de Chinandega.

El Volcán Cosigüina representa el extremo Noroeste de la Depresión Nicaragüense, una estructura subsidente que se extiende a lo largo de todo el país, paralelamente a la costa Pacífica. El volcán está a casi 70 km del volcán más cercano que ha estado activo más recientemente, el San Cristóbal, y entre los dos existe una zona donde no se infiere que haya habido actividad volcánica en el Cuaternario.

1.2 Extensión del Área

El área de estudio (Figura II-1.2) ocupa prácticamente toda la península, aunque el foco de atención en cuanto a recursos de potencial geotérmico es el volcán central de Cosigüina, que ocupa la parte Norte de la península, con un área de aproximadamente 25 km². Por consiguiente, los límites del área de estudio están definidos por el litoral del Océano Pacífico en los extremos Sudoeste y Noroeste de la península, y la costa del Golfo de Fonseca en el lado Nordeste. El límite Sudeste del área está definido, aproximadamente, por una línea que se extiende hacia el



Noroeste, a través de la Bahía Puerto Arturo (una entrada ancha y poco profunda que hace el Océano Pacífico), continuando a través del Cerro El Calanchín, donde el Golfo de Fonseca se encuentra con la desembocadura del Estero Real.

Según esta definición, el área de estudio de Cosigüina ocupa una extensión total de aproximadamente 400 km², ocupando el Volcán Cosigüina casi la mitad de esta extensión. El área de la **Figura II-1.1** se encuentra principalmente en las hojas topográficas de INETER 1.50000 de Potosí (2655-II) y Cosigüina (2654-I), y en las márgenes de las hojas Península Venecia (2654-II), Estero Real (2754-IV) y Península Padre Ramos (2754-III).

1.3 Características Fisiográficas

El área de estudio se caracteriza por una topografía relativamente suave. Las alturas varían desde el nivel del mar, a lo largo de la costa de la península, hasta un máximo de 872 m en el punto más alto del Volcán Cosigüina. A excepción del volcán central (incluyendo la Filete Cresta Montosa de su lado O), la mayoría del terreno en el área es casi plano o de pendiente suave (**Figura II-1.2**).

Las principales excepciones a esto son dos zonas bien diferenciadas de colinas bajas, que son:

- el complejo Loma San Juan (conocido también con el nombre Filete El Yanke), un ancho contrafuerte que se extiende hacia el Este desde el Volcán Cosigüina, con elevación máxima de 843 m, y
- el complejo Loma Ojo de Agua / Loma El Ojochito, localizado en la parte Sudoeste de la península, con una elevación máxima de 315 m.

El Volcán Cosigüina es un volcán ancho de tipo escudo, con cráter central profundo y relativamente pocos centros volcánicos subsidiarios o parásitos, y en 1835 fue sede de una gran erupción explosiva. El cráter, con paredes muy inclinadas, tiene más de 500 m de profundidad, y está ocupado por un lago de agua dulce (Laguna del Volcán Cosigüina), cuya superficie tiene una



elevación de entre 160 y 180 m s.n.m. La elevación del borde del cráter varía entre 640 en el extremo NE y 872 m en los extremo SO. El terreno al alejarse del borde del cráter presenta pendientes moderadas y es bastante uniforme en casi todas las direcciones. Sin embargo, la pendiente hacia el Este se ve interrumpida por el complejo Loma San Juan mencionado anteriormente, y hacia el Oeste está interrumpida por el Filete Cresta Montosa, que se ha interpretado como los restos colapsados de un antiguo edificio volcánico (ver la sección 3.1.2 por abajo).

Del volcán divergen llanuras amplias y de suave pendiente, interrumpidas en algunos sitios por quebradas que se dirigen hacia las costas de la península. A pesar de que el litoral del Noroeste y del Sudoeste consiste principalmente de playas, a lo largo de la mayor parte de la costa Noroeste se presentan acantilados de hasta unos 100 m de altura. En el extremo Norte de la península está presente una lengua de arena larga y curveada (Punta San José), que constituye la transición entre el Océano Pacífico y el Golfo de Fonseca. En las márgenes Este y Sudeste de la península, las áreas bajas cambian principalmente a manglares y a otras áreas húmedas que bordean el Golfo de Fonseca, el Estero Real y la Bahía Puerto Arturo.

El clima dentro del área se clasifica como tropical a subtropical, con transición a húmedo (FUNDENIC-SOS, 1999). No obstante, el paisaje presenta un aspecto seco, aún durante la estación de lluvias. Esto puede ser en parte el resultado de la presencia de depósitos volcánicos permeables, incluyendo los depósitos de la erupción de 1835, en la superficie o cerca de ella, presentes en la mayoría de las zonas. El único cuerpo importante de agua dulce es la Laguna Volcán Cosigüina, en el cráter central. Es raro ver arroyos permanentes en la parte Noroeste, y son más comunes en la parte Sudeste, particularmente en las áreas de colinas.

Toda el área se caracteriza por un bajo nivel de desarrollo económico social. La mayoría de las partes planas están dedicadas a la agricultura, aunque por lo general es poco intensiva, y en la



mayoría de las áreas con terreno más inclinado persiste algo de bosque. Particularmente en la parte central del Volcán Cosigüina, todavía se conserva gran parte del bosque, como se observa en la **Figura II-1.3**.

En toda el área es muy baja la densidad de población, la mayor parte de ella confinada en las llanuras costeras, y gran parte del interior está esencialmente deshabitado. Según el censo nacional de 1995, realizado por quien INEC, unas 4,800 personas viven en la península. Las poblaciones más importantes en esta área son Potosí (1,063 habitantes) y Cosigüina (714 habitantes). Hay una cierta cantidad de poblaciones menores, siendo entre ellas las de mayor importancia Apascalí y Punta Ñata. En la península son muy limitados los servicios y facilidades de alojamiento. En el Capítulo 7 se presenta información adicional sobre la población de esta área.

Al área de estudio se llega desde Chinandega por la Carretera 12, pavimentada hasta la población de El Congo, a unos 15 km al SE de Quilaquita (**Figura II-1.1**). Dentro del área no existen caminos pavimentados, pero hay caminos sin pavimento que están en una condición bastante buena y que se extienden alrededor del margen Este de la península hacia el extremo Norte (a El Rosario, cerca de Punta San José), y a lo largo de la llanura costera del Sudeste, hasta Punta Ñata. Es posible el acceso a lo largo de la costa más hacia el interior de la península, y hacia muchas de las áreas bajas, a lo largo de varios senderos, aunque el acceso al interior de la península es muy limitado. Al borde del Volcán Cosigüina se llega solamente a pie o a caballo, y a las partes más aisladas del volcán, como Filete Cresta Montosa, se llega con dificultad. El cráter del Volcán Cosigüina es demasiado inclinado para llegar a pie, y es necesario descender con cuerdas para alcanzar la parte inferior y el lago.



2. EXPLORACIÓN Y DESARROLLO GEOTÉRMICO EXISTENTE

2.1 Concesiones

No se ha otorgado ni se ha solicitado ninguna concesión para exploración geotérmica en el área de Cosigüina, y tampoco han sido solicitados permisos de reconocimiento geotérmico.

2.2 Trabajos de Exploración

2.2.1 *Estudios Existentes*

La documentación disponible indica que, en comparación con muchas otras áreas consideradas dentro del Estudio del Plan Maestro, la extensión de los estudios realizados en el área de Cosigüina es muy limitada. Esto se aplica tanto a estudios realizados específicamente para el posible desarrollo de recursos geotérmicos, como a estudios de tipo más general sobre geología, geofísica, y geoquímica.

Los diferentes estudios completos sobre recursos geotérmicos en Nicaragua, en su mayor parte, han prestado poca importancia a esta área, y el tratamiento que en estos estudios se le ha dado al área de Cosigüina se puede resumir de la siguiente forma: (ver la Tabla II-2.1)

- Texas Instruments (1970): Varios de los manantiales de agua caliente en el área fueron anotados en el inventario de manifestaciones térmicas, pero no se hace ningún comentario importante al respecto, ni se menciona como una de las áreas termales importantes del país. No se reporta ningún análisis químico, ni investigaciones geofísicas, ni se realizaron investigaciones geológicas como parte del estudio.
- IECO (1980): En este estudio se anota la presencia de manifestaciones termales en el área de Cosigüina, pero sin detalles adicionales. El área no constituyó parte del estudio de las



áreas principales. Las investigaciones geofísicas realizadas como parte del estudio no se extienden a esta área.

- OLADE (1981): fue el que realizó mas investigaciones en el área de Cosigüina. En este estudio se anotaron y localizaron en mapas 6 manantiales y pozos con temperatura anómala en el área, distribuidos alrededor del perímetro del volcán, aunque concentrados en los costados Este y Norte. Se analizó una cantidad de muestras termales y no termales, y se reportaron los resultados. Se obtuvieron resúmenes sobre la geología / vulcanología e hidrología del área, pero no definieron exactamente la extensión del trabajo original que se hizo, aunque sin embargo las investigaciones geológicas incluyeron la recolección y el análisis químico completo de rocas en 4 muestras de lava. (ver el Anexo B, Tabla II-B-3).

Comunicaciones con el personal de ENEL durante el desarrollo del Estudio del Plan Maestro indicaron que en 1992 la empresa UNOCAL realizó algunas investigaciones en el área de Cosigüina, las cuales incluyeron muestreo y análisis químico de aguas. Sin embargo, no se dispone de datos sobre estas actividades.

Los estudios realizados sobre la geología del área han tendido a enfocarse en la descripción y el análisis de la violenta erupción de 1835 del volcán central de Cosigüina. Galindo (1835) presenta una descripción de la erupción basada en relatos de la época. Williams (1952) comenta sobre la erupción y sus productos (incluyendo un análisis químico de una bomba de la erupción, ver el Anexo B, Tabla II-B.3) aunque hace también una evaluación más general de la vulcanología del volcán central. McBirney (1958) y McBirney *et al.* (1965) proveen también breves resúmenes del volcán y su actividad.

Hradecky (1988) presenta el análisis más completo que se haya hecho a la fecha sobre la geología volcánica del área de Cosigüina. Incluye un mapa geológico relativamente detallado de toda la



península, así como comentarios sobre depósitos volcánicos en las zonas periféricas y en el volcán central. Se incluye también una evaluación de los mecanismos eruptivos del evento de 1835, y unos análisis químicos completos de rocas del volcán (ver el Anexo B, Tabla II-B.3). Self, *et al* (1989), discuten una re-evaluación de la erupción de 1835 y de sus efectos sobre las condiciones atmosféricas de la época, y unos análisis químicos completos de rocas del volcán (ver el Anexo B, Tabla II-B.3).

En resumen, ha habido muy pocas evaluaciones detalladas o integradas del área del Cosigüina, ya sea para propósitos de exploración geotérmica o para interpretación de la geología y la vulcanología. Esto en parte se debe a la lejanía del área y al limitado acceso a muchas de las zonas.

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 existente disponible sobre el área de Cosigüina. Se realizó primero una revisión detallada de la literatura y de los datos existentes, así como la elaboración de un modelo geológico y geotérmico preliminar del área. Se obtuvieron fotografías aéreas (serie de INETER, 1996, escala 1:40,000) e imágenes de satélite (Landsat 5, 13 de Enero de 1987), procesadas para el caso y analizadas para ayudar en la planificación de las investigaciones de campo.

Geología – Vulcanología

Las fotografías aéreas e imágenes de satélite se examinaron y analizaron para identificar y caracterizar manifestaciones de interés geológico. Aquí se incluye, con gran importancia, los centros de actividad volcánica reciente, otras manifestaciones volcánicas, y lineamientos que pueden reflejar estructuras geológicas. En lo posible se llevó a cabo la verificación de campo de



estas manifestaciones, y se compararon los resultados con los mapas y reportes anteriores sobre la geología volcánica del área.

Las investigaciones de campo incluyeron visitas a todas las áreas que eran razonablemente accesibles, incluyendo el área de la cumbre y el flanco Este del volcán central, así como gran parte de su periferia. Se examinaron los principales depósitos volcánicos del área, y se recolectaron 11 muestras representativas de depósitos para un posible análisis. Se llevó a cabo el análisis petrográfico de 8 de las muestras (Anexo B), y dos muestras se sometieron para el método de datación por termo-luminiscencia. Aunque estas muestras fueron examinadas en el campo con lupa y tuvieron características adecuadas para la datación, resultó a la escala de examen microscópico que la mineralogía no fue adecuada para la datación confiable (carecían de cuarzo y de zircón y contuvieron feldespatos anómalos).

La información geológica y las observaciones se sintetizaron para elaborar un mapa geológico que resumiera las principales características de interés de la zona. Además, la historia volcánica y la evolución del área, así como su régimen estructural, han sido interpretadas poniendo énfasis particular en su posible relación con la actividad hidrotermal.

Hidrología

En lo que respecta a los estudios hidrogeológicos, éstos se realizaron simultáneamente con los geológicos y geoquímicos. Se delimitaron las cuencas hidrogeológicas que confluyen en el área, tomando en cuenta la geología, topografía e hidrología. Se hicieron observaciones en el campo, principalmente de las características de aguas superficiales, a fin de complementar la información existente.



El análisis de las características geohidrológicas identificadas o inferidas en el subsuelo y la superficie, así como la identificación de las grandes estructuras que las afectan, fueron la base para determinar las zonas de recarga y descarga hídrica del subsuelo.

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

Geoquímica

El trabajo geoquímico realizado para el Plan Maestro en el área del Volcán Cosigüina incluye la recolección y análisis de las siguientes muestras:

- 15 muestras de agua para análisis químico completo,
- 5 muestras de agua para análisis de isótopos estables de agua,
- 2 muestras de agua para análisis de tritio, y
- observaciones hidrológicas (profundidad total, profundidad del nivel de agua y temperatura del agua, siempre y cuando fue posible) en 34 localidades (15 de las cuales se muestrearon). Alrededor de la península se visitaron casi todos los pozos existentes para riesgo y aprovechamiento hídrico, obteniendo información acerca de su profundidad total, profundidad del nivel de agua y temperatura del agua.

No hay muestras de gas ni de isótopos de helio debido a que en el área no se han encontrado o reportado emisiones de gas. Se tiene información (Texas Instruments, 1970) de que en el cráter



del Cosigüina hubo en algún momento actividad fumarólica, pero no se pudo observar desde un aeroplano en 1970 (Texas Instruments, 1970), ni se han podido ver durante el presente estudio (Mayo 2000), cuando el cráter se examinó desde su borde.

Todos estos datos se recopilaron junto con 18 análisis químicos que ya existían antes de iniciarse el Plan Maestro, y fueron evaluados en detalle (ver Anexo A).

Geofísica

Como parte del Estudio Plan Maestro, y de acuerdo a los términos de referencia del mismo, se establecieron prioridades entre las diferentes áreas de estudio como posibles candidatos para estudios geoelectricos, y la asignación de prioridades fue presentada a la CNE. El área de Cosigüina no fue seleccionada para realizar investigaciones geoelectricas dentro del Estudio Plan Maestro. Esta decisión se basó principalmente en el nivel general de indicios de actividad geotérmica en el área, así como en las condiciones logísticas (incluyendo el acceso) dentro del área. Como resultado, a la fecha no se han realizado investigaciones geofísicas en el área de Cosigüina con propósitos de exploración geotérmica.

Estudios Ambientales

Los estudios ambientales involucraron la obtención de información sobre el marco regulatorio ambiental de Nicaragua, tanto general como para el desarrollo de la geotermia. Especial atención se dio a la obtención de la información más actualizada sobre el estado de las Áreas Protegidas o Reservas Naturales que existen dentro del área del estudio. Además se recolectaron datos de las condiciones ambientales en la zona, tales como datos de clima, del uso de la tierra, de flora y fauna, y de las características y condiciones de los cuerpos principales de agua.

Durante el curso de las investigaciones de campo en las áreas de geología, geoquímica e hidrología, la información existente se complementó con observaciones de 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 Cosigüina se inició con la recolección de la información disponible, que se complementó con observaciones realizadas durante la ejecución de las investigaciones de campo en otras disciplinas. Estos datos se revisaron y analizaron para determinar las condiciones logísticas que pudiesen influir en la exploración y el desarrollo geotérmicos.

Los principales datos recolectados y analizados se refirieron a:

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



2.3 Perforación de Exploración y de Desarrollo

En el área de Cosigüina hasta la fecha no se han perforado pozos profundos o de poca profundidad (tales como agujeros para gradiente de temperatura) con propósitos de exploración o desarrollo geotérmico. La única información disponible a la fecha proviene de pozos de poca profundidad, localizados en su mayoría en áreas costeras en la periferia del volcán, que han sido perforados o excavados para el suministro de agua. Según se mencionó en la sección 4.1.1 por abajo, en varios de estos pozos se han encontrado temperaturas elevadas.

2.4 Producción

Hasta la fecha no ha habido ninguna producción comercial o utilización de fluidos geotérmicos en el área de Cosigüina. El uso de aguas termales provenientes de manantiales o pozos se ha limitado, cuando mucho, al uso doméstico.

2.5 Estado Actual

Según se anotó anteriormente, en el área no ha habido ninguna actividad de exploración geotérmica importante, ni parece que se haya contemplado hasta el momento, dada la ausencia de concesiones para exploración o desarrollo.

Basándose en los datos disponibles, se debe concluir que el área de Cosigüina permanece esencialmente en una etapa de reconocimiento, son necesarias investigaciones adicionales para llegar a una etapa de pre-factibilidad.



3. ASPECTOS GEOLÓGICOS, VULCANOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

3.1 Marco Geológico

3.1.1 *Marco Geológico Regional*

Aspectos Generales

El área de Cosigüina se ubica en el sector NO de Nicaragua en la península del mismo nombre. Tectónicamente se encuentra en el Bloque Chortis, que es una unidad de corteza principalmente continental perteneciente a la Placa Caribe. También, el área se ubica cerca del margen SO de la Depresión Nicaragüense, la cual es una amplia zona subsidente desarrollada paralelamente a la costa del Pacífico y a la Fosa Mesoamericana (ver [Figura II-3.1](#)).

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

La Zona Costera del Pacífico presenta una secuencia continua de sedimentos neríticos, en mayoría volcano-clásticos, que se depositaron entre el Cretácico Tardío y el Mioceno Superior (Formaciones Brito, Rivas, Masachapa y El Fraile). Estas rocas 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, que aflora más ampliamente en el Altiplano del Interior (McBirney *et al.*, 1965; Weyl, 1980; Weinberg, 1992).

El Altiplano del Interior se constituye principalmente por rocas volcánicas del Grupo Matagalpa (Oligoceno) y del Grupo Coyol (Mio-Plioceno). El Grupo Matagalpa se compone por flujos piroclásticos, principalmente ignimbríticos, con asociadas lavas de diversa composición y rocas volcano-sedimentarias. El Grupo Coyol, separado del subyacente Matagalpa por una discordancia angular, es a su vez subdividido en inferior y superior. La porción inferior se compone por lavas, principalmente andesíticas, aglomerados volcánicos y capas ignimbríticas, con intercalaciones piroclásticas, de areniscas y de sedimentos marinos. La porción superior tiene intercalaciones de lavas basálticas y dacíticas, aglomerados volcánicos, productos piroclásticos e ignimbríticas soldadas. Todas las rocas pre-Cuaternarias que afloran dentro del área de Cosigüina fueron clasificadas como parte del Grupo Coyol por Parsons Corp. (1972), el cual llevó a cabo el Proyecto Catastro de Nicaragua.

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

Un esquema general que sintetiza la evolución geológica y tectónica de Nicaragua Occidental se presenta en la **Figura II-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 desarrolla con rumbo NO-SE, cruzando 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 nor-occidental del bloque levantado correspondiente a los complejos ofiolíticos de Nicoya y Santa Elena en Costa Rica. En la zona al Sur de Managua, dicha separación es ulteriormente resaltada por la estructura volcánica de Las Sierras, la cual creció sobre el bloque levantado alcanzando elevaciones de 900 m s.n.m. Más al NO, en 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). Dentro el área de Cosigüina, la expresión morfológica de la Depresión Nicaragüense efectivamente desaparece, especialmente por el lado SE hacia la costa del Océano Pacífico.

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 Este 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 la zona NO de la Depresión. Las rocas terciarias son, por el 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 II-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 avan-arco (“Fore-arc”). Se supone que la transición sea de tipo heterópico con interdigitaciones de productos volcánicos y sedimentarios y con graduales cambios laterales de facies, como por otro lado se puede observar en el sector NO de Nicaragua, donde la transición entre ambiente marino y continental está representada por las Formaciones Tamarindo y El Fraile (van Wyk de Vries, 1990?, 1993).

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



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

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

La Cordillera Volcánica Cuaternaria

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

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



dependa de condiciones estructurales profundas, que originaron una génesis no uniforme de los magmas y diferentes modalidades de subida.

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

- Escudos-volcánicos, los cuales son generalmente ubicados en proximidad de zonas de fallamiento transversales a la cordillera volcánica y están ellos mismos cruzados por importantes fallas. Estos incluyen varios conos y cráteres, a menudo esparcidos en un radio de unos 5-15 km desde el centro principal. Su elevación es generalmente modesta (menor de 1050 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 la zona alrededor de los cráteres. El Volcán Cosigüina es uno de los ejemplos principales de los volcanes de este tipo.
- Estrato-volcanes, normalmente alejados de importantes zonas de falla y limitadamente afectados por fallamientos de origen tectónicos. Las deformaciones de estos edificios son en su mayoría atribuibles a fenómenos de inestabilidad gravitacional. Presentan en general un edificio principal y pocos conos secundarios. Su elevación es mayor que los escudos-volcánicos, alcanzando hasta los 1,700 m s.n.m. Estos volcanes presentan en general una parte superior del cono principalmente compuesta por depósitos piroclásticos y caracterizada por inclinaciones de hasta 30°, y una parte inferior con abanicos de coladas lávicas, depósitos de escombros y de lahar intercalados con delgadas capas de piroclastos.
- Complejos ácidos, relacionados con la evolución de cámaras magmáticas intra-crustales que generan magmas muy diferenciados y erupciones fuertemente explosivas. Se presentan en forma de amplios escudos compuestos por productos piroclásticos (pómez e ignimbritas) y



subordinadamente lávicos, de composición variable entre basáltica y dacítica. En estos edificios es frecuente la presencia de amplias calderas.

Stoiber *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 15-20 km.

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 al que produce los basaltos oceánicos, modificado por efectos de metasomatosis por interacción con la corteza y con porciones de sedimentos marinos



involucrados en la subducción (*Walker et al.*, 1990). La influencia de sedimentos marinos pelágicos en el magma está también reflejada por el contenido de ^{10}Be , que es entre los más altos registrados en márgenes convergentes. Otro rasgo peculiar de los magmas nicaragüenses, es la coexistencia de basaltos con alto y bajo contenido de titanio, lo que ha sido interpretado por *Walker et al.* (1990) como indicio de cierta heterogeneidad en el ámbito de la cuña del manto (es decir, la porción del manto que queda comprendida, en forma de cuña, entre el tope de la placa oceánica en subducción y la base de la litosfera continental). Los basaltos con bajo contenido de Ti se generarían en porciones de manto marcadamente afectadas por el proceso de subducción (con “contaminación” por efecto de sedimentos pelágicos), mientras que los basaltos con alto contenido de Ti derivarían de porciones no “contaminadas” por el proceso de subducción. *Carr et al.* (1990) han 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 profunda de origen hacia la superficie, limitando el desarrollo de procesos de diferenciación, mientras que la corteza menos deformada que se encuentra debajo de los estrato-volcanes representaría condiciones más dificultosas para la subida de los magmas, causando un mayor tiempo de residencia de los mismos en la corteza con procesos de diferenciación y metasomatismo asociados.

3.1.2 Marco Geológico Local

La geología superficial del Cosigüina está dominada por el edificio y los depósitos del Volcán Cosigüina. En la **Figura II-3.5** se muestra una síntesis de la geología local, basada en investigaciones realizadas como parte del Estudio Plan Maestro, así como en reportes e información existentes.

Las rocas más antiguas del área pertenecen a la fase entre el Terciario Superior y el Cuaternario Inferior, y están expuestas en 3 áreas generales:



- el complejo Loma San Juan, que forma un ancho contrafuerte que se extiende hacia el Este desde el edificio central del Volcán Cosigüina,
- el complejo de colinas en la parte Sudoeste de la península, que incluye Loma Ojo de Agua / Loma El Ojochito, y Loma El Padre; y
- las colinas cercanas a Quilaquita, en el extremo Sudeste de la península, incluyendo Cerro El Calanchín.

Las rocas expuestas en estas áreas no han sido todavía estudiadas en detalle. En los mapas anteriores se les atribuye al Grupo Coyo del Plioceno (Parsons Corp., 1972). No obstante, Hradecky (1988) señala que la morfología asociada con estas exposiciones sugiere que son restos erosionados de edificios volcánicos más recientes, posiblemente de la era del Pleistoceno. Aunque, como parte del Estudio Plan Maestro se recolectaron de varias formaciones volcánicas de estas áreas para datación, la datación no fue exitosa (ver la sección 2.2.2 por arriba).

Un examen de los depósitos encontrados en el complejo Loma San Juan y en el área de Loma Ojo de Agua – Loma el Ojochito – Loma El Padre, indica que están dominados por lavas compactas y lahares y material volcánico detrítico. Se determinó que una muestra de lava recolectada en Loma Ojo de Agua es un basalto con olivino y clinopiroxeno, mientras que una lava muestreada en los depósitos de material volcánico detrítico en Loma El Ternero (al Noroeste de Loma El Padre) se encontró que es una andesita con dos piroxenos (ver Apéndice B). En el área de Loma San Juan, una muestra de lava recogida en la base Este del contrafuerte se determinó que era una andesita con clinopiroxeno.

Es incierta la forma original de los volcanes que han erupcionado los depósitos más antiguos, en particular los de los depósitos en el Sur. En Loma San Juan, el relieve es mayor y hay algún



indicio de que el centro volcánico original haya estado más cerca de lo que en la actualidad es el pico más elevado de todo el contrafuerte.

Los otros depósitos expuestos en la superficie del área de estudio se relacionan propiamente con el volcán Cosigüina. Estos incluyen:

- depósitos de la erupción de 1835 que, debido a su origen reciente y al volumen original, cubren un área importante;
- material retrabajado y redepositado de la erupción de 1835, además de depósitos aluviales recientes. Estos se encuentran principalmente a lo largo de las márgenes Norte, Este y Sur de la península;
- rocas más antiguas (anteriores a 1835) del Volcán Cosigüina. Están expuestas principalmente en las paredes del cráter central, y en el farallón erosionado del Filete Cresta Montosa; y
- depósitos de centros volcánicos parásitos o secundarios, presentes en varios sitios.

En la sección 3.2 se discuten con mayor detalle estos depósitos

La interpretación de la estructura geológica se ve limitada hasta cierto punto por la presencia de depósitos más recientes en casi toda el área, incluyendo la presencia por doquier de depósitos de la erupción de 1835. Se analizaron imágenes de satélite y fotografías aéreas para identificar las principales estructuras y otras manifestaciones lineales presentes en el área; éstas luego se compararon con las de los trabajos anteriores antes de hacer una interpretación estructural definitiva.



La estructura geológica del área puede apreciarse mejor en la zona dentro y cerca del Volcán Cosigüina. Entre las manifestaciones más notables en esta zona se incluyen:

- El flanco inclinado del cráter central, que es una notable manifestación de colapso. Hradecky (1988) reporta la presencia de fracturas leves concéntricas al borde del cráter; asimismo hay algunos hundimientos secundarios dentro del mismo cráter.
- Una vieja muralla o “borde somma” (término derivado del Monte Somma, que tiene una relación similar al Volcán Vesuvio en Italia) localizada principalmente hacia el Oeste del volcán central y que forma el Filete Cresta Montosa. Esta estructura representa un viejo colapso del volcán, seguido de la subsiguiente formación del actual edificio central. Tal como lo apuntó Williams (1952), debe haber existido una depresión o “fosa” de considerable profundidad entre el volcán central y el Filete Cresta Montosa, antes de que se llenara con depósitos de la erupción de 1835. Se observa que el borde somma se curva por un trecho alrededor de los márgenes Sur y Norte del volcán, pero llega a desaparecer hacia el Este.
- Una falla arqueada con tendencia Noroeste, localizada el Oeste del Filete Cresta Montosa. No es muy notable, y aunque Hradecky (1988) la presenta como una estructura de colapso, en nuestra opinión no es posible relacionarla con ningún episodio particular del desarrollo del volcán.
- Una serie de fallas pequeñas y lineamientos hacia el Oeste y el Este del volcán central, en su mayoría con tendencia aproximada N-S (inclusive algunas dentro del complejo de la Loma San Juan). Pareciera que están localizadas, y no se ha identificado ninguna estructura de extensión regional



Se nota la ausencia de estructuras importantes en las áreas donde hay expuestas rocas más antiguas (Figura II-3.5), lo cual sugiere la posibilidad de que la deformación estructural ha sido limitada dentro del área de estudio en tiempos recientes, y que la estructura local está dominada por la dinámica de la evolución del Volcán Cosigüina.

3.2 Actividad Volcánica

La actividad volcánica dentro del área de Cosigüina está dominada por la actividad del propio volcán, donde, aparte del volcán central, los indicios de una actividad reciente se limitan a unos pocos centros volcánicos parásitos. El complejo volcánico se encuentra aislado del resto de los volcanes activos de la Cordillera Volcánica de Nicaragua, y el más cercano de los volcanes jóvenes es el San Cristóbal, distante aproximadamente 60 km hacia el SE. En gran parte del tramo intermedio se encuentran expuestos depósitos volcánicos pre-Cuaternarios. Hacia el Noroeste, los volcanes activos más recientes se encuentran en Isla El Tigre (República de Honduras) e Isla Conchagüita (República de El Salvador), ambos en el Golfo de Fonseca. Conchagüita ha hecho erupciones en tiempo histórico, la más reciente en 1892.

3.2.1 *Volcán Cosigüina*

Forma y Composición

El Volcán Cosigüina es un volcán de tipo escudo con un diámetro cercano a los 20 km y una elevación máxima de 872 m. Tiene una forma casi circular, y las principales irregularidades en su forma se deben a la presencia del Filete Cresta Montosa y al amplio contrafuerte formado por el Loma San Juan (Fig. II-1.1).

Las paredes expuestas del cráter indican que la parte central del volcán está compuesta principalmente por flujos repetitivos de lava, separados por capas de escoria y, posiblemente, depósitos piroclásticos. Williams (1952) observó claramente por lo menos 30 flujos expuestos en



las paredes de 400 a 600 m de altura del cráter; nuestras observaciones indican que el número de flujos puede llegar hasta 40 a 50. Son bastante regulares, y están casi ininterrumpidos por diques u otras manifestaciones intrusivas, aunque podría estar presente algún pequeño cuerpo subintrusivo en la pared Sur del cráter.

Contrastando con el volcán central, en las márgenes distantes es común encontrar depósitos piroclásticos, principalmente a lo largo de la costa Noroeste de la península, expuestos en los acantilados costeros y en los márgenes de quebradas. Hradecky (1988) parece haber concluido que la mayoría (o todos) de los depósitos piroclásticos expuestos por la costa son productos de la erupción de 1835. Sin embargo, en base a la inspección de afloramientos en esta zona, creemos probable que muchos de estos depósitos son productos de erupciones anteriores, incluyendo erupciones que pueden relacionarse con el viejo edificio volcánico del Filete Cresta Montosa. Sería útil alguna datación de los depósitos piroclásticos para comprender el historial eruptivo del complejo volcánico.

Las rocas piroclásticas incluyen depósitos tobáceos de texturas varias, y se ha interpretado que incluyen flujos piroclásticos, depósitos tipo “base surge”, y depósitos de caída (Self *et al*, 1989; Hradecky, 1988). Hradecky (1988) realizó un análisis muy detallado de las características de estos depósitos, y señaló que predominan los materiales de grano fino. Algunos de los depósitos están cementados en diferentes grados, mientras que otros están sueltos y relativamente inconsolidados.

Una parte importante del área de estudio se representa en el mapa geológico de Hradecky (1988) como terreno cubierto por depósitos de tipo lahar o flujo de lodo (**Figura II-3.5**); estos también se clasifican como productos de la erupción de 1835. El origen de estos depósitos no pudo verificarse en el transcurso de las investigaciones de campo efectuadas como parte del Estudio Plan Maestro.



Los resultados de los análisis petrográficos y petrológicos reportados por Williams (1952), Hradecky (1988) y Self *et al.* (1989), junto con aquellos realizados durante el desarrollo del Estudio Plan Maestro, indican que en la composición de los productos eruptivos del Volcán Cosigüina predomina la andesita y la andesita basáltica. Los análisis químicos realizados a 5 depósitos de la erupción de 1835, reportados por Hradecky (1988) y Williams (1952), muestran una consistente composición andesítica, con contenidos de SiO₂ que va desde 55.4% hasta 60.0%. Tres análisis adicionales reportados por Self *et al.* (1989) dan esencialmente el mismo resultado. Estos análisis se muestran en el Anexo B. Williams (1952) examinó varias lavas pre-1835 y encontró que eran basaltos o andesita basáltica con piroxeno y olivina, y basalto o andesita basáltica con dos piroxenos. Las muestras recolectadas para el Estudio Plan Maestro se interpretaron como andesita con dos piroxenos (ver Anexo B).

Historia de la Actividad

Basándose en la evidencia disponible, el historial de la actividad volcánica en el área de estudio se puede resumir de la siguiente forma:

- Una actividad bastante dispersa durante el tiempo Terciario hasta (posiblemente) el Pleistoceno depositó las rocas volcánicas que ahora componen las colinas en las áreas del Loma San Juan, Loma Ojo de Agua – Loma El Ojochito – Loma El Padre, y el Cerro El Calanchín. La localización de los centros eruptivos de esta actividad es incierta, aunque uno de ellos pudo haber estado en o cerca de la actual Loma San Juan. Este podría representar un ancestro del actual Volcán Cosigüina.
- El Volcán Cosigüina ha sufrido por lo menos dos fases de construcción y de colapso parcial. El flanco inclinado formado por el Filete Cresta Montosa, con su extensión en parte alrededor de los márgenes Norte y Sur del actual volcán, representan un evento de



colapso de caldera, asociado probablemente con una importante erupción explosiva, que es el último colapso antes del evento de 1835.

- Desde el colapso asociado con el Filete Cresta Montosa, la mayor parte de la actividad volcánica probablemente ha consistido de flujos intermitentes de lava desde una chimenea central que formó el actual edificio volcánico. También pudo haber ocurrido erupciones que formaron depósitos piroclásticos durante este periodo, aunque hasta el momento se carece de evidencia directa sobre esto.
- No es posible determinar con certeza si el Volcán Cosigüina ha eruptado más de una vez en tiempos históricos. Self *et al.* (1989) hacen la mención de posibles erupciones en los siglos 18 y 19, aunque tales referencias son dudosas. Por lo tanto, nosotros consideramos que el evento de 1835 es la única erupción histórica que se conoce en forma concluyente.
- El evento de 1835 constituyó una importante erupción pliniana responsable de la formación del cráter actual. Desde ese tiempo no se sabe que haya habido ninguna otra actividad. La erupción de 1835 y sus implicaciones se describen con mayor detalle en la siguiente sección.

La Erupción de 1835

La erupción del Volcán Cosigüina en 1835 se considera como una de las mayores erupciones volcánicas en las Américas en tiempos de historia escrita. La primera descripción completa de la erupción de 1835 del Cosigüina fue escrita por Howell Williams (1952) basándose en su lectura de relatos de testigos oculares, así como en notas y muestras tomadas durante su visita al volcán en Octubre de 1949. A partir de lo que cuentan los testigos oculares, concluye que la erupción comenzó a las 8 a.m. del 20 de Enero, y que duró prácticamente hasta el 23 de Enero. No hubo reportes de temblores antes de la erupción, aunque si se sintieron en forma repetida en La Unión,



El Salvador, a 50 km de distancia, el 20 de Enero, a las 4 p.m. La ceniza se extendió tanto, y era tan densa, que en Nacaome, Honduras, a 65 km de distancia, oscureció al medio día, y a las 5 p.m. la capa de ceniza era de 8 cm. Se reporta que la mañana del 21 de Enero se oscureció y hubo temblores y retumbos en una zona muy extensa, y durante todo el día, el territorio de Honduras se vio velado por la oscuridad de la ceniza.

La erupción continuó durante el día 22, a la vez que el viento cambió al Sudeste, por lo que una fina ceniza comenzó a caer y a oscurecer el sol en Chinandega. Durante esa noche parece que la erupción alcanzó su clímax, con retumbos que se escucharon durante nueve horas, y se sintieron temblores en un radio de 400 km. Los retumbos se oyeron hasta en Bogotá, Colombia y Kingston, Jamaica. La erupción declinó rápidamente en el día 23, aunque la ceniza fina llegó hasta Jamaica, a 1,300 km al Este. Aún durante los días 25 y 26 la ceniza oscureció la Ciudad de Guatemala. La mayor eyección que se reportó cayó en la Isla El Tigre, a 32 km allí. Durante el segundo día de la erupción, se notó la caída de trozos de pómez del tamaño de un huevo de gallina, y la ceniza fue tan densa que se le dificultaba respirar a la gente.

Los depósitos de la erupción de 1835 incluyen:

- Ceniza (y eyecciones más grandes lanzadas al aire cerca del volcán) en casi toda la América Central, con depósitos de cerca de 1 mm a distancias de por lo menos 300 km y de más de 10 cm a distancias de unos 75 – 100 km (Self *et al.*, 1989).
- Flujos piroclásticos (incluyendo depósitos tipo “base surge”) depositados sobre la mayor parte de la península y extendiéndose dentro del Golfo de Fonseca hacia el Norte y el Noroeste, donde se reportó la formación de nuevos islotes (Self *et al.*, 1989). Se ha reportado que el espesor total de los materiales piroclásticos (incluyendo los depósitos acarreados en el aire) ha excedido los 40 m en algunos sitios, aunque es mucho más delgado en la mayoría de los lugares.



- Una combinación de lava y eyecciones aglutinadas reportadas por Self *et al.* (1989) presente en algunas partes del cono central. Con la excepción de este depósito, todos los productos de la erupción de 1835 parecen consistir de material piroclástico.

Las estimaciones en cuanto al volumen total eruptado varían considerablemente, tendiendo las estimaciones más recientes a ser más conservadoras. Williams (1952) menciona estimaciones previas de eyección total que van desde unos pocos hasta los 150 kilómetros cúbicos, aunque concluye que el volumen “. . . puede no haber excedido los 10 kilómetros cúbicos.” Self *et al.* (1989) calculan que la columna de la erupción alcanzó una altura de entre 25 y 28 km y que el volumen de ceniza fue de 2.9 a 5.6 kilómetros cúbicos (equivalente a una cantidad de 1.8 a 2.8 kilómetros de magma). No estimaron el volumen de los depósitos de flujos piroclásticos.

De los diferentes reportes queda claro que solamente un mapeo más detallado de los depósitos de 1835, y quizás algunos núcleos de perforación de depósitos de flujos piroclásticos, puedan aclarar la incertidumbre en cuanto al volumen del material eruptado. En nuestra opinión, una estimación razonable del volumen de magma eruptado en 1835 es de unos 3 kilómetros cúbicos, lo que es aproximadamente igual al volumen de la caldera. Esto se compara con 1 kilómetro cúbico eruptado por el Volcán del Mount St. Helens en los Estados Unidos en 1980, y con 5 kilómetros cúbicos de magma eruptado por el Volcán Pinatubo, en las Filipinas, en 1991.

En cuanto a la cronología de la erupción, la primera actividad fue de tipo freático, seguida de explosiones freato-magmáticas, y finalmente la fase principal magmático-Pliniana, que se inició en la mañana del 21 de Enero, el segundo día de la erupción.

Williams (1952) concluyó que la erupción fue predominantemente Pliniana con una alta columna eruptiva compuesta principalmente de fina ceniza andesítica y fragmentos de pómez. También llegó a la conclusión de que el cráter actual se formó por colapso dentro del espacio creado por el



volumen del nuevo magma eruptado, y que por lo tanto representa una estructura de caldera (McBirney *et al.*, 1965). Las investigaciones del Estudio Plan Maestro han venido a confirmar las conclusiones a las que llegó Williams, con una observación adicional: el comienzo de los principales temblores a las 4 p.m. del 20 de Enero, y su continuación durante la noche del 22-23 de Enero indican que probablemente este fue el momento y la duración del colapso de la caldera.

Hradecky (1988) concluye que la erupción de 1835 fue de tipo freato-pliniana, es decir, que el agua subterránea constituyó un elemento importante que contribuyó a la explosividad de la erupción. Nosotros no concordamos con esta conclusión, ya que la cinética de interacción del agua subterránea con el magma sería muy lenta y esporádica como para producir una erupción tan grande y de tanta duración. En nuestra opinión, los gases que mayormente impulsaron la erupción ya estaban disueltos en el magma antes de la erupción.

3.2.2 Centros Volcánicos Parásitos

El Volcán Cosigüina tiene pocas chimeneas secundarias o parásitas, si se compara con otros volcanes nicaragüenses. Los únicos centros parásitos de importancia se observan en 3 sitios.

El Barranco

El Barranco es un maar (cráter formado por explosión) distinto de aproximadamente 1 km de diámetro, localizado al Nordeste de la cima del cono del Cosigüina (Figura II-3.5). El anillo de depósitos de roca fragmentada que forman el borde del cráter está bien conservado, y el corte de un camino en su lado Norte ha dejado al descubierto su estructura y composición interna. Una muestra recolectada de una bomba de lava dentro del anillo de tobas fue sometida a un análisis petrográfico, determinándose que es andesita con clinopiroxeno con olivino raro. No parece haber una heterogeneidad importante dentro de los depósitos del anillo de tobas, y es probable que sean de composición similar a las lavas que formaron el cono central del Volcán Cosigüina.



Hradecky (1988) considera que El Barranco se formó antes de la erupción de 1835. Pareciera que este es el caso, aunque se debe señalar que el cráter, y particularmente el anillo de tobas, no parecen haber sido erosionados significativamente por la violenta erupción del evento de 1835.

Cráter del Litoral Punta La Salvia

Hradecky (1988) le dio el nombre del promontorio del lugar (Punta La Salvia) aun cráter truncado que se encuentra en la costa NO de la península. El cráter tiene unos 2 km de diámetro, y contiene un cono más pequeño, también truncado, en el centro (Figura II-3.5). Hradecky (1988) le atribuye el origen del cráter a una explosión freática, sin raíces, que resultó de la acumulación de depósitos piroclásticos durante la erupción de 1835. Según esta interpretación, no representa una verdadera chimenea volcánica.

Cerros Chachos

A unos 4 km al Sur de la cima del cráter del Volcán Cosigüina se encuentran dos pequeñas colinas de forma cónica llamadas Cerros Chachos (Figura II-3.5). Hradecky (1988) considera que estos son conos adventicios ; sin embargo, Williams (1952) los describe como restos erosionados de una estructura tipo somma más antigua. Durante el curso del Estudio Plan Maestro no fue posible examinar directamente estas manifestaciones.

3.2.3 Extensión y Posibles Características de Cuerpos Intrusivos

Stoiber *et al.* (1973) estiman el volumen del Volcán Cosigüina en 65 km^3 . El volumen de las intrusiones debajo de la superficie (por debajo de la base del volcán) es probable que sea aproximadamente igual a este volumen (es decir, otros 65 km^3). A profundidades mayores a los 3 – 5 km, el magma es más liviano que las rocas que lo rodean, y por arriba de ese nivel, el magma generalmente es más denso que las rocas a su alrededor. Por lo tanto, esa profundidad (3 a 5 km) a menudo se le conoce como el nivel de densidad neutral. El efecto de flotación empuja



el magma hacia la superficie desde profundidades por debajo del nivel de densidad neutral, aunque es menos probable que los cuerpos de magma separados de sus raíces más profundas por el efecto de flotación, se muevan hacia arriba.

Las intrusiones más comunes al nivel de densidad neutral son las de tipo “sill”, y por encima de éste, predominan los diques. La orientación de los diques puede ser radial con respecto al conducto principal de alimentación, o controlada por un campo de esfuerzos tectónicos regional o local. El campo de esfuerzos en el Oeste de Nicaragua (Weinberg, 1992) sugiere que los diques deben orientarse preferiblemente según una dirección Norte – Sur. La tendencia de los lineamientos detectados en el área (Figura II-3.5) da alguna evidencia limitada de la posible localización de los diques con esta orientación.

A partir de este análisis se puede inferir que una cantidad sustancial de roca intrusiva, que puede servir como una posible fuente de calor geotérmico, podría estar presente debajo del Volcán Cosigüina. No obstante, la definición del tiempo de este emplazamiento, así como la forma del cuerpo o cuerpos intrusivos principales, está pobremente delimitado.

3.3 Hidrología

Las investigaciones realizadas durante el desarrollo del Estudio del Plan Maestro en el área de Cosigüina revelaron los siguientes aspectos principales sobre la hidrología de la superficie y por debajo de ella:

- El agua superficial es escasa en esta área, aparentemente por la presencia de formaciones rocosas relativamente permeables en la mayor parte de la zona. El cuerpo de agua dulce más grande es la Laguna del Volcán Cosigüina, localizada dentro del cráter central, con un diámetro de aproximadamente 1 km y una elevación en la superficie de unos 170 m.



- Existen muy pocos arroyos permanentes que drenen los flancos del Volcán Cosigüina. Numerosas quebradas, en casi todo el volcán, permiten el drenaje superficial según un patrón aproximadamente radial, aunque aún durante la estación lluviosa la mayoría permanecen secas. El drenaje subterráneo presumiblemente se lleva a cabo a través de lavas y/o depósitos piroclásticos que componen el edificio volcánico.
- Principalmente en las zonas donde hay rocas pre-Cuaternarias expuestas se encuentran descargas importantes de agua superficial, tales como manantiales y arroyos (principalmente en o cerca de Loma Ojo de Agua, y en los flancos Este y Nordeste de la Loma San Juan), así como en las áreas muy bajas en la parte Sudeste de la península.
- La presencia de varios pozos de agua distribuidos alrededor de las llanuras costeras de la península indica que existe un acuífero o acuíferos bastante extenso(s) en una gran parte del área.

Krasny *et al.* (1998) incluyeron al área del Cosigüina dentro de su estudio de hidrogeología e hidroquímica de la región del Pacífico de Nicaragua. Categorizaron a toda la península como un sistema acuífero separado, subdividido en 2 subsistemas:

- Subsistema del Acuífero Cosigüina, que se extiende sobre la parte Noroeste de la península, que consiste sobre todo, del Volcán Cosigüina. Se infiere que el agua subterránea en este subsistema fluye principalmente dentro de depósitos volcánicos Cuaternarios, y el nivel piezométrico se acerca a la superficie únicamente en unas pocas zonas a lo largo de la costa. Se nota la ausencia de drenaje superficial, y se infiere que la superficie piezométrica es profunda en áreas con mayor elevación. Presumiblemente, la superficie piezométrica es mayor en o cerca de la Laguna del Volcán Cosigüina (170 m s.n.m.), y decae más o menos radialmente hasta aproximadamente el nivel del mar cerca de la costa. Se estima que la transmisividad dentro del acuífero o acuíferos de este



subsistema va desde muy alta hasta alta y se nota la posibilidad de que ocurra la intrusión de agua de mar si se da una sobreproducción de agua subterránea (salvo en la zona central Sudeste, que se encuentra más distante del mar).

- El Subsistema del Acuífero Padre Ramos se da en la parte Sudeste de la península, y consiste de rocas pre-Cuaternarias expuestas en la superficie en algunas zonas, y cubiertas por depósitos volcánicos Cuaternarios en otras. Se considera que la transmisividad es desde muy alta a alta dentro de este subsistema. Se infiere que el patrón de flujo del agua subterránea es complejo, variando según la posición de las zonas de descarga, y se prevé que puedan existir numerosas cuencas bien diferenciadas de agua subterránea.

3.4 Riesgos Geológicos

3.4.1 *Riesgo de Erupción Volcánica*

El carácter explosivo y de amplio impacto de la erupción de 1835 ilustra la naturaleza de los posibles peligros asociados con el Cosigüina (así como con otros volcanes). No obstante, se debe reconocer que la erupción de 1835 representa un escenario muy cercano al “peor de los casos”, y no refleja necesariamente una alta probabilidad de que ocurra un evento similar en el futuro cercano.

Tal como se discutió anteriormente, el evento de 1835 es la única erupción histórica confirmada del Cosigüina, y no se dispone de dataciones radiométricas de erupciones anteriores. Por consiguiente, no es posible determinar el intervalo de recurrencia de las erupciones en esta área, ni se puede estimar la probabilidad de erupción en un periodo de tiempo dado. No obstante, es posible hacer algunas observaciones acerca del nivel de riesgo volcánico en el área:



- El hecho de que haya ocurrido únicamente una erupción importante en un periodo histórico de más de 400 años sugiere que el intervalo promedio de recurrencia es probablemente largo. El registro de erupciones que se ve en las paredes del cráter central (50 o menos en el periodo durante el cual se formó el cono actual) tiende a apoyar esta inferencia, si bien es solamente cualitativa.
- El registro en las paredes del cráter, y en los depósitos volcánicos observados en otros sitios, indican que muchas, y probablemente la mayoría, de las erupciones son comparativamente poco violentas, depositando flujos de lava que probablemente se limitan al cono central, más que a depósitos piroclásticos extensos.
- Tal como se comenta en la sección 3.2.2, no hay evidencia de erupciones frecuentes en las chimeneas secundarias o parásitas. Las erupciones importantes parecen haberse limitado en su mayoría, al volcán central.

Partiendo de estas observaciones, concluimos que el nivel general de riesgo de una erupción es bajo en casi toda el área, y es moderado en el área cercana al cono volcánico. La probabilidad de que ocurra una erupción violenta dentro del periodo de vida útil de un proyecto geotérmico (típicamente de 20 a 30 años) es bastante baja, debido a que el intervalo de recurrencia de tales erupciones es probablemente de por lo menos varios cientos de años.

Erupciones menos violentas (que parecen tener un intervalo más corto de recurrencia, aunque todavía posiblemente más allá de los 100 años) podrían afectar una parte o toda el área cercana al cráter central (dentro de un radio de 5 km o más) con el riesgo de esparcimiento de flujos de lava. El riesgo de cualquier instalación que se proyecte hacer probablemente se vería reducido al asentarla de tal manera que se evite el camino probable que tomarían las coladas de lava.



En la eventualidad de una erupción pliniana como la de 1835, toda el área estaría sujeta en cierto grado a algún riesgo, y es probable que en algunas zonas sucedan daños catastróficos. Unas pocas zonas (probablemente valles) recibirían depósitos de eyecciones y materiales piroclásticos con espesores que respectivamente llegarían a los 30 m y a los 5 m. La caída de bombas y de material piroclástico podría representar riesgo para la gente y podría dañar las estructuras y el equipo. La ceniza suspendida en el aire durante la erupción probablemente representaría un riesgo para la población local y podría dar como resultado el daño del equipo que necesita circulación de aire del ambiente.

3.4.2 Riesgo de Derrumbe

La topografía bastante suave que predomina en el área del Cosigüina parece que no constituye un riesgo muy alto de derrumbes. No se realizó un levantamiento de las condiciones de estabilidad de las pendientes de la zona; (el cual no fue especificado en los Términos de Referencia establecidos para el Estudio de Plan Maestro); sin embargo, durante el curso de las investigaciones de campo, no se observaron derrumbes o zonas de derrumbe inminente, ni hubo derrumbes recientes reportados por habitantes locales ni observados mediante fotografía aérea.

En unas pocas zonas, aisladas en su mayoría, ocurren pendientes pronunciadas, dentro de las cuales se incluye el interior del cráter del Volcán Cosigüina, y la ladera Este del Filete Cresta Montosa. El edificio del Loma San Juan muestra las pendientes más pronunciadas cercanas a núcleos de población o áreas desarrolladas, pero no hay evidencias que recientemente haya habido deslizamientos.

Es posible que durante un periodo de abundante lluvia, depósitos superficiales de material piroclástico no consolidado (como por ejemplo los de la erupción de 1835) puedan ser removilizados, creando el riesgo de avalanchas de lodo. No obstante esto no parece haber ocurrido recientemente, ni siquiera durante las lluvias del Huracán Mitch en Octubre 1998. Aún



así, sería útil tomar en cuenta esta posibilidad, evaluando la presencia de depósitos no consolidados en la parte superior de las pendientes, a la hora de determinar el sitio de instalaciones superficiales.

La evaluación de peligro volcánico que realizó INETER (1995) indica que la mayor parte de la península de Cosigüina está sujeta al riesgo de colapso del sector volcánico. En nuestra opinión, el riesgo de tal colapso no es importante, en vista de la forma, composición e historial eruptivo del Volcán Cosigüina.

3.4.3 Riesgo Sísmico

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

Según INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales), la estación sísmica mas próxima a la península de Cosigüina se ubica cerca del Volcán San Cristóbal. En base a esta hecha, no es claro si hay una falta de sismicidad en la península, o si hay sin embargo eventos pequeños. De todos modos, es claro que en años recientes no ocurrió ningún evento significativo en la península. En la vecindad de la península, se ha registrado algunos eventos, como de: 1) un



enjambre sísmico en 1997 en el Estero Real (Puerto Morazán), un poco al E de la península; 2) un terremoto (M 4.7) durante el mes de Agosto, 1997, en el Océano Pacífico cerca de la península; 3) un terremoto (M 4.3) en Junio de 1998 en la región del Golfo de Fonseca, y; 4) un terremoto (M 3.8) cerca de el Viejo, 50 km al SE del centro del Volcán Cosigüina, Noviembre de 1998 (INETER, 1999; INETER, 2000).

Durante la revisión de la literatura existente, efectuada en el ámbito del Estudio Plan Maestro, no se encontró ningún estudio específico sobre la sismicidad o el riesgo sísmico en la Península de Cosigüina. Se pueden, sin embargo, efectuar algunas consideraciones basadas en estudios más generales sobre la actividad sísmica da la región.

Wheelock *et al.* (2000) reportan algunos mapas de epicentros sísmicos, en parte derivados de la red sísmica de INETER y en parte de registros históricos. Estos mapas evidencian que la zona de Cosigüina es parte de la región sísmica que se extiende a lo largo de todo el sector SO de Nicaragua y, en particular se ubica en la extremidad NO de una estrecha faja caracterizada por sismos someros, coincidente con la Cordillera Volcánica Cuaternaria. En la zona de Cosigüina esta faja de sismos someros confluye con otra, caracterizada por sismo profundos, que corre a lo largo de la costa del Pacífico, así que en la zona pueden generarse sismos a diferentes profundidades, desde pocos km hasta más de 100 km. En general parece que la actividad sísmica en el área sea menos intensa que en otros sectores de la cordillera volcánica y de la costa pacífica, sin embargo, es importante observar que en la Península de Cosigüina ocurrieron en tiempos históricos por lo menos dos importantes terremotos, respectivamente en 1809 y en 1951, este ultimo seguido por un flujo de lodo que afectó el centro poblado de Potosí.

Sobre la base de la información disponible se puede concluir que el área de Cosigüina está sujeta a un nivel de riesgo sísmico similar a la mayoría de la Cordillera Volcánica y de la región SO de



Nicaragua. Esto implica que, en la vida útil de una típica instalación geotérmica (20-30 años), pueden potencialmente ocurrir eventos sísmicos con intensidad en el rango 5-6 de magnitud Richter, derivados de actividad tectónica. Otros eventos sísmicos podrían también ocurrir en relación con la actividad del Volcán Cosigüina, sin embargo es improbable que en estos casos el nivel de riesgo sísmico pueda exceder el potencial riesgo volcánico.

En el área no se han identificado fallas asociadas con actividad sísmica actual por lo tanto no se conoce si existen zonas particulares en las cuales es más probable que se localicen epicentros de importantes sismos. Las áreas bajas pueden estar sujetas a un nivel de riesgo sísmico más elevado, debido a la posibilidad de que los movimientos sísmicos sean amplificados por la presencia de sedimentos poco consolidados en el subsuelo o, inclusive, a la posibilidad de que ocurran fenómenos de licuefacción. Se considera de toda forma que debería ser posible mitigar los principales riesgos sísmicos conduciendo investigaciones adecuadas para ubicar las instalaciones de un proyecto geotérmico en los terrenos más estables.

3.4.4 Otros Riesgos

Las zonas baja alrededor del Volcán Cosigüina pueden ser sujetas a inundaciones periódicas durante la estación lluviosa. Como observado anteriormente, en algunas zonas existe también cierto riesgo de que se generen flujos en correspondencia de depósitos superficiales inestables en las laderas del volcán. Wheelock *et al.* (2000) reportan que en 1951, en consecuencia de un fuerte sismo, se originó un flujo de lodo en la ladera septentrional del Volcán Cosigüina que sepultó al poblado de Potosí. Se considera sin embargo que, si las instalaciones de un proyecto geotérmico son ubicadas y planificadas adecuadamente, este tipo de riesgo puede ser significativamente mitigado o evitado. La posibilidad de que las carreteras de acceso al área se vuelvan intransitables, también por vehículos pesados, debe también ser tomada en consideración durante la planificación de actividades de exploración y desarrollo geotérmico.



La población local reporta incidentes ocurridos durante la excavación de pozos para agua, en los cuales personas han muerto asfixiadas. Estos reportes no son muy claros y no se pudo determinar si la causa de muerte fue asfixia por falta de aire (en presencia de gas CO₂) o envenenamiento (por ejemplo por presencia de gas H₂S). En todo caso, la posibilidad de que ocurran acumulaciones de gases procedentes del subsuelo en depresiones o zonas excavadas debería de ser tomada en consideración.



4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL

4.1 Manifestaciones Termales

En la Península de Cosigüina no existen manifestaciones termales muy calientes y, por este motivo, el área ha recibido una limitada atención durante las investigaciones geotérmicas anteriores.

Durante el Estudio Plan Maestro se llevó a cabo un levantamiento de campo con el objetivo de identificar y caracterizar todas los indicios de actividad termal presentes en la Península de Cosigüina . Esto permitió reconocer una amplia zona de manantiales tibios y algunos pozos someros con temperaturas ligeramente anómalas.

4.1.1 *Tipo, Localización y Extensión*

Al interior del cráter del Cosigüina se observan amplias zonas afectadas por alteración hidrotermal, principalmente en su pared S y NE, pero aparentemente no existe ninguna manifestación fumarólica. Las mismas condiciones de aparente inactividad fueron reportadas también por autores anteriores (Texas Ins., 1970; Williams, 1952). Según la guía local empleado por GeothermEX, existe agua caliente en el lado S de la laguna del cráter, pero otra confirmación de esta posibilidad no existe.

Las principales manifestaciones termales naturales se encuentran en la orilla oriental de la península, donde, por una larga extensión (aproximadamente 6 km) al S del poblado de Potosí, afloran aguas con temperaturas variables entre los 35°C y los 40°C y, en un punto, alcanza hasta 49°C. El agua termal aflora en correspondencia de varios manantiales, algunos con caudales elevados, y posiblemente fluye también desde el acuífero freático hacia los pantanos adyacentes del Estero Real.



En algunas limitadas zonas alrededor de la península existen pozos someros con temperatura y composición química del agua débilmente anómala.

Los principales manantiales y pozos termales identificados en esta zona se ubican a lo largo de la carretera que lleva a Potosí, a elevaciones próximas al nivel del mar o pocos metros más elevadas. A elevaciones superiores en el edificio volcánico se identificó solamente un manantial con temperatura de 36°C, a 120 m de elevación en la zona al SSO de Potosí.

La ubicación de todos los manantiales y pozos termales identificados o confirmados durante el Estudio Plan Maestro en el área se reporta en la **Figura II-4.1** y sus características se describen brevemente a continuación. Mayores detalles sobre su composición química se dan en la Sección 4.1.2 y en el Anexo A del presente Volumen.

La Piscina (UTM 445.7E, 1431.6N, 10 m.s.n.m)

Es un pequeño manantial tibio en correspondencia de una excavación artificial (piscina), ubicada a orilla de la carretera (lado E) y colindante con los pantanos costeros. La piscina es alimentada por pequeños manantiales (2-3 lpm) con temperatura de 36.4-36.7°C, ubicados en su borde occidental y por algunas emanaciones de agua en el fondo. Otro manantial efímero, con temperatura de 35.9°C, se ubica inmediatamente al lado de la carretera, en proximidad de la piscina. La piscina es utilizada con fines recreativos por los habitantes de algunas viviendas aledañas.

Lodo Podrido Sur (Comarca Las Batidoras) (UTM 446.15E, 1432.3N, 10 m.s.n.m)

Se ubica inmediatamente a lado de la carretera (lado E) y se trata de una excavación artificial (aproximadamente 15 x 25 m), la cual contiene una poza de agua termal que procede de algunos manantiales en su borde y, posiblemente también desde el fondo lodoso. En el borde de la poza



se identificaron dos manantiales con caudal de 1-2 lpm y temperatura de 47-48°C. La temperatura máxima, medida a profundidad de unos 15 cm en el lodo fue de 49.4°C. La descarga total de la poza, que ocurre a través de un pequeño desagüe, presenta un flujo de unos 5-6 lpm.

Lodo Podrido Norte (Comarca Las Batidoras) (UTM 446.65E, 1433.2N, 10 m.s.n.m.)

Se ubica a la orilla O del camino y es representada por dos manantiales que emergen de un afloramiento de rocas de lava fracturada. La distancia entre los dos manantiales es de aproximadamente 100 m. Uno (el más septentrional) presenta un caudal de unos 15 lpm y una temperatura de 42.2 °C, el otro un caudal de unos 3 lpm y una temperatura de 40.2°C.

El Chorro(UTM 446.8E, 1433.6N, 5 m.s.n.m)

Es una amplia zona de emanación de agua termal ubicada unos 20-50 m al E de la carretera y compuesta por un grupo de varios manantiales que salen de un depósito de material detrítico con grandes bloques lávicos. El manantial principal se compone por tres diferentes puntos de salida y tiene un caudal de unos 100 lpm. Otros manantiales difusos están esparcidos en un tramo de unos 100-150 m y su caudal es de difícil estimación, debido a que el agua fluye hacia zonas pantanosas. La temperatura de todos estos manantiales varía entre 37.5 y 37.9°C.

El Mojado(UTM 444.5E, 1435.0N, 130 m.s.n.m)

Este es el único manantial termal identificado en posición elevada, a una altura de aproximadamente 120 m s.n.m. Se compone por dos manantiales ubicados en una pequeña quebrada a distancia de pocas decenas de metros uno del otro. Las rocas aflorantes en las laderas de la quebrada son lavas andesíticas. El manantial principal está ubicado en posición más elevada y está siendo utilizado para alimentar el acueducto de Potosí. Su caudal ha sido estimado en 5 lpm y su temperatura es de 36°C. El otro manantial se ubica unos 20 m más bajo y presenta un



caudal de aproximadamente 2 lpm, con temperatura de 35.5°C. Se nota que el agua producida por este segundo manantial contiene alcalinidad mas alta que el manantial en la posición más elevada, y que deposita evidentes costras sarrosas y amarillentas alrededor del punto de emisión y a lo largo de su recorrido, mientras que el manantial principal no muestra este.

Potosí (UTM 445.6E, 1437.6N, 5 m.s.n.m)

En el propio pueblo de Potosí, en su sector SE, a poca distancia de la costa, existe un amplio manantial con diferentes puntos de alimentación, el cual es utilizado por la población local para fines recreativos y domésticos. La temperatura del agua varía alrededor de los 33°C y su caudal se estimó en unos 100 lpm.

Pozos Someros

En la misma zona de los manantiales termales arriba descritos existen algunos pozos excavados para aprovechamiento hídrico, con temperatura análoga a los manantiales cercanos. En particular se reporta la presencia de un pozo (UTM 446.55E, 1434.75N) con temperaturas de 37°C en la localidad El Capulín, ubicada entre el manantial de Potosí y el manantial de El Chorro, y la presencia de otro pozo (UTM 445.4E, 1430.1N) con temperatura débilmente anómala (31.8°C) en la Hacienda Aguas Calientes, ubicada al S del manantial de La Piscina.

Otros pozos con temperatura levemente anómala (entre 31 y 32°C) se ubican a lo largo de la costa NE de la península, mientras que un pozo con temperatura de 37°C (UTM 435.0E, 1440.45N) se encuentra en la hacienda Los Placeres, en la planicie al NO del Volcán Cosigüina.

Al lado opuesto de la península, a lo largo del camino que lleva a Punta Ñata, se encontró solamente un pozo (UTM 438.2E, 1421.5N) con temperatura levemente anómala (31.3°C) y salinidad relativamente elevada, en la localidad San Juan.



4.1.2 *Quimismo y Geotermometría*

Todos los sitios con información hidrogeoquímica, ya sea procedente de estudios anteriores, como del Estudio Plan Maestro, son indicados en la **Figura II-4.2**. El área geográfica cubierta con el estudio geoquímico está limitada por las coordenadas UTM 1418 N, 1450 N, 423 E y 450 E, la cual incluye toda la Península de Cosigüina y el sector inmediatamente al SE, hasta el poblado de Quilaquita.

Durante el trabajo de campo del presente estudio se efectuaron observaciones hidrológicas en 34 diferentes sitios y en 15 de ellos se recolectaron muestras para análisis químicos e isotópicos. En particular se recolectaron las siguientes muestras:

- 15 muestras de agua para análisis químico completo;
- 5 muestras de agua para análisis de isótopos estables (en el agua);
- 2 muestras de agua para análisis de tritio;
- observaciones hidrológicas (profundidad de pozos, nivel del agua, temperatura) en 34 ubicaciones (con muestras de 15 de estas).

En el área de Cosigüina no se han encontrado emisiones de gases y tampoco hay reportes de estas en estudios anteriores. Aparentemente existió cierta actividad fumarólica al interior del cráter del Volcán Cosigüina, pero esta no fue vista desde una avioneta en 1970 (Texas Instruments, 1970) y tampoco ha sido identificada durante el presente estudio observando el interior del cráter desde su borde. El acceso al cráter es extremadamente difícil y peligroso, por lo tanto no fue intentado. En la **Figura II-4.2** se reporta sin embargo la ubicación aproximada de la supuesta actividad fumarólica al interior del cráter. En la Tabla 5 de Krasny y Hecht (1998) se reporta una muestra de la Laguna de Cosigüina recolectada en 1973, la cual indica agua de tipo Na-Cl (sodio-clouro)



con 1,890 mg/l de Cl. Esto sugiere que la laguna es alimentada por algún manantial de agua geotérmica.

Los aspectos químicos e isotópicos de los manantiales y pozos presentes en el área indican claramente que existe un flujo de agua geotérmica, que desde el núcleo del Volcán Cosigüina se desplaza hacia el E, alimentando las fuentes localizadas a lo largo del camino entre Cosigüina y Potosí (ver “Grupo E-ESE” en la [Figura II-4.2](#)). En la mayoría de esta zona, ubicada a poca distancia de la costa, el componente de fluido geotérmico se mezcla con grandes cantidades de agua somera y emerge en correspondencia de manantiales con temperatura variable entre los 35° y los 42°C y Cl (cloruro) hasta un máximo de unos 400 mg/l. Uno solo manantial produce agua con 49°C, conteniendo 2,000 mg/l de Cl (Lodo Podrido Sur, ubicación N/m 1257 en [Figura II-4.2](#)), y un modelo de mezclas usando este manantial, el manantial N/m 1258 (Lodo Podrido Norte), el Cl, tritio y temperatura, indica la presencia de un componente geotérmico con una concentración de 5,500 mg/l Cl a una temperatura de 220°C. El mismo manantial N/n 1257 tiene una temperatura Na/K de 200°C, que es razonable en comparación con la estimación de 220°C.

La [Figura II-4.3](#) presenta una síntesis hidrogeoquímica del área del Volcán Cosigüina, donde se indica un flujo lateral de fluido geotérmico tipo Na-Cl con 5,500 mg/l Cl a 200°-220°C que desde la zona central del volcán se desplaza hacia el E, como discutió anteriormente. Se observa que este fluido geotérmico probablemente se ha enfriado fluyendo lateralmente hacia el E. Por lo tanto, la temperatura de 200°-220°C es considerada un valor mínimo para el componente geotérmico originario. Este valor debe tomarse con ciertas reservas por la limitada sustentación del mismo, pero es muy prometedor de la existencia de un recurso geotérmico significativo.

La composición del agua somera meteórica fría de la región es aniones mixtos – cationes mixtos con salinidad baja, dominada típicamente por Ca, HCO₃ (alcalinidad total en forma de bicarbonato) y (en el S, O y N) SO₄ (sulfato). En la misma [Figura II-4.3](#) se sugiere también la



posible presencia de una segunda zona de flujo geotérmico lateral, hacia el NO. La evidencia, en este caso, es menos clara, en cuanto el agua en esta zona presenta una normal composición de tipo aniones mixtos – cationes mixtos con salinidad baja, pero con un contenido de 208 mg/l de Cl y una ligera anomalía térmica (37°C). La temperatura indicada por el geotermómetro Na-K-Ca-Mg es de 80°C, mientras que el geotermómetro K-Mg indica 43°C. La concentración de sílice es más baja de lo esperado si la sílice amorfa estuviera controlando la solubilidad y el correspondiente geotermómetro indica tan sólo 9°C.

4.2 Investigaciones Geofísicas

Hasta la fecha no han sido efectuados levantamientos geofísicos en el área del Cosigüina.

4.3 Resultados de la Perforación

A la fecha no se han perforado pozos geotérmicos profundos en el área del Cosigüina. Sin embargo, existen varios pozos de poca profundidad excavados o perforados para aprovechamiento hídrico o irrigación en las planicies alrededor del volcán. En el estudio hidrogeoquímico del Plan Maestro se han incluido análisis de muestras tomadas en estos pozos (ver Anexo A).



5. NATURALEZA DEL RECURSO GEOTÉRMICO

5.1 Localización de la Fuente de Calor

El Volcán Cosigüina representa la única fuente significativa de calor que se conoce en el área. La falta de actividad volcánica joven en un amplio radio alrededor del volcán sugiere que es improbable que existan otras importantes fuentes de calor en el área, y la distribución de las manifestaciones termales en la periferia del volcán soporta ulteriormente esta hipótesis.

Como discutido en la Sección 3.2.3, el tamaño y la joven edad del edificio volcánico de Cosigüina sugieren que la cantidad de rocas intrusivas, emplazadas como magma a niveles relativamente someros, es probablemente en el orden de varias decenas de kilómetros cúbicos. El rango de edad en el cual se realizó este emplazamiento es desconocido, debido a la falta de dataciones confiables, pero la existencia de una actividad histórica y las relaciones observadas indican que el sistema magmático es suficientemente joven para actuar como una significativa fuente de calor.

El cráter central del Volcán Cosigüina, que se formó por colapso durante la erupción de 1835, indica que el complejo magmático - intrusivo es aproximadamente correspondiente con el centro del edificio volcánico. No hay mucha información disponible para determinar la forma del complejo magmático o para identificar posibles intrusiones laterales que pueden extenderse afuera del complejo central. Se observa, sin embargo, que la escasez de centros volcánicos parásitos, alejados del cono central, sugiere que las intrusiones laterales son escasas. El marco estructural del área sugiere que, si hubiesen cuerpos intrusivos irregulares (como diques) que se extendieran afuera del complejo central, estos deberían de ser principalmente orientados en sentido N-S.



5.2 Zonas de Ascenso

La distribución de los manantiales termales y los posibles flujos laterales de fluidos geotérmicos (discutidos en la sección sucesiva) sugieren que la principal zona (o zonas) de subida de fluidos geotérmicos sea localizada debajo de la porción más elevada del volcán.

Los sitios que tienen mayores probabilidades de coincidir con zonas de subida de fluidos geotérmicos son los siguientes (ver también **Figura II-5.1**):

- El sector E y ESE del volcán, arriba de los manantiales termales que se encuentran en la zona costera, cerca de El Ojochal. Potencialmente la zona de subida podría extenderse, o estar principalmente ubicada, en las cercanías de la Loma San Juan.
- El sector N y NNW del volcán, arriba de la zona termal encontrada en la planicie al N del volcán.

La información disponible es, sin embargo, insuficiente para excluir la posibilidad de que las zonas de subida puedan ocurrir en otros sectores del volcán. Análogamente, no existe ninguna evidencia directa que permita identificar estructuras o unidades estratigráficas particulares que puedan controlar o dirigir la subida de fluidos geotérmicos en sectores específicos.

5.5 Dirección del Movimiento de los Fluidos

El desplazamiento de fluidos geotérmicos en el subsuelo del área de Cosigüina es poco definido, pero el modelo desarrollado sugiere la existencia de un flujo hacia el E, alimentado por la zona de subida inferida en la ladera oriental del volcán. Este se mezcla con aguas someras más frías y descarga en correspondencia de los manantiales termales ubicados cerca de la costa oriental de la península (**Figura II-5.1**). De la misma manera, fluidos geotérmicos fluyen probablemente hacia



el NNO y hacia el N a partir de la zona de subida inferida en la ladera NNO del volcán. En este sector no hay evidencia de descarga superficial, pero la temperatura y las características químicas del agua en los pozos someros indican la presencia de un flujo de agua termal que probablemente descarga debajo del nivel del mar, después de haberse mezclado con agua someras.

Aunque no se observan evidencias directas como son la escasez de manantiales y pozos en los márgenes occidental y meridional de la Península de Cosigüina, no se puede excluir la posibilidad de que existan flujos laterales hacia estos sectores. El modelo conceptual del recurso debe, por lo tanto, tomar en consideración la posibilidad de que existan fluidos termales también en estos sectores. Se observa también que la ubicación y las direcciones de flujo indicadas en la **Figura II-5.1** no son bien definidas por los datos disponibles, por lo tanto deben de considerarse esquemáticas.

La posible existencia de elementos de control sobre el movimiento de los fluidos en el subsuelo es también poco definida. En la zona de la Loma San Juan, parece que el fluido se mueva (por lo menos en parte) en correspondencia de las rocas del complejo volcánico más viejo, que aflora en la zona. En otros lugares el flujo puede ocurrir en depósitos volcánicos recientes del edificio del Cosigüina o en depósitos más antiguos, a niveles más profundos, o en ambos. No se puede determinar si existe algún control estructural significativo sobre el movimiento de los fluidos.

5.4 Temperatura

Aunque la temperatura del fluido geotérmico profundo que produce las descargas de aguas termales en los sectores marginales del volcán está poco definida. Los geotermómetros de cationes aplicados a las muestras de los manantiales en el sector oriental de la península indican que el último equilibrio es a unos 120°C, y permiten estimar un mínimo de unos 200°C para el componente geotérmico original. Un modelo químico-isotópico de mezclas de agua de manantial indica la presencia de un componente a una temperatura de 200°C y los isótopos estables



sugieren (cualitativamente) que el rango 200°-220°C es razonable. Hay una buena posibilidad de que haya temperaturas más altas.

5.5 Química del Fluido

Los datos disponibles indican que el fluido geotérmico profundo es agua con una típica composición Na-Cl, con por lo menos 2,000 mg/l de Cl y, a base del modelo de mezclas, unos 5,500 mg/l Cl. El pH es probablemente cerca de neutro.

5.6 Profundidad, Espesor y Extensión del Recurso

Razonablemente no se pueden efectuar muchas estimaciones acerca de la profundidad, la extensión y el espesor del posible reservorio(s) geotérmico asociado con las zonas de subida y los flujos laterales de fluidos geotérmicos arriba descritos. Sobre la base de consideraciones hidrológicas, se puede anticipar que el límite superior de cualquier reservorio podría estar cerca o un poco por debajo del nivel de la Laguna del Volcán Cosigüina, en el sector interno del edificio volcánico, y cerca del nivel del mar en las zonas marginales de la península.

Con respecto a la posible extensión del reservorio(s), se puede observar que el área del Volcán Cosigüina es bastante amplia en comparación con otros volcanes en Nicaragua, por lo tanto las áreas de descarga identificadas en la **Figura II-5.1** son relativamente distantes (5 o más km) de la fuente de calor y de las potenciales zonas de subida inferidas. Esto implica la posibilidad de que el sistema, o los sistemas, geotérmicos puedan ser de extensión razonablemente grande (mayor de algunos km²)



6. ESTIMACIÓN DE RESERVAS ENERGÉTICAS

6.1. Definición de Parámetros

Como se indicó en el Capítulo 5, no existe la mínima evidencia con la cual se pueda interpretar la localización, extensión y características de un posible sistema geotérmico en el área de Cosigüina. Por lo tanto, con el propósito de estimar las reservas recuperables de energía geotérmica al área se le ha asignado la Categoría 3, como se describe en el Anexo B del Volumen I del Plan Maestro Geotérmico, y las reservas se han calculado con base en las características de la actividad volcánica joven del área.

El Volcán Cosigüina es el único volcán joven en el área que tiene suficiente tamaño para constituir un sistema magmático distinto. Por lo tanto, el cálculo de reservas se ha basado en una estimación de las cualidades de la cámara magmática y de las intrusiones jóvenes asociadas con el Volcán Cosigüina. Estas cualidades y otros parámetros para la estimación se resumen en la Tabla II-6.1, y se describen a continuación.

Volumen de la Cámara Magmática

El volumen de la cámara magmática/complejo intrusivo asociado con el Volcán Cosigüina se ha estimado con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. El volumen superficial del edificio volcánico se ha estimado en 49 km^3 . Este volumen se aproxima bastante con el estimado por Stoiber et al. (1973) de 65 km^3 , y esta cantidad fue reducida más tarde por Carr (1984) a 30 km^3 . Por lo tanto, con cierto grado de incertidumbre, es aceptable considerar de 50 km^3 , aproximadamente, el volumen del material arrojado por el volcán. Se considera que esta cantidad es una estimación razonable del volumen mínimo de material intrusivo que ha permanecido en el subsuelo y, por lo tanto, susceptible de ser aprovechable como una fuente de calor.



Como límite superior del posible volumen del complejo magmático/intrusivo, se ha considerado el doble del volumen mínimo estimado, esto es, 100 km^3 . Esta cantidad toma en cuenta una posible subestimación del volumen intrusivo como resultado de la dispersión o erosión de los productos erupcionados, la posibilidad de que el edificio volcánico incluya cierto volumen por debajo de su base aparente y otros factores.

Profundidad de la Cámara Magmática

No existe información directa con la cual se pueda estimar confiablemente la profundidad de la cámara magmática debajo del Volcán Cosigüina. Por lo tanto, se ha hecho una estimación conservadora en base a la suposición de que el magma/roca intrusiva se ha acumulado cerca del nivel de sustentación hidráulica neutral, que se supone está alrededor de los 4 a 5 km de profundidad. Tomando en cuenta ciertas incertidumbres potenciales, que incluyen la posibilidad de instrucciones más someras, se ha supuesto un rango un poco más amplio de 3 a 7 km para tal profundidad.

Edad de Emplazamiento

Existe poca información cuantitativa disponible para sobre la edad de la actividad volcánica en el Cosigüina. En particular, no hay reportes con datos radiométricos de los productos arrojados por el volcán. Sin embargo, se sabe que el Volcán Cosigüina ha estado activo recientemente y la misma forma del volcán indica una historia de actividad bastante continua que construyó el edificio actual. Por lo tanto, es probable que el volcán y el complejo magmático/intrusivo con el cual se asocia, sean de una edad en general similar a la de otros volcanes mayores de la Cordillera Volcánica de Nicaragua.

Estimaciones de McKnight et al. (1997) sobre la tasa de erupción de volcanes similares en Centro América, sugieren una edad mínima probable de 30,000 años, aproximadamente, para el Volcán



Cosigüina; esto en base al cálculo del volumen de los productos arrojados. Para el cálculo de las reservas se ha supuesto una edad límite superior de 60,000 años.

Temperatura del Magma

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

6.2 Cálculo de Reservas

Las reservas potenciales de energía recuperable asociadas con el Volcán Cosigüina, se han estimado en base a los parámetros descritos arriba y con la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I. Los resultados de esta estimación se resumen en la Tabla II-6.1 y se muestran gráficamente en la **Figura II-6.1**.

El cálculo del calor magmático disponible indica un valor medio para las reservas potenciales de aproximadamente 15 MW/km² cerca del centro del complejo; descendiendo en aproximadamente 1 MW/km² a una distancia de 5 km. Como se señala en la **Figura II-6-1**, la desviación estándar o el rango de incertidumbre es considerable, como se esperaba, considerando las incertidumbres que existen en las estimaciones de los parámetros críticos. Sumando las reservas potenciales del área en la vecindad del volcán, la estimación total es de aproximadamente 425 MW.

6.3 Comentarios

Se podrá notar que, como en todas las áreas a las que se ha asignado la Categoría 3 para el cálculo de las reservas energéticas, los resultados que se presentan arriba son una representación estadística del potencial del área y no prueban concluyentemente que se presente un recurso geotérmico comercialmente explotable. Es más, la existencia de roca permeable con un volumen



suficiente que permita la convección del fluido y el desarrollo de un yacimiento explotable, se deberá demostrar con trabajos de exploración adicionales y, finalmente, con la perforación profunda que confirme la presencia de tal recurso.

Sin embargo, las estimaciones indicadas arriba manifiestan que existe una fuerte probabilidad que en el área estén presentes zonas de alta temperatura con capacidad de abastecer un sistema geotérmico. Esto, en combinación con la evidencia disponible de manifestaciones termales en el área, confirma el status del área de Cosigüina como merecedora de investigaciones adicionales, con tal que otros factores económicos externos (no relacionados directamente con el recurso, tales como el costo de líneas de transmisión) sean favorables para el desarrollo.



7. ASPECTOS AMBIENTALES

7.1 Información Existente

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

Por lo que se refiere a las condiciones climáticas, se observa que las estaciones meteorológicas del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) están en su mayoría localizadas en las principales ciudades y centros poblados, por lo tanto no existen datos específicos en el área del estudio. La estación meteorológica más cercana se ubica unos 55-60 km al SE, en la ciudad de Chinandega. Por lo tanto, hay una carencia de datos detallados sobre condiciones meteorológicas en el área de Cosigüina. Informaciones más generales se obtuvieron de los mapas regionales de parámetros climáticos publicados por INETER, los principales de los cuales son: el Mapa de Temperatura Media Anual y el Mapa de Precipitación Media Anual (INETER, 1997).

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

Información complementaria sobre las condiciones ambientales en el área ha sido recolectada por el personal (geólogos, geoquímicos y geofísicos) que trabajaron en el campo durante la ejecución de los Estudios del Plan Maestro. Dicha información se recolectó por medio de observaciones directas, y por comunicación con personas residentes en el área.



7.2 Características Ambientales

7.2.1 *Aspectos Socioeconómicos*

Población y Uso de la Tierra

Toda la Península de Cosigüina pertenece administrativamente al Municipio de El Viejo. El Municipio de El Viejo cubre un sector muy grande que se extiende hacia el Sudeste hasta aproximarse a la ciudad de Chinandega, y tiene un total de 69,055 habitantes (INEC, 1995). La ciudad de El Viejo es un centro de aproximadamente 30,000 habitantes ubicado 4 km al NO de Chinandega y unos 50 km al SE de la Península de Cosigüina.

En la península, en base al último Censo Nacional (INEC, 1995), viven 4,816 habitantes, 1,777 de los cuales (37 %) están concentrados en los dos únicos centros poblados de cierta importancia, que son Potosí (1,063 habitantes) y Cosigüina (714 habitantes). Los otros 3,039 habitantes (el 63%) se encuentran por la mayor parte en pequeños centros poblados esparcidos a lo largo de los dos caminos principales que corren respectivamente en las planicies al S y al NE de la península. La distribución de la población por comarcas, localidades y por rango de edades, según datos de INEC correspondientes al Censo de 1995, se presenta en la **Tabla II-7.1**.

Como se puede observar, la Península de Cosigüina es una zona muy poco poblada y con una población principalmente de tipo rural. Los datos existentes acerca de las condiciones socio-demográficas en el área incluyen todo el Municipio de El Viejo (OIM, 1999). Estos indican que la población rural representa el 51.3 % de la población total municipal y que un 31.6 % de la población es “económicamente activa”, un 43% de la cual esta dedicada a actividades agropecuarias. Se observa, sin embargo, que estos datos son ampliamente condicionados por las situaciones existentes en la cabecera municipal (que incluye el 45% de la población del municipio), así que no pueden considerarse muy significativos de la situación real en la zona bajo examen.



La zona del Volcán Cosigüina es muy poco poblada, y prácticamente no existen pobladores permanentes en las faldas del edificio volcánico, las cuales son principalmente cubiertas por vegetación natural. En la ladera meridional del volcán, FUNDENIC-SOS reporta sin embargo algunas parcelas cultivadas con granos básicos (maíz, frijoles, sorgo), cuyos dueños viven en los centros poblados ubicados en las planicies aledañas. La población del área se concentra en pequeños caseríos a lo largo de la carretera que une Potosí con El Viejo y Chinandega. Potosí es un centro pesquero en el Golfo de Fonseca, y puerto a través del cual ocurren limitados intercambios comerciales y varias actividades de contrabando (incluyendo exportación ilegal de recursos naturales como garrobos, iguanas y otras especies animales) con El Salvador y Honduras.

Otras comunidades de cierto interés son: Cosigüina, El Rodeo, Apascalí, Punta Ñata, El Divisadero, Los Marañoses y Santa Julia. La mayoría de los pobladores son campesinos de muy escasos recursos, que viven en chozas de palma y sobreviven de actividades discontinuas relacionadas con la agricultura y el comercio local, las cuales son principalmente manejadas por empresas o personas que no residen en el área. En las planicies que rodean el Volcán Cosigüina las principales actividades económicas son la ganadería y la agricultura, con amplios cultivos industriales de soya, maní, ajonjolí, sandía, sorgo y maíz, principalmente desarrollados en la zona SO de la península. En la zona de Apascalí, al SO del volcán, existen también algunas plantaciones de árboles forestales (teca, madero negro, neem, cedro real, pochote, eucalipto) con fines comerciales. En Potosí se menciona la presencia de actividades relacionadas con la pesca artesanal en el Golfo de Fonseca y con algunos centros de acopio de camarones que son criados en camaroneas industriales en el cercano Estero Real.



Sitios de Interés Cultural y Arqueológico

En el área de Cosigüina no se han identificado sitios específicos de interés arqueológico o cultural. No obstante, cabe notar que los depósitos de la erupción de 1835 cubrieron casi toda el área y por lo tanto existe la posibilidad de que las excavaciones relacionadas con actividades de desarrollo puedan revelar artefactos pertenecientes a comunidades anteriores a 1835, de manera particular si el desarrollo se realiza en áreas bajas que pudieran haber estado pobladas anteriormente. Un programa básico de monitoreo durante el desarrollo, que identifique posibles sitios arqueológicos, evitaría cualquier impacto negativo, y acarrearía importantes beneficios al facilitar investigaciones posteriores.

Sitios Naturales y Científicos

El área más importante de interés natural y científico es el cono central y el cráter del Volcán Cosigüina. Gran parte del volcán permanece cubierto de vegetación natural, aunque no todo está virgen, y el cráter en particular representa una combinación única de terreno, flora, fauna y ambiente acuático. El cráter posee su propia protección natural con sus inclinadas paredes, que restringen casi por completo el acceso.

Otras áreas de posible interés son:

- El quebrado terreno de la costa Noroeste, que está poco desarrollado y puede presentar toda una variedad de micro – ambientes a causa de la complejidad de su relieve. Durante las investigaciones de campo, se notó que particularmente algunas quebradas son poco accesibles en su desembocadura al mar, formando zonas protegidas donde florece la vegetación natural, las aves y los animales terrestres.



- Las áreas húmedas a lo largo de la costa, al Sur y al Este del área (a lo largo de Bahía Puerto Arturo y Estero Real).
- La lengua de arena y la laguna parcial formada por la Punta San José. Esto representa una zona de transición única entre el Océano Pacífico y el Golfo de Fonseca.

Turismo

A pesar del elevado valor escénico del edificio volcánico, con su laguna caldérica, sus playas y acantilados alrededor de toda la península, la zona es muy poco frecuentada por los turistas, debido a su ubicación aislada, a la falta de estructuras de apoyo y, en cierta medida, también a la limitada seguridad del área.

Durante las investigaciones de campo para el Estudio Plan Maestro, se notó que no hay empresas locales dedicadas específicamente al turismo. Sin embargo, gente del lugar comentaron que en varias ocasiones han actuado como guías, principalmente para visitantes interesados en escalar el volcán.

Las mismas áreas de interés natural o científico que se señalaron anteriormente podrían ser de posible interés turístico. También podría haber posible interés en la pesca deportiva y en el uso de las playas de la zona. Tales usos, sin embargo, tendrían que ser necesariamente limitados hasta que se dé un mayor desarrollo de la infraestructura local. Al momento de este estudio no parecía haber ninguna posibilidad de que se fuera a dar un desarrollo nuevo de importancia en el futuro cercano.



Áreas Protegidas

El Decreto 1320-83 establece una zona de Reserva Natural en correspondencia del Volcán Cosigüina, definida por los siguientes límites: “tomando como límite norte la curva de nivel de los 100 metros desde la Loma de las Batidoras hasta La Salvia y como límite sur la curva de nivel de los doscientos metros sobre el nivel de mar desde el Filete La Salvia hasta la Loma Las Batidoras, incluyendo los llamados Farallones de Cosigüina y el acantilado que se extiende desde Punta Cosigüina hasta la Cañada El Carmen”.

El Artículo 3 de este decreto prohíbe muchas actividades, incluyendo cualquier obra de ingeniería, y está dirigido a la prevención de un mayor deterioro ecológico del área. Informaciones adicionales al respecto se reportan en el Anexo G del Volumen I.

La reciente evaluación técnica (FUNDENIC-SOS, 1999) reporta niveles de intervención mínimos en el 75% del área protegida, además de características biológicas, históricas y escénicas que llevan en su conjunto a la propuesta de redefinir esta área en la categoría de Parque Nacional. Como área de amortiguamiento, el mismo estudio propone considerar todo el sector de la península, alrededor del área protegida, ubicado al Norte y al Este de los caminos que, desde el empalme de Cosigüina, respectivamente conectan con Punta Ñata y con Potosí. Esta propuesta está actualmente en fase de evaluación por las instituciones competentes.

Inmediatamente al Este y al Sur de la península de Cosigüina, se desarrollan las amplias desembocaduras fluviales respectivamente conocidas como “Estero Real” y “Estero Padre Ramos”. Ambos esteros son declarados Reserva Natural por el Decreto 1320-83 y los resultados de la re-evaluación en acto por parte del MARENA (FUNDENIC-SOS, 1999), han llevado a la propuesta de elevar la Reserva Natural del Estero Real a la categoría de “Refugio de Vida Silvestre”, y de mantener la categoría de Reserva Natural para el Estero Padre Ramos. En ambos casos se proponen amplios sectores de amortiguamiento, los cuales llegan a colindar con el área



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

de amortiguamiento del propuesto Parque Nacional del Volcán Cosigüina. Todas estas propuestas están siendo evaluadas por las instituciones competentes.

En la **Figura II-7.1** se indican todos los límites legales de las reservas naturales existentes en el área y en la **Figura II-7.2** se indican los límites propuestos de las correspondientes modificaciones y áreas de amortiguamiento que están en fase de evaluación.



7.2.2 Aspectos Abióticos

Topografía

La topografía del área está dominada por el cono del Volcán Cosigüina, que se eleva hasta una altura máxima de 872 m sobre el nivel del mar en el borde Sur de su cráter central, que contiene un lago. El volcán ocupa buena parte del sector septentrional de la península de Cosigüina y los flancos bajos del volcán generalmente se inclinan muy suavemente hacia el Océano Pacífico hacia el Norte, Oeste y Sur, aunque se presentan acantilados costeros directamente al Oeste del cráter. Hacia el Este del volcán, la península se encuentra bordeada de llanos afectados por las mareas y ocupados por esteros, zonas bajas salitrosas, pantanos transitables, y manglares. Estos incluyen las desembocaduras fluviales respectivamente conocidas como “Estero Real” y “Estero Padre Ramos”

El Cosigüina es el edificio volcánico más importante en la península. Se trata de una estructura aislada tipo escudo, cuya base tiene alrededor de 20 km de diámetro. Su cráter es alargado y mide entre 1.6 y 2.4 km de diámetro, con paredes casi verticales en su interior que se elevan hasta 500 m sobre el fondo cubierto por un lago.

Hidrología

Las características hidrológicas del área de Cosigüina se describen en la sección 3.3 de este informe.

Características Físico-Químicas y Bacteriológicas de Cuerpos de Agua

Krasny *et al.* (1998) presentan alguna limitada información acerca de los aspectos químicos de las aguas superficiales y subterráneas en la Península de Cosigüina. La caracterización de las aguas



está limitada a las zonas costeras de la península y a la zona meridional, en los alrededores de la Loma El Ojochito. La información proporcionada se resume como sigue:

- Las zonas bajas en la porción meridional de la península (extendidas entre la costa del Pacífico y el Golfo de Fonseca) son caracterizadas por la presencia de aguas bicarbonatadas de tipo $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca}$ y/o $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca-Mg}$.
- A lo largo de la costa NE predominan aguas sulfáticas con contenido variable de Cl, Ca, Na, Mg y HCO_3 .
- En la costa septentrional (alrededor de El Rosario) se encuentran aguas cloruradas. Contenidos elevados de cloro en el agua (mayores de 250 ppm) son reportados también en la zona de la Loma San Juan. Todos los lugares con presencia de agua clorurada coinciden con zonas en las cuales han sido identificadas también anomalías térmicas, como descrito ampliamente en el Capítulo 4 del presente volumen.
- La salinidad del agua parece ser generalmente inferior a 1,000 ppm en toda la península, pero es bastante elevada en las zonas con anomalía termal y presencia de aguas cloruradas. Aguas con salinidad mayor de 1,500 ppm son reportadas en los alrededores de Potosí.
- Aparentemente existe un solo análisis parcial de la Laguna del Volcán Cosigüina, correspondiente a una muestra tomada en marzo de 1973. Este análisis indica que el lago está constituido por agua de tipo Cl-Na, con una concentración de cloro de 1,890 ppm. Se observa sin embargo que, dada la posibilidad de que existan manantiales termales al interior o al margen de la laguna, este análisis podría no reflejar la composición típica de la laguna.



Clima

La precipitación media anual en el área es de aproximadamente 1,700 mm y la temperatura media anual oscila entre los 27 y los 27.5°C. Las lluvias se concentran esencialmente entre mayo y octubre, con frecuentes aguaceros acompañados por tormentas eléctricas, generadas por la fuerte convección de aire húmedo y caliente que se origina sobre los humedales y esteros que rodean la Península de Cosigüina. El estudio de FUNDENIC-SOS (1999) reporta la existencia de dos diferentes zonas climáticas en el área, definidas como: Tropical con transición a húmedo y Subtropical con transición a húmedo.

En la Tabla II-7.2. se resumen las condiciones de viento en las dos estaciones meteorológicas del INETER más cercanas al área de Cosigüina (en Chinandega y León). Basándose en observaciones directas, pero limitadas, realizadas durante las investigaciones de campo del Estudio Plan Maestro, las velocidades de viento registradas en estas estaciones son probablemente similares a las que prevalecen en Cosigüina, a pesar de que la dirección de los vientos dominantes es demasiado variable como para extrapolarlos al área de estudio. Se observó que la intensidad del viento en general es moderada en las zonas bajas y en las estribaciones bajas del volcán, aunque significativamente más fuerte en la parte superior del mismo (por encima de los 600 m de elevación). Con excepción del cráter del Cosigüina, hay unas pocas áreas, en las cuales es probable que la circulación del aire se vea limitada.

7.2.3 Aspectos Bióticos

Flora

En el Volcán Cosigüina se han reportado dos diferentes tipos de vegetación natural: el bosque latifoliado semi-caducifolio, que se desarrolla en las partes altas del edificio volcánico y el bosque latifoliado caducifolio, que ocupa las partes bajas. Estas dos asociaciones vegetales recubren



aproximadamente un 75% del edificio volcánico. Alrededor del borde del cráter, existe una faja de unos 300-400 m de ancho caracterizada por vegetación arbustiva de bajo porte y pastos naturales, mientras que al interior del cráter predomina el árbol popularmente conocido como quebracho (*Lysilomea* sp.). En las zonas costeras alrededor de la península se desarrollan típicas asociaciones vegetales de playa (principalmente espino de playa, aramo, manzanillo) y, en las zonas pantanosas aledañas al Estero Real y al Estero Padre Ramos, se encuentran amplias extensiones de manglares. En las zonas que han sido afectadas por la intervención humana, principalmente en la parte baja de las laderas del volcán y en las planicies aledañas, se encuentran cultivos anuales, pasto y vegetación arbustiva de crecimiento secundario. Una lista detallada de todas las especies vegetales identificadas en el área por FUNDENIC-SOS (1999) se presenta en la Tabla II-7.3.

Fauna

Los bosques del Volcán Cosigüina todavía conservan una muestra significativa de la típica fauna del bosque tropical, como se puede observar en el listado de la Tabla II-7.4.

Entre los mamíferos se menciona la presencia de: coyote, venado cola blanca, sahíno de collar, oso colmenero, pizote, guardatinaja, mapachín, algunos felinos (incluyendo el puma y el jaguar, que han sido reportados ocasionalmente), algunas especies de monos, conejos, roedores, armadillos y algunos mustélidos. Entre los reptiles, la iguana, en un tiempo muy abundante, es ahora bastante rara a causa de la caza indiscriminada para su exportación a Honduras y El Salvador. Existe también una variada población de ofidios, los más comunes de los cuales son la boa, el cascabel, el coral y varias culebras pertenecientes a la familia de las Colubridae. La población de aves es bien desarrollada incluyendo especies típicas del bosque tropical seco, aves acuáticas, que abundan en los humedales que circundan la península, y varias aves migratorias. La fauna acuática de la laguna al interior del cráter del Cosigüina es totalmente desconocida.



La península de Cosigüina es una de las pocas áreas donde está todavía reportada la presencia de la lapa roja (*Ara macao*, especie en peligro de extinción), del pavón (*Crax rubra*) y de la pava (*Penelope purpurascens*), especies éstas que se han vuelto muy raras, o han desaparecido, en muchas de las regiones boscosas de la región pacífica de Nicaragua. Más abundante, pero igualmente amenazada (incluida en el Apéndice II CITES, 1977), es la lora nuca amarilla (*Amazona auropalliata*). Otras especies en peligro de extinción (Apéndice I CITES, 1977), que han sido identificadas en el área son: el mono araña (*Ateles geoffroyi*), el mono congo (*Alouatta palliata*), y el puma (*Felis concolor*).

7.3 Análisis de las Condiciones Ambientales

7.3.1 *Situación Ambiental General*

Debido a la escasa población, el área de Cosigüina no ha estado sujeta a un desarrollo intensivo, y muchas zonas dentro del área mantienen su carácter natural. No obstante, el área ha sido objeto de un cierta degradación ambiental, resultado sobre todo de actividades agrícolas y de la caza.

Las Reservas Naturales establecidas dentro del área proveen un cierto grado de protección ambiental a ciertas zonas, y se espera que el establecimiento del propuesto Parque Nacional y de la correspondiente zona de amortiguamiento aumente el grado de protección. Sin embargo, se debe apuntar que en la actualidad, el reforzamiento de restricciones ambientales es muy limitado, y por lo tanto (según residentes locales) aparentemente continúan las actividades tales como la caza ilegal y la tala de árboles.

Las condiciones socio-económicas en el área son de tal naturaleza que es poco probable que la mayoría de las actividades para desarrollos geotérmicos interfieran con las actividades humanas que existen. Los beneficios económicos relacionados con el desarrollo geotérmico, incluyendo



una mayor tasa de empleo y mejoras en infraestructura, posiblemente tendrían mayor importancia en el área de Cosigüina que en otras áreas más desarrolladas.

7.3.2 Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico

El área de Cosigüina está tan poco poblada que es probable que el desarrollo geotérmico produzca muy poco impacto negativo en los residentes locales. Aún en áreas más densamente pobladas (como en la vecindad de Potosí), el desarrollo de actividades podría desplazar, cuando mucho, a unas pocas familias, cuya reubicación dentro del área inmediata no sería difícil. Cualquier impacto negativo sobre la población local podría ser mitigado fácilmente mediante una planificación conjunta adecuada, y probablemente se vería compensado por el impacto de los beneficios económicos.

Toda una serie de aspectos ambientales del área de Cosigüina hacen que sea relativamente atractiva como sitio potencial para un desarrollo geotérmico. Dentro de estos se incluye:

- En general, a la tierra se le da uso de baja intensidad; por lo tanto, es difícil que el trabajo de exploración y de desarrollo entre en conflicto con la actividad humana que existe. No ocurriría ningún desplazamiento importante de residentes del área como consecuencia de un desarrollo geotérmico.
- Un desarrollo geotérmico acarrearía toda una serie de impactos positivos en la población local, incluyendo:
 - incremento en la tasa local de empleo, particularmente durante las fases de desarrollo y construcción, así como en la fase de operación.
 - mejoras en infraestructura, tal como carreteras nuevas o mejoradas, suministro de agua, y posiblemente, mejora o establecimiento de servicios locales.



- posible estimulación de otras actividades económicas tales como turismo, al agregarle al área un nuevo punto de interés.
- El desarrollo geotérmico podría mejorar el grado de protección ambiental dentro de la zona afectada, al establecer un mejor monitoreo de condiciones y actividades dentro de la zona y asegurando un mayor refuerzo de los reglamentos ambientales existentes, lo que conduciría a una reducción de ciertas actividades como la caza ilegal y la tala del bosque.
- Una gran parte del área está compuesta de terreno con pendientes suaves; por lo tanto, salvo en áreas de mayor pendiente, las actividades de exploración y desarrollo producirían impactos comparativamente menores en cuanto a la construcción de caminos y otras obras civiles.
- Son poco comunes las aguas superficiales que pudieran estar sujetas a contaminación u otros impactos.
- Las condiciones topográficas y de viento no son propicias para agravar los problemas de contaminación del aire como consecuencia del desarrollo u operación del proyecto.

Los siguientes aspectos ambientales deben de ser tomadas en cuenta en las actividades planeadas o propuestas de exploración y desarrollo:

- Potenciales impactos en el bosque nativo y en especies animales, incluyendo especies amenazadas, especialmente en la parte central del volcán Cosigüina.



- Impactos potenciales en las aguas superficiales. A pesar de que, como se indicó anteriormente, la mayoría de las áreas poseen poca agua superficial, varios cuerpos de agua podrían ser sensibles a las actividades de desarrollo. Dentro de estas se incluye como las más importantes la Laguna Volcán Cosigüina, y las áreas húmedas de la costa en la playa Este de la península, entre Cosigüina y Potosí.
- Impactos potenciales en aguas subterráneas. Es poco probable que la contaminación del agua subterránea constituya un problema serio (debido a que se puede controlar mediante prácticas adecuadas), aunque en zonas limitadas podría ocurrir la sobreexplotación de aguas subterráneas durante el desarrollo.
- Posible aumento de la erosión debido a excavaciones u otras actividades en áreas donde están presentes depósitos superficiales poco consolidados.

Un resumen de los impactos negativos, medidas de atenuación y el monitoreo ambiental de las etapas necesarias para completar la factibilidad se presenta en la Tabla II-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 tiene 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 algún detalle. Debido a que, por las razones mencionadas anteriormente, los impactos beneficiosos de un desarrollo geotérmico en el área de Cosigüina podrían eventualmente ser 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 LOGISTICOS

8.1 Acceso

El área de Cosigüina se caracteriza por:

- una localización remota, lejos de ciudades de tamaño importante; y
- en general, falta de vías de acceso en muchas zonas.

Estas posibles dificultades para el desarrollo se compensan en parte con los patrones existentes en cuanto al terreno y el uso de la tierra, que en su mayor parte, no impiden el acceso a la mayor parte de las áreas.

8.1.1 *Caminos Principales*

En esta área no existen caminos pavimentados. La Carretera 12 es la única vía de importancia que le da acceso al área desde el resto de Nicaragua. Esta vía está pavimentada hasta El Congo, aproximadamente 40 km al Noroeste de Chinandega/El Viejo, y a unos 20 km al Sudeste del límite con el área de Cosigüina. A unos 3 km al Sur de Cosigüina existe una bifurcación, con uno de los caminos dándole la vuelta al lado Sudoeste de la península hasta Punta Ñata, y el otro al Norte, hacia Potosí (**Figura II-8.1**). Entre el Congo (**Figura II-1.1**) y Potosí, el camino en general está en buenas condiciones. Durante el período de investigaciones de campo para el Estudio Plan Maestro, esta vía se estaba mejorando o se le estaba dando mantenimiento. Más allá de Potosí el camino está menos mantenido, aunque es fácilmente transitable hasta el Rosario (en la base de la Punta San José). Después de El Rosario, la calidad se deteriora notablemente, aunque el acceso todavía es posible durante unos cuantos kilómetros a lo largo de la costa Noroeste de la península.

El camino a Punta Ñata está un poco más deteriorado que el de Potosí, aunque todavía es bastante transitable. Tanto el camino entre Potosí y El Rosario, como el que va a Punta Ñata, puede ser



transitado normalmente en vehículos con tracción sencilla (2 ruedas). No se encontró ningún problema en estos caminos durante las investigaciones de campo realizadas en Junio, una vez iniciada la estación de lluvias. Sin embargo, existe la posibilidad de que el acceso a algunas partes del área, bajo condiciones de lluvia extrema se vea interrumpido por inundaciones, particularmente en las zonas bajas del istmo (al Sur de la población de Cosigüina).

8.1.2 Caminos Secundarios

Varios caminos secundarios se derivan de las vías principales descritas anteriormente, dando acceso a algunas partes del área. Es útil anotar los siguientes aspectos sobre estos caminos secundarios (Figura II-8.1):

- La tracción en las cuatro ruedas es esencial o recomendada para transitar en casi todos los caminos secundarios, que a menudo son poco mantenidos o no lo son del todo.
- La mayoría de estos caminos están localizados en las áreas bajas cercanas a la costa, donde la tierra ha sido abierta para la agricultura. El acceso por caminos a la mayoría de las áreas boscosas es limitado, y virtualmente no existen caminos que brinden un acceso directo a la parte central del Volcán Cosigüina, Filete Cresta Montosa, y a la parte superior de Loma San Juan. Una trocha que una vez construyeron los militares para darle acceso al borde Norte del Volcán Cosigüina no pareciera transitable ahora.
- Muchos de los caminos y senderos no siguen el curso indicado en los mapas topográficos más recientes. Las conversaciones con gente de la localidad sugieren que una cantidad de caminos se tornaron intransitables a causa del Huracán Mitch. Es probable que en la actualidad no existan mapas confiables del área con los caminos secundarios y senderos.



- Muchos de los caminos pasan a través de propiedad privada, por lo que el acceso podría potencialmente ser denegado por los propietarios. No obstante, durante las investigaciones de campo no se encontraron restricciones serias para el ingreso a ninguna de las zonas estudiadas.
- En algunas zonas, y particularmente en la parte Oeste del área, se puede transitar con vehículo por ciertas quebradas durante largas distancias, aún durante la estación de lluvia

8.1.3 Consideraciones para la Construcción de Caminos

En la mayor parte del área de Cosigüina la topografía y el suelo es bastante adecuado para la construcción de caminos de acceso, de tal manera que cualquier punto puede alcanzarse desde una distancia de 1 km o menos. La construcción de caminos en la mayoría de las zonas debería ser de muy bajo costo y sin dificultades técnicas, a causa de las pendientes moderadas y de la presencia en la superficie de depósitos clásticos bien drenados. Las zonas que no cumplen con estas condiciones incluyen, sobre todo:

- partes del cono del Volcán Cosigüina, especialmente en los flancos Norte y Sur, donde hay pendientes más fuertes;
- la mayor parte del Filete Cresta Montosa, y algunas zonas hacia su lado Noroeste, donde la tierra está cruzada por quebradas que bajan hacia los acantilados..
- partes del Loma San Juan, particularmente las pronunciadas pendientes en el Sur y el Sudoeste.
- zonas limitadas en el área de colinas de Ojo de Agua – Loma El Ojochito; y
- áreas bajas marginales del Golfo de Fonseca al Este de Loma San Juan donde están presentes condiciones pantanosas y de suelo húmedo.



En general, las condiciones técnicas para la construcción de caminos son muy favorables en comparación con muchas áreas con potencial geotérmico. Ciertas limitaciones podrían ser impuestas por patrones de tenencia de tierra, aunque el bajo nivel de desarrollo en casi toda el área sugiere que esto no parece representar una restricción importante. Una limitación más significativa podría ser impuesta por la presencia de reservas naturales dentro del área, y la posible formación de un Parque Nacional y la correspondiente Zona de Amortiguamiento dentro y alrededor del Volcán Cosigüina, como se discutió en el Capítulo 7.

8.1.4 Otras Consideraciones Sobre el Acceso

En Punta Ñata y Apascali existen pistas de aterrizaje sin pavimentar, (Figura II-8.1), y alrededor de la península existen muchos otros sitios donde se pueden construir otras y mejorarlos, si se desea. En Potosí existe un pequeño embarcadero con instalaciones portuarias limitadas.

Tal como se indicó anteriormente, no hay camino de acceso a la cima del Volcán Cosigüina que sea transitable para vehículos. Varias trochas, transitables a pie o a caballo conducen a la cima del cono, y la ruta más directa parte del final de una de las rutas de acceso que se derivan del camino principal, justo al Sur de Potosí.

El acceso a la parte interior del cráter es muy limitado. Existen solamente unos pocos lugares donde se puede realizar un descenso de unos pocos metros por debajo del borde sin requerir ayuda, necesiéndose cuerdas para alcanzar el fondo del cráter. Debido a estas limitaciones en el acceso, es práctico hacer dentro del cráter solamente las investigaciones más básicas.

8.2 Uso de la Tierra

En el Capítulo 7 se describió en detalle el actual uso que se le da a la tierra. Excepto en Potosí, todos los asentamientos en el área son tan pequeños que no es probable que representen un inconveniente potencial para el desarrollo geotérmico. De igual forma, la baja intensidad agrícola



en virtualmente toda el área hace menos probable que haya conflicto entre el uso de la tierra aquí que en muchas otras zonas geotérmicas. Como se mencionó anteriormente, es más probable que la existencia de áreas protegidas representen una mayor restricción para el desarrollo geotérmico que el mismo desarrollo existente o el uso actual de la tierra.

8.3 Disponibilidad de Sitios para Perforación y Construcción

Los mismos comentarios que se hicieron en la sección 8.1.3 en relación con la posibilidad de construir caminos se aplican a los sitios potenciales para perforar y establecer instalaciones sobre el terreno. Tomando en consideración la capacidad de perforar en forma direccional y de diseñar sitios de planta y sistemas de recolección alrededor de obstáculos en el terreno, prácticamente no hay ninguna área donde no pueda desarrollarse técnicamente un sitio; siendo una posible excepción a esto la extensa zona de terreno inclinado en Filete Cresta Montosa.

Tal como se discutió con anterioridad, las restricciones impuestas por la presencia de áreas protegidas es probable que sean las que crean la limitación logística más importante para la selección de sitios de perforación y construcción. Asimismo, como se discute en el Capítulo 3, las estribaciones superiores del Volcán Cosigüina están sujetas a un mayor grado de riesgo volcánico, a causa de los flujos de lava, que cualquier otra zona dentro del área. Sin embargo, se espera que este riesgo, a lo sumo, sea moderado.

8.4 Disponibilidad de Agua

Salvo en zonas muy limitadas (como en Loma Ojo de Agua y Loma San Juan), es previsible que, debido a la carencia general de aguas superficiales en el área, no habría disponibilidad de agua fresca de fuentes superficiales para perforación y otras actividades propias del desarrollo. No obstante, los datos hidrológicos (discutidos en la sección 3.3) indican que en la mayor parte de las áreas bajas puede obtenerse agua subterránea de pozos de moderada profundidad, en cantidades adecuadas para el desarrollo.



En partes más elevadas, es posible que se puedan perforar pozos productivos de agua, pero la profundidad de la superficie piezométrica requeriría que los pozos sean más profundos, elevándose los costos de bombeo. Se puede estimar con cierta aproximación que el nivel más profundo de agua subterránea se encontraría a unos 350 – 400 m por debajo de la superficie (por ejemplo, en las estribaciones superiores del Volcán Cosigüina), y que la profundidad disminuiría con la disminución de la elevación del terreno.

Se debe tomar en cuenta la relación entre la producción de agua subterránea para desarrollo geotérmico y las actividades existentes y el uso de la tierra. El desarrollo de una fuente de agua confiable y permanente vendría a causar un impacto positivo en el área, asumiendo que la fuente sea suficiente como para establecer un acuerdo conjunto con los usuarios agrícolas o residenciales. Sin embargo, se deben evaluar los potenciales efectos sobre un sistema de agua subterránea (tal como una posible disminución de altura de la tabla de agua o la intrusión de agua salada dentro del acuífero), con el fin de asegurarse que no van a surgir conflictos con otros usuarios.

8.5 Factibilidad de Realizar Trabajos de Exploración y Desarrollo

La información recolectada durante las investigaciones del Estudio del Plan Maestro permite evidenciar una serie de factores favorables y desfavorables con respecto a la realización de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en el área de Cosigüina.

Los aspectos favorables se resumen como sigue:

- Baja probabilidad de conflictos con otros usos de la tierra.
- Se espera que sea factible en la mayor parte del área la construcción de caminos, sitios de perforación e instalaciones sobre la superficie.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

- Se espera disponer de agua para perforación y otras actividades propias del desarrollo, sobre todo en las áreas bajas.
- Se espera fomentar el desarrollo a través de beneficios potenciales para la comunidad, incluyendo empleo y mejora general de la infraestructura.
- Bajo nivel general de riesgo geológico, particularmente en comparación con otras áreas.



Los aspectos desfavorables se resumen como sigue:

- El área está lejos de las principales líneas de transmisión y de subestaciones, estando la más cercana en el área de Chinandega / El Viejo (52 km en línea recta del área de Loma de los Batidoras).
- El área también está distante de la mayoría de los bienes y servicios necesarios. Muchos servicios básicos no se encuentran en ningún lugar de la península, siendo Chinandega la fuente más cercana para la adquisición de ciertos artículos. Equipo y servicios especializados tendrían que ser adquiridos en Managua, distante unos 200 km. También es presumible que la mano de obra especializada sea escasa en el área.
- La falta de caminos de acceso en muchas zonas dificultaría o haría más costosas las actividades de exploración y de algunos trabajos de desarrollo.
- La existencia de áreas protegidas, y el posible establecimiento del propuesto Parque Nacional, podrían limitar las actividades de desarrollo en algunas zonas.



9. OPCIONES PARA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El área de Cosigüina se encuentra en la etapa de reconocimiento en lo que se refiere a la investigación de los recursos geotérmicos. En ella no se ha identificado ningún recurso geotérmico explotable comercialmente, aún en un grado preliminar, así que es prematuro considerar escenarios de un desarrollo potencial con algún grado de detalle.

No obstante la naturaleza limitada de las investigaciones llevadas a cabo a la fecha, hay razones para considerar que el área tiene potencial para descubrir un recurso comercial, como se indicó en los Capítulos 5 y 6 de este volumen. Debido a que las características del recurso están pobremente determinadas, se deberán considerar los siguientes tipos de desarrollo (los cuales se presentan en un orden decreciente de probabilidad de acuerdo a su factibilidad técnica y económica):

- Aplicaciones de uso directo de agua de baja temperatura (menos de 100°C) como en las granjas camaroneras.
- Desarrollo en pequeña escala para la generación eléctrica (en el rango de 3 a 20 MW), usando las tecnologías del ciclo binario o de vapor, abastecido por fluidos de temperatura moderada a alta (150°C o más)
- Desarrollo a gran escala para la generación de electricidad (20 MW o más), usando fluidos de temperatura media a alta y la tecnología binaria o de vapor.

Debido a las condiciones logísticas que existen en el área de Cosigüina, especialmente su relativa distancia con respecto a la red de transmisión eléctrica, (unos 50+ km) los factores económicos externos podrían ser tan importantes como las características técnicas del recurso en la determinación de la factibilidad económica de cualquier proyecto que se planee. Sin embargo, los



mismos factores podrían servir para hacer el desarrollo más favorable en ciertas situaciones; por ejemplo, si se enfatiza su aprovechamiento para electrificación rural.

El programa a seguir en la investigación y desarrollo del recurso, podría variar significativamente dependiendo de cual de los tres objetivos de desarrollo numerados arriba es perseguido. Por ejemplo, un desarrollo para el uso directo que requiere fluidos de baja temperatura en cantidades moderadas, podría posiblemente proceder directamente a la etapa de perforación de uno o varios pozos para la explotación con poco o ningún trabajo de exploración de apoyo; mientras que, un desarrollo eléctrico a gran escala podría requerir un programa intenso de exploración antes de que el recurso apropiado pueda ser identificado. Sin embargo, si se asume un escenario en el cual el objetivo es un desarrollo de tamaño pequeño a intermedio para la generación eléctrica, se deberán considerar las siguientes etapas:

- Exploración para delinear la zona más prominente de explotación potencial (para alcanzar la etapa de pre-factibilidad)
- La confirmación del recurso con perforación profunda (para alcanzar la etapa de factibilidad)
- Desarrollo de la capacidad necesaria de producción e inyección y de las instalaciones de generación

Debido al nivel de incertidumbre que existe con respecto a la naturaleza del recurso geotérmico en Cosigüina, no se pueden especificar con algún grado de precisión las últimas etapas. En particular, solamente se puede asumir, por ahora, que la etapa de desarrollo deberá ser similar en objetivo y costo al de los desarrollos geotérmicos típicos en condiciones similares en otras regiones de Centro América. A continuación se describen las actividades recomendadas y los costos aproximados para las primeras dos etapas.



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

Ejemplos detallados de actividades de exploración están incluidos en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro. Las estimaciones de costos y tiempo descritas aquí se basan en ejemplos específicos de proyectos en otros lugares, con los ajustes correspondientes para las condiciones locales del área del Volcán Cosigüina.

Los trabajos de exploración deberán dirigirse a mejorar las inferencias relacionadas con la localización, extensión y naturaleza de la actividad geotérmica indicadas en el Capítulo 5 de este volumen. Para este objetivo, se recomienda realizar las siguientes actividades:

- Investigaciones geoelectricas, con densidad de estaciones moderada a alta, para identificar zonas con resistividades anómalas que pudiesen asociarse con zonas de actividad hidrotermal. Considerando las condiciones geológicas y logísticas del área, puede ser apropiado realizar las investigaciones con los métodos MT, AMT o CSAMT. La estructura relativamente homogénea y la topografía generalmente moderada del Volcán Cosigüina, probablemente facilitarán la recolección e interpretación de datos y mejorará la probabilidad de detectar anomalías importantes. Sin embargo, el difícil acceso a algunas áreas puede limitar la capacidad de obtener una cobertura económicamente buena. El área investigada deberá cubrir los flancos del volcán, idealmente hasta una elevación de por lo menos varios cientos de metros. Las estaciones deberán concentrarse en las zonas donde el flujo de agua termal es conocido o se deduce que ocurre, pero también es deseable que haya cierta cobertura de otros sectores del volcán. Por lo tanto, deberá considerarse que por lo menos varios cientos de estaciones de sondeo (aproximadamente 250) serán necesarias para caracterizar adecuadamente la estructura de la resistividad en el área de interés. El costo de esta investigación probablemente estará en el rango de los \$200,000 a \$400,000.



- Perforación de gradiente de temperatura. Es probable que una serie de pozos de observación de la temperatura (agujeros de gradiente de temperatura) sirvan como el mejor medio para identificar y delinear anomalías termales específicas, que puedan reflejar la presencia de un sistema geotérmico explotable o sistemas a niveles más profundos. Idealmente, los agujeros deberán localizarse y perforarse después de realizar y evaluar las investigaciones geoelectricas, tomando en cuenta los resultados de todos los trabajos de exploración realizados hasta este punto. Cada agujero deberá penetrar entre 50 y 100 m, o más, debajo de la superficie piezométrica local, para obtener información confiable acerca de los gradientes de temperatura someros y que éstos puedan ser extrapolados a niveles más profundos. Por lo tanto, los agujeros deberán perforarse a profundidades aproximadas de 100 a 300 m, o aún más profundos en algunas localizaciones. Como en el caso de las investigaciones eléctricas, la densidad de los agujeros puede ser mayor en las zonas donde se tengan las indicaciones más fuertes de la actividad termal, pero también es deseable que haya alguna cobertura de otros sectores del volcán. Deberá considerarse un mínimo de 10 a 12 agujeros, y este número podría incrementarse sustancialmente si se desean resultados más definitivos. El costo por agujero dependerá de la profundidad requerida, del método de perforación usado y de las condiciones que se encuentren, y podría variar considerablemente de tal vez \$20,000 ó \$30,000 por agujero, a más de \$100,000 por agujero. En el área de Cosigüina, un costo promedio útil para los propósitos de planeación deberá ser de alrededor de los \$50,000 (unos \$250 por metro perforado en base de agujeros de 200 m). Esta valoración es muy aproximada, debido a las enormes variaciones que existen en los costos de la perforación a nivel internacional, no existe un costo estándar por metro perforado que se pueda aplicar de un país a otro. Para la perforación de 10 a 12 agujeros, el costo del programa de perforación se ha asumido que es de \$500,000' a 600,000.



- Investigaciones Complementarias. Las investigaciones geoelectricas y la perforación de pozos de gradiente de temperatura descritos arriba, deben ser las más críticas para definir la zona donde se concentren las actividades de la etapa de factibilidad. Sin embargo, algunas actividades exploratorias adicionales podrían ser realizadas conjuntamente con los trabajos más críticos para ayudar a mejorar el modelo conceptual del recurso. Estas podrían incluir: la interpretación geológica detallada de áreas seleccionadas (apoyada con imágenes de satélite de alta resolución y fotografías aéreas adicionales); gravimetría realizada sobre todo o la mayor parte del Volcán Cosigüina, con estaciones de moderada a alta densidad; y, posiblemente, otros tipos de investigaciones geofísicas (por ejemplo magnetometría), y un muestreo geoquímico nuevo de los manantiales termales situados al lado Este del Volcán. (El muestreo geoquímico nuevo se recomienda para confirmar el modelo de mezclas de fluidos de los manantiales.) El costo de todos los estudios complementarios podría ser del orden de \$270,000.
- Análisis y Síntesis/ Administración. Análisis completo y la síntesis de los resultados de estas actividades deberán llevar a la definición de sitios iniciales de la perforación exploratoria profunda y constituirá el estudio de pre-factibilidad de un desarrollo potencial. Esta evaluación y las actividades administrativas asociadas con la etapa de pre-factibilidad del proyecto (contratación, comunicaciones, transportación, viáticos, etc.) podrían costar aproximadamente \$200,000.
- Los costos de factores logísticos y ambientales (ver la Tabla II-9.1) se han estimado en base a las estimaciones contenidas en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio del Plan Maestro Geotérmico.
- El presupuesto total para esta etapa del proyecto se espera sea del orden de \$1,300,000 a \$1,600,000 (ver la Tabla II-9.1).



Confirmación del Recurso (Actividades Requeridas para Confirmar la 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 de costos y tiempo descritas aquí se basan en ejemplos específicos de proyectos en otros lugares, haciendo los ajustes correspondientes para las condiciones locales del área del Volcán Cosigüina.

La actividad principal de esta etapa será la perforación de pozos exploratorios profundos para confirmar la presencia de un recurso geotérmico comercialmente viable, así como la factibilidad de la inyección de los fluidos producidos. El número de pozos requeridos para demostrar la factibilidad dependerá del tamaño del proyecto considerado, pero se puede anticipar que, por lo menos, se necesitará programar para esta etapa dos pozos exploratorios de producción y uno para la inyección, lo cual es razonable para un proyecto de 20 a 50 MW. Además, si se identifica un recurso viable, será necesario realizar las pruebas adecuadas a los pozos, y, para complementar el estudio de factibilidad, un análisis técnico-económico del desarrollo planeado, incluyendo el diseño preliminar de una planta eléctrica y del sistema de transporte de fluido.

El costo por pozo en la perforación exploratoria dependerá fuertemente de la profundidad del recurso geotérmico (el cual deberá limitar la profundidad requerida para cada pozo), y menos fuertemente de las condiciones geológicas y logísticas asociadas con la perforación. Considerando las condiciones que prevalecen en Cosigüina, será prudente presupuestar un mínimo de \$1,500,000 para cada pozo de producción y por lo menos \$1,000,000 por pozo de inyección (en base a costos de aproximadamente \$1,000 por metro para pozos de 1,500 m a 1,000 m; ver detalles en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio del Plan Maestro). Por lo tanto, el presupuesto mínimo de perforación que se requiere para demostrar la factibilidad (dos pozos productores y dos de inyección) se espera sea de al menos \$4,000,000.



Las actividades adicionales de pruebas, evaluación, administración y reportes requerirán de desembolsos adicionales en el rango aproximado de los \$400,000 a \$500,000. Estas actividades, combinadas con factores logísticos y ambientales (incluyendo Estudios de Impactos Ambientales y Concesiones Ambientales) y con diseño preliminar de las Instalaciones de Superficie y el Estudio de Factibilidad/ Evaluación Técnico-Económica (ver detalles en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio del Plan Maestro) hacen un presupuesto mínimo para los trabajos de factibilidad de aproximadamente \$5,300,000 (ver la Tabla II-9.2). Como se podrá notar arriba, los costos podrían ser sustancialmente menores para un proyecto de menor escala, pero potencialmente mayores si se contempla un desarrollo grande. Si el proyecto de desarrollo inicial es de 20 MW, el costo de la factibilidad es de unos \$265,00 por MW.



10. REFERENCIAS

- Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence Dating. Academic Press, London, 359 pp.
- 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.
- 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.
- 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.)
- Dames & Moore, 1978. Informe final del estudio geológico de las ciudades del sistema metropolitano Tipitapa - Granada - Masaya - Carazo (Diriamba - Jinotepe - Dolores), Préstamo AID No 524~W/U~029, Mayo 1978. Por Consorcio Dames & Moore - LAMSA, Para Gobierno de Nicaragua, Comité Interagencial, Viceministerio de Planificación Urbana.
- 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.



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

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.

Galindo, J., 1835. Eruption of the Volcano of Cosiguina Cosigüina (Nicaragua). American Journal of Science, Vol. 28, No. 2, pp. 332-336.

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 Grados Celsius (°C), periodo 1971-1990. Escala 1: 750,00. Mapa publicado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Dirección de Geodesía y Cartografía.

INETER, 1997b. República de Nicaragua, Precipitación Media Anual, período 1971-1990. escala 1:750,000. Mapa publicado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Dirección de Geodesía y Cartografía – Dirección de Meteorología.

INETER, 1999. Sismos de Nicaragua. Catalogo Bianual 1997-1998. INETER, Mayo de 1999.

INETER, 2000. Sismos de Nicaragua. Catalogo Bianual 1999. INETER, Abril de 2000.

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

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



- McBirney, A.R., 1958. Active volcanoes of Nicaragua and Costa Rica, Central America. Catalogue of the Active volcanoes of the World including solfatara fields, Part 6, pp. 107-146.
- OIM, 1999. Características socio-demograficas de la población rural de Nicaragua. A partir de la información del censo de población de 1995.
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 15B, Mapa de los puntos de agua termales, escala 1:250.000 OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineria Italiana s.r.l..
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 16B, Mapa de los tipos químicos de las aguas. OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineraria Italiana s.r.l..
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Anexo 20, Mapa de las anomalías de temperatura OLADE (Organización Latino Americana de Energía) preparado por Geomineraria Italiana s.r.l..
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Informe final, Diciembre 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).
- OLADE, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua, Informe geo-vulcanológico, Diciembre 1981. OLADE (Organización Latino Americana de Energía).
- 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.
- Self, S., M.R. Rampino y M.J. Carr, 1989. A reappraisal of the 1835 eruption of Cosigüina and its atmospheric impact. *Bulletin of Volcanology*, Vol. 52, No. 1, pp. 57-65.
- 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).
- van Wyk de Vries, B., 1990(?). Preliminary report on the geology of the Managua aquifer. Sections for hydrogeological modeling. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Departamento de Vulcanología. Informe no-publicado (fecha incierto).
- van Wyk de Vries, B., 1993. Tectonics and magma evolution of Nicaraguan volcanic systems. Thesis (Doctoral), Department of Earth Sciences, The Open University, September 1993, 328 pp.
- Walker, J.A., M.J. Carr, M.D. Feingenson, y R.I. Kalamarides, 1990. The petrogenetic significance of interstratified high-and low-Ti basalts in central Nicaragua. *J Petrol.*, Vol. 22, pp. 1142-1163.
- Weinberg, R.F., 1992. Neotectonic development of western Nicaragua. *Tectonics*, Vol. 11, No. 5, pp. 1010-1017.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

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

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.

Williams, H., 1952. The great eruption of Cosigüina, Nicaragua, in 1835; with notes on the Nicaraguan volcanic chain. University of California Publications in Geological Sciences, Vol. 29, No. 2, pp. 21-46.

T A B L A S

Tabla II-2.1. Principales Estudios Existentes sobre el Area de Volcán Cosigüina

ESTUDIO	GEOLOGIA VULCANOLOGIA	HIDROGEOLOGIA GEOQUIMICA	GEOFISICA
Texas Instruments (1970)		Inventario de algunos manantiales termales	
OLADE (1981)	Resumen de geología / volcanología. Muestreo de 4 rocas de lava y análisis químico.	Reconocimiento, muestreo y análisis de manantiales y pozos con temperatura anómala. Resumen de hidrología.	
UNOCAL (en 1992)	Desconocido.	Muestreo y análisis químico de aguas (datos confidenciales).	
Galindo (1835)	Descripción del gran erupción de 1835.		
Williams (1952)	Evaluación general.		
Otros	Ver la sección 2.2.1 del texto.		

**Tabla II-6.1: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3),
Area de Volcán Cosigüina**

Parámetros Fijos	Complejo de Casita-San Cristóbal	
	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)	50	100
Profundidad de magma (km)	3	7
Edad de magma (años)	30,000	60,000
Temperatura de magma (°C)	900	1,100
Factor de recuperación	5%	10%
Resumen de Resultados		
Total de Reservas (MW)	425	
MW/km ²	Medio	Desviación Estándar
Distancia = 0.0 km	15.5	14.4
0.5 km	15.1	14.0
1.0 km	13.9	12.8
2.0 km	10.1	8.8
3.0 km	5.9	4.8
5.0 km	1.1	0.8

Tabla II-7.1: Población de la Península de Cosigüina

Localidad	Poblacion Total	Poblacion por Rango de Edades (años)			
		0-4	5-14	15-49	>50
Comarca El Divisadero	3,477	661	1,022	1,478	316
Punta San José	249	44	81	110	14
Potosí	1,063	217	288	445	113
Las Parcelas	300	61	100	123	16
La Salvia	96	21	33	34	8
Punta Ñata	284	37	92	126	29
La Tigüilotada	251	50	68	112	21
Apascalí	144	28	35	71	10
El Tanque	10	2	1	5	2
Mechapa	439	75	139	182	43
Punta de Piedra	45	5	17	18	5
La Chorrera	53	8	18	24	3
El Maroñal	18	6	3	8	1
El Jicarito	88	25	26	35	2
Cosigüina	226	42	65	92	27
Los Paniquines	64	15	15	30	4
Las Criollas	43	7	14	17	5
Dispersas	104	18	27	46	13
Comarca Cosigüina	1,339	224	428	545	142
Potosí	44	9	13	18	4
Punta de Piedra	25	3	10	10	2
El Capulín	187	34	58	67	28
Cabo de Horno	49	11	9	23	6
Cosigüina	714	111	234	294	75
El Centro	23	3	8	7	5
Los Paniquines	167	29	60	67	11
Gaspar Garcia Laviana	93	17	27	43	6
Dispersas	37	7	9	16	5

Fuente: INEC, Censo de Poblacion 1995

Table II-7.2: Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas Más Cercanas al Area Volcán Cosigüina

Estación: Chinandega					Estación: Leon			
Epoca: 1966-1999					Epoca: 1980-1999			
Mes	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 II-7.3: Lista de Especies Vegetales para el Area Protegida, Volcán Cosigüina (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Achatocarpaceae	<i>Achatocarpus nigricans</i> (Triana)	Canfucia, Limoncillo
Adiantaceae	<i>Adiantum</i> Sp.	
Amaranthaceae	<i>Iresine calea</i> (Ibañez) Standley	
Anacardiaceae	<i>Anacardium excelsum</i> (Bert. & Balb.) Skeel	Espavel
	<i>Spondias mombin</i> L.	Jocote Jobo
	<i>Spondias purpurea</i> L.	Jocote Garrobo
	<i>Astronium Graveolens</i> Jacq.	Palo Obeno-Ron Ron
Annonaceae	<i>Annona reticulata</i> L.	Anona
	<i>Sapranthus nicaraguensis</i> Seem.	Palanco/A
	<i>Annona glabra</i> L.	Anona De Pantano/Río
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i> L.	Sacuanjoche
	<i>Stemmadenia obovata</i> (Hook. & Arn) K. Schum	Huevo De Chanco
	<i>Echites</i> sp.	
	<i>Prestonia</i> sp.	
Araceae	<i>Monstera adansonii</i> (Schott)	Ventana
	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Lechuga De Agua
Asteraceae	<i>Eclipta alba</i> (L.) Hassk.	
Bignoniaceae	<i>Amphilophium paniculatum</i> (L) HBK	Pico De Pato
	<i>Tabebuia ochracea</i> A. Gentry	Cortez
	<i>Cydístia diversifolia</i>	Ahosmeca
	<i>Tabebuia rosea</i> (Vertol.) DC.	Roble Macuelizo
	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex HBK	Sardinillo
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</i> sp.	
	<i>Cordia alliodora</i> (R. & P.) Oken	Laurel Macho
	<i>Cordia collococca</i> L.	Muñeco
	<i>Cordia dentata</i> Poir.	Tiguilote
	<i>Cordia globosa</i> (Joca) M.B.K	Diente De Peano
Bromeliaceae	<i>Tillandsia usneoides</i>	Barba De Viejo
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Jiñocuabo
Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Guapinol

Tabla II-7.3: Lista de Especies Vegetales para el Area Protegida, Volcán Cosigüina (FUNDECIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Caesalpinaceae	<i>Cassia grandis</i> L.	Carao
	<i>Crudia choussyana</i> (Standley)	Javillo
	<i>Senna reticulata</i> (Willd.) I. & B.	Sorocontil, Seroncontil
Caesalpinaceae	<i>Ardisia revoluta</i>	Uva De Montaña
Campanulaceae	<i>Lobelia cardinalis</i> (L.)	
Capparaceae	<i>Capparis indica</i> (L.) Fawc. y Rendle	Olivo
	<i>Crataeva tapia</i> L.	Manzano De Playa
Cecropiaceae	<i>Cecropia peltata</i> (L.)	Guarumo
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Poró-Poró
Combretaceae	<i>Terminalia oblonga</i> (R. & P.) Steud.	Guayabón, Guayabillo
	<i>combretum laxum</i>	Papamiel
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	Conchita
Convolvulaceae	<i>Idomoea pes. caprae</i> (L.) Sweet	Jitamo-Campanita De Playa, Bejuco De Playa
	<i>Operculina</i> sp.	
Ebenaceae	<i>Diospyros nicaraguensis</i> Standl.	Chocoyo
Elaeocarpaceae	<i>Muntingia calabura</i> (Swartz) DC	Capulín
Esquisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	Cola De Caballo
Euphorbiaceae	<i>Sapium macrocarpum</i> Muell. Arg.	Leche Sapo
	<i>Dalechampia scandens</i> (L.)	Ortigailla, Pringa Moza
Fabaceae	<i>Hippomane mancinella</i> (L.)	Manzana De Playa
	<i>Sapium macrocarpum</i> Muell. Arg.	Lechecuabo
	<i>Erythrina berteriana</i> Urbans	Elequeme
	<i>Lonchocarpus miniflorus</i> (Donn. Smith)	Chaperno Negro
	<i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.	Jiquelite
	<i>Desmodium</i> sp.	
	<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	Bejuco Pachon
	<i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC.	Pica Pica
	<i>Crotalaria retusa</i>	Chischil
	<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	Guachipilin
	<i>Lonchocarpus</i> sp.	
	<i>Pterocarpus rothii</i> (Vahl)	Sangredrigo
Flacourtiaceae	<i>Phaseolus lunatus</i>	Chonetillo
	<i>Mucuna</i> sp.	Ojo De Buey
	<i>Casearia sylvestrís</i> (Sw.)	Sombra De Armado
	<i>Xylosma pyrofolia</i> (H.B.I) Echl.	Sombra De Armado

Tabla II-7.3: Lista de Especies Vegetales para el Area Protegida, Volcán Cosigüina (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Hernandiaceae	<i>Gyrocarpus americanus</i> Jacq.	Talalate
Lamiaceae	<i>Hyptis</i> sp.	
Lauraceae	<i>Ocotea veraguensis</i> (Meissn.) Mez	Quina
Lemnaceae	<i>Lemna trinervis</i>	
Loranthaceae	<i>Struthanthus</i> sp.	
	<i>Malpighia glabra</i> (L.)	
Malvaceae	<i>Malvaviscus arboreus</i> Cav.	Quesillo-Amapola
	<i>Abutilon</i> sp.	
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro Real
	<i>Guarea glabra</i> Vahl	Tololo
	<i>Trichilia martiana</i> C. DC.	Chichiclas
	<i>Swietenia humilis</i> Zucc.	Caoba
	<i>Trichilia</i> sp.	Matapiojo
Mimosaceae	<i>Acacia</i> sp.	
	<i>Albizzia caribaea</i> (Urban) B. & R.	Guanacaste Blanco
	<i>Albizzia guachepele</i> (HBK) Dugand	Gavilan
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Guanacaste Negro
	<i>Inga</i> spp.	Cuajiniquil, Guabo
	<i>Inga vera</i> Willd.	Guaba
	<i>Lysiloma</i> spp.	Quebracho
	<i>Lysiloma auritum</i> (Schlecht.) Benth.	Quebracho
	<i>Acacia costarricensis</i> Schenck	Cachito De Aroma
	<i>Mimosa albida</i> Humb. & Bonpl.	Zarza Común
	<i>Pithecellobium saman</i> (Jacq.) Benth.	Genizaro
	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Espino De Playa
	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Aguijote
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz	Ojoche
	<i>Castilla elastica</i> Cerv.	Palo De Huile
	<i>Chlorophora tinctoria</i> (L.) Gaud.	Mora
	<i>Ficus</i> spp.	Chilamate
Myrtaceae	<i>Eucalyptus deglupta</i>	Eucalipto
	<i>Psidium sartorianum</i>	Arrayán
Nyctaginaceae	<i>Pisonia macranthocarpa</i> (Donn. Smith)	Espino Negro
	<i>Neea psychotrioides</i> Donn. Smith	Brujo
Oleaceae	<i>Ximenia americana</i> L.	Jocomico

Tabla II-7.3: Lista de Especies Vegetales para el Area Protegida, Volcán Cosigüina (FUNDECIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Orchidaceae	<i>Epidendrum sp.</i>	
Phytolacaceae	<i>Rivinia humilis L.</i>	Coralillo, Comida De Culebra
Piperaceae	<i>Piper aequale (Vahl.)</i>	Cordoncillo
	<i>Piper auritum</i>	Anisillo
Poaceae	<i>Hyparrhenia rufa (Nees.) Stapf.</i>	Jaragua, Zacate Jaragua
	<i>Oplismenus burmannii Beaud.</i>	Grama De Conejo, Zacate Conchita
	<i>Pennisetum complanatum (Nees.) Hemsl.</i>	Zacate
	<i>Stenotaphrum sp ?</i>	Zacate San Agustín
	<i>Paspalum notatum</i>	Zacate Nacional
Polygalaceae	<i>Securidaca sylvestris (schlecht.)</i>	Curarina
Polygonaceae	<i>Coccoloba caracasana Meisn</i>	Papalón
	<i>Coccoloba floribunda, (Benth.) Lindau.</i>	Papaturro/Irili
	<i>Acroticum aurem (L.)</i>	Helecho Subacuático
Rhamnaceae	<i>Karwinskia calderoni Standl.</i>	Guilliguiste
	<i>Zizyphus guatemalensis Hemsl.</i>	Nanciguiste
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle L.</i>	Mangle Rojo
Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum (Vahl.) DC.</i>	Madroño
	<i>Hamelia patens (Jacq.)</i>	Canilla De Venado
	<i>Genipa americana L.</i>	Jagua
Rutaceae	<i>Casimiroa sp.</i>	Matasano
	<i>Zanthoxylum procerum (Donn.) Sm.</i>	
Sapindaceae	<i>Allophylum occidentale (Sw.) Radlk</i>	Huesito
	<i>Sapindus saponaria L.</i>	Jaboncillo
	<i>Cupania sp.</i>	Cola De Paja, Piojo
	<i>Serjania sp.</i>	Barbasco
Sapotaceae	<i>Mastichodendron capiri Var. tempisque (pittier) Crong.</i>	Tempisque
Selaginellaceae	<i>Selaginella sp</i>	
Simaroubaceae	<i>Alvaradoa amorphoides Liemb.</i>	Zorrillo
	<i>Simarouba glauca DC.</i>	Acetuno- Talchocote
Solanaceae	<i>Cestrum nocturnum (L.)</i>	Blanquillo
	<i>Physalis sp.</i>	Popita
	<i>Solanum diphyllum L.</i>	
	<i>Solanum macranthum</i>	Naranjilla
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia Lam.</i>	Guácimo De Ternero

**Tabla II-7.3: Lista de Especies Vegetales para el Area Protegida,
Volcán Cosigüina (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Sterculiaceae	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) Karst.	Panamá
Tiliaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	Peine De Mico, Burillo
	<i>Luhea candida</i> (T.C.) Mart. S Zucc	Guacimo De Molenillo
Ulmaceae	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	Cagalera
Urticaceae	<i>Myriocarpa ysabalensis</i>	Chichicaston
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	Cuaquito, Cinco Negritos
	<i>Lippia cardiostegia</i> Benth.	Tacote Blanco, Juanislama
	<i>Avicennia bicolor</i> (Standley)	Curumo Palo De Sal
	<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	Curumo Palo De Sal
	<i>Cornutia</i> sp.	
Vitaceae	<i>Cissus sicyoides</i> L.	Quema Mano

Tabla II-7.4: Lista de Especies Animales para el Area Protegida, Volcán Cosigüina (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	Grado de Amenaza (Apéndice CITES)
REPTILIOS			
Boidae	<i>Boa constrictor</i>	Boa	II
Colubridae	<i>Spilotes pullatus</i>	Culebra Mica (verde), zopilota	
	<i>Trimorphodon biscutatus</i>	Sorcuata	
	<i>Coniophanes fissidens</i>	Lagartijera (culebra llanera, rayada a lo largo)	
	<i>Drymarchon corais</i>	Voladora	II
	<i>Leptophis sp</i>	Chocoya	
	<i>Oribelis aeneus</i>	Chocoya-bejuquilla	II
Crotalidae	<i>Crotalus durissus</i>	Cascabel	III
Cheionidae	<i>Lepidocheilus olivacea</i>	Tortuga paslama	
	<i>Eremochelys imbricata</i>	Tortuga carey	II
	<i>Dermochelys coriacea</i>	Tora	
Elapidae	<i>Micrurus spp</i>	Coral blanco-negro-mediano	
	<i>Micrurus nigrocinctus</i>	Coral rojo-negro-grande	III
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	Garrobo negro	
	<i>Iguana iguana</i>	Iguana verde	II
Telidae	<i>Gnemidophorus deppii</i>	Lagartija Rayada (verde-café)	
AVES			
Accipitridae	<i>Buteo brachyurus</i>	Gavilán Moro (Come Pollo), gavilán colicorto	II
Alcedinidae	<i>Megacerile torcuata</i>	Martin Pescador (blanco-negro)	
Anatidae	<i>Cairina moschata</i>	Pato Real	III
	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	Piche	
	<i>Anas discors</i>	Zarceta	
Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Cuaco	
Caprimulgidae	<i>Nyctinotus albicollis</i>	Pocoyo comun	
Cathartidae	<i>Carhartes aura</i>	Sonchiche	
	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote	
Columbidae	<i>Zenaida asiatica</i>	Palomas alas blancas	
	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma Cola Blanca	
	<i>Columba flavivestris</i>	Paloma Patacona	
	<i>Leptotila plumbeiceps</i>	Paloma Rodadora	
	<i>Columbina talpacoti</i>	Paloma San Nicolás	
Corvidae	<i>Calocitta formosa</i>	Urraca	
Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>	Chachalaca	
	<i>Crax rubra</i>	Pavón	III
Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Pijul	
	<i>Playa cayana</i>	Alma de perro-coba	
	<i>Playa cayana</i>	Pájaro León	
	<i>Morocucyx erythropygia</i>	Relojero	
Emberizidae	<i>Dendroica petechia</i>	Gallarda paloma, gurza gris, reinita amarilla	

Tabla II-7.4: Lista de Especies Animales para el Area Protegida, Volcán Cosigüina (FUNDENIC-SOS, 1999)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	Grado de Amenaza (Apéndice CITES)
AVES			
Falconidae	<i>Herpeteros cachinans</i>	Guás (búlico), guaco	II
	<i>Polyborus cheriway</i>	Querque	
Icteridae	<i>Gymnastinops montezuma</i>	Oropéndola	
	<i>Dives dives</i>	Tordo Negro	
	<i>Cassidix nicaraguensis</i>	Zanate de Nicaragua	
Jacaniidae	<i>Jacana espinosa</i>	Gallina de agua ó de playa	
Momotidae	<i>Eumomota superciliosa</i>	Guardabarranco	
Phasianidae	<i>Colinus leucopogon</i>	Codorniz	
Pipridae	<i>Chiroxiphia linearis</i>	Toledo(verde, azul y colorado)	
Psittacidae	<i>Amazona albifrons</i>	Cotorra	II
	<i>Brotogeris jugularis</i>	Zapoyol	II
	<i>Amazona auropalliata</i>	Lora hablantina	II
	<i>Amazona ochrocephala</i>	Lora	II
	<i>Ara macao</i>	Lapa roja	I
	<i>Aratinga canicularis</i>	Chocoyo(Perico)Chanero, Chiclero, catano	II
Stringidae	<i>Otus cooperi</i>	Cocoroca	
Thophilidae	<i>Amazilia rutila</i>	Colibrí(Gorrión casi negro)	II
Thraupidae	<i>Agelaius phoeniceus</i>	Sargento	
Thyrannidae	<i>Muscivora forficata *</i>	Tijereta	
Traupidae	<i>Tharpis episcopus</i>	Viudas (Fragatas)	
Troglodytidae	<i>Campylorhynchus rufinucha</i>	Saltapiñuela	
Tyrannidae	<i>Tyrannus verticalis</i>	Guiz, tirano colinegro	
	<i>Tyrannus sp.</i>	Guiz	
	<i>Tyto alba</i>	Lechuza común	II
MAMIFEROS			
Cebidae	<i>Atelus geoffroyi</i>	Mono araña	I
	<i>Cebus capucinus</i>	Mono cara blanca	II
	<i>Alouatta palliata</i>	Mono Congo	I
Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado Cola Blanca(Rocio, Ramazón)	
Dasyproctidae	<i>Dasyproctus novemcinctus</i>	Cusuco	
	<i>Canis paca(Agouti paca)</i>	Guardatinaja	III
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro cola pelada	
Erethizontidae	<i>Coendou mexicanus</i>	Zorro Espín(chucho)	
Felidae	<i>Felis concolor</i>	León (Puma)	I
Mustelidae	<i>Spilogale augustifrons</i>	Zorro mión	
Myrmecophagidae	<i>Tamandua tetradactyla</i>	Perico oso, perico lerdo	III
Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Pizote	III
	<i>Procyon lotor</i>	Mapache(Mapuchin)	
Sciuridae	<i>Sciurus sp.</i>	Ardillacafé, ardilla mora	
Tayassuidae	<i>Tayassu tajacu</i>	Sahino	II

Tabla II-7.5: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de Volcán Cosigüina

Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Potenciales impactos en el bosque nativo y en especies animales, incluyendo especies amenazadas, especialmente en la parte central del volcán Cosigüina.	Débil-Moderada (dependerá del lugar efectivo de desarrollo del proyecto)	Optimización uso de caminos ya existentes. Perforación de más pozos a partir de una única plataforma (perforación direccional). Evitar cortes indiscriminados del bosque. Reforestación.	Control ambiental durante la construcción. Control y seguimiento de las operaciones de reforestación.
Impactos potenciales en las aguas superficiales.	Débil	No descargar aguas residuales en el drenaje superficial, tanto durante la construcción, como durante la operación.	Control de aplicación de las medidas durante la construcción y la operación. Control y monitoreo de los pozos de reinyección.
Impactos potenciales en aguas subterráneas.	Débil- Moderada	Almacenamiento de fluidos de perforación y de fluidos geotérmicos producidos por 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 aumento de la erosión debido a excavaciones u otras actividades en áreas donde están presentes depósitos superficiales poco consolidados.	Débil - Significativa (dependiendo del sitio específico 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 desague, alcantarillas, canales de drenaje, etc.

Tabla II-9.1: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Pre-Factibilidad, Área de Volcán Cosigüina

Actividad ¹	Costo ¹	Duración	Mes →													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
I Investigaciones geoelectricas	\$200,000 a \$400,000	3 meses			■	■	■									
II Perforación de gradiente de temperatura																
Suministro de agua	\$15,000	1 mes			■											
Caminos y plataformas	\$75,000	2 meses			■	■										
Perforación (10 a 12 pozos)	\$500,000 a \$600,000	5 meses			■	■	■	■	■							
III Investigaciones complementarias:																
Toma de registros de temperatura	\$50,000	1 mes								■						
Interpretación geológica detallada de áreas seleccionadas	\$100,000	6 meses			■	■	■	■	■	■						
Gravimetría	\$50,000	1 mes			■											
Otros estudios geofisicos	\$50,000				■											
Muestreo geoquímico	\$20,000	1 mes			■											
IV Análisis completo y síntesis de los resultados (Estudio de Pre-Factibilidad)	\$100,000	4 meses										■	■	■	■	
V Administración	\$100,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VI Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VII Estudios de Impacto Ambiental para obtener la Concesión de Exploración y Permiso Ambiental de perforación de pozos de gradiente de temperatura	\$40,000	2 meses	■	■												
TOTAL:	\$1,305,000 a \$1,605,000															

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

Tabla II-9.2: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para Confirmar la Factibilidad,
 Área de Volcán Cosigüina

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	\$325,000	7 meses									
Suministro de agua	\$150,000	3 meses									
Perforación (2 pozos productores, 1 pozo inyector)	\$4,000,000	10 meses									
Pruebas, registros y muestreo	\$200,000	3 meses									
Evaluación	\$75,000	3 meses									
Administración	\$100,000	duración									
Preparación de Informes	\$75,000	3 meses									
III Factores ambientales (ver capítulo 7)	\$5,000	duración									
IV Diseño preliminar de las Instalaciones de Superficie	\$60,000	2 meses									
V Estudio de Factibilidad (Evaluación Técnico - Económica)	\$100,000	2 meses									
TOTAL:	\$5,290,000										

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

FIGURAS



Figura II-1.1: Mapa de ubicación, Península de Cosigüina, Nicaragua

GeothermEx, Inc. GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL (916) 527-8978 FAX (916) 527-8164 EMAIL WWW.GEOTHERMEX.COM	FILE: 8-1.1.DWG	SCALE: 1 : 205000
	PLOT/DATE: 1200/2001	DRAWN: FRS APP: RCH
	PAGE SETUP: 1_20SK	REV: FEB/MAY/OCT/01

a Chinandega



LEYENDA

■	Poblado
—○—	Carretera y camino secundario
.....	Camino sin mejoras y trocha
—100—	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
△ 118	Elevación, m s.n.m. Datos topográficos: INETER (1988)
~~~~~	Zonas bajas salitrosas, manglares y pantanos transitables

**Figura II-1.2: Mapa de ubicación, Volcán Cosigüina, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: II-1.2.DWG	SCALE: 1 : 145000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLTDATE: 13SEP2001	DRAWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		Tel (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL: MWW@GEOHERMEX.COM	PAGE SETUP: VC05-1 REV: APR/OCT00/FEB/SEP01



**LEYENDA**

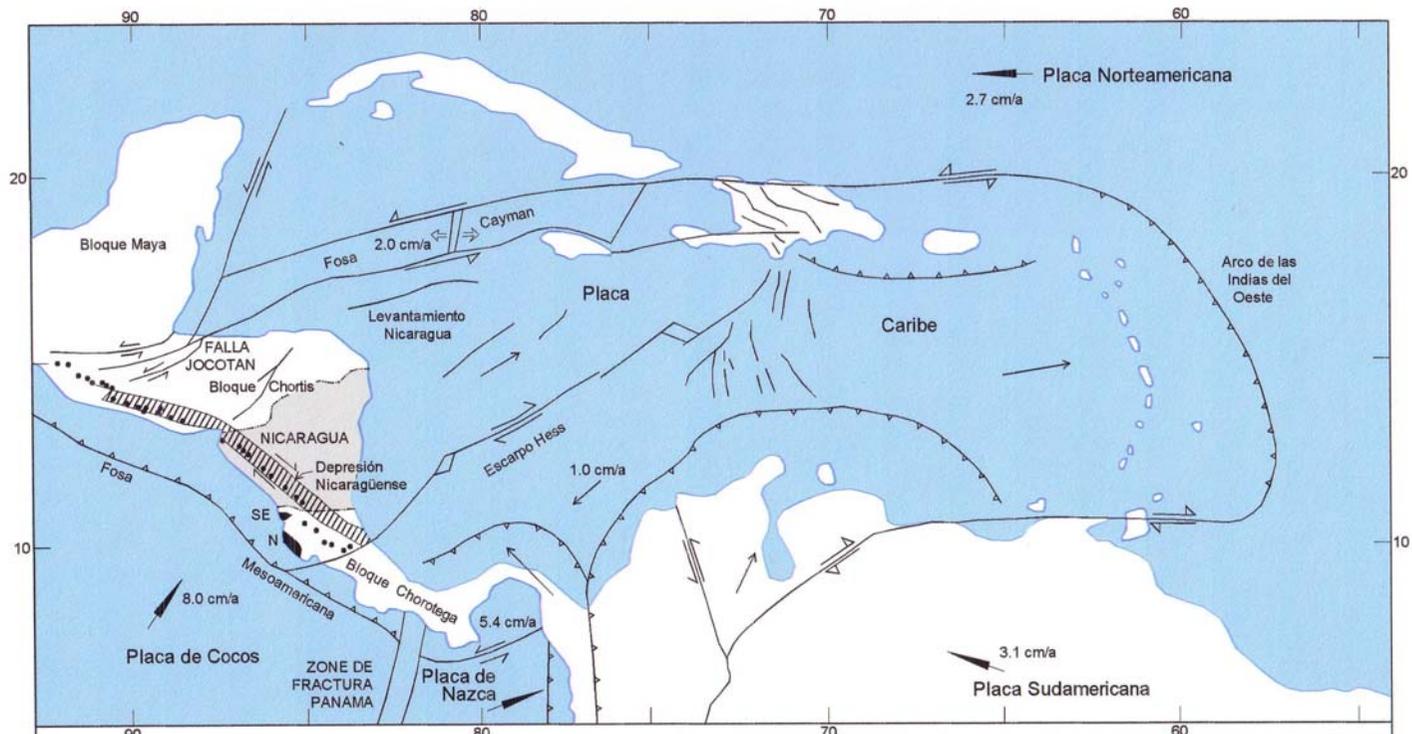
- Poblada
- △²⁵⁸ Elevación, m
- Carretera y camino secundario

Imagen satelitaria: Landsat 5, Jan 13, 1987

**Figura II-1.3: Imagen Landsat, Volcán Cosigüina, Nicaragua**

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

FILE: 8-1.3.DWG	SCALE: 1 : 145000
PLOTDATE: 07FEB2001	DRAWN: RRS APP: RWG
VC05-1 IMAGE B20 C50 F0/F PCOLOR-MAN	



**LEYENDA**

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

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

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

PLOTDATE: 23OCT2001	DRAWN: RRS	APP.: CWK
FILE: II-3.1.DWG	PAGE SETUP: FIG 3.1	

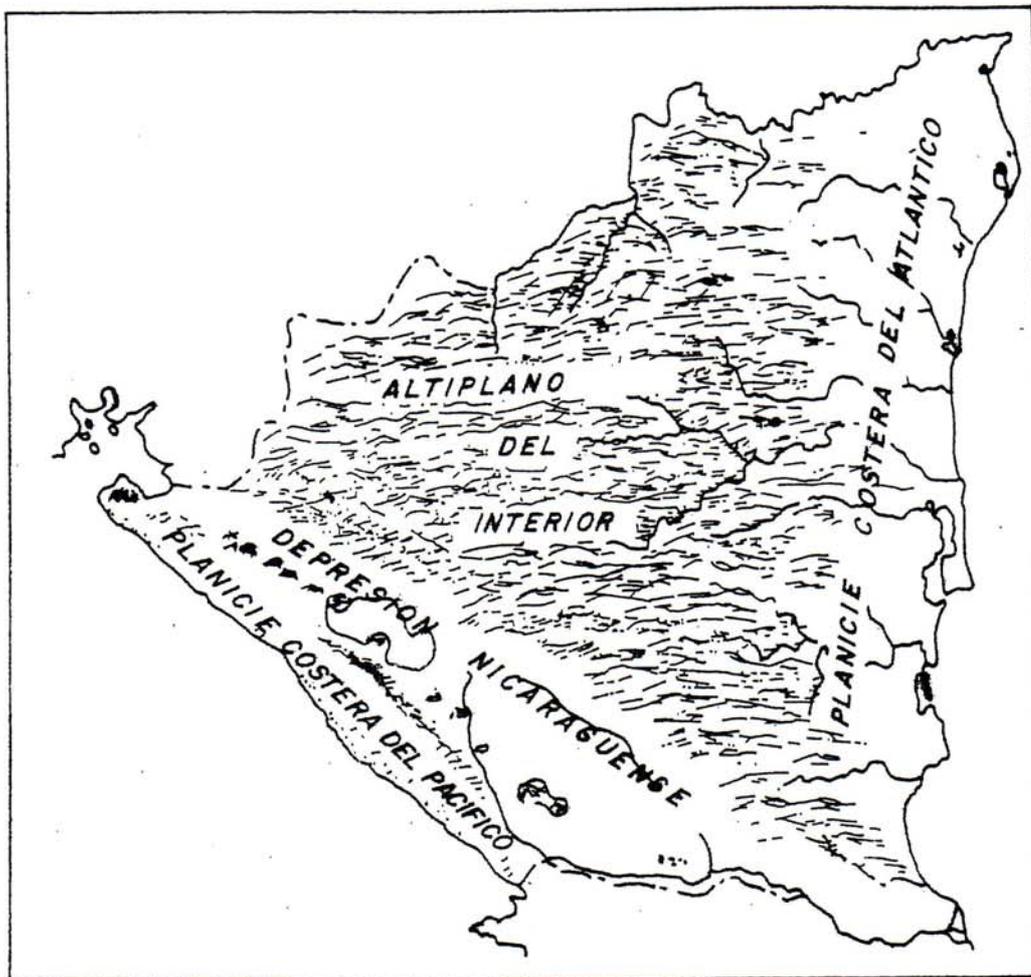
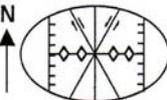
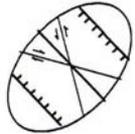
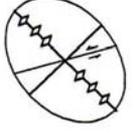


Figura II-3.2: Provincias fisiográficas de Nicaragua  
(original de McBirney *et al.*, 1965)

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

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

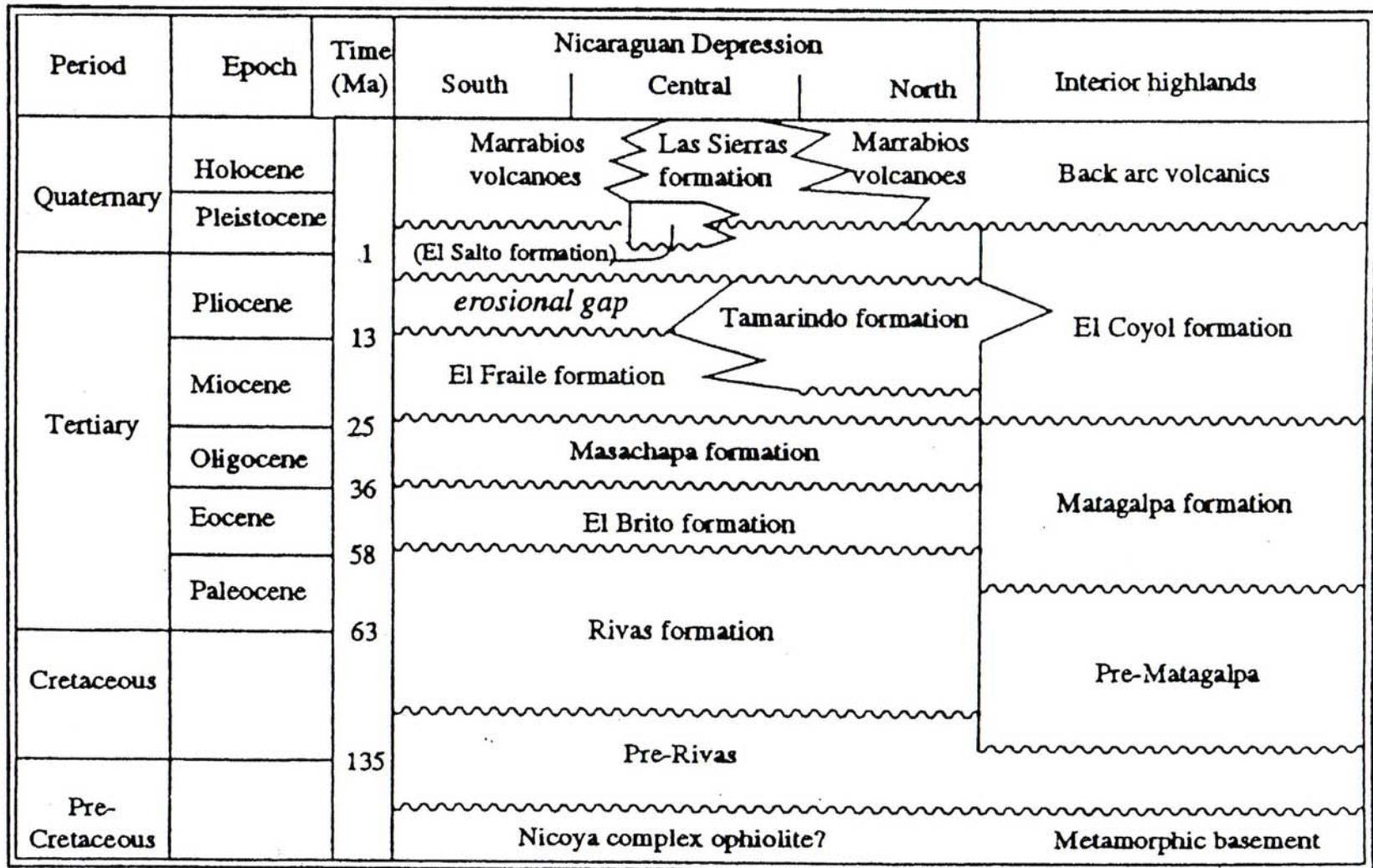
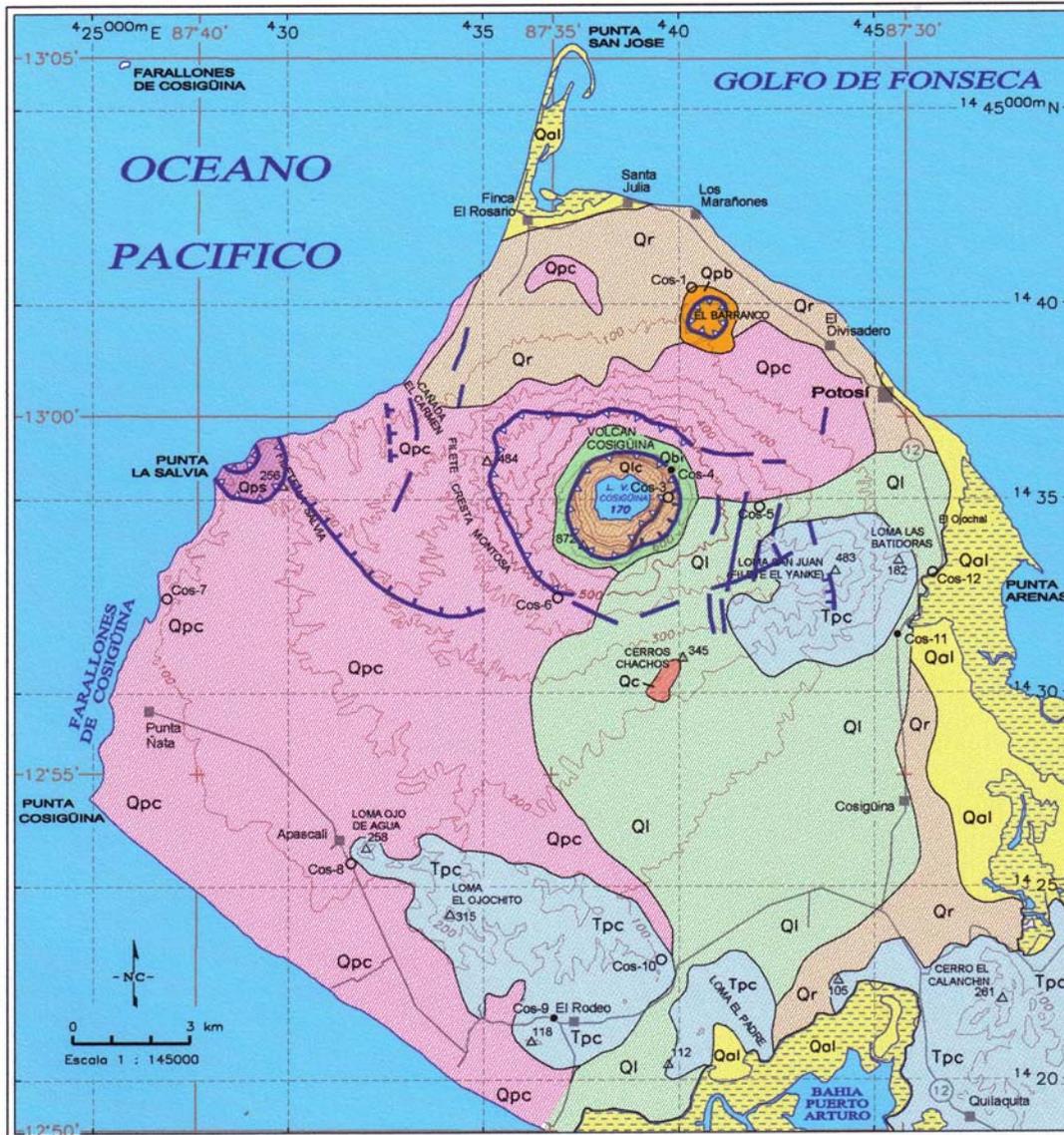


Figura II-3.4: Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)



**LEYENDA**

Qal	Depósitos aluvionales	Contacto geológico	Borde de caldera o cráter
Qr	Depósitos coluvionales y material redepositado	Alineamiento no diferenciado	Muestra de roca (p.e. Cos-4)
Qpc	Depósitos piroclásticos de 1835	Falla	Muestra de roca análisis petrográfico
Qbi	Brecha o aglomerado residual (1835)		
Qps	Cráter litoral Punta La Salvia (1835)		
Ql	Flujo de lodo (lahares)		
Qlc	Lavas pre-caldéricas de Cosigüina		
Qpb	Depósitos del Maar El Barranco		
Qc	Conos Cerros Chachos		
Tpc	Vulcanitas pre-cuatemarias		

**Figura II-3.5: Esquema geológico del área Volcán Cosigüina, Nicaragua**  
Modificado de Hradecky (1988)

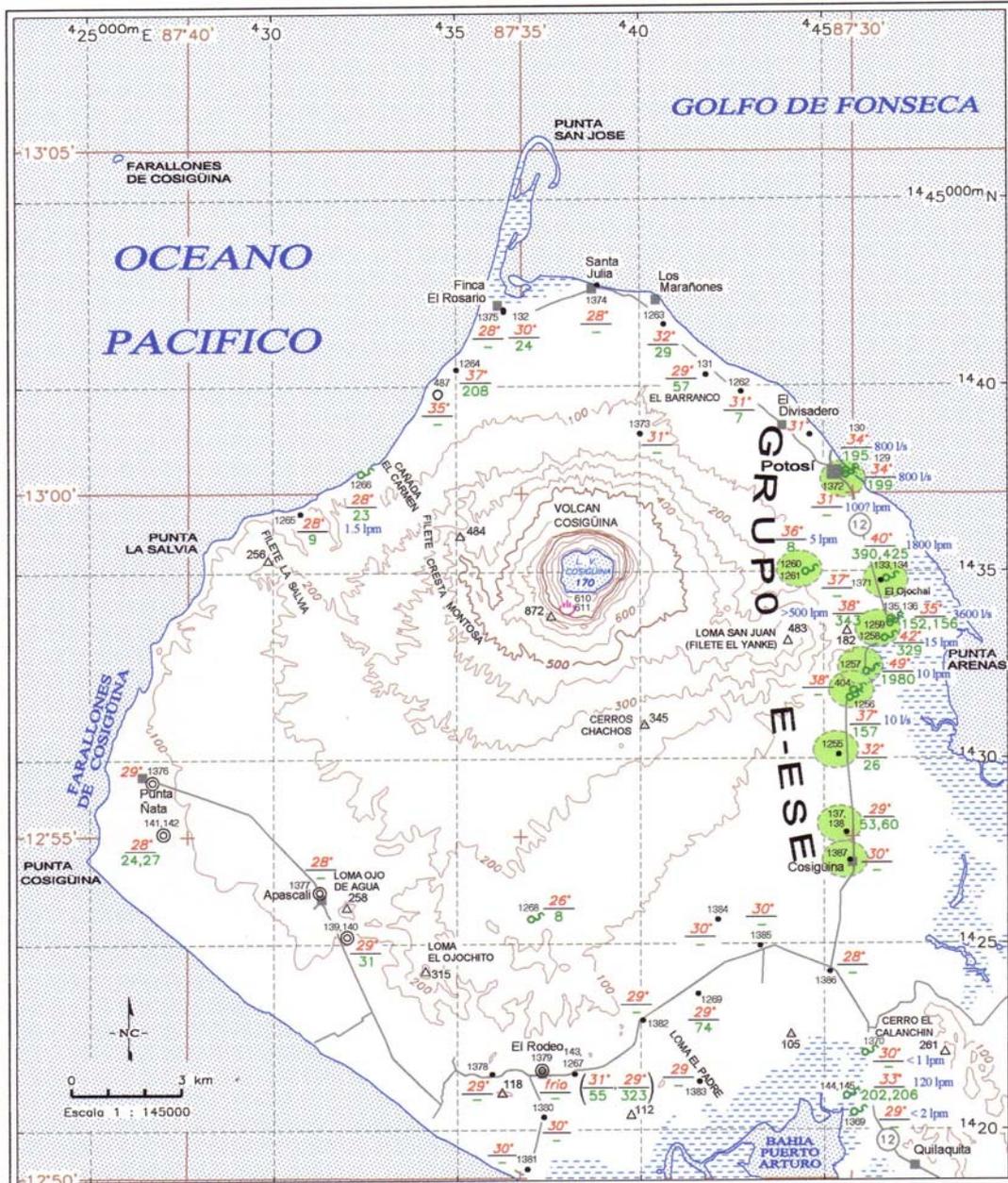
<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: II-3.5.DWG	SCALE: 1 : 145000
GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLTDATE: 25OCT2001	DRWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGE SETUP: VC05-1	REV: APR, OCT00 / FEB, OCT01
TEL. (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEO THERMEX.COM			



**LEYENDA**

○	Pozo-sin especificarse
●	Pozo excavado
⊙	Pozo perforado
○	Manantial
■	Zonas de alteración hidrotermal
29°	Temperatura, °C

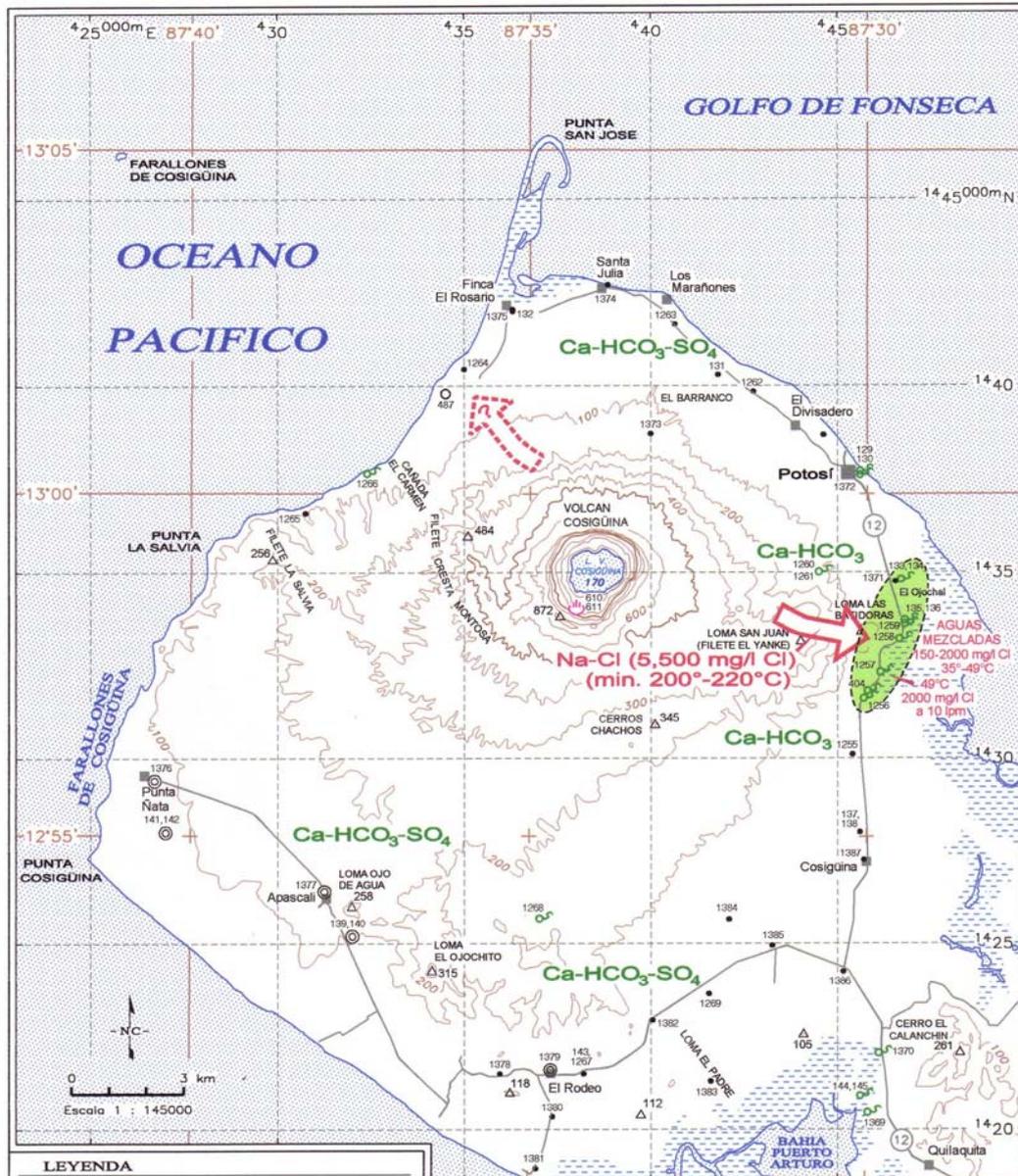
**Figura II-4.1: Mapa de ubicación de manantiales y pozos en la Península de Cosigüina, Nicaragua**



**LEYENDA**

○ Pozo-sin especificarse	1376	N/m de fila del archivo base de datos
● Pozo excavado	29°	Temperatura, °C
⊙ Pozo perforado	74	mg/l de Cl
♁ Manantial	120 lpm	Flujo, litros por minuto o por segundo
🌋 Fumarola/solfatara		
🟢 Grupo E-ESE		

**Figura II-4.2: Mapa de ubicación de análisis químicos de fluido y puntos de datos de campo, Volcán Cosigüina, Nicaragua**



**LEYENDA**

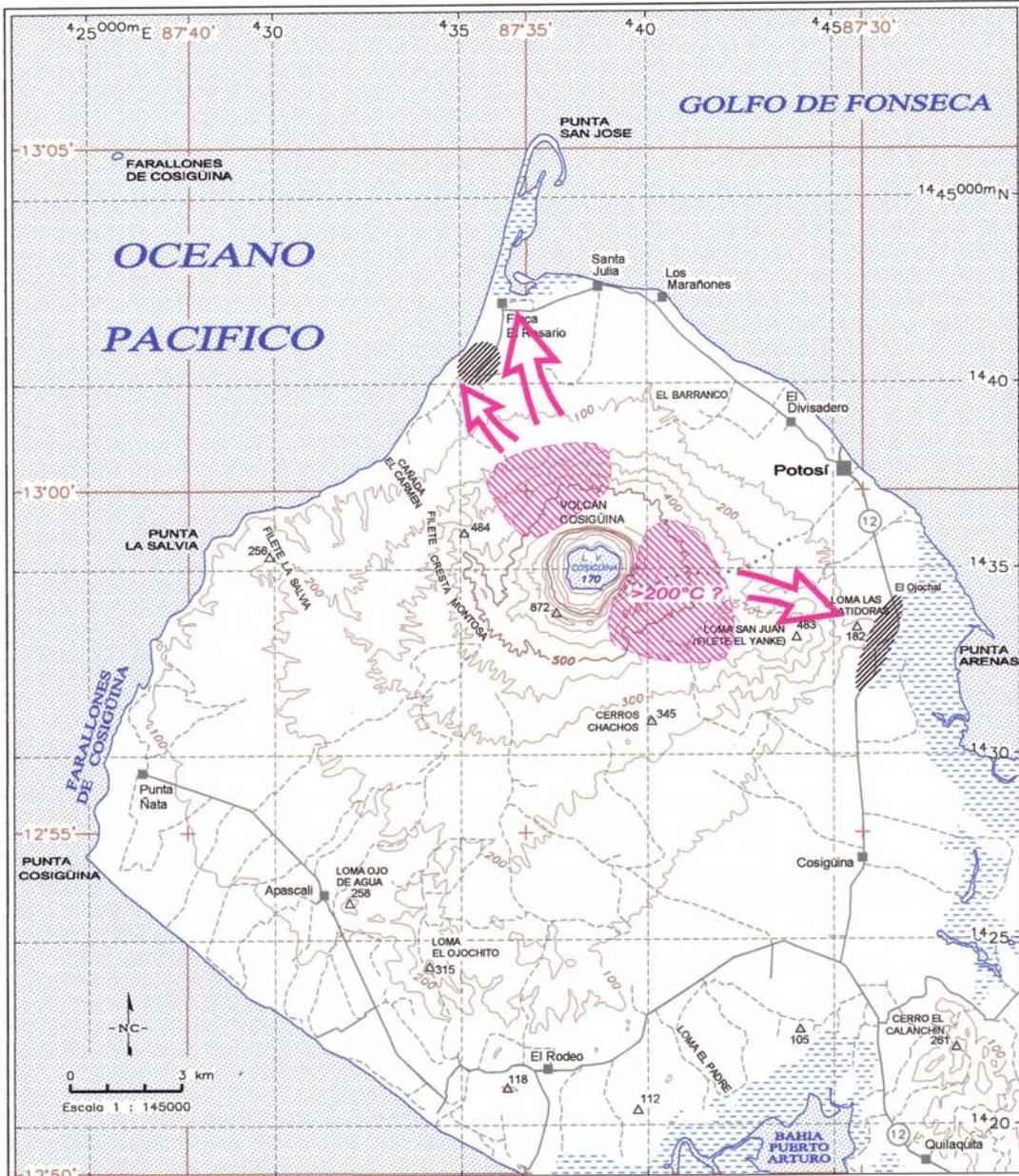
- Pozo sin especificarse
- Pozo excavado
- ⊙ Pozo perforado
- ♂ Manantial
- ♀ Fumarola/solfatará
- ♂ Aguas mezcladas
- 1378 N/m de fila del archivo base de datos
- ➔ Flujo geotérmico Na-Cl
- ➔ Flujo incierto o menor

**Ca-HCO₃-SO₄** Composición de agua subterránea somera a base de concentración por peso de iones mayores

**Figura II-4.3:**  
**Mapa hidroquímico de síntesis,**  
**Volcán Cosigüina, Nicaragua**

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

FILE: E-4.3.DWG SCALE: 1 : 145000  
 PLOTDATE: 12OCT2001 DRAWN: RRS APP.: CWK  
 PAGE SETUP: VCO5-1 REV: JPROO/OCT00/FEB01



**Figura II-5.1:**  
**Esquema del modelo del sistema geotérmico de**  
**Volcán Cosigüina, Nicaragua**

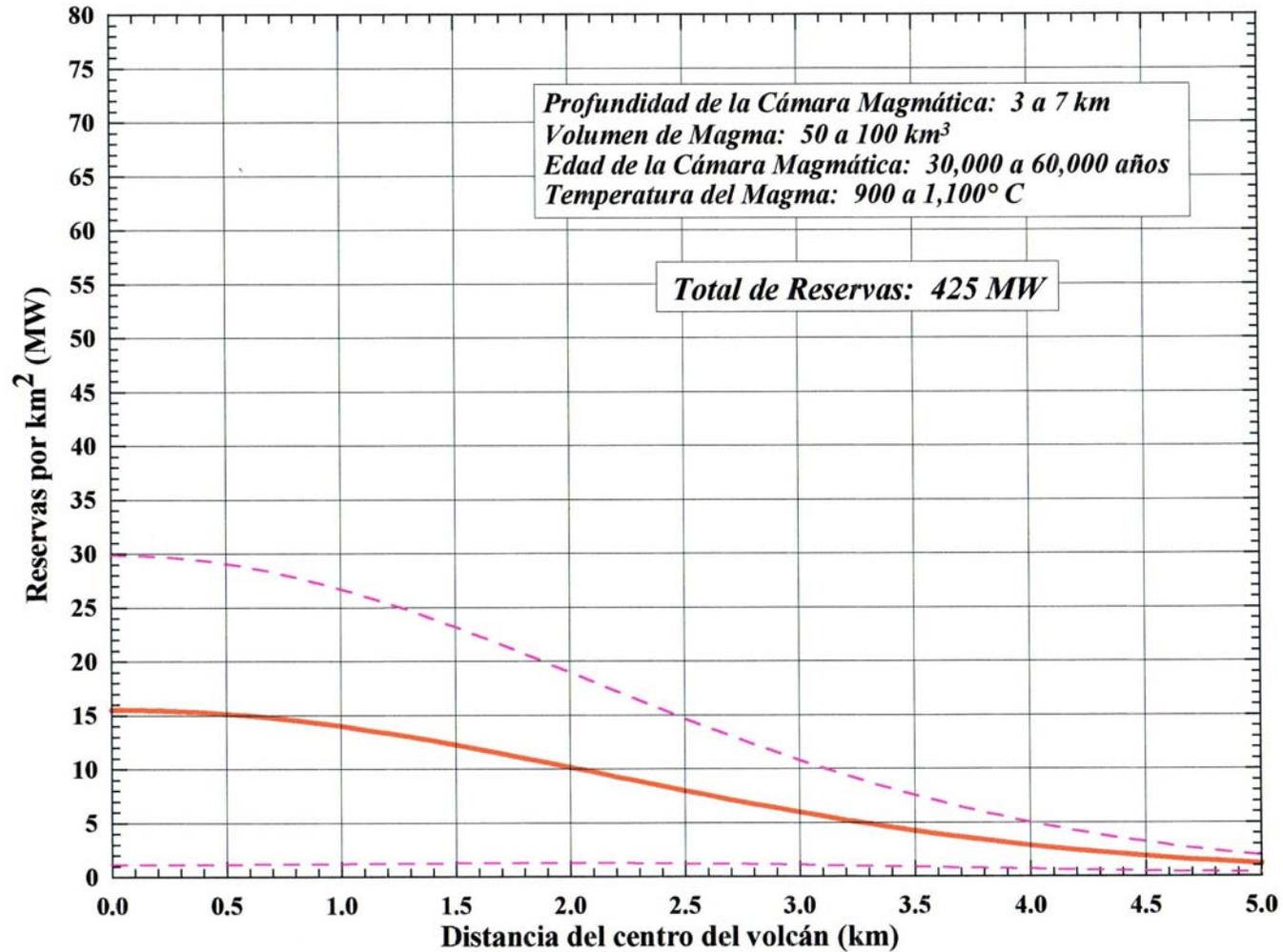
**LEYENDA**

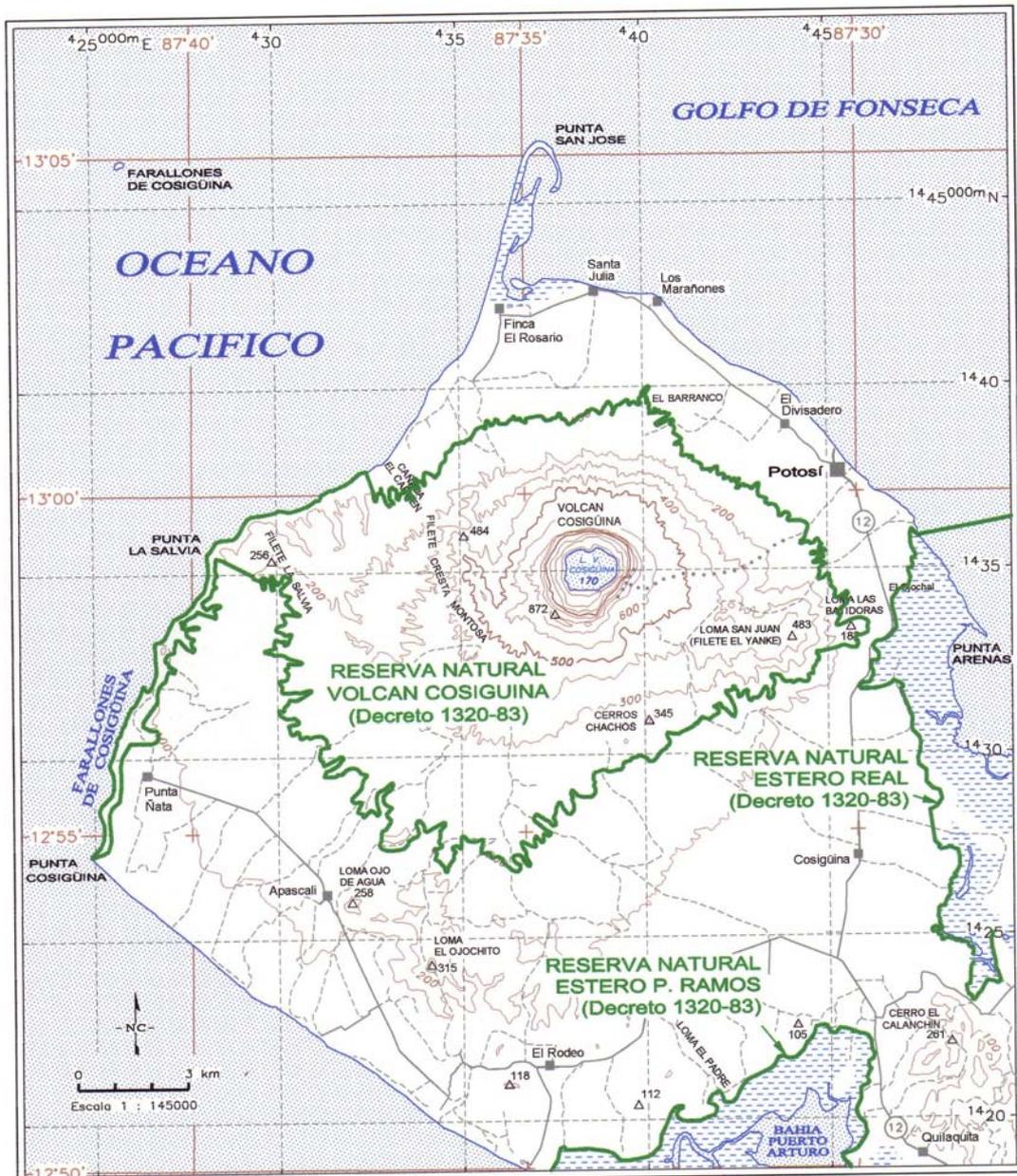
- Posible zona de ascenso de fluidos
- Probables flujos laterales
- Zona de descarga
- Curva de nivel, m s.n.m. Datos topográficos: INETER (1988)
- Zonas bajas salitrosas, manglares y pantanos transitables

**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL (510) 527-9676 FAX (510) 527-8194 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: 8-5.1.DWG	SCALE: 1 : 145000
PLOTDATE: 27JUN2001	DRAWN: RRS APP: RCH
PAGE SETUP: VCOS-1	REV: APRO/OCT00/FEB01 JUN01

**Figura II-6.1: Cálculo de reservas, Volcán Cosigüina**



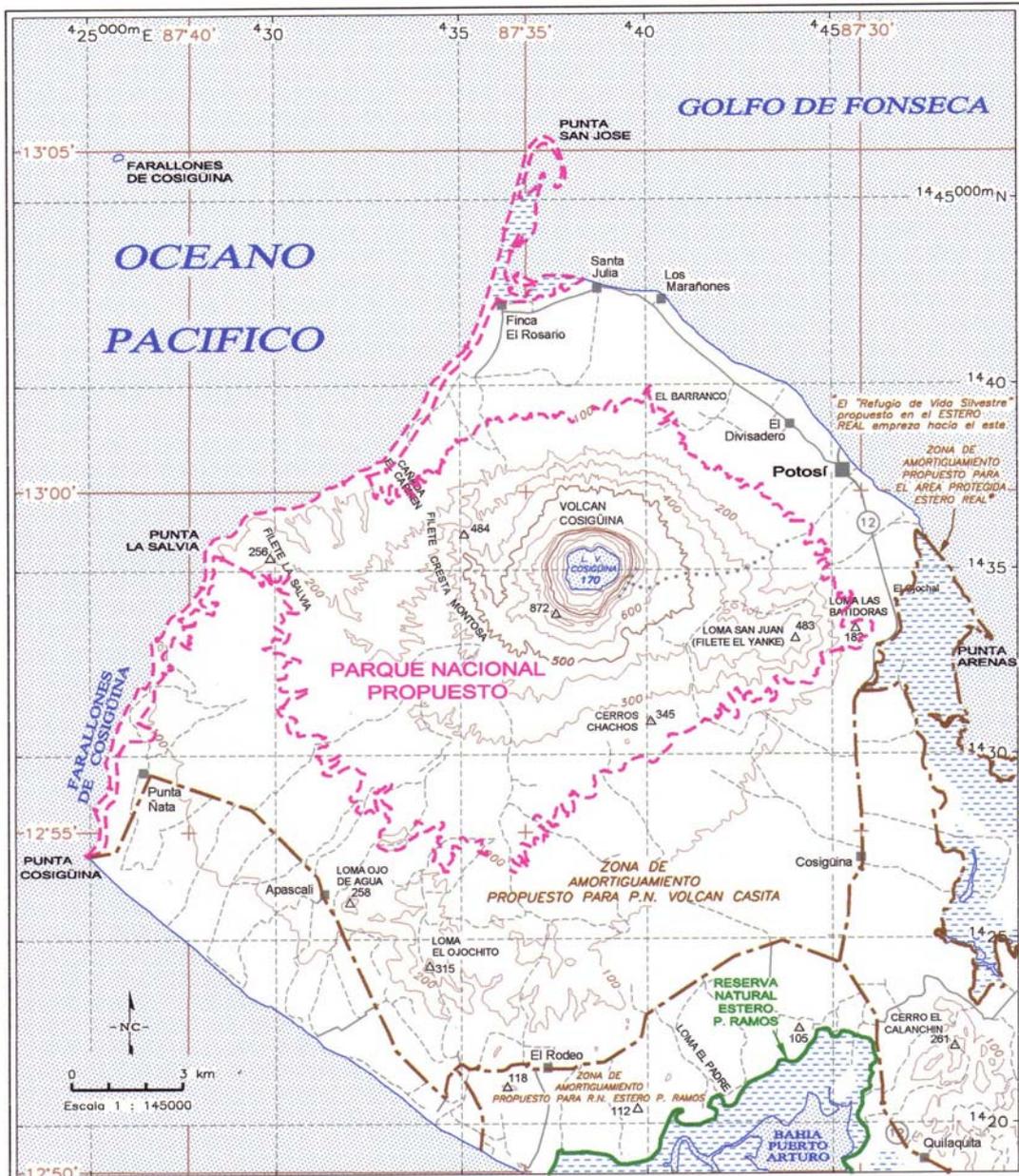


**LEYENDA**

	Límite zona de reserva natural
	Carretera y camino secundario
	Camino sin mejoras y trocha
	Curva de nivel, m s.n.m. Datos topográficos: INETER (1988)
	Elevación, m s.n.m.
	Zonas bajas salinosas, manglares y pantanos transitables

**Figura II-7.1:**  
Reservas naturales y áreas protegidas vigentes,  
Volcán Cosigüina, Nicaragua

<b>GeothermEx, Inc.</b> GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL (510) 527-8876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEO THERMEX.COM	FILE: II-7.1.DWG SCALE: 1 : 145000 PLOTDATE: 12OCT2001 DRAWN: HRS APP: RCH PAGE SETUP: VC05-1 REV: APROD/OCT00/FE001 OCT01
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



**LEYENDA**

	Límite zona de reserva natural
	Límite zona de amortiguamiento
	Límite propuesto para la parque de nacional
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
	Datos topográficos: INETER (1988)

**Figura II-7.2: Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), Volcán Cosigüina, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>	FILE: II-7.2.DWG	SCALE: 1 : 145000
GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804	PLTDATE: 03MAY2001	DRAWN: RRS APP: RCH
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM	PAGE SETUP: VC05-1	REV:APR00/OCT00/FEB01



**LEYENDA**

	Poblado
	Carretera y camino secundario
	Camino sin mejoras
	Trocha
	Pista de aterrizaje
	Curva de nivel, m s.n.m. Datos topográficos: INETER (1988) (intervalo 100m)

**Figura II-8.1: Elementos infraestructurales, Volcán Cosigüina, Nicaragua**

**GeothermEx, Inc.**

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

FILE: II-8.1.DWG	SCALE: 1 : 145000
PLOTDATE: 13SEP2001	DRAWN: RRS APP: RCH
PAGE SETUP: VCOS-1	REV-APR.0CT00/FEB.SEP01



## ILUSTRACIONES

### Tablas

- II-A.1: Inventario de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, Volcán Cosigüina
- II-A.2: Base de datos químicos - líquidos parte 1 (.parte 2, parte 3), Volcán Cosigüina
- II-A.3: Base de datos químicos - gases (No se encuentra esta tabla porque no hay datos de gases en el área del Volcán Cosigüina)
- II-A.4: Base de datos químicos - isótopos, Volcán Cosigüina
- II-A.5: pH y alcalinidad - mediciones de campo y laboratorio II-A.6: Geotermómetros de aguas, Volcán Cosigüina
- II-A.7: Geotermómetros de gases (No se encuentra esta tabla porque no hay datos de gases en el área del Volcán Cosigüina)

### Figuras

- II-A.1: Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.1: Diagrama Piper, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.2: Diagrama Piper Modificada, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.3: Diagrama ternaria ilustrando boro, cloro y alcalinidad, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.4: Isótopos estables, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.5: Sílice y temperatura, Volcán Cosigüina, Nicaragua



TELEFONO:(505) 222-5576

FAX: (505) 222-4629

[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

- II-A.3.1.6: Temperatura Na-K-Ca-Mg y temperatura de la muestra, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.7: Sílice y cloruros, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.8: Temperatura Na-K-Ca-Mg y cloruros, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.9: Los geotermómetros Na-K y K-Mg, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.10: Correlaciones iónicas, Volcán Cosigüina, Nicaragua
- II-A.3.1.11: Modelo de mezcla, agua de manantiales de Lodo Podrido S y N
- II-A.3.1.12: Mapa de hidroquímico de síntesis, Volcán Cosigüina, Nicaragua



## ANEXO A: ESTUDIO GEOQUIMICO E HIDROGEOLOGICO

### A.1 Alcance

Como parte del Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua, se ha estudiado la geoquímica de fluidos y la hidrología del área del Volcán Cosigüina mediante: 1) síntesis de los datos existentes que son de dominio público; y 2) realizando nuevos estudios de campo. Esto último incluye el muestreo de varios pozos, manantiales y para realizar análisis químicos durante Mayo 2000. Se ha analizado la información resultante utilizando técnicas gráficas y de computación. Este análisis se ha combinado con información narrativa que describe el sistema geotérmico del área. En este Anexo se presentan los detalles de este trabajo, que se ha resumido y sintetizado junto con otros datos de exploración geotérmica en la parte principal de este Volumen.

### A.2 Metodología y Procesamiento de Datos

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

El nuevo trabajo de campo para el Estudio Plan Maestro incluyó:

- localizaciones precisas determinadas mediante los más recientes mapas topográficos del INETER (actualizados en 1987) y/o utilizando instrumentos de medición por Posicionamiento Global (GPS, en Inglés; se usaron instrumentos Magellan modelo 310);
- profundidad del agua en los pozos usando una cinta eléctrica (ciertos pozos fueron tapados o no accesibles debido a equipos instalados);
- temperatura del agua subterránea (medida utilizando termopares de alta precisión, termómetros de carátula y termómetros de mercurio de máxima);
- estimaciones visuales o mediciones volumétricas del caudal de flujo;



- conductividad, pH y alcalinidad;
- muestras de agua subterránea para análisis químicos e isotópicos, divididas en una o más botellas que contenían lo siguiente:
  - agua sin filtrar ni tratar, (para pH, aniones, boro, isótopos estables de oxígeno e hidrógeno, tritio, sílice agua fría);
  - agua filtrada a través de una membrana de 0.45 micrones y acidificada con 5 ml de ácido nítrico puro concentrado para 500 ml (para cationes);
  - 50 ml de agua filtrada a través de una membrana de 0.45 micrones y diluida con 200 ml de 0.1N HCl (para sílice en agua caliente); o
  - 5 ml de formaldehído para muestra de 1 litro (para isótopos estables de oxígeno en sulfato).

El pH del fluido se determinó en el sitio usando papel de pH, para ver si había alguna anomalía. El laboratorio del ENEL en Managua analizó las muestras para alcalinidad lo más pronto posible después de tomadas, y estos valores se reportan en la base de datos geoquímicos como alcalinidad de campo.

Los análisis químicos de las muestras de agua se llevaron a cabo en el laboratorio de Thermochem, Inc. (Santa Rosa, California, EUA). Los isótopos de oxígeno e hidrógeno (incluyendo tritio) se midieron por el Instituto de Ciencias Geológicas y Nucleares (Institute of Geological and Nuclear Sciences Lower Hutt, New Zealand). Se anexan a la Tabla II-A.7 las certificaciones de los servicios de los laboratorios.

Se recolectaron las siguientes muestras durante el trabajo de campo para el Estudio Plan Maestro en el área del Volcán Cosigüina:

- 15 muestras de agua para análisis químico completo;



- 5 muestras de agua para análisis de isótopos estables de agua;
- 2 muestras de agua para análisis de tritio; y
- observaciones hidrológicas ( profundidad de pozo, nivel del agua, temperatura del agua) en 34 localidades (de las cuales se muestrearon 15).

No se recolectaron muestras de gas y de isótopo de helio en el área de Cosigüina porque no se ha encontrado o reportado ningún tipo de emisión. Se reporta que existió actividad fumarólica en el cráter del Cosigüina, pero no pudo verse desde un aeroplano en 1970 (Texas Instruments, 1970). Durante el curso del trabajo de campo del Estudio Plan Maestro tampoco se pudo ver ninguna actividad fumarólica al observar el cráter desde el borde. Sin embargo, en la **Figura II-A.1** se muestra la localización aproximada de esta fumarola reportada por (Texas Instruments, 1970). El acceso al cráter es extremadamente difícil y peligroso, por lo que no se intentó bajar. En la Tabla 5 de Krasny y Hecht (1998) reportaron que una muestra de la Laguna Cosigüina recolectada en 1973 consistía de agua Na-Cl con 1,890 mg/l de Cl. Esto sugiere que el lago es alimentado mediante descarga de manantiales geotérmicos.

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

Tanto los datos existentes como los nuevos, y la información proveniente del programa de campo del Estudio Plan Maestro se recopilaron en una base de datos de hidrogeología y química (en formato Access de Windows de Microsoft). Estos se presentan en su totalidad (en CD) en el Anexo C y en Anexo D del Volumen I (Volumen de Síntesis) del Estudio Plan Maestro. Todos los datos tabulados e ilustrados en este Anexo han sido extraídos directamente de esta base de datos.

Los datos existentes fueron incorporados en la base de datos (y subsecuentemente en tablas derivadas de la base de datos) exactamente como fueron transcritos de las fuentes de información



que se citan como referencia, con pocas excepciones de corregir errores tipográficos que parecían obvios. Se ha hecho todo el esfuerzo posible para evitar errores de transcripción, lo cual se ha hecho mediante escaneo computarizado cuando ha sido posible. Los registros escaneados se verificaron luego contra los datos originales.

La base de datos es muy grande (más de 2,600 registros) y contiene numerosas inconsistencias, derivadas de los datos existentes, incluyendo:

- nombres con localización ambigua (terminología o escritura irregular);
- información incompleta;
- coordenadas UTM inciertas o aproximadas, reportadas en varios estudios anteriores;
- incompatibilidad entre coordenadas UTM y cuadrantes reportados por INETER en las cuales las coordenadas están supuestas a encontrarse; e
- inconsistencias en la tabulación de los mismos datos en dos o más fuentes.

Durante el programa de actividades de campo, siempre se hicieron investigaciones para resolver los posibles errores de coordenadas y nombres de las localidades más importantes como las manifestaciones y pozos termales, pero es imposible resolver todas de las inconsistencia y ambigüedades.

El área geográfica cubierta por los datos en este Anexo es la región comprendida entre las coordenadas UTM 1418 N, 1450 N, 423 E y 450 E, inclusive. Esta área rodea la Península de Cosigüina al Sur y un tanto al Este de Quilaquita.

La Tabla II-A.1 es un inventario, descripción y lista de referencia de todos los puntos de información de campo del área y existencia de análisis químicos, agrupados según tipo de fuente



(manantial, pozo, etc.) y luego, dentro de cada grupo, según coordenadas UTM Este y Norte. La columna Datos indica cuales tipos de análisis están disponibles para cada punto de información en la tabla. Estos puntos se ha graficado en la **Figura II-A.1**. Cada punto inventariado posee un número que es único (columna N/m), que proviene de la base de datos maestra. Al final de la Tabla II-A.1 se incluyen descripciones detalladas de la referencia, y en el Capítulo 10 de este Volumen se incluyen listas más abreviadas de referencia. La referencia GeothermEx (2000) se refiere a nuevos datos del Estudio Plan Maestro.

### A.3 Recopilación de los Resultados

#### A.3.1 Muestras de Aguas

Los manantiales y pozos en la región de Cosigüina tienen temperaturas máximas nada especial de 31° a 32°C, excepto en dos áreas.

- La primer área es un conjunto de manantiales tibios al Este del volcán (“Grupo E-ESE” en la **Figura II-A.1**), localizado a lo largo de la carretera entre los poblados de Cosigüina y Potosí. Esta área está casi a nivel del mar, con manglares hacia el Este y una elevación creciente hacia el Oeste (hacia el volcán). Los caudales de flujo de estos manantiales varían considerablemente, desde menos de 10 litros por minuto (lpm) hasta grupos de manantiales que dan cientos de lpm. Durante el trabajo de campo para este estudio (en Mayo 2000), se juzgó que el caudal combinado máximo en una sola localidad era de más de 500 lpm, con varios cientos de lpm brotando de lo que se identificó como una muestra de una sola fuente. OLADE (1981) reportó en la misma área flujos que llegaron hasta 3,600 lpm en una sola localidad, pero con temperaturas más bajas. La temperatura máxima observada durante el trabajo de campo para el Estudio Plan Maestro fue de 49°C en un manantial de agua tipo Na-Cl que fluía a 10 lpm (Lodo Podrido S, localización N/m 1257). El Grupo ESE incluye



muestras de estos y de otros manantiales y pozos excavados a lo largo y colina arriba desde la carretera entre Cosigüina y Potosí (ver **Figura II-A.1**)

- La segunda área está compuesta de dos pozos con 35°C y 37°C cerca de la línea de la costa al Noroeste del volcán (localizaciones Núm. 487 y 1264).

Las Tablas II-A.2 y III-A.5 muestran los datos químicos de agua en el área, catalogados según tipo de fuente (manantial, pozo, etc.) y luego, dentro de cada grupo, de acuerdo con las coordenadas UTM. (La tabla II-A.2 tiene 3 partes, los cuales son necesarios para incluir todas las columnas de datos analíticos) Para efectos del análisis gráfico, estos datos se han dividido en tres partes: 1) muestras del Grupo E-ESE recolectadas durante el año 2000 (N/m. 1255, 1256, 1257, 1258, 1259, 1260 y 1261); 2) muestras del Grupo E-ESE recolectadas durante 1980 (N/m 129, 130, 133, 134, 135, 136, 137 y 138); y 3) el resto de las localizaciones y datos. Las características de las aguas del Grupo E-ESE se describen como sigue (ver **Figuras II-A.3.1.0 a II-A.3.1.10**), usando en ciertas instancias las abreviaciones químicas para los nombres de elementos y compuestos comunes (B= boro, Ca = calcio, Cl = cloruro, HCO₃ = alcalinidad total en forma de bicarbonato, K = potasio, Mg = magnesio, Na = sodio, SiO₂ = sílice, SO₄ = sulfato):

- Las aguas del Grupo E-ESE muestran una variedad de composiciones catiónicas desde aquellas dominadas por Ca en los ejemplos más fríos y más diluidos, hasta composiciones dominadas por Na en los manantiales tibios. Los aniones están dominados por HCO₃ en los ejemplos más fríos y diluidos, pero están en un rango desde aniones mixtos hasta dominados por Cl entre los manantiales tibios. Los manantiales tibios en conjunto caen en la tendencia designada como M1 en las **Figuras II-A.3.1.1 y II-A.3.1.2** (nota: estos gráficos ilustran concentraciones en base a peso, no equivalentes). Las muestras de ambos años (2000 y 1980) muestran estas mismas variaciones



- El agua de manantial a 49°C (N/m 1257) tiene la fracción más alta de agua tipo Na-Cl del Grupo E-ESE, con unos 2,000 mg/l Cl y Mg a más de 20 mg/l (Figuras II-A.3.1.1 y II-A.3.1.10).
- No hay correlaciones sistemáticas entre Cl y alcalinidad o entre Cl y SO₄ (Figura II-A.3.1.1).
- La temperatura de la muestra se correlaciona fuertemente con Cl, pero el manantial de 49°C (N/m 1257) es más frío de lo que se esperaba a juzgar por la tendencia exhibida por las otras muestras (ver M1 en el inserto de la Figura II-A.3.1.2). La tendencia temperatura-Cl mostrada por las otras muestras se proyecta a 100°C a 2,000 mg/l Cl.
- B/Cl es más bajo en el manantial de 49°C (N/m 1257) que en las otras aguas. Dentro de cierto margen de error en el análisis a concentraciones muy bajas de B, existe un patrón general de mezclado entre: 1) el manantial de 49°C; y 2) aguas de Cl más bajo, alcalinidad más alta y B/Cl más alto (línea M1 en la Figura II-A.3.1.3).
- Se recolectaron cinco muestras de isótopo estable, incluyendo una del flanco Sur del volcán. De estas, tres caen en una línea de agua meteórica local, y el manantial de 49°C (N/m 1257) muestra una distintiva variación  $\delta\text{-}^{18}\text{O}$  de +0.8 o/oo, lo cual es típico de aguas geotérmicas. La muestra N/m 1258 yace en una línea de mezcla entre el manantial de 49°C y el agua meteórica (Figura II-A.3.1.4).
- El sílice en todos los manantiales tibios está cerca del equilibrio con SiO₂ sólido amorfo (Figura II-A.3.1.5). A causa de efectos de equilibración (y probablemente también a causa de las incertidumbres analíticas), en las muestras del Grupo E-ESE que contienen 0 - 400 mg/l del Cl, no hay cambio visible de sílice con cambio de Cl (Figura II-A.3.1.7). Aunque



se puede imaginar una línea de mezcla conectando esta muestras con el Cl y sílice elevado del manantial de 49°C (N/m 1257) (línea M1 de la [Figura II-A.3.1.7](#)), los datos de sílice y Cl en realidad no definen la relación de mezcla en una manera muy precisa.

- Las temperaturas para Na-K-Ca-Mg de los manantiales tibios y de todas las demás aguas son similares a las temperaturas del agua medidas, excepto en el manantial de 49°C (N/m 1257) donde se indican 120°C ([Figura II-A.3.1.6](#)). Los manantiales tibios muestran una débil correlación de temperatura de Na-K-Ca-Mg con Cl, como se espera de la mezcla en las últimas etapas (línea M1 de la [Figura II-A.3.1.8](#)).
- Las temperaturas K-Mg de las aguas aumentan con la temperatura de la muestra. La mayor parte de las temperaturas K-Mg están cerca de las de la muestra, pero la del manantial de 49°C es de 105°C ([Figura II-A.3.1.9](#)). Nótese que el diagrama ternario en esta figura muestra temperaturas K-Mg calculadas usando el geotermómetro de Giggenbach, y el inserto muestra temperaturas K-Mg calculadas usando K-Mg de Fournier (con ecuaciones corregidas por GeothermEx). Este ultimo tiene un ajuste más preciso en lecturas de temperatura baja, y por lo tanto tiene la posibilidad de ser más exacto para muestras de baja temperatura.
- Las correlaciones entre Na y K, Na y Cl, y K y Cl son todas consistentes con la mezcla de agua tipo Na-Cl con agua subterránea diluida que contiene K relativamente elevado (ver el inserto de la [Figura II-A.3.1.9](#) y la [Figura II-A.3.1.10](#)).
- El manantial N/m 1257 (Lodo Podrido S) contiene el tritio ( $^3\text{H}$ ) a nivel de 0.619 UT (Tabla II-A.4), lo cual indica que es agua mezclada y contiene un componente de agua meteórica joven (aguas geotérmicas profundas no contienen tritio a nivel que se puede medir, mientras que las aguas meteóricas jóvenes contienen tritio elevado pero no a un nivel único). En comparación, el manantial N/m 1258 (Lodo Podrido N) contiene el tritio a nivel de 0.908



UT (Tabla II-A.4). Se puede construir un modelo de mezclas usando el tritio y Cl en estas dos muestras combinados con dos hipótesis: 1) existe un componente de mezcla con Cl = 0 (agua meteórica fría) y 2) existe un componente con tritio = 0 (agua geotérmica). A base de este modelo (línea M1 de la **Figura II-A.3.1.11**), el componente geotérmico tiene una concentración de Cl de 5,500 Mg/l.

- Usando el mismo modelo de mezclas (línea M1 de la Figura II-A.3.1.11) con las temperaturas medidas de los manantiales N/m 1257 y 1258, pareciera que la temperatura del componente geotérmico es un 64°C (línea M2 de la **Figura II-A.3.1.11** a 5,500 Mg/l de Cl). Como se notó por arriba, la tendencia temperatura-Cl mostrada por el grupo de manantiales en el Grupo E-ESE sugiere que el manantial N/m 1257 ha sufrido enfriamiento por conducción desde una temperatura inicial de aproximadamente 100°C. Usando el modelo de mezclas tritio – Cl y esta temperatura para el componente N/m 1257 antes de enfriarse (100°C), la temperatura del componente geotérmico con 5,500 Mg/l Cl es aproximadamente 220°C (línea M3 de la **Figura II-A.3.11** a 5,500 Mg/l de Cl).
- La temperatura de Na/K de manantial N/m 1257 es 200°C. Puesto que esta temperatura es relativamente estable durante procesos de enfriamiento y mezclas con agua fría diluida, es bastante de acuerdo con la estimación de 220°C para el componente geotérmico, indicado por el modelo de mezclas.

Los dos pozos a 35°C y 37°C cerca de la línea costera en el lado Noroeste del volcán (localizaciones N/m 487 y 1264) están representados únicamente por una muestra de agua en el N/m 1264 (37°C). Este es un pozo excavado con una elevación de 20 m sobre el nivel del mar, muy cerca de la costa. La química de esta muestra es catión mezclado – anión mezclado, y no es importante salvo que el agua contiene 208 mg/l de Cl. La temperatura Na-K-Ca-Mg es 80°C y la temperatura K-Mg es de 43°C. La concentración de sílice es más baja que lo esperado si el sílice



amorfo es el que controla la solubilidad; la temperatura de sílice amorfo es de solamente 9°C. La temperatura de calcedonia (100°C) puede aplicar, pero no parecen posibles temperaturas de la fuente ni siquiera cercanas a 100°C. Los datos no son adecuados para valorar la posibilidad de contaminación con agua de mar.

Los patrones químicos e isotópicos descritos anteriormente indican claramente que el agua geotermal fluye en dirección al Este, desde el Volcán Cosigüina hacia la costa (Figura II-A.3.1.12). En localizaciones del Grupo E-ESE, el componente de agua geotermal se mezcla con grandes cantidades de agua cercana a la superficie, produciendo manantiales con temperaturas en el rango de 35° a 42°C. El agua con 2,000 mg/l Cl en el pequeño manantial de 49°C (N/m 1257) es una mezcla de agua geotermal y agua cercana a la superficie, y es probable que la temperatura del componente geotermico es aproximadamente 200°-220°C. La mezcla del N/m 1257 contiene Ca y Mg que han sido afectados por re-equilibrio parcial durante el enfriamiento y/o mezclado. Se observa que el flujo geotermico probablemente se ha enfriado fluyendo lateralmente hacia el E. Por lo tanto, la temperatura de 200°-220°C es considerada un valor mínimo para el componente geotermico originario. Este valor debe tomarse con ciertas reservas por la limitada sustentación del mismo, pero es muy prometedor de la existencia de un recurso geotermico significativo.

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

**Tabla II-A.1 : Inventario de Análisis Químicos de Fluidos y Puntos de Datos de Campo**  
**Volcán Cosigüina** (ordenado por Tipo y Coordenadas)

N/m	Coordenadas		Cuad. ⁽²⁾ Elev.(m)	Tipo ⁽³⁾ NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos ⁽⁴⁾	Nombre	Fecha ⁽⁵⁾	Referencia	Notas
	utm-E	utm-N								
610	438.0	1434.0	cosigüina 400	fumero			V. Cosigüina		TEXAS(1970)Tabla3	Area grande de actividad fumarolica antigua(?), por las escarpas S y E del crater de 1835, no se vió actividad durante reconocimiento por avión; ver también Williams (1952).
611	438.0	1434.0	cosigüina 300	fumero			V. Cosigüina		TEXAS(1970)Tabla3	Area grande de actividad fumarolica antigua(?), por las escarpas S y E del crater de 1835, no se vió actividad durante reconocimiento por avión; ver también Williams (1952).
1266	432.400	1437.650	potosi 30	manant	27.8 23	w	La Morona	05-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-21)	Manantial en secuencia de volcanitas retrabajadas. Agua sale en la base de nivel más grueso y permeable.
1268	437.011	1425.66	cosigüina 160	manant	26.3 8	wi	El Chorro	17-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9077-11); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)	Serie de pequeños manantiales a lo largo del río (200 m). Caudal individual efimero (1-2 lpm).
1260	444.500	1435.000	cosigüina 130	manant	36.0 8	wi	El Mojado	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-09); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)	Manantial con captación para acueducto de Potosí.
1261	444.500	1435.000	cosigüina 120	manant	35.5 7	w	El Mojado	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-10)	Pequeño manantial a elevación inferior (10 m) de la muestra N/m 1260 y con agua de conductividad diferente, que deja una evidente deposición color ocre en las rocas.
144	445.6	1420.9	cosigüina	manant	33.0 206	w	Ojo de Agua PA	04-Dic-80	OLADE(1981)SN10110	Ojo de Agua, Puerto Arturo; flujo 2 l/s
145	445.6	1420.9	cosigüina	manant	33.0 202	w	Ojo de Agua PA	04-Dic-80	OLADE(1981)SN10110	Ojo de Agua, Puerto Arturo; flujo 2 l/s
1372	445.6	1437.6	potosi 5	manant	31.4		Potosi SE	04-May-00	GeothermEx(2000)	Flujo c. 100 lpm? Amplio manantial con diferentes puntos de alimentación, el cual es utilizado por la población local para fines recreativos y domésticos.
129	445.6	1437.7	potosi 199	manant	34.0 199	w	El Rijito, Poto	02-Dic-80	OLADE(1981)SN10101	El Rijito (o El Ríto, no es claro), Potosi; Flujo 800 l/s
130	445.6	1437.7	potosi 195	manant	34.0 195	w	El Rijito, Poto	02-Dic-80	OLADE(1981)SN10101	El Rijito, Potosi; Flujo 800 l/s. (nota: en OLADE, 1981 es "Rijito", no es Ríto.)
1256	445.700	1431.600	cosigüina 10	manant	36.7 157	wi	La Piscina	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-06); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)	Pequeños manantiales al borde, al fondo y en las cercanías de piscina artificial. Temp. variable entre 35.9 y 36.7C. Flujo visible de unos 10 lpm, pero descarga total es posiblemente superior.
1369	445.8	1420.45	cosigüina	manant	29.4		Manantial	04-May-00	GeothermEx(2000)	Agua muy sucia y contaminada. Flujo < 2 lpm.
404	445.8	1431.8	cosigüina 15	manant	38.0		Cosiguina		TEXAS(1970)SNS01; de Catastro	(sale?) de aluvión cerca de volcánicos Pleistocénicos

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

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

Volcán Cosigüina

Pág 1 de 6

N/m	(1) Coordenadas		Cuad. (2)	Tipo (3)	T°C	Datos	Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
1370	446.1	1422.05	estero real	manant	29.6		Manantial	04-May-00	GeothermEx(2000)	
1257	446.150	1432.300	estero real 10	manant	49.4 1980	wi	Lodo Podrido Sur	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-18); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705, 9Oct00TGN23)	Débiles manantiales al borde y quizás al fondo de laguna excavada artificialmente. Temp. del agua variable entre 47 y 48°C. Temp. max en lodo y algas al fondo de laguna: 49.4°C. Descarga total de la laguna es aprox. 10 lpm. Se tomó la muestra en la boca del orificio mas fuerte (1-2 lpm) al borde.
1258	446.650	1433.200	estero real 10	manant	42.2 329	wi	Lodo Podrido Norte	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-07); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705, 9Oct00TGN24)	Manantial en volcanitas terciarias macizas, a orillas de la carretera. Otro manantial menor, con temperatura de 40.2C y caudal de unos 3 lpm, se ubica unos 100 m más al sur.
133	446.7	1434.8	estero real	manant	40.0 390	w	LosErvBatirror	02-Dic-80	OLADE(1981)SN20104	Los"Ervederos" de Las Batiroras; flujo 30 l/s. Nota por GeothermEx (2000): se atentó ubicar este manantial (Mayo 2000) pero sin éxito; posiblemente las coordenadas UTM de OLADE son equivocadas. (nota: en OLADE, 1981 es "Ervederos", no es Hervederos.)
134	446.7	1434.8	estero real	manant	40.0 425	w	LosErvBatirror	02-Dic-80	OLADE(1981)SN20104	Los"Ervederos" de Las Batiroras; flujo 30 l/s. Nota por GeothermEx (2000): se atentó ubicar este manantial (Mayo 2000) pero sin éxito; posiblemente las coordenadas UTM de OLADE son equivocadas. (nota: en OLADE, 1981 es "Ervederos", no es Hervederos.)
135	446.8	1433.7	estero real	manant	35.0 156	w	La PiscinaRSJua	02-Dic-80	OLADE(1981)SN10105	La Piscina Rio S. Juan; flujo 50-70 l/s
136	446.8	1433.7	estero real	manant	35.0 152	w	La PiscinaRSJua	02-Dic-80	OLADE(1981)SN10105	La Piscina Rio S. Juan; flujo 50-70 l/s
1259	446.800	1433.600	estero real 5	manant	37.8 343	w	El Chorro	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-08)	Grupo de manantiales con temperatura variable entre 37 y 38°C y descarga total grande (>500 lpm). El manantial principal, muestreado, se compone de 3 salidas con caudal total de unos 100 lpm.
487	434.5	1439.8	potosi 45	pozo 16.1 16.6	35.0		Los Placeres		TEXAS(1970)SNW01; de Catastro	Aluvión, cerca de volcánicos Cuatemarios.
1265	430.750	1436.600	cosigüina 10	pozoex 9	27.9	w	La Vueltecita	05-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-19)	Pozo excavado en cauce de río. Prof. 10 m.
1264	435.000	1440.450	potosi 20	pozoex 15	37.2 208	w	Los Placeres	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-16)	Pozo excavado, agua a 15 m. Bomba mecánica. Otros pozos en un radio de 500 m tienen las mismas condiciones.
1378	435.95	1421.5	cosigüina	pozoex 4	28.8		Mechapa	05-May-00	GeothermEx(2000)	
132	436.3	1442.0	potosi	pozoex 2	29.5 24	w	El Rosario	02-Dic-80	OLADE(1981)SN70103	
1375	436.3	1442.05	potosi	pozoex 5	29.8		El Rosario	04-May-00	GeothermEx(2000)	
1381	436.9	1418.95	cosigüina	pozoex	30.2		Mechapa	17-May-00	GeothermEx(2000)	
1380	437.35	1420.35	cosigüina	pozoex 1.5	29.6		La Trinidad	17-May-00	GeothermEx(2000)	

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

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

Volcán Cosigüina

Pág 2 de 6

N/m	Coordenadas		Cuad. (2)	Tipo (3)	T°C	Datos	Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
143	438.2	1421.5	cosigüina	pozoex	29.0 323	w	S.Juancito	02-Dic-80	OLADE(1981)SN70109	
1267	438.200	1421.500	cosigüina 25	pozoex	31.3 55	w	San Juan	05-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-26)	Pozo excavado, agua a 12 m. Reportado como único pozo malo en la zona. Agua hace reacción coagulante con jabón para lavar.
1374	438.85	1442.70	potosi	pozoex 3	28.1		Sta Julia	04-May-00	GeothermEx(2000)	
1373	440.00	1438.72	potosi	pozoex 10	31.2		Pozo	04-May-00	GeothermEx(2000)	
1382	440.05	1422.95	cosigüina	pozoex 10	29.4		La Oradera	17-May-00	GeothermEx(2000)	
1263	440.650	1441.650	potosi 10	pozoex	31.8 29	w	Las Pozas Oeste	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-14)	Pozo excavado, agua a 4 m.
1269	441.557	1423.66	cosigüina 40	pozoex	28.9 74	w	San Marcos	17-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9077-12)	Pozo excavado. Agua a aprox. 15 m. Extracción con balde.
1383	441.6	1421.3	cosigüina	pozoex	29.4		Pozo	17-May-00	GeothermEx(2000)	
131	441.8	1440.3	potosi	pozoex 3	29.0 57	w	Las Pozas	02-Dic-80	OLADE(1981)SN70102	
1384	442.1	1425.65	cosigüina	pozoex 40	30.0		Sitio Las Ventanas	17-May-00	GeothermEx(2000)	
1262	442.750	1439.850	potosi 10	pozoex	31.4 7	w	Las Pozas	04-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-13)	Pozo excavado, agua a 7 m. Dicen que calidad del agua mejora en el invierno.
1385	443.25	1424.95	cosigüina	pozoex 15	29.8		Pozo	17-May-00	GeothermEx(2000)	
1386	445.15	1424.25	cosigüina	pozoex 1.5	28.0		Gaspar Garcia Laviana	17-May-00	GeothermEx(2000)	
1255	445.400	1430.100	cosigüina 15	pozoex	31.8 26	w	Aguas Calientes	03-May-00	GeothermEx(2000); TCI(9076-05)	Profundidad agua aprox. 8 m. Extracción con balde.
137	445.6	1428.0	cosigüina	pozoex 4	29.0 53	w	El Paraiso	02-Dic-80	OLADE(1981)SN70106	
138	445.6	1428.0	cosigüina	pozoex 4	29.0 60	w	El Paraiso	02-Dic-80	OLADE(1981)SN70106	
1387	445.7	1427.25	cosigüina	pozoex 1.5	30.0		Cosigüina	17-May-00	GeothermEx(2000)	
1371	446.55	1434.75	estero real	pozoex 18	37.1		El Capulín	04-May-00	GeothermEx(2000)	
1376	426.7	1429.4	cosigüina	pozope 105	29.4		Punta Nata SE	05-May-00	GeothermEx(2000)	
141	427.0	1428.0	cosigüina	pozope 80	28.0 24	w	Punta Nata	02-Dic-80	OLADE(1981)SN40108	
142	427.0	1428.0	cosigüina	pozope 80	28.0 27	w	Punta Nata	02-Dic-80	OLADE(1981)SN40108	

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

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

Volcán Cosigüina

Pág 3 de 6

N/m	(1) Coordenadas		Cuad. (2) Elev.(m)	Tipo (3) NA(m) PT(m)	T°C CI(mg/l)	Datos (4)	Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
1377	431.25	1426.4	cosigüina	pozope 90?	28.1		Apascali	05-May-00	GeothermEx(2000)	Centro de Apascali, N de cancha de beisbol
139	432.0	1425.2	cosigüina	pozope 141	29.0 31	w	El Tanque	02-Dic-80	OLADE(1981)SN40107	
140	432.0	1425.2	cosigüina	pozope 141	29.0 32	w	El Tanque	02-Dic-80	OLADE(1981)SN40107	
1379	437.3	1421.6	cosigüina	pozope 30			El Rodeo	17-May-00	GeothermEx(2000)	No hay temperatura por falta de punto de medirla cerca del cabezal, probablemente frio.

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

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

Volcán Cosigüina

Pág 4 de 6

N/m	(1) Coordenadas Cuad.		Tipo ⁽³⁾	T°C	Datos ⁽⁴⁾			Nombre	Fecha	Referencia	Notas
	utm-E	utm-N			Elev.(m)	NA(m)	PT(m)				
20	Texas(1970)										Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEX. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

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

Volcán Cosigüina

Pág 6 de 6

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

(1) N/m	Coordenadas		Elev. ⁽²⁾ m.s.n.m.	Niv. ⁽³⁾ Agua m.	Prof. ⁽⁴⁾ Tot. m.	(5) Nombre	Fecha	Temp. ⁽⁶⁾ °C	Flujo lpm	Ce ⁽⁷⁾ pH	Ce ⁽⁷⁾ µ-S	Concentraciones- mg/l ⁽⁸⁾					Balance Iónico % de Total		
	utm-E	utm-N										Ca	Mg	Na	K	Cl		SO4	Alc.T HCO3
<b>Tipo: (9) manant</b>																			
1266	432.400	1437.65	30			La Morona	05-May-00	27.8	1.5	7.03	552	59.80	12.900	23.60	5.84	22.7	135.00	111.00	-0.62
1268	437.011	1425.66	160			El Chorro	17-May-00	26.3	1	6.95	247	21.20	6.490	14.20	3.06	7.6	24.10	99.80	-1.47
1260	444.500	1435.00	130			El Mojado	04-May-00	36	5	6.86	323	29.60	8.960	16.50	4.26	8.2	24.80	152.00	3.05
1261	444.500	1435.00	120			El Mojado	04-May-00	35.5	2	6.77	512	54.00	17.400	23.50	6.98	7.1	18.10	316.00	-3.87
145	445.6	1420.9				Ojo de Agua PA	04-Dic-80	33	120	6.80	945	36.07	15.827	166.32	4.69	202.1	42.75	213.54	1.78
144	445.6	1420.9				Ojo de Agua PA	04-Dic-80	33	120	6.80	114	32.06	15.827	154.77	7.82	205.6	52.83	213.54	-2.80
129	445.6	1437.7				El Rijito, Poto	02-Dic-80	34	48000	6.70	224	132.27	58.437	166.32	23.07	198.5	528.34	231.85	-2.96
130	445.6	1437.7				El Rijito, Poto	02-Dic-80	34	48000	6.70	174	134.27	58.437	170.94	19.55	195.0	480.31	231.85	0.36
1256	445.700	1431.60	10			La Piscina	04-May-00	36.7	2	6.98	1690	136.00	62.400	116.00	21.70	157.0	425.00	247.00	0.59
1257	446.150	1432.30	10			Lodo Podrido Sur	04-May-00	49.4	10	7.04	7050	263.00	26.900	1040.00	77.30	1980.0	297.00	214.00	-2.19
1258	446.650	1433.20	10			Lodo Podrido Norte	04-May-00	42.2	15	7.16	1720	88.30	23.900	214.00	18.80	329.0	224.00	190.00	-2.61
133	446.7	1434.8				LosErvBatirror	02-Dic-80	40	1800	7.00	234	120.24	30.436	221.76	23.07	389.9	196.93	164.74	2.57
134	446.7	1434.8				LosErvBatirror	02-Dic-80	40	1800	7.00	194	120.24	30.436	231.00	19.16	425.4	206.53	164.74	0.11
135	446.8	1433.7				La PiscinaRSJua	02-Dic-80	35	3600	6.70	224	154.31	60.872	129.36	24.25	156.0	576.37	231.85	-3.19
136	446.8	1433.7				La PiscinaRSJua	02-Dic-80	35	3600	6.70	164	156.31	64.524	131.67	19.95	152.4	480.31	231.85	3.31
1259	446.800	1433.60	5			El Chorro	04-May-00	37.8	c.300	7.13	2660	114.00	77.300	322.00	34.30	343.0	551.00	324.00	0.94
<b>Tipo: (9) pozoex</b>																			
1265	430.750	1436.60	10			La Vueltecita	05-May-00	27.9		6.83	964	119.00	27.700	35.80	9.33	9.1	332.00	155.00	1.27
1264	435.000	1440.45	20	15		Los Placeres	04-May-00	37.2		7.10	1750	198.00	33.400	125.00	24.50	208.0	410.00	248.00	0.54
132	436.3	1442.0		2		El Rosario	02-Dic-80	29.5		6.60	845	84.17	15.827	32.34	14.47	24.1	148.90	158.63	6.57
143	438.2	1421.5				S.Juancito	02-Dic-80	29		6.40	414	400.80	91.308	161.70	15.25	322.6	528.34	305.06	16.37
1267	438.200	1421.50	25			San Juan	05-May-00	31.3		7.07	899	101.00	21.800	44.20	4.13	54.7	128.00	269.00	1.39
1263	440.650	1441.65	10			Las Pozas Oeste	04-May-00	31.8		7.07	660	60.20	15.400	46.90	9.92	28.5	142.00	184.00	-1.91
1269	441.557	1423.66	40			San Marcos	17-May-00	28.9		7.05	1010	53.90	32.300	32.50	26.60	74.3	83.30	200.00	2.29
131	441.8	1440.3		3		Las Pozas	02-Dic-80	29		6.70	134	122.24	19.479	60.06	24.64	56.7	297.79	122.03	5.50
1262	442.750	1439.85	10			Las Pozas	04-May-00	31.4		5.47	2410	583.00	18.500	28.60	12.10	7.2	1510.00	4.46	0.58
1255	445.400	1430.10	15			Aguas Calientes	03-May-00	31.8		6.92	501	45.00	12.500	27.60	6.38	26.3	36.30	164.00	4.90
138	445.6	1428.0		4		El Paraiso	02-Dic-80	29		6.70	124	150.30	48.697	50.82	12.12	60.3	355.43	292.90	0.59
137	445.6	1428.0		4		El Paraiso	02-Dic-80	29		6.70	154	144.29	51.132	57.75	14.47	53.2	408.26	292.86	-1.63

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Elevación, metros sobre nivel del mar. (3) Nivel del Agua (en pozo), metros. (4) Profundidad Total (de pozo), metros. (5) Ver nombres completos en la Parte 3.  
 (6) Temperatura, grados C. (7) Conductividad Eléctrica, µ-S. (8) un valor -X indica <X (límite de detección). (9) Ver codigos de tipos de fuentes al final de la tabla.

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

Volcán Cosigüina

Pág. 1 de 2

(1) N/m	Coordenadas		Elev. ⁽²⁾ m.s.n.m.	Niv. ⁽³⁾ Agua m.	Prof. ⁽⁴⁾ Tot. m.	(5) Nombre	Fecha	Temp. ⁽⁶⁾ °C	Flujo lpm	Ce ⁽⁷⁾ pH	μ-S	Concentraciones- mg/l ⁽⁸⁾						Balance Iónico % de Total	
	utm-E	utm-N										Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4		Alc.T HCO3
<b>Tipo:⁽⁹⁾ pozope</b>																			
142	427.0	1428.0			80	Punta Nata	02-Dic-80	28		6.80	134	198.40	66.959	30.03	9.78	27.3	576.37	207.44	2.38
141	427.0	1428.0			80	Punta Nata	02-Dic-80	28		6.80	214	196.39	69.394	30.03	12.91	24.5	672.43	207.44	-2.70
139	432.0	1425.2			141	El Tanque	02-Dic-80	29		6.50	695	68.14	20.696	25.41	6.26	30.8	129.68	201.34	-3.22
140	432.0	1425.2			141	El Tanque	02-Dic-80	29		6.50	605	72.14	20.696	25.41	3.60	31.6	110.47	201.34	0.64

### Códigos de Tipos de Fuente

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

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

N/m ⁽¹⁾	Nombre ⁽²⁾	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Concentraciones - mg/l ⁽⁴⁾										pH	
					SDT ⁽³⁾	SiO2	B	Li	Fe	Sr	NH4	Cl	F	NO3	Campo	Lab.
<b>Tipo: (5) manant</b>																
1266	La Morona	05-May-00	27.8	1.5	414	102	-0.20	-0.050	0.04	0.24	-0.88	22.7	0.41		7.31	7.03
1268	El Chorro	17-May-00	26.3	1	222	97	-0.20	-0.050	0.03	0.16	-0.87	7.6	0.15		6.86	6.95
1260	El Mojado	04-May-00	36	5	285	110	-0.20	-0.050	10.50	0.22	-0.70	8.2	0.16		6.56	6.86
1261	El Mojado	04-May-00	35.5	2	405	123	-0.20	-0.050	0.03	0.35	-0.70	7.1	0.17		6.65	6.77
145	Ojo de Agua PA	04-Dic-80	33	120	676	102	0.08				0.00	202.1			6.81	8.00
144	Ojo de Agua PA	04-Dic-80	33	120	678	102	0.23				0.00	205.6		0.93	6.81	7.60
129	El Rijito, Poto	02-Dic-80	34	48000	1338	108	1.51				0.00	198.5		6.82	6.67	7.70
130	El Rijito, Poto	02-Dic-80	34	48000	1288	108	1.41				0.00	195.0			6.67	
1256	La Piscina	04-May-00	36.7	2	1153	111	1.70	0.061	0.07	0.64	-0.70	157.0	0.18		6.92	6.98
1257	Lodo Podrido Sur	04-May-00	49.4	10	3980	156	6.94	0.893	0.17	2.18	-0.88	1980.0	-0.50		6.98	7.04
1258	Lodo Podrido Norte	04-May-00	42.2	15	1131	139	1.59	0.136	0.12	0.59	-0.70	329.0	0.16		7.13	7.16
133	LosErvBatirror	02-Dic-80	40	1800	1187	114	1.73				0.00	389.9		1.86	6.97	8.00
134	LosErvBatirror	02-Dic-80	40	1800	1247	114	3.57				0.00	425.4			6.97	8.10
135	La PiscinaRSJua	02-Dic-80	35	3600	1344	120	1.51				0.00	156.0		3.22	6.68	7.80
136	La PiscinaRSJua	02-Dic-80	35	3600	1248	120	1.51				0.00	152.4			6.68	8.10
1259	El Chorro	04-May-00	37.8	c.300	1712	109	2.27	0.141	-0.02	0.97	-0.70	343.0	0.18		7.07	7.13
<b>Tipo: (5) pozoex</b>																
1265	La Vueltecita	05-May-00	27.9		706	94	-0.20	-0.050	0.09	0.17	-0.88	9.1	1.06		6.70	6.83
1264	Los Placeres	04-May-00	37.2		1202	84	1.27	0.086	0.03	0.52	-0.88	208.0	0.83		7.07	7.10
132	El Rosario	02-Dic-80	29.5		502	102	0.35				0.00	24.1		62.00	6.62	8.20
143	S.Juancito	02-Dic-80	29		1768	96	0.34				0.01	322.6		421.58	6.42	7.70
1267	San Juan	05-May-00	31.3		566	83	-0.20	-0.050	0.04	0.30	-0.88	54.7	0.16		6.97	7.07
1263	Las Pozas Oeste	04-May-00	31.8		460	75	0.25	-0.050	0.06	0.18	-0.88	28.5	0.94		7.24	7.07
1269	San Marcos	17-May-00	28.9		472	80	-0.20	-0.050	-0.02	0.57	-0.87	74.3	0.20		7.34	7.05
131	Las Pozas	02-Dic-80	29		740	96	0.49				0.01	56.7		86.80	6.74	7.60
1262	Las Pozas	04-May-00	31.4		2253	84	-0.20	0.057	0.23	0.73	-0.88	7.2	1.85		5.97	5.47
1255	Aguas Calientes	03-May-00	31.8		338	104	0.23	0.031	0.05	0.22	-0.70	26.3	0.54		6.89	6.92
138	El Paraiso	02-Dic-80	29		940	114	0.59				0.76	60.3			6.74	8.10
137	El Paraiso	02-Dic-80	29		992	114	0.74				0.76	53.2		4.15	6.74	7.70

N/m ⁽¹⁾	Nombre ⁽²⁾	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Concentraciones - mg/l ⁽⁴⁾									pH		
					SDT ⁽³⁾	SiO2	B	Li	Fe	Sr	NH4	Cl	F	NO3	Campo	Lab.
<b>Tipo: (5) pozope</b>																
142	Punta Nata	02-Dic-80	28		1113	102					0.01	27.3			6.83	8.10
141	Punta Nata	02-Dic-80	28		1211	102	0.26				0.01	24.5		5.46	6.83	7.70
139	El Tanque	02-Dic-80	29		455	72	0.25				1.35	30.8		12.40	6.47	7.40
140	El Tanque	02-Dic-80	29		437	72	0.14				1.35	31.6			6.47	8.00

### Códigos de Tipos de Fuente

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

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

(1) N/m	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl ⁽²⁾ mg/l	Referencia ⁽³⁾	Notas	Otros Datos Analíticos
<b>Tipo: (4) manant</b>								
1266	La Morona	05-May-00	27.8	1.5	22.7	GeothermEx(2000); TCI(9076-21)	Manantial en secuencia de volcanitas retrabajadas. Agua sale en la base de nivel más grueso y permeable.	
1268	El Chorro	17-May-00	26.3	1	7.6	GeothermEx(2000); TCI(9077-11); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)	Serie de pequeños manantiales a lo largo del río (200 m). Caudal individual efímero (1-2 lpm).	
1260	El Mojado	04-May-00	36	5	8.2	GeothermEx(2000); TCI(9076-09); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)	Manantial con captación para acueducto de Potosí.	
1261	El Mojado	04-May-00	35.5	2	7.1	GeothermEx(2000); TCI(9076-10)	Pequeño manantial a elevación inferior (10 m) de la muestra N/m 1260 y con agua de conductividad diferente, que deja una evidente deposición color ocre en las rocas.	
145	Ojo de Agua PA	04-Dic-80	33	120	202.1	OLADE(1981)SN10110	Ojo de Agua, Puerto Arturo; flujo 2 l/s	Servicios Geológicos; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
144	Ojo de Agua PA	04-Dic-80	33	120	205.6	OLADE(1981)SN10110	Ojo de Agua, Puerto Arturo; flujo 2 l/s	American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
129	El Rijito, Poto	02-Dic-80	34	48000	198.5	OLADE(1981)SN10101	El Rijito (o El Riito, no es claro), Potosí; Flujo 800 l/s	American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
130	El Rijito, Poto	02-Dic-80	34	48000	195.0	OLADE(1981)SN10101	El Rijito, Potosí; Flujo 800 l/s. (nota: en OLADE, 1981 es "Rijito", no es Riito.)	Servicios Geológicos; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
1256	La Piscina	04-May-00	36.7	2	157.0	GeothermEx(2000); TCI(9076-06); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)	Pequeños manantiales al borde, al fondo y en las cercanías de piscina artificial. Temp. variable entre 35.9 y 36.7°C. Flujo visible de unos 10 lpm, pero descarga total es posiblemente superior.	
1257	Lodo Podrido Sur	04-May-00	49.4	10	1980.0	GeothermEx(2000); TCI(9076-18); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705, 9Oct00TGN23)	Débiles manantiales al borde y quizás al fondo de laguna excavada artificialmente. Temp. del agua variable entre 47 y 48°C. Temp. max en lodo y algas al fondo de laguna: 49.4°C. Descarga total de la laguna es aprox. 10 lpm. Se tomó la muestra en la boca del orificio mas fuerte (1-2 lpm) al borde.	
1258	Lodo Podrido Norte	04-May-00	42.2	15	329.0	GeothermEx(2000); TCI(9076-07); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705, 9Oct00TGN24)	Manantial en volcanitas terciarias macizas, a orillas de la carretera. Otro manantial menor, con temperatura de 40.2°C y caudal de unos 3 lpm, se ubica unos 100 m más al sur.	
133	LosErvBatirror	02-Dic-80	40	1800	389.9	OLADE(1981)SN20104	Los "Ervederos" de Las Batiroras; flujo 30 l/s. Nota por GeothermEx (2000): se atentó ubicar este manantial (Mayo 2000) pero sin éxito; posiblemente las coordenadas UTM de OLADE son equivocadas. (nota: en OLADE, 1981 es "Ervederos", no es Hervaderos.)	American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

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

Volcán Cosigüina

Pág. 1 de 5

(1) N/m	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	CI ⁽²⁾ mg/l	Referencia ⁽³⁾	Notas	Otros Datos Analíticos
134	LosErvBatirror	02-Dic-80	40	1800	425.4	OLADE(1981)SN20104	Los"Ervederos" de Las Batiroras; flujo 30 l/s. Nota por GeothermEx (2000): se atentó ubicar este manantial (Mayo 2000) pero sin éxito; posiblemente las coordenadas UTM de OLADE son equivocadas. (nota: en OLADE, 1981 es "Ervederos", no es Hervaderos.)	Servicios Geológicos; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
135	La PiscinaRSJua	02-Dic-80	35	3600	156.0	OLADE(1981)SN10105	La Piscina Río S. Juan; flujo 50-70 l/s	American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
136	La PiscinaRSJua	02-Dic-80	35	3600	152.4	OLADE(1981)SN10105	La Piscina Río S. Juan; flujo 50-70 l/s	Servicios Geológicos; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
1259	El Chorro	04-May-00	37.8	c.300	343.0	GeothermEx(2000); TCI(9076-08)	Grupo de manantiales con temperatura variable entre 37 y 38°C y descarga total grande (>500 lpm). El manantial principal, muestreado, se compone de 3 salidas con caudal total de unos 100 lpm.	
<b>Tipo: (4) pozoex</b>								
1265	La Vueltecita	05-May-00	27.9		9.1	GeothermEx(2000); TCI(9076-19)	Pozo excavado en cauce de río. Prof. 10 m.	
1264	Los Placeres	04-May-00	37.2		208.0	GeothermEx(2000); TCI(9076-16)	Pozo excavado, agua a 15 m. Bomba mecánica. Otros pozos en un radio de 500 m tienen las mismas condiciones.	
132	El Rosario	02-Dic-80	29.5		24.1	OLADE(1981)SN70103		American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
143	S.Juancito	02-Dic-80	29		322.6	OLADE(1981)SN70109		American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
1267	San Juan	05-May-00	31.3		54.7	GeothermEx(2000); TCI(9076-26)	Pozo excavado, agua a 12 m. Reportado como único pozo malo en la zona. Agua hace reacción coagulante con jabón para lavar.	
1263	Las Pozas Oeste	04-May-00	31.8		28.5	GeothermEx(2000); TCI(9076-14)	Pozo excavado, agua a 4 m.	
1269	San Marcos	17-May-00	28.9		74.3	GeothermEx(2000); TCI(9077-12)	Pozo excavado. Agua a aprox. 15 m. Extracción con balde.	
131	Las Pozas	02-Dic-80	29		56.7	OLADE(1981)SN70102		American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
1262	Las Pozas	04-May-00	31.4		7.2	GeothermEx(2000); TCI(9076-13)	Pozo excavado, agua a 7 m. Dicen que calidad del agua mejora en el invierno.	
1255	Aguas Calientes	03-May-00	31.8		26.3	GeothermEx(2000); TCI(9076-05)	Profundidad agua aprox. 8 m. Extracción con balde.	
138	El Paraiso	02-Dic-80	29		60.3	OLADE(1981)SN70106		Servicios Geológicos; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )
137	El Paraiso	02-Dic-80	29		53.2	OLADE(1981)SN70106		American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO ₂ , HCO ₃ , NH ₄ )

**Tipo: (4) pozope**

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

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

Volcán Cosiguina

Pág. 2 de 5

⁽¹⁾ N/m	Nombre	Temp. Fecha	Flujo °C lpm	Cl ⁽²⁾ mg/l	Referencia ⁽³⁾	Notas	Otros Datos Analíticos
142	Punta Nata	02-Dic-80	28	27.3	OLADE(1981)SN40108		Servicios Geologicos; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO2, HCO3, NH4)
141	Punta Nata	02-Dic-80	28	24.5	OLADE(1981)SN40108		American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO2, HCO3, NH4)
139	El Tanque	02-Dic-80	29	30.8	OLADE(1981)SN40107		American Technical Laboratories; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO2, HCO3, NH4)
140	El Tanque	02-Dic-80	29	31.6	OLADE(1981)SN40107		Servicios Geologicos; mediciones de campo (pHf, pHtemp, SiO2, HCO3, NH4)

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

TablaII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos. Parte 3  
Volcán Cosigüina Pág. 3 de 5

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

## Códigos de Tipos de Fuente

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

## Referencias

- 10 GeothermEx(2000) Proyecto de Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua. Para la CNE (Comisión Nacional de Energía), Managua, Nicaragua. Por GeothermEx, Inc., Richmond, CA EUA. Datos de campo, del Anexo C - Base de datos de ubicaciones hidrogeológicas (pozos, manantiales, fumarolas) (en CD) y del Anexo D - Base de datos químicos de fluidos (en CD).
- 12 ICGN(*) Análisis isotópico por el Instituto de Ciencias Geológicas y Nucleares (Institute of Geological and Nuclear Sciences), Lower Hutt, New Zealand, Stable Isotope Laboratory. Isótopos estables de H y O en H₂O: todas las mediciones se hacen con referencia al estándar VSMOW, y tienen errores de +1.0 o/oo para el del-H y +0.1 o/oo para el del-18O.
- 16 OLADE(1981) Estudio de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la Republica de Nicaragua: a) Informe geoquímico, b) Anexo 15A, Fichas de los puntos de agua termales, y, c) Anexo (sin número), (Tabulación de) Puntos de muestreo y datos hidroquímicos; por OLADE (la Organización Latinoamericana de Energía), Diciembre 1981. Nota: hay grandes diferencias entre las conductividades tabuladas en el Informe Geoquímico (tabulación de 'CON', del laboratorio?) y las conductividades tabuladas en el Anexo 15A (tabulación de 'EC 18c', del campo?). Los valores de 'CON' son semejantes a conductividades calculadas, y probablemente son válidos. Nota: las concentraciones de iones en las tablas de OLADE(1981) fueron listados en meq/l, con 2 figuras significantes (p.e. 64E-4, 37E-6). Han sido convertidos en mg/l. Nota: Se asume que la categoría hco3 en OLADE(1981) es en realidad la alcalinidad total.
- 19 TCI(*) Análisis químico de líquido o gas por Thermochem Labs, Inc., Santa Rosa, California, E.U.A.

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

N/m	(1) Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl ⁽²⁾ mg/l	Referencia ⁽³⁾	Notas	Otros Datos Analíticos
20	Texas(1970)						<p>Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.</p>	

Miércoles, 02 de Mayo de 2001

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

TablaII-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 3  
Volcán Cosigüina Pág. 5 de 5

**Tabla II-A.3**

No se encuentra esta tabla porque no hay datos de gases en al área del Volcán Cosigüina

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

N/m	Coordenadas		Elev. ⁽²⁾ m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl ⁽³⁾ mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD		d18O				
<b>Tipo:</b> ⁽¹⁾ manant															
1268	437.011	1425.66	160	El Chorro	17-May-00	26.3	1	7.6	-43.2	-7.04					GeothermEx(2000); TCI(9077-11); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)
1260	444.500	1435.00	130	El Mojado	04-May-00	36	5	8.2	-48.1	-7.63					GeothermEx(2000); TCI(9076-09); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)
1256	445.700	1431.60	10	La Piscina	04-May-00	36.7	2	157.0	-48.7	-7.65					GeothermEx(2000); TCI(9076-06); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705)
1257	446.150	1432.30	10	Lodo Podrido Sur	04-May-00	49.4	10	1980.0	-47.4	-6.69	0.619	sigma(UT) = 0.030			GeothermEx(2000); TCI(9076-18); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705, 9Oct00TGN23)
1258	446.650	1433.20	10	Lodo Podrido Norte	04-May-00	42.2	15	329.0	-48.2	-7.48	0.908	sigma(UT) = 0.037			GeothermEx(2000); TCI(9076-07); ICGN(14 Ago 2000, SIL#705, 9Oct00TGN24)

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

## Códigos de Tipos de Fuente

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

## Referencias

- 10 GeothermEx(2000) Proyecto de Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua. Para la CNE (Comisión Nacional de Energía), Managua, Nicaragua. Por GeothermEx, Inc., Richmond, CA EUA. Datos de campo, del Anexo C - Base de datos de ubicaciones hidrogeológicas (pozos, manantiales, fumarolas) (en CD) y del Anexo D - Base de datos químicos de fluidos (en CD).
- 12 ICGN(*) Análisis isotópico por el Instituto de Ciencias Geológicas y Nucleares (Institute of Geological and Nuclear Sciences), Lower Hutt, New Zealand, Stable Isotope Laboratory. Isótopos estables de H y O en H₂O: todas las mediciones se hacen con referencia al estándar VSMOW, y tienen errores de +1.0 o/oo para el del-H y +0.1 o/oo para el del-18O.
- 16 OLADE(1981) Estudio de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua: a) Informe geoquímico, b) Anexo 15A, Fichas de los puntos de agua termales, y, c) Anexo (sin número), (Tabulación de) Puntos de muestreo y datos hidroquímicos; por OLADE (la Organización Latinoamericana de Energía), Diciembre 1981. Nota: hay grandes diferencias entre las conductividades tabuladas en el Informe Geoquímico (tabulación de 'CON', del laboratorio?) y las conductividades tabuladas en el Anexo 15A (tabulación de 'EC 18c', del campo?). Los valores de 'CON' son semejantes a conductividades calculadas, y probablemente son válidos. Nota: las concentraciones de iones en las tablas de OLADE(1981) fueron listados en meq/l, con 2 figuras significantes (p.e. 64E-4, 37E-6). Han sido convertidos en mg/l. Nota: Se asume que la categoría hco3 en OLADE(1981) es en realidad la alcalinidad total.

N/m	Coordenadas		Elev. ⁽²⁾ m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl ⁽³⁾ mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD	d18O	Liq.	Vap.			
19				TCI(*)											Análisis químico de líquido o gas por Thermochem Labs, Inc., Santa Rosa, California, E.U.A.
20				Texas(1970)											Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.

Tabla II -A.5: pH y Alcalinidad - mediciones del campo y laboratorio

Volcán Cosigüina

N/m	Fecha	Hora	Coordenadas		Tipo	Nombre	T °C	pH-campo	mg/l: campo-----			laboratorio-----		
			utm-E	utm-N					pH-Lab	Alc.CO3	Alc.HCO3	Alc.CO3	Alc.HCO3	Cl
1255	3-May-00	7:00:00	445.400	1430.10	pozoex	Aguas Calientes	31.8	6.89	6.92		170.94	164	26.3	
1256	4-May-00	9:00:00	445.700	1431.60	manan	La Piscina	36.7	6.92	6.98		235.04	247	157	
1257	4-May-00	0:00:00	446.150	1432.30	manan	Lodo Podrido Sur	49.4	6.98	7.04		228.94	214	1980	
1258	4-May-00	1:30:00	446.650	1433.20	manan	Lodo Podrido Norte	42.2	7.13	7.16		201.47	190	329	
1259	4-May-00	3:00:00	446.800	1433.60	manan	El Chorro	37.8	7.07	7.13		332.72	324	343	
1260	4-May-00	4:00:00	444.500	1435.00	manan	El Mojado	36	6.56	6.86		164.84	152	8.16	
1261	4-May-00	4:30:00	444.500	1435.00	manan	El Mojado	35.5	6.65	6.77		332.72	316	7.1	
1262	4-May-00	6:30:00	442.750	1439.85	pozoex	Las Pozas	31.4	5.97	5.47		36.63	4.46	7.19	
1263	4-May-00	7:00:00	440.650	1441.65	pozoex	Las Pozas Oeste	31.8	7.24	7.07		195.36	184	28.5	
1264	4-May-00	8:00:00	435.000	1440.45	pozoex	Los Placeres	37.2	7.07	7.10		259.46	248	208	
1265	5-May-00	0:30:00	430.750	1436.60	pozoex	La Vueltecita	27.9	6.70	6.83		164.84	155	9.1	
1266	5-May-00	1:00:00	432.400	1437.65	manan	La Morona	27.8	7.31	7.03		119.05	111	22.7	
1267	5-May-00	6:00:00	438.200	1421.50	pozoex	San Juan	31.3	6.97	7.07		228.62	269	54.7	
1268	7-May-00	9:00:00	437.011	1425.66	manan	El Chorro	26.3	6.86	6.95		100.73	99.8	7.64	
1269	7-May-00	1:00:00	441.557	1423.66	pozoex	San Marcos	28.9	7.34	7.05		198.41	200	74.3	

Tabla II-A.6: Geotermómetros de Aguas

N/m	Coordenadas utm-E utm-N		Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	pH	Cl mg/l	Geotermómetros, °C ⁽²⁾												Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°
									Cuarzo 0° - 330°		Calcedonia 0° - 250°		Amór 0° - 250°	Na - K - Ca 4° - 340°			Na-K-Ca-Mg 4° - 340°					
									Con.	Ad.	Con.	Ad.		RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R	Temp Final			
<b>Tipo: ⁽³⁾ manant</b>																						
1266	432.400	1437.65	La Morona	05-May-00	27.8	1.5	7.03	23	138	135	112	111	18	37.63	45	184	45	25	---	309	9	
1268	437.011	1425.66	El Chorro	17-May-00	26.3	1	6.95	8	136	133	109	109	15	37.24	42	177	42	32	---	293	-1	
1260	444.500	1435.00	El Mojado	04-May-00	36	5	6.86	8	143	139	116	115	22	37.86	46	186	46	32	---	314	5	
1261	444.500	1435.00	El Mojado	04-May-00	35.5	2	6.77	7	149	144	124	120	28	35.91	52	195	52	33	---	332	10	
145	445.6	1420.9	Ojo de Agua PA	04-Dic-80	33	120	6.80	202	139	135	112	111	18	4.15	67	117	67	40	---	128	-1	
144	445.6	1420.9	Ojo de Agua PA	04-Dic-80	33	120	6.80	206	139	135	112	111	18	4.20	85	141	85	42	43	165	15	
129	445.6	1437.7	El Rijito, Poto	02-Dic-80	34	48000	6.70	199	142	138	115	114	21	7.94	91	181	91	40	44	247	30	
130	445.6	1437.7	El Rijito, Poto	02-Dic-80	34	48000	6.70	195	142	138	115	114	21	7.78	85	171	85	40	47	229	24	
1256	445.700	1431.60	La Piscina	04-May-00	36.7	2	6.98	157	143	139	117	115	22	11.54	84	190	84	41	45	277	27	
1257	446.150	1432.30	Lodo Podrido Sur	04-May-00	49.4	10	7.04	1980	164	157	140	134	41	1.79	145	174	174	13	119	193	104	
1258	446.650	1433.20	Lodo Podrido Norte	04-May-00	42.2	15	7.16	329	157	151	132	127	34	5.04	96	165	96	29	65	206	39	
133	446.7	1434.8	LosErvBatirror	02-Dic-80	40	1800	7.00	390	145	140	119	117	24	5.68	96	171	96	28	68	220	43	
134	446.7	1434.8	LosErvBatirror	02-Dic-80	40	1800	7.00	425	145	140	119	117	24	5.45	90	161	90	28	69	201	36	
135	446.8	1433.7	La PiscinaRSJua	02-Dic-80	35	3600	6.70	156	148	143	122	119	26	11.03	86	191	86	38	50	277	31	
136	446.8	1433.7	La PiscinaRSJua	02-Dic-80	35	3600	6.70	152	148	143	122	119	26	10.90	79	180	79	39	51	255	23	
1259	446.800	1433.60	El Chorro	04-May-00	37.8	c.300	7.13	343	142	138	116	114	21	3.81	117	180	180	49	18	222	40	
<b>Tipo: ⁽³⁾ pozoex</b>																						
1265	430.750	1436.60	La Vueltecita	05-May-00	27.9		6.83	9	134	131	107	108	14	34.99	49	188	49	27	---	316	12	
1264	435.000	1440.45	Los Placeres	04-May-00	37.2		7.10	208	128	126	100	103	9	12.93	80	191	80	21	80	282	43	
132	436.3	1442.0	El Rosario	02-Dic-80	29.5		6.60	24	139	135	112	111	18	32.58	67	222	67	22	---	391	37	
143	438.2	1421.5	S.Juancito	02-Dic-80	29		6.40	323	135	132	108	109	15	14.22	54	151	54	27	---	212	8	
1267	438.200	1421.50	San Juan	05-May-00	31.3		7.07	55	127	125	99	102	8	26.11	32	141	32	26	---	211	-9	
1263	440.650	1441.65	Las Pozas Oeste	04-May-00	31.8		7.07	29	122	120	93	---	3	19.00	66	188	66	28	---	291	24	
1269	441.557	1423.66	San Marcos	17-May-00	28.9		7.05	74	125	123	97	101	6	25.94	98	271	98	44	36	502	47	

Jueves, 03 de Mayo de 2001

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

TablaII-A.6: Geotermómetros de Aguas

Volcán Cosigüina Pág. 1 de 4

N/m	Coordenadas utm-E utm-N Nombre			Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl pH mg/l	Geotermómetros, °C ⁽²⁾												
								Cuarzo 0° - 330°		Calcedonia 0° - 250°		Amór 0° - 250°	Na - K - Ca 4° - 340°				Na-K-Ca-Mg 4° - 340°		Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°
								Con.	Ad.	Con.	Ad.		RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R	Temp Final		
131	441.8	1440.3	Las Pozas	02-Dic-80	29	6.70	57	135	132	108	109	15	21.14	83	226	83	19	83	378	55
1262	442.750	1439.85	Las Pozas	04-May-00	31.4	5.47	7	128	126	100	103	8	96.95	27	197	27	5	---	382	28
1255	445.400	1430.10	Aguas Calientes	03-May-00	31.8	6.92	26	140	136	113	112	19	27.91	54	186	54	30	---	301	12
138	445.6	1428.0	El Paraiso	02-Dic-80	29	6.70	60	145	140	119	117	24	27.70	55	188	55	34	---	305	11
137	445.6	1428.0	El Paraiso	02-Dic-80	29	6.70	53	145	140	119	117	24	23.89	62	193	62	36	---	311	16
<b>Tipo: ⁽³⁾ pozope</b>																				
142	427.0	1428.0	Punta Nata	02-Dic-80	28	6.80	27	139	135	112	111	18	53.86	40	193	40	35	---	345	-1
141	427.0	1428.0	Punta Nata	02-Dic-80	28	6.80	24	139	135	112	111	18	53.59	47	209	47	36	---	385	7
139	432.0	1425.2	El Tanque	02-Dic-80	29	6.50	31	120	119	91	---	1	37.31	45	184	45	32	---	309	4
140	432.0	1425.2	El Tanque	02-Dic-80	29	6.50	32	120	119	91	---	1	38.38	30	155	30	32	---	249	-12

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

### Códigos de Tipos de Fuente

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

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

Referencias:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Tabla II-A.7**

No se encuentra esta tabla porque no hay datos de gases en al área del Volcán Cosigüina

Certificaciones de Servicios  
de  
Laboratorios Analíticos, Químicos e Isotópicos  
Suministrados para el  
Estudio Plan Maestro 2000

**DEPARTMENT OF HEALTH SERVICES**2151 BERKELEY WAY  
BERKELEY, CA 94704-1011

(510) 540-2800

March 28, 2001

RUSSELL J. KUNZMAN  
THERMOCHEM, INC.  
3414 REGIONAL PARKWAY, SUITE A  
SANTA ROSA, CA 95403-

Certificate No.: 2312

Dear RUSSELL J. KUNZMAN:

This is to advise you that the laboratory named above has been certified as an environmental testing laboratory pursuant to the provisions of the California Environmental Laboratory Improvement Act of 1988 (Health and Safety Code (HSC), Division 101, Part 1, Chapter 4, commencing with Section 100825).

The Fields of Testing for which this laboratory has been certified under this Act are indicated in the enclosed "List of Approved Fields of Testing and Analytes." Certification shall remain in effect until **May 31, 2002** unless revoked. This certificate is subject to an annual fee as prescribed by Section 100860(a), HSC, due on May 31, 2001.

Your application for renewal must be received 90 days before the expiration of your certificate to remain in force according to the California Code of Regulations, Title 22, Division 4, Chapter 19, Section 64801 through 64827.

Please note that your laboratory is required to notify the Environmental Laboratory Accreditation Program of any major changes in the laboratory such as the transfer of ownership, change of laboratory director, change in location, or structural alterations which may affect adversely the quality of analyses (Section 100845(b) and (d), HSC).

Your continued cooperation is essential in order to maintain a reputation for the high quality of the data produced by environmental laboratories certified by the State of California.

If you have any questions, please contact Aida Dente at (510) 540-2800.

Sincerely,

A handwritten signature in cursive script that reads "George C. Kulasingam".

George C. Kulasingam, Ph.D.  
Program Chief  
Environmental Laboratory Accreditation Program

Enclosure

**CALIFORNIA DEPARTMENT OF HEALTH SERVICES  
ENVIRONMENTAL LABORATORY ACCREDITATION PROGRAM  
List of Approved Fields of Testing and Analytes**

---

**THERMOCHEM, INC.**  
3414 REGIONAL PARKWAY, SUITE A  
SANTA ROSA, CA

PHONE No. (707) 575-1310  
COUNTY SONOMA

**Certificate No. 2312**  
Expiration Date 05/31/2002

---

**02 Inorganic Chemistry and Physical Properties of Drinking Water**

02.01 Alkalinity  
02.02 Calcium  
02.03 Chloride  
02.05 Fluoride  
02.07 Magnesium  
02.10 Nitrite  
02.12 Sulfate  
02.13A Total Dissolved Solids  
02.13B Conductivity

**03 Analysis of Toxic Chemical Elements in Drinking Water**

03.01 Arsenic  
03.02 Barium  
03.03 Cadmium  
03.04 Chromium, total  
03.05 Copper  
03.07 Lead  
03.08 Manganese  
03.10 Selenium  
03.12 Zinc  
03.17 Nickel

**16 Wastewater Inorganic Chemistry, Nutrients and Demand**

16.02 Alkalinity  
16.07 Calcium  
16.10 Chloride  
16.14 Fluoride  
16.17 Magnesium  
16.18 Nitrate  
16.19 Nitrite  
16.23 pH  
16.27 Potassium  
16.28 Residue, Total  
16.29 Residue, Filterable (Total Dissolved Solids)  
16.33 Silica  
16.34 Sodium  
16.35 Specific Conductance  
16.36 Sulfate  
16.37 Sulfide (includes total & soluble)

**17 Toxic Chemical Elements in Wastewater**

17.01 Aluminum  
17.02 Antimony  
17.03 Arsenic  
17.04 Barium

Certificate No. 2312  
Expiration Date 05/31/2002

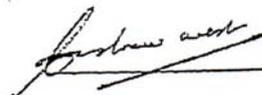
17.05	Beryllium
17.06	Cadmium
17.08	Chromium, total
17.09	Cobalt
17.10	Copper
17.13	Iron
17.14	Lead
17.15	Manganese
17.17	Molybdenum
17.18	Nickel
17.24	Selenium
17.25	Silver
17.27	Thallium
17.30	Vanadium
17.31	Zinc

LABORATORY QUALITY PROGRAMME MANUAL Institute of Geological & Nuclear Sciences Ltd	SECTION 4
	Page 1 of 13
	Issue No: 3
TITLE OF SECTION	Issue Date: March 1999
QUALITY SYSTEM REQUIREMENTS	Issued by: GNS

#### 4.1 Management Responsibility

##### 4.1.1 Quality policy

- (i) It is the policy of the Institute of Geological & Nuclear Sciences that all work undertaken with the Radiocarbon, Tritium and Stable Isotope laboratories is carried out to fulfil consistently high standards of quality in terms of service, measurements, reporting and advice to run in line with the requirements of the New Zealand Standard NZS 9002 (ISO 9002).
- (ii) Specific details for the procedures to be followed are given in Appendices 4 to 6 of this manual and staff must familiarise themselves with these details and ensure they are complied with at all times.
- (iii) A copy of this notice shall be displayed prominently in each of the Radiocarbon, Tritium and Stable Isotope laboratories.

  
Chief Executive Officer

Copy from Laboratory Quality Programme Manual  
*(Keraine Joppitt)*  
 QA Manager 2.5.01.

**Vanessa Trompetter**

● 26/07/99 08:49

To: Dow Davidson <edowdavid@bga.com>  
cc:

Subject: Re: Laboratory Quality Standards 

Dear Dow,

We adhere to ISO 9002 (also NZS 9002). Here follows a paragraph taken from our Laboratory Quality Programme Manual.

"Quality Policy:

It is the policy of the Institute of Geological and Nuclear Sciences that all work undertaken with the Radiocarbon, Tritium and Stable Isotope Laboratories is carried out to fulfil consistently high standards of quality in terms of service, measurements, reporting and advice, to run in line with the requirements of the New Zealand Standard NZS 9002/ ISO 9002, Quality Systems - Model for quality assurance in production, installation and servicing."

Each laboratory follows the Quality Procedures as set out in the LQPM and in the individual Laboratory Operating Procedures. The laboratories undergo 6 monthly Internal Quality Audits according to ISO 9002 which are carried out by myself as QA Manager and Lead Internal Auditor and one other trained (to ISO 10011.1) Internal Auditor. The laboratories are not accredited to ISO 9002, however it is the aim of the Institute to have the laboratories accredited in the near future.

I hope that this will satisfy your requirements,

Regards,  
Vanessa Trompetter.

3.MAY.2001 14:21 IGNS RAFTER 64 4 5704657



**YOUR ASSURANCE  
OF OUR COMPETENCE**

The service we have just provided you has been accredited by International Accreditation New Zealand. This means that our service complies with the international standard ISO/IEC 17025 (ISO/IEC Guide 25): *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.*

Accreditation of our laboratory by International Accreditation New Zealand is of considerable value to you, our customer. We have achieved accreditation only after exacting initial and on-going assessments of our laboratory. The assessments cover:

- the competence and experience of our staff
- the integrity and traceability of our equipment and materials
- the technical validity of our methods
- the validity and suitability of our results
- our compliance with the ISO 9002 management system requirements.

This is the most comprehensive assessment any laboratory can be subjected to anywhere in the world. We are proud to be working to these high international standards because we can provide you with the best possible results for your requirements. It means that you can have confidence in our service and in the results we have provided you.

NO.045 P.5/5



### **International Accreditation New Zealand replaced Telarc New Zealand in 1997**

International Accreditation New Zealand is the official body for accrediting technical professional services in New Zealand. The change from Telarc was solely in the name and it is still an operational unit of the Testing Laboratory Registration Council. The (previous) Telarc New Zealand accreditation staff continue to operate International Accreditation New Zealand.

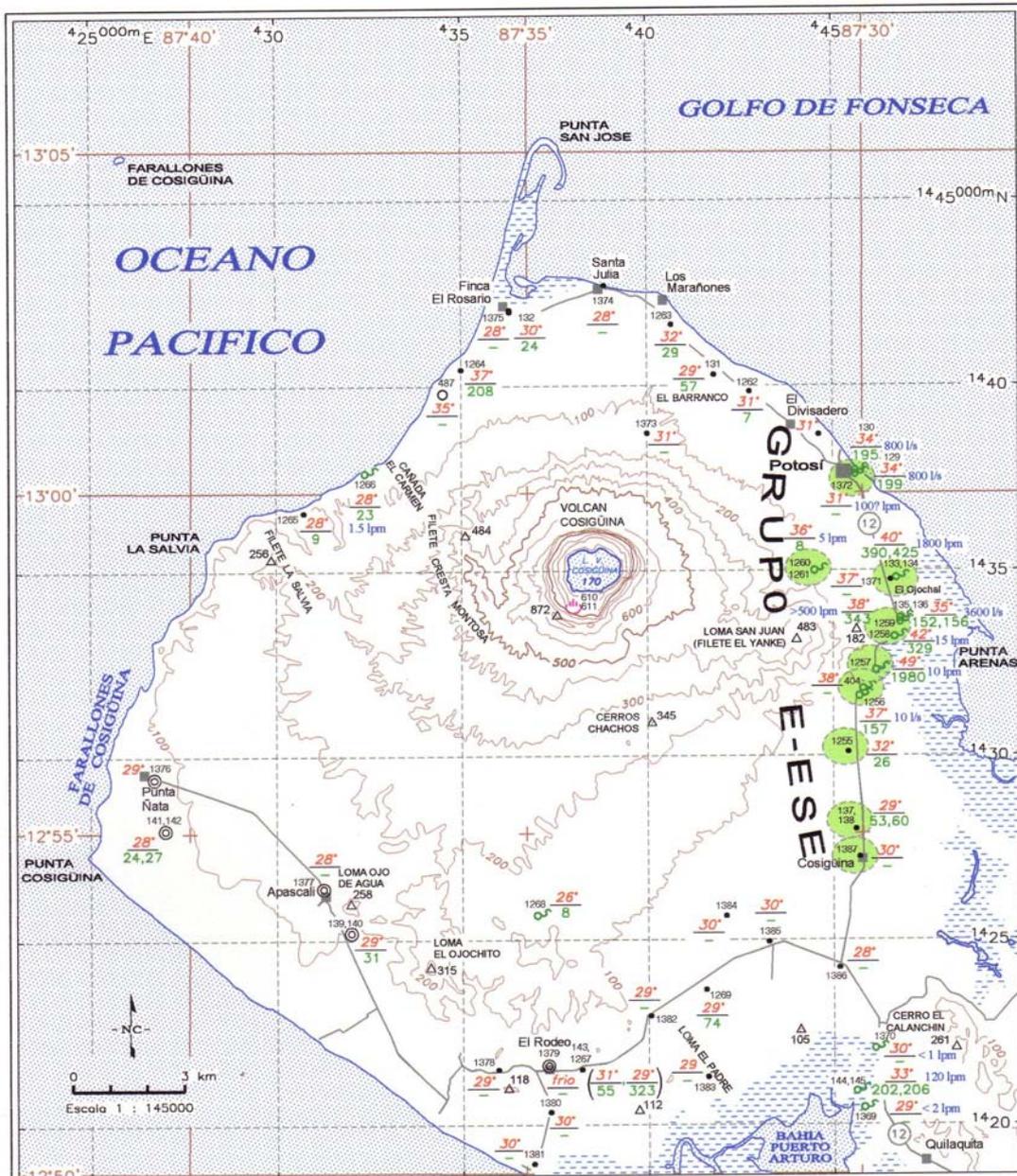
Any reports, certificates, etc. still bearing the Telarc Registered Laboratory name or logo remain valid. Over time these endorsements are being replaced by the IANZ accreditation name and logo.

If you want to know more about the accreditation of laboratories and other technical professional services, or about the international conformity assessment structure, information is readily available from:

**International Accreditation New Zealand**  
630 Great South Road,  
Greenlane, Auckland 1005  
Private Bag 29 908, Remuera, Auckland 1136

Tel 64 9 525 6655 Fax 64 9 525 2266  
Email [info@ianz.govt.nz](mailto:info@ianz.govt.nz)  
Internet <http://www.ianz.govt.nz>

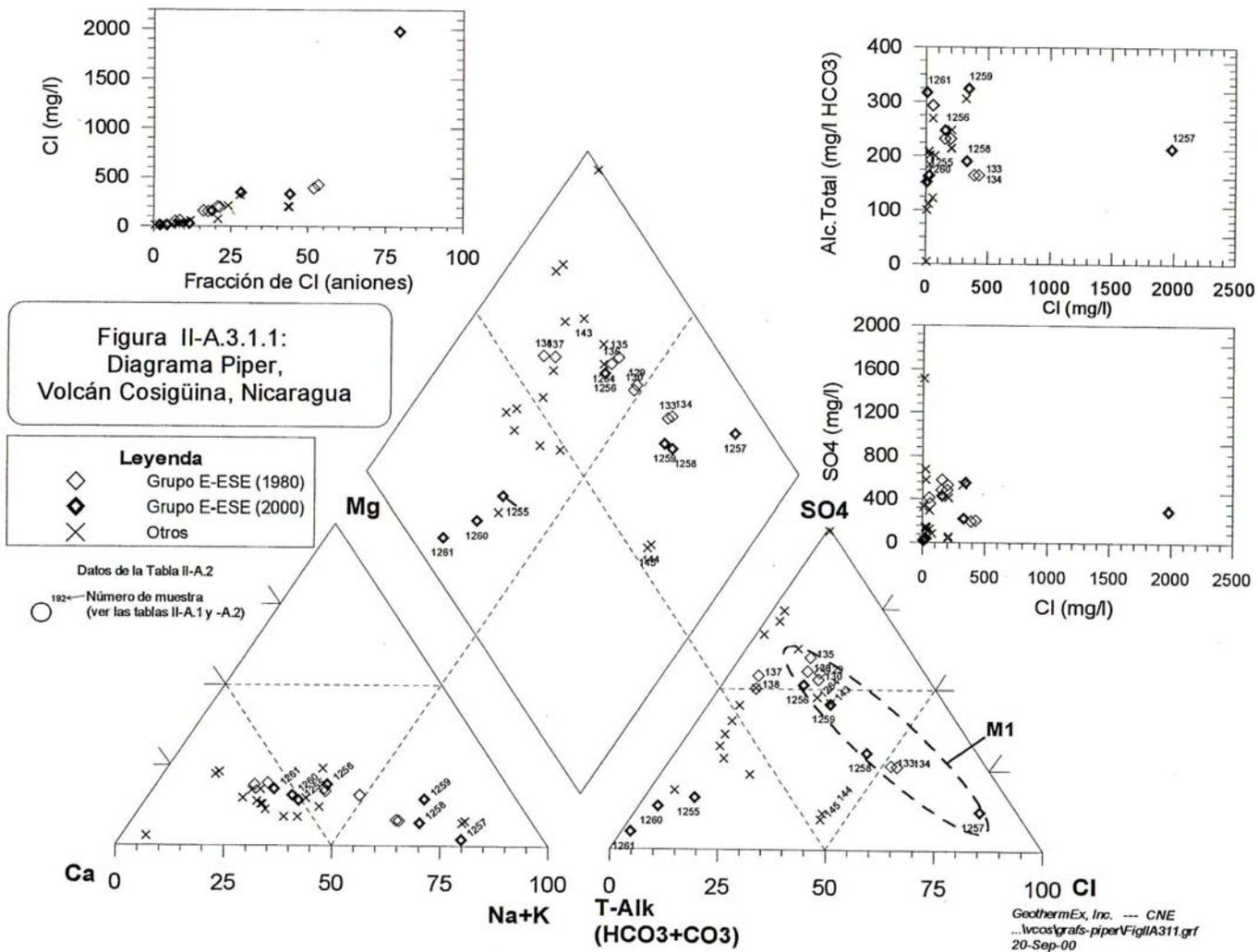
## **FIGURAS**

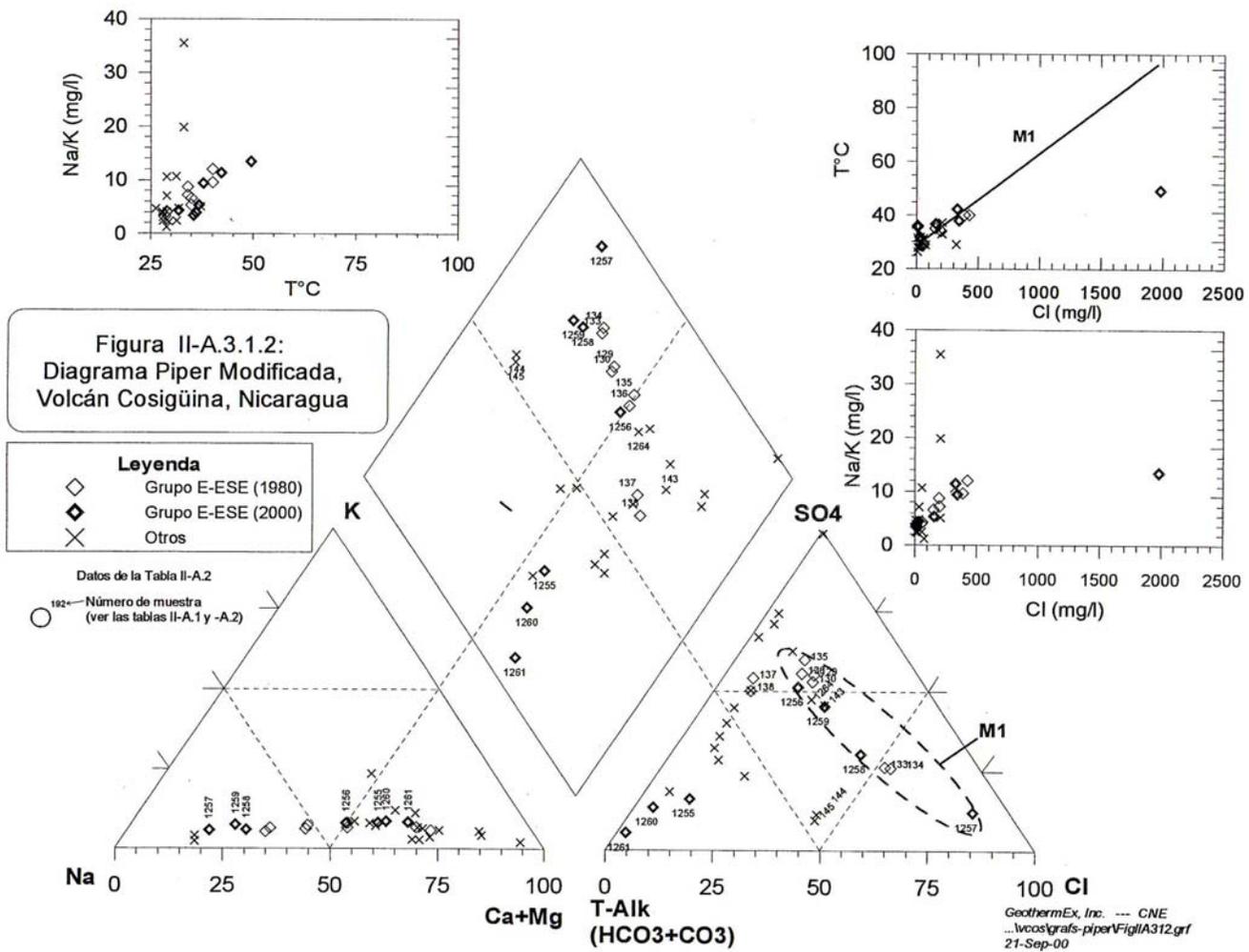


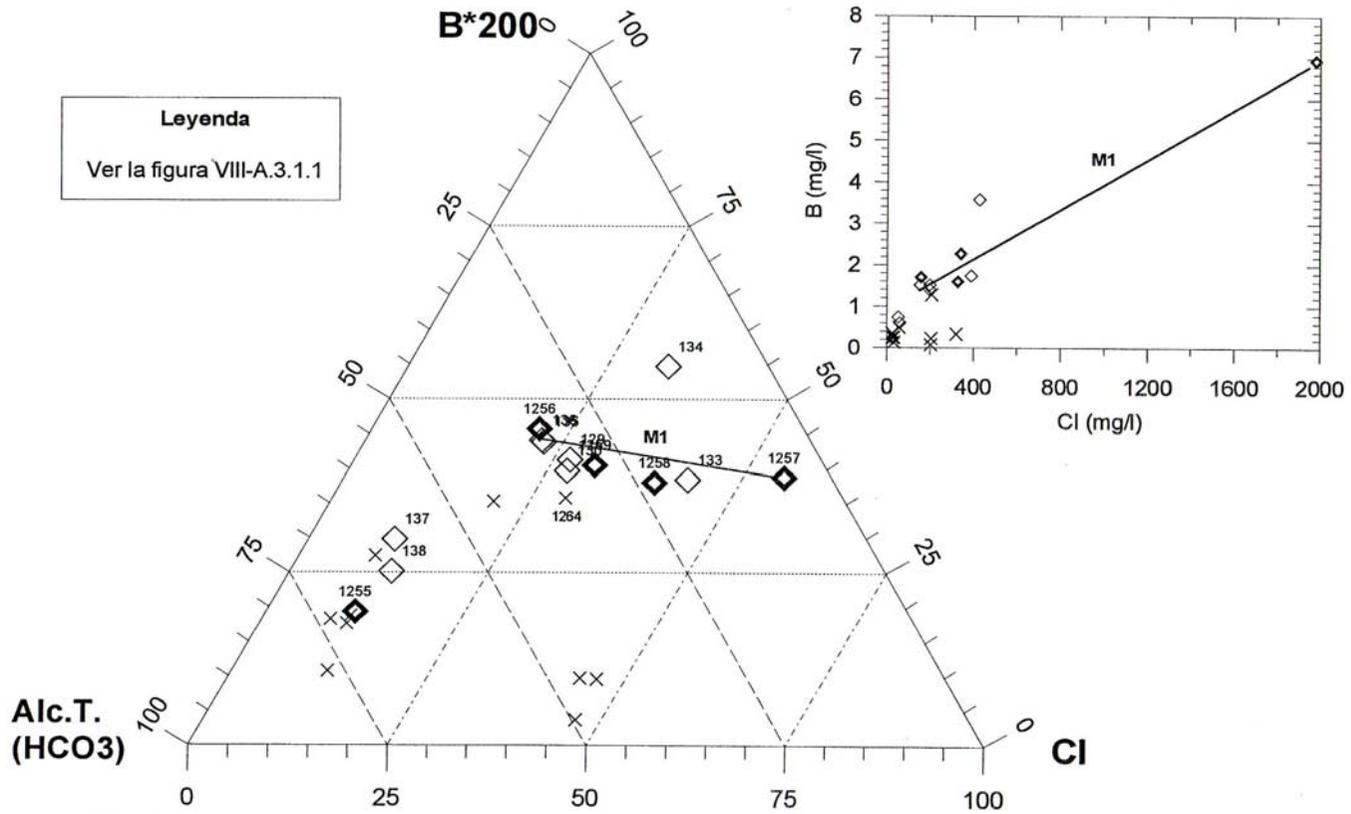
LEYENDA	
○ Pozo-sin especificarse	1378
● Pozo excavado	29°
⊙ Pozo perforado	74
♂ Manantial	120 lpm
🔥 Fumarola/solfatará	
🟢 Grupo E-ESE	
N/m de fila del archivo base de datos	Temperatura, °C
	mg/l de Cl
	Flujo, litros por minuto o por segundo

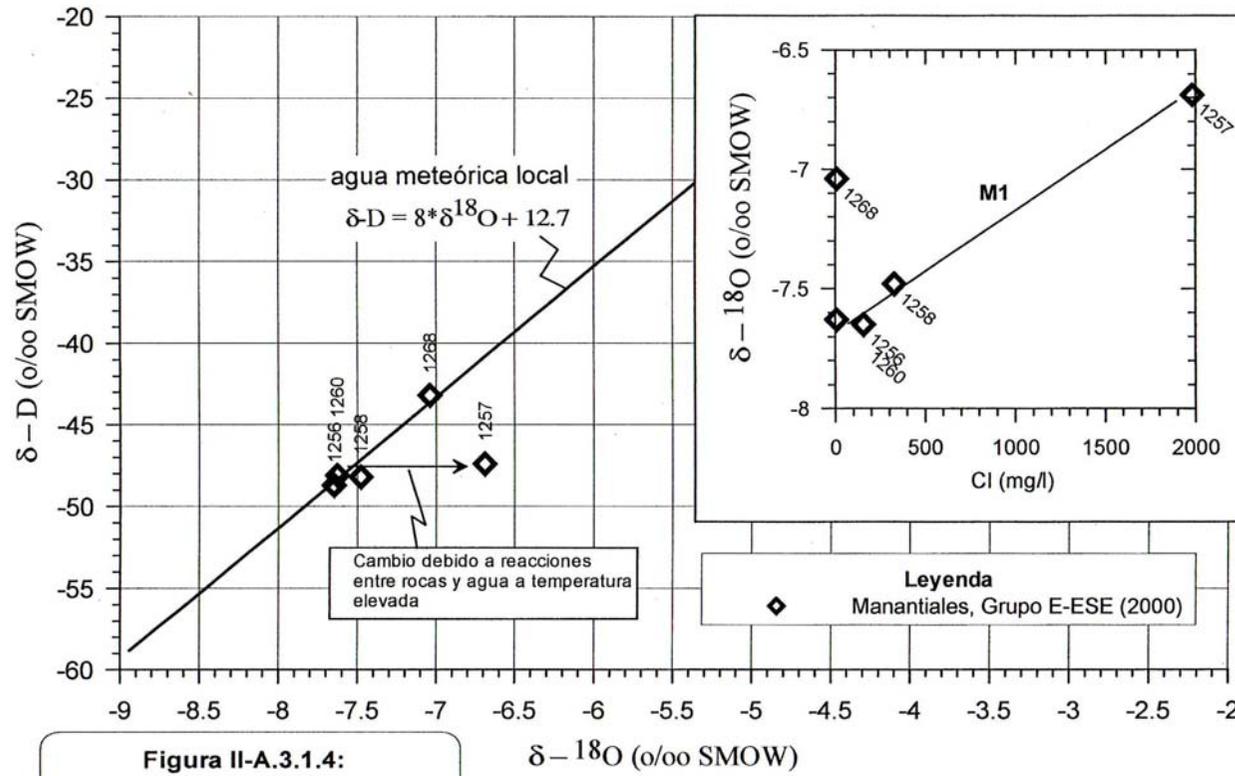
**Figura II-A.1: Mapa de ubicación de análisis químicos de fluido y puntos de datos de campo, Volcán Cosigüina, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: II-A.1.DWG	SCALE: 1 : 145000
GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 12OCT2001	DRAWN: RRS APP: CMK
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		REV: SEPOO/OCT00/FEB01	
TEL. (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL WWW.GEOTHERMEX.COM		PAGE SETUP: VCS05-1	

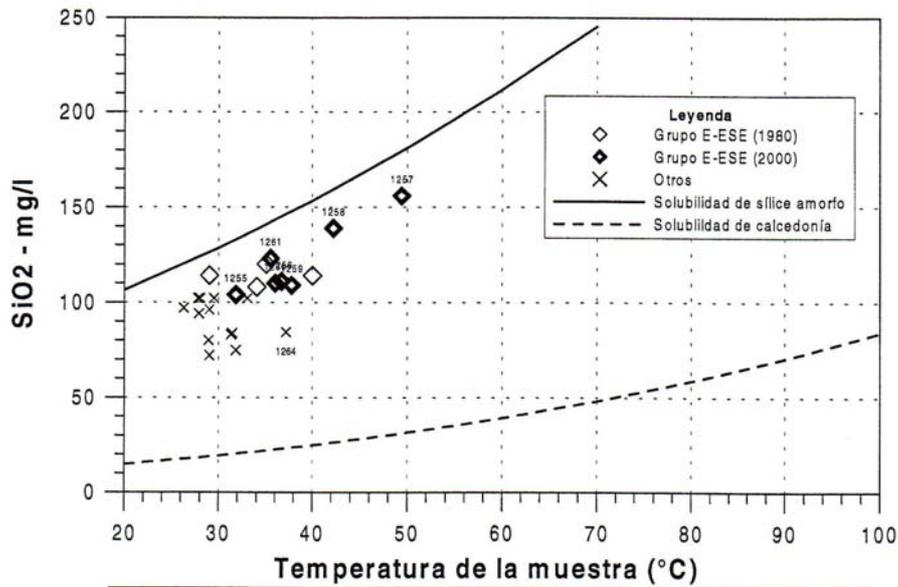






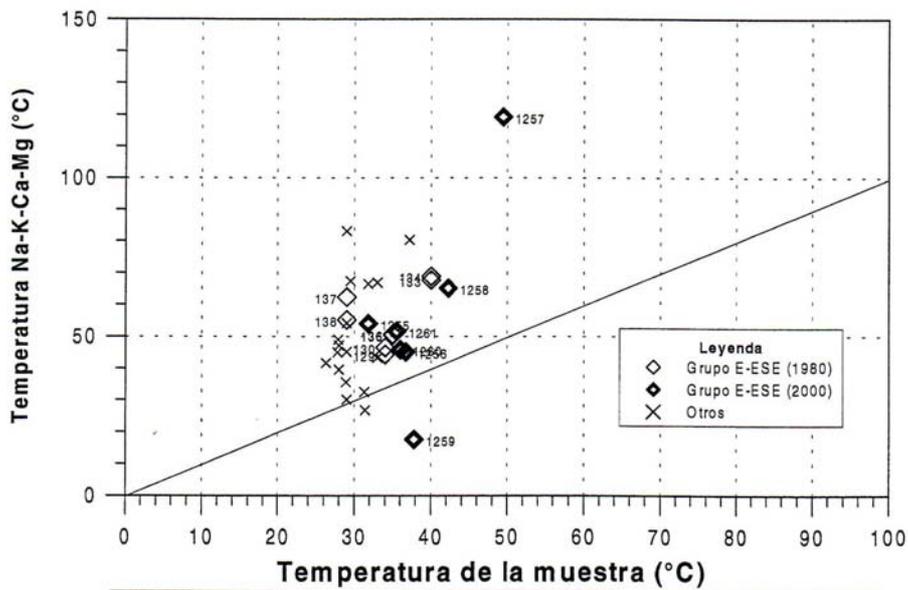


**Figura II-A.3.1.4:**  
**Isótopos estables,**  
**Volcán Cosigüina, Nicaragua**



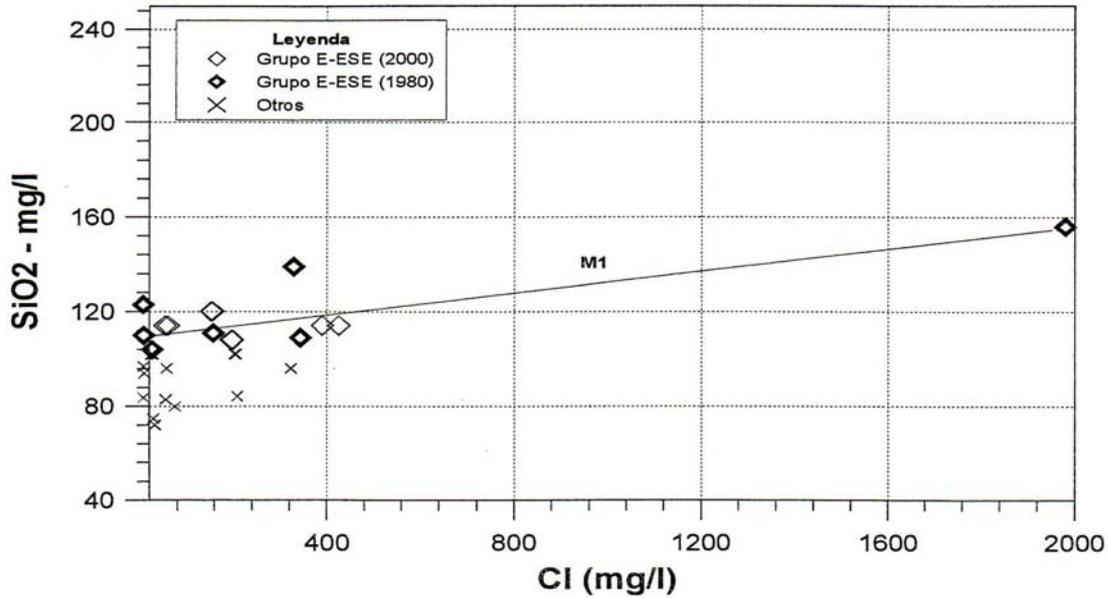
**Figura II-A.3.1.5: Sílice y temperatura, Volcán Cosigüina, Nicaragua**

Geotherm Ex. Inc. --- CNE  
 ...lvcosigrats-sio2...lvcos2 vs.T*.grf  
 21-Sep-00



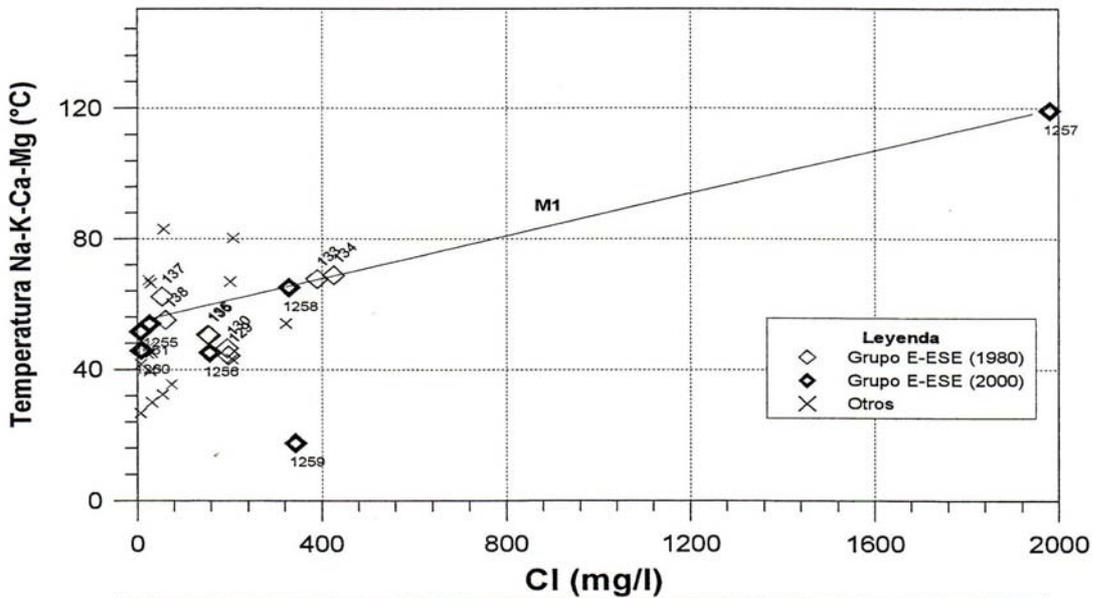
**Figura II-A.3.1.6: Temperatura Na-K-Ca-Mg y temperatura de la muestra, Volcán Cosigüina, Nicaragua**

Geotherm Ex. Inc. --- CNE  
 ...lvcosigrats-sio2...lvcos2 vs.T*.grf  
 20-Sep-00



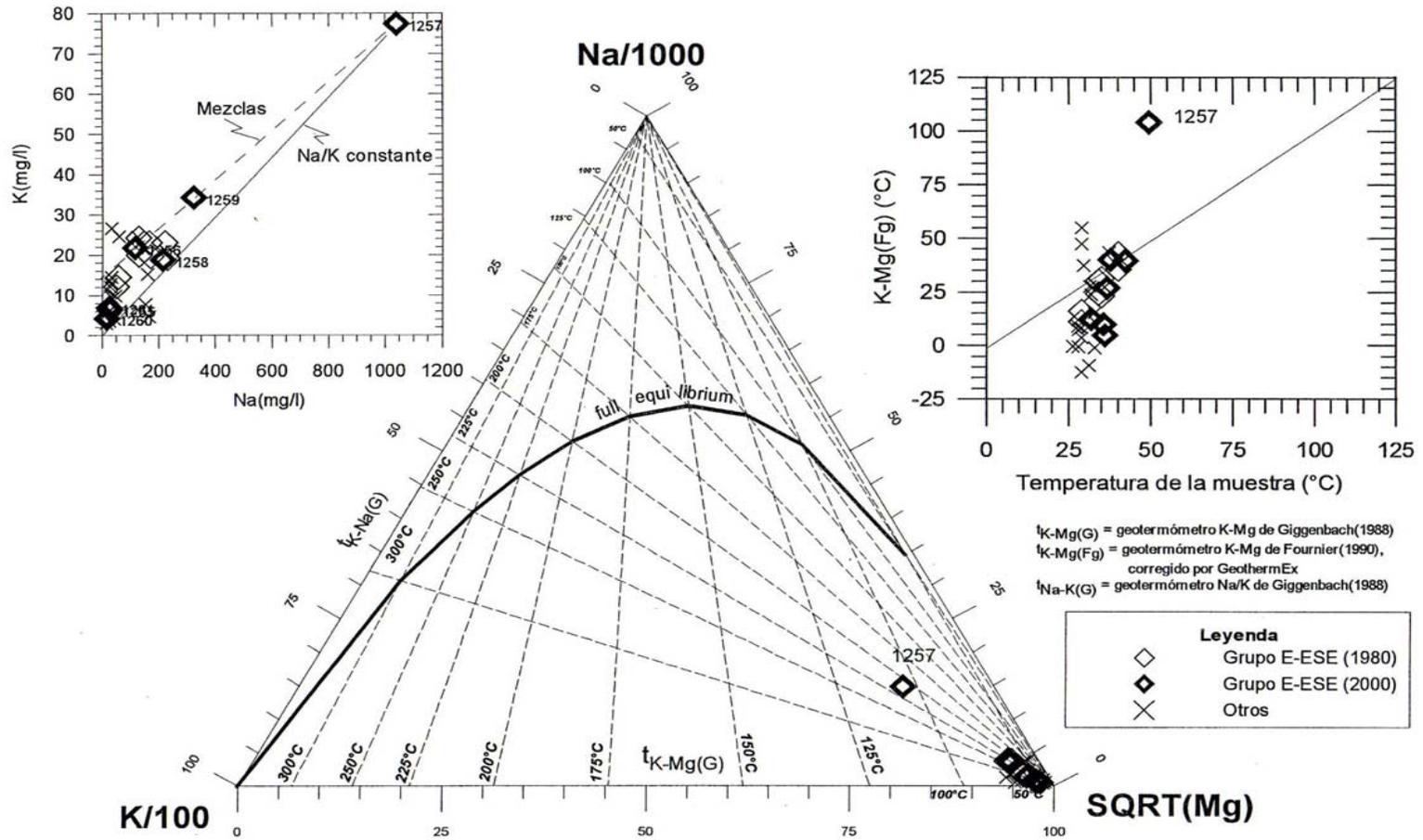
**Figura II-A.3.1.7: Sílice y cloruros, Volcán Cosigüina, Nicaragua**

GeothermEx, Inc. --- CNE  
 ...vcoos/grafs-sio2...sio2 vs cl*.grf  
 20-Sep-00



**Figura II-A.3.1.8: Temperatura Na-K-Ca-Mg y cloruros, Volcán Cosigüina, Nicaragua**

GeothermEx, Inc. --- CNE  
 ...vcoos/grafs-sio2...cafon1 vs. cl*.grf  
 20-Sep-00



**Figura II-A.3.1.9 :**  
**Los geotermómetros Na-K y K-Mg,**  
**Volcán Cosigüina, Nicaragua**

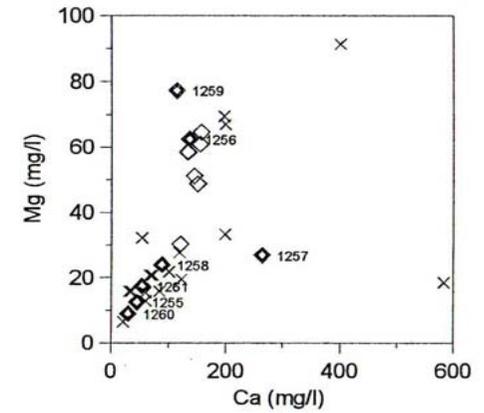
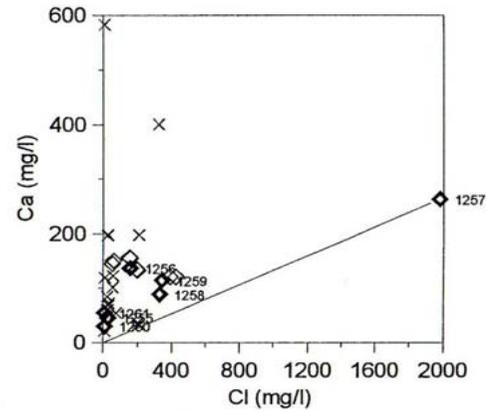
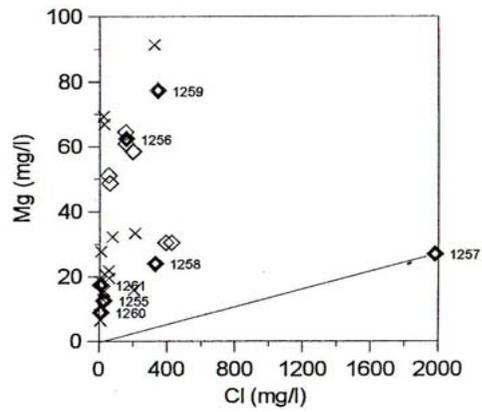
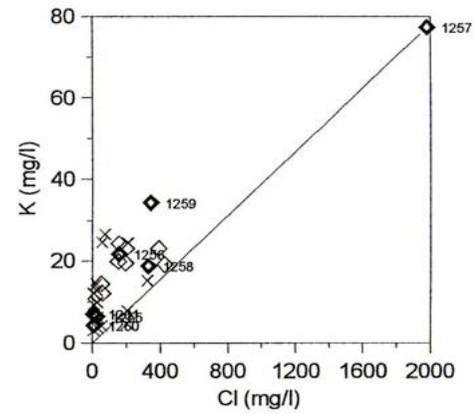
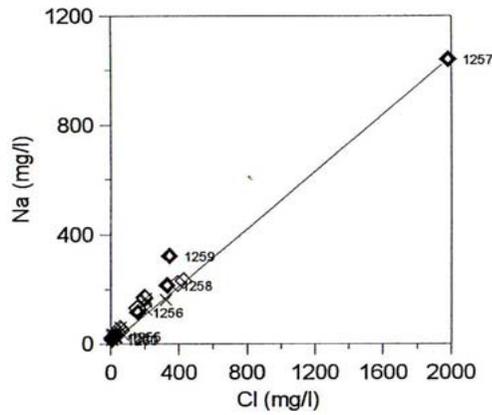
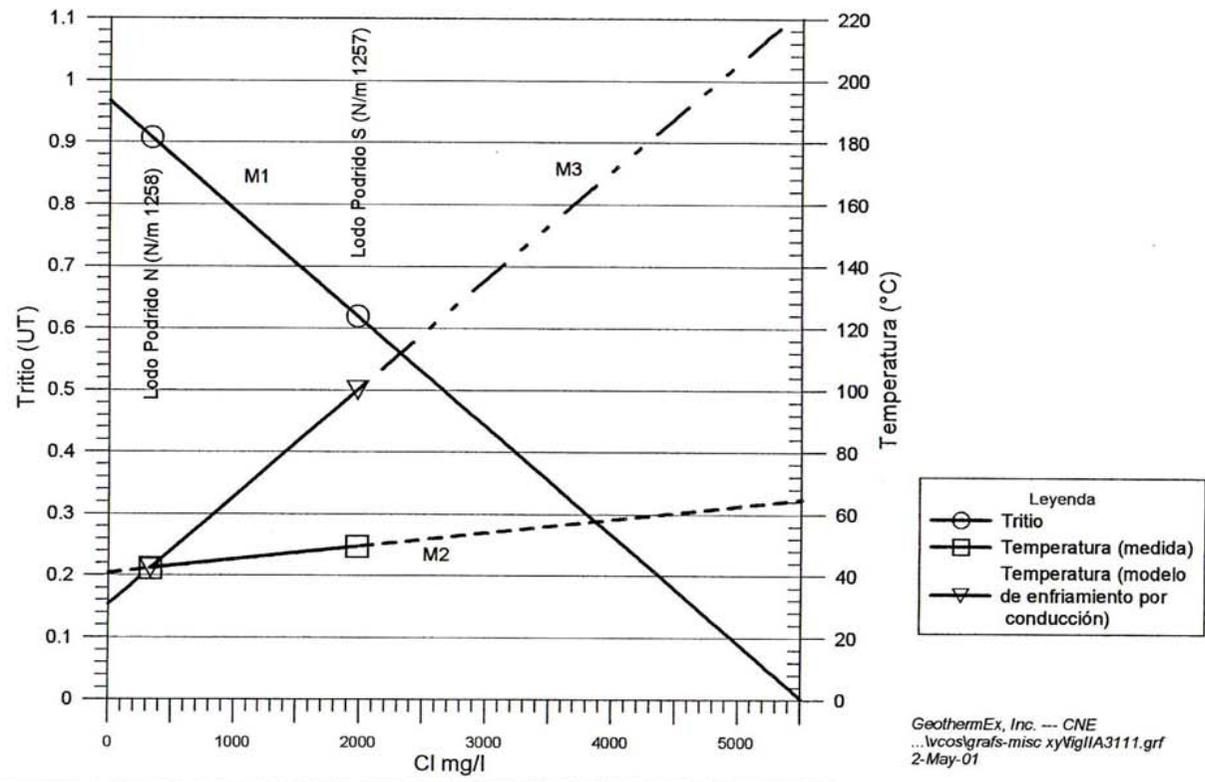


Figura II-A.3.1.10 : Correlaciones iónicas, Volcán Cosigüina



**Figura II-A.3.1.11: Modelo de mezcla, agua de manantiales de Lodo Podrido S y N**

GeothermEx, Inc. --- CNE  
 ...lvcos\grafs-misc xy\figIIA3111.grf  
 2-May-01



**LEYENDA**

- Pozo sin especificarse
- Pozo excavado
- ⊙ Pozo perforado
- ☞ Manantial
- ☞ Fumarola/solfatará
- ☞ Aguas mezcladas
- N/m de fila del archivo base de datos
- ☞ Flujo geotérmico Na-Cl
- ☞ Flujo incierto o menor

**Ca-HCO₃-SO₄** Composición de agua subterránea somera a base de concentración por peso de iones mayores



## ILUSTRACIONES

### Tablas

- II-B.1 Muestras de roca recolectadas en el área de Cosigüina
- II-B.2 Resumen de análisis petrográfico de rocas, área de Cosigüina I
- II-B.3 Análisis químicos de los productos del Volcán Cosigüina

### Figuras

- II-B.1 Muestra Cos-1 -Microfotografía, ampliación 50X
- II-B.2 Muestra Cos-3 - Microfotografía, ampliación 50X
- II-B.3 Muestra Cos-5 - Microfotografía, ampliación 50X
- II-B.4 Muestra Cos-6 - Microfotografía, ampliación 50X
- II-B.5 Muestra Cos-7 - Microfotografía, ampliación 50X
- II-B.6 Muestra Cos-8 - Microfotografía, ampliación 50X
- II-B.7 Muestra Cos-10 - Microfotografía, ampliación 50X
- II-B.8 Muestra Cos-12 - Microfotografía, ampliación 50X



## ANEXO B: ANALISIS PETROGRAFICO DE ROCAS

### B.1 Introducción

Se seleccionaron para análisis petrográfico 8 de las muestras de rocas volcánicas recolectadas en el área de Cosigüina. (ver la Tabla II-B.1 y el mapa Figura II-3.5). De cada muestra se preparó una lámina delgada, la cual se analizó utilizando un microscopio petrográfico. La clasificación de la roca, su textura, los contenidos de los varios minerales, la intensidad de alteración, y la ocurrencia de los minerales secundarios fueron descritos por medio de este análisis (ver la Tabla II-B.2) En la Tabla II-B.3 se presenta una recopilación de análisis químicos de los productos de Volcán Cosigüina, obtenido de varios estudios anteriores (ver la lista de referencias en el capítulo 10 del volumen II del Estudio Plan Maestro).

### B.2 Descripción de Muestras

#### **Muestra Cos-1 (ver Figura II-B.1)**

Tipo de Roca: Andesita con clinopiroxeno, muy vesicular

Fenocristales: Constituyen aproximadamente el 15% de la roca y se componen por: plagioclasa, clinopiroxeno, olivino (raro), minerales opacos

Plagioclasa: 0.5 mm a 2.0 mm de longitud, euهدral, estructura prismática, macla tipo albita y carlsbad, parcialmente zonada

Clinopiroxeno: 0.3 mm a 0.5 mm de longitud, subهدral a euهدral, estructura prismática

Olivino: 0.3 mm a 0.5 mm de longitud, euهدral, forma de perno

Minerales Opacos: 0.1 mm a 0.3 mm de longitud, subهدral a euهدral

Pasta: Textura hialopilitica, con vidrio, plagioclasa, y escasos minerales opacos



**Muestra Cos-3 (ver Figura II-B.2)**

Tipo de Roca: Andesita con clinopiroxeno, vesicular

Fenocristales: Constituyen aproximadamente el 20% de la roca y se componen por: plagioclasa, clinopyroxeno, minerales opacos

Plagioclasa: 0.2 mm a 1.5 mm de longitud, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita, albita-carlsbad y carlsbad

Clinopiroxeno: 0.1 mm a 0.3 mm de longitud, subhedral a euhedral, estructura prismática

Minerales opacos: 0.3 mm (máximo) de longitud, subhedral a euhedral

Pasta: Textura hialopilítica, con vidrio, plagioclasa, y escasos minerales opacos

**Muestra Cos-5 (ver Figura II-B.3)**

Tipo de Roca: Basalto-andesita con dos piroxenos, muy vesicular

Fenocristales: Constituyen aproximadamente el 40% de la roca y se componen por: plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno, olivino y minerales opacos

Plagioclasa: 0.2 mm a 2.0 mm de longitud, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita y carlsbad, parcialmente zonada

Ortopiroxeno: Máximo de 1.0 mm (aproximado) de longitud, subhedral a euhedral, estructura prismática, anillos de reacción de clinopiroxeno

Clinopiroxeno: 0.2 mm a 1.0 mm de longitud, subhedral a euhedral, estructura prismática



TELEFONO:(505) 222-5576

FAX: (505) 222-4629

[www.cne.gob.ni](http://www.cne.gob.ni)

Olivino: Máximo de 0.3 mm (aproximado) de longitud, euhedral, forma de perno

Minerales opacos: 0.1 mm a 1.0 mm de longitud, subhedral a euhedral

Pasta: Textura intersertal, con vidrio, plagioclasa y clinopiroxeno

#### **Muestra Cos-6 (ver Figura II-B.4)**

Tipo de Roca: Lapilli o Pómez, muy vesicular, de color gris oscuro a gris-café

Lapilli: Longitud de 2.0 mm a 20 mm aproximado; incluye una pequeña cantidad de feldespato (longitud 0.1 mm a 0.3 mm, euhedral, estructura prismática) o plagioclasa de forma tabular metido en una pasta de vidrio alterado de color café

#### **Muestra Cos-7 (ver Figura II-B.5)**

Tipo de Roca: Lapilli o pómez, muy vesicular, de café clara a gris-café

Lapilli: Longitud de 5.0 mm a 25 mm aproximado; incluye una pequeña cantidad de feldespato (0.1 mm a 0.3 mm de longitud, euhedral, estructura prismática), plagioclasa de forma tabular y clinopiroxeno (muy raro, longitud máxima de 0.2 mm aproximado, euhedral, estructura prismática) metidos en una pasta de vidrio alterado de color café

#### **Muestra Cos-8 (ver Figura II-B.6)**

Tipo de Roca: Basalto con olivino y clinopiroxeno, ligeramente alterado

Fenocristales: Constituyen aproximadamente el 40% de la roca y se componen por: plagioclasa, clinopiroxeno, olivino y minerales opacos



- Plagioclasa: 0.2 mm a 1.5 mm de longitud, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita, albita-carlsbad y carlsbad, parcialmente zonada
- Clinopiroxeno: 0.2 mm a 2.0 mm de longitud, subhedral a euhedral, estructura prismática
- Olivino: Longitud máxima de 0.5 mm aproximado, euhedral
- Minerales opacos: 0.1 mm a 0.5 mm de longitud, subhedral a euhedral, forma corroída o de perno

Pasta: Textura intergranular y parcialmente intersertal: plagioclasa microcristalina a criptocristalina, clinopiroxeno y minerales opacos.

### **Muestra Cos-10 (ver Figura II-B.7)**

Tipo de Roca: Andesita con dos piroxenos

Fenocristales: Constituyen aproximadamente el 35% de la roca y se componen por: plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y minerales opacos

- Plagioclasa: 0.1 mm a 1.5 mm de longitud, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita, parcialmente zonada
- Ortopiroxeno: 0.3 mm a 1.5 mm de longitud, subhedral a euhedral, estructura prismática
- Clinopiroxeno: 0.2 mm a 0.5 mm de longitud, subhedral a euhedral, estructura prismática
- Minerales opacos: 0.1 mm a 1.0 mm de longitud, subhedral a euhedral

Pasta: Textura intersertal: plagioclasa microcristalina a criptocristalina, otro material criptocristalino, clinopiroxeno y minerales opacos.



**Muestra Cos-12 (ver Figura II-B.8)**

Tipo de Roca: Andesita con clinopiroxeno

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

Plagioclasa: 0.2 mm a 2.0 mm de longitud, euهدral, estructura prismática, macla tipo albita, albita-carlsbad y carlsbad, parcialmente zonada, con algunos fenocristales glomeroporfíricos

Clinopiroxeno: 0.2 mm 0.5 mm de longitud, subهدral a euهدral, estructura prismática

Minerales opacos: 0.1 mm 0.5 mm de longitud, subهدral a euهدral

Pasta: Textura intersertal, microcristalino a criptocristalino, con débiles texturas de flujo; contiene plagioclasa, material criptocristalino y minerales opacos

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

**Tabla II-B.1: Muestras de Roca Recolectadas en el Area de Cosigüina**

Muestra	Fecha de Muestreo	Localización (UTM)			Descripción de la Muestra ⁽¹⁾	Comentarios
		Norte (m)	Este (m)	Descripción		
Cos-1	11 Apr 00	1440420	440330	Orilla norte, El Barranco	Bomba de lava negra, anillo de El Barranco. Andesita con clinoprioxeno (ver Tabla II-B.2)	
Cos-3	12 Apr 00	1435030	439730	Lado E del interior del cráter, 3-4 m abajo de la cima	Lava porfirica oscura con xenolitos, en aglomerado por la orilla del cráter. Andesita con clinoprioxeno (ver Tabla II-B.2)	Puede ser de la erupción de 1835, o más vieja
Cos-4	12 Apr 00	1435740	439805	Lado NE afuera del cráter, 3-5 m abajo de la cima	Lava dura, suelta afuera del cráter	Roca probablemente lanzada por el cráter; etapa de actividad incierta
Cos-5	12 Apr 00	1434785	442070	Quebrada en el flanco E del volcán	Lava porfirica masiva, en afloramiento. Andesita con dos piroxenos (ver Tabla II-B.2)	Puede ser de la erupción de 1835, o más vieja
Cos-6	21 Jun 00	1432450	426900	Quebrada "Tiguacatal" ("El Pozo"), costa NO	Lapilli dentro de secuencia de depósitos piroclásticos. Pómez (ver Tabla II-B.2)	Aprox. 11ª unidad más vieja expuesta; probablemente es depósito del complejo Cresta Montosa
Cos-7	21 Jun 00	1432450	426900	Quebrada "Tiguacatal" ("El Pozo"), costa NO	Lapilli dentro de secuencia de depósitos piroclásticos. Pómez (ver Tabla II-B.2)	Aprox. 7ª unidad más vieja expuesta; probablemente es depósito del complejo Cresta Montosa
Cos-8	21 Jun 00	1425600	431600	Camino principal en Loma Ojo de Agua, al S de Apascali	Lava dura, densa y de grano fino. Basalto con olivino y piroxeno (ver Tabla II-B.2)	Lava expuesta en el camino; aparentemente parte del domo de Loma Ojo de Agua
Cos-9	21 Jun 00	1421600	436800	Camino principal, al O de El Rodeo	Lava moderadamente alterada, en depósito tipo lahar o "debris flow"	"Debris flow" puede ser parte del complejo de Loma El Ojochito - Loma La Tigra
Cos-10	21 Jun 00	1423100	439550	Flanco SE de Loma El Ternero, cerca de La Pradera	Lava de lahar o "debris flow". Andesita con dos piroxenos (ver Tabla II-B.2)	Probablemente es del mismo complejo como Cos-9
Cos-11	21 Jun 00	1431500	445600	Pequeña pedrera cerca del camino principal, La Piscina	Lava porfirica, de una colada masiva y densa	Parte del complejo de Loma San Juan - Filete el Yanke
Cos-12	21 Jun 00	1433100	446500	Arriba de manantial cerca del camino principal, La Almendra	Lava de color gris, ligeramente porfirica, de una colada de espesor 1.5 m. Andesita con clinopiroxeno (ver Tabla II-B.2).	Parte del complejo de Loma San Juan - Filete el Yanke

(1): La descripción de la muestra incluye el análisis petrográfico si existe (ver la Tabla II-B.2). Si no, es descripción del campo solamente.

**Tabla II-B.2. Resumen de Análisis Petrográfico de Rocas, Area de Cosigüina**

Muestra	Tipo de Roca	Lavas y Rocas Intrusivas																				Textura	Textura del Groundmass (Pasta)
		Fenocristales										Groundmass (Pasta)											
		Qz	K	Pl	Bi	Ho	OI	Cp	Op	Ox	Qz	K	Pl	Bi	Ho	OI	Cp	Op	Ox	V			
Cos-1	Andesita con clinopiroxeno			⊕			o	O		Δ			O					Δ	O	Ves, Por	Hial		
Cos-3	Andesita con clinopiroxeno			O				Δ		O			O					Δ	O	Ves, Por	Hial		
Cos-5	Andesita con dos piroxenos			⊕			o	O	Δ	O			⊕			Δ		O	O	Ves, Por	Ints		
Cos-6	Pómez																			Pyr			
Cos-7	Pómez																			Pyr			
Cos-8	Basalto con olivino y piroxeno			⊕			Δ	O		O			⊕			O		O		Por	Intg		
Cos-10	Andesita con dos piroxenos			⊕				O	Δ	O			⊕			o		O	O	Por	Ints		
Cos-12	Andesita con clinopiroxeno			⊕				O		O			⊕					O		Por	Ints		

**Minerales**

Qz = Cuarzo

K = Feldespato de potasio

Pl = Plagioclasa

Bi = Biotita

Ho = Hornblenda

OI = Olivino

Cp = Clinopiroxeno

Op = Orthopiroxeno

Ox = Oxidos de hierro opacos

V = Vidrio

**Abundancia**

o = Raro

Δ = Pocos

O = Común

⊕ = Abundante

**Texturas**

Hial = Hialopilitico

Intg = Intergranular

Ints = Intersertal

Ofi = Ofitico

Pilo = Pilotaxítico

Por = Porfírico

Pyr = Piroclástico

Ves = Vesicular

**Tabla II-B.2. Resumen de Análisis Petrográfico de Rocas, Area de Cosigüina**

Muestra	Tipo de Roca	Rocas Piroclásticas y Sedimentarias																	
		Tipo	Tamaño (mm)	Clastos Mayores										Matriz					
				Qz	K	Pl	Bi	Ho	Ol	Cp	Op	Ox	Qz	Si	Fd	Ox	V		
Cos-1	Andesita con clinopiroxeno																		
Cos-3	Andesita con clinopiroxeno																		
Cos-5	Andesita con dos piroxenos																		
Cos-6	Pómez	Lapilli	2 a 20 mm			O													⊕
Cos-7	Pómez	Lapilli	5 a 25 mm			O													⊕
Cos-8	Basalto con olivino y piroxeno																		
Cos-10	Andesita con dos piroxenos																		
Cos-12	Andesita con clinopiroxeno																		

Minerales

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

Abundancia

Ol = Olivino  
 Cp = Clinopiroxeno  
 Op = Orthopiroxeno  
 Ox = Oxidos de hierro opacos  
 Si = Minerales de sílice  
 o = Raro  
 Δ = Pocos  
 0 = Común  
 ⊕ = Abundante

Fd = Feldespato  
 V = Vidrio

**Tabla II-B.3. Análisis Químicos de los Productos del Volcán Cosigüina**

Muestra	WCVA	O110	O111	O112	O113	H1	H2	H3	H4	SCOS3	SCOS9A	SCOS5
SiO ₂	58.84	52.55	56.74	56.07	57.60	56.51	55.36	59.97	58.38	59.00	58.90	57.80
TiO ₂	0.69	0.82	1.04	0.69	1.01	0.80	0.70	0.82	0.76	0.72	0.71	0.70
Al ₂ O ₃	17.76	20.63	16.93	20.14	17.21	17.22	19.78	16.47	17.08	18.50	18.50	19.00
Fe ₂ O ₃	2.05	3.38	4.97	2.19	3.03							
FeO	5.48	5.31	4.68	4.94	6.03							
FeO+Fe ₂ O ₃						7.74	7.72	8.32	7.73	7.16	7.13	7.11
MnO	0.23	0.16	0.23	0.17	0.21	0.16	0.16	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15
MgO	2.31	3.31	2.83	2.50	2.45	2.55	2.73	2.66	2.24	2.18	2.20	2.32
CaO	6.82	9.54	6.75	8.14	6.38	7.63	6.68	7.29	7.06	7.56	7.60	8.07
Na ₂ O	3.86	2.83	3.68	3.58	3.93	3.60	7.03	3.58	3.58	3.82	3.88	3.69
K ₂ O	1.18	0.75	1.22	0.89	1.47	1.21	1.22	1.22	1.25	1.30	1.27	1.17
P ₂ O ₅	0.05	0.12	0.19	0.14	0.21	0.11	0.11	0.11	0.10	0.28	0.22	0.21
H ₂ O+	0.26	0.59	0.75	0.55	0.47					0.10	0.10	0.15
H ₂ O-	0.19											
						0.01	0.12	0.01	0.01			
						0.04	1.01	0.04	0.04			
<b>Total</b>	99.72	99.99	100.01	100.00	100.00	97.58(a)	102.62(b)	100.67(c)	98.40	100.78	100.67	100.37

WCVA = Bomba de la erupción de 1835, flanco norte (Williams, 1952)

O110 = Andesita basáltica cumulítica, flanco norte (OLADE, 1981)

O111 = Andesita, flanco norte (OLADE, 1981)

O112 = Andesita cumulítica, flanco norte (OLADE, 1981)

O113 = Andesita, flanco norte (OLADE, 1981)

H1 = Brecha residual co-ignimbérica, 1 km al E del cráter (Hradecky, 1988) (a: reportó total de 97.36%)

H2 = Toba fina de flujo de ceniza, farallones en la costa al O del cráter (Hradecky, 1988) (b: reportó total de 95.12%)

H3 = Toba fina de con lapilli de acreción, flanco sur (Hradecky, 1988) (c: reportó total de 95.43%)

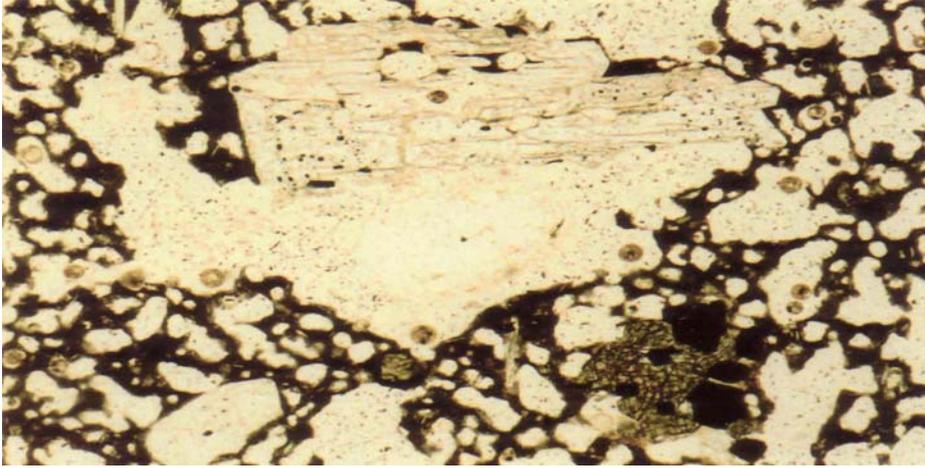
H4 = Brecha residual co-ignimbérica, borde E del cráter (Hradecky, 1988)

SCOS3 = Lava de la erupción de 1835, cima del cono (Self *et al.*, 1989)

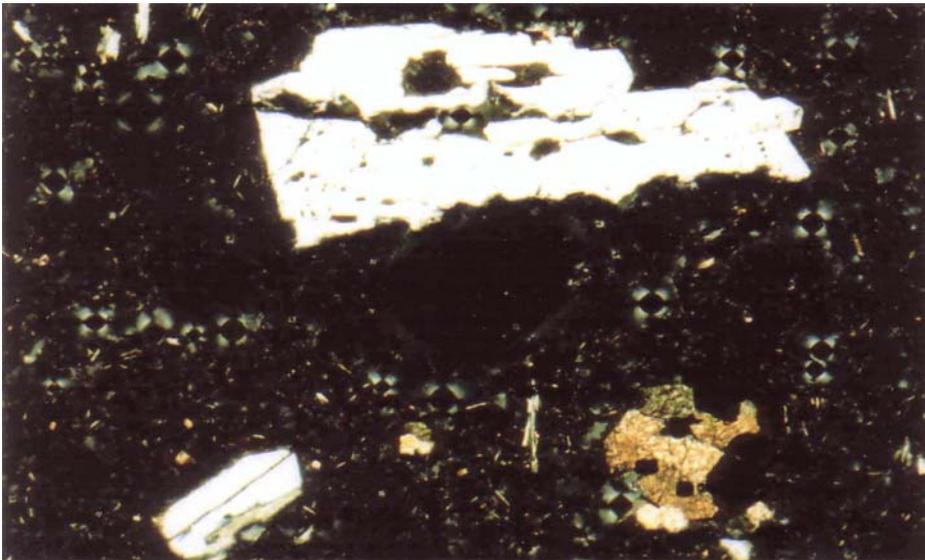
SCOS9A = Scoria densa de la erupción de 1835, flanco este (Self *et al.*, 1989)

SCOS5 = Scoria de la erupción de 1835

## **FIGURAS**

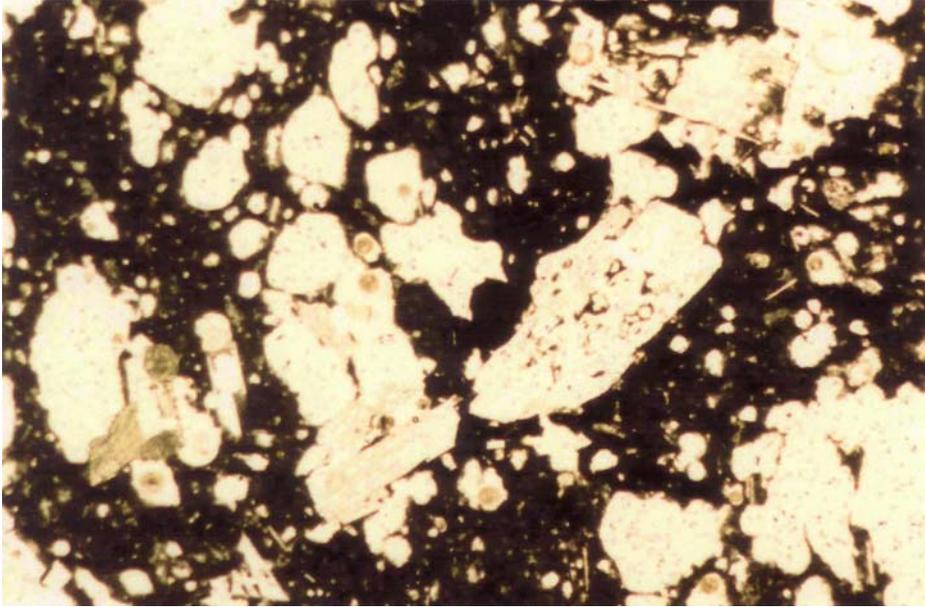


**Luz normal**

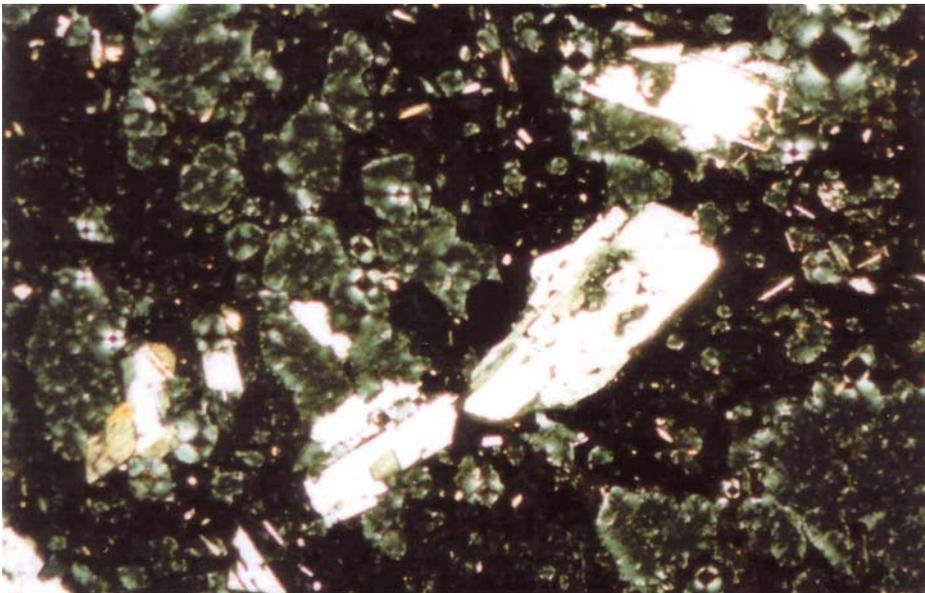


**Nicols cruzados**

**FIGURA II-B.1: Muestra Cos-1 – Microfotografía, ampliación 50X**

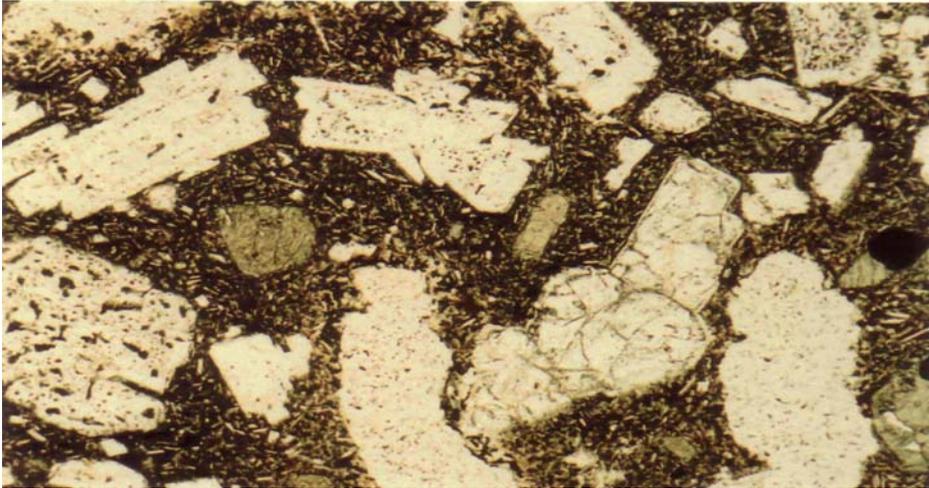


**Luz normal**

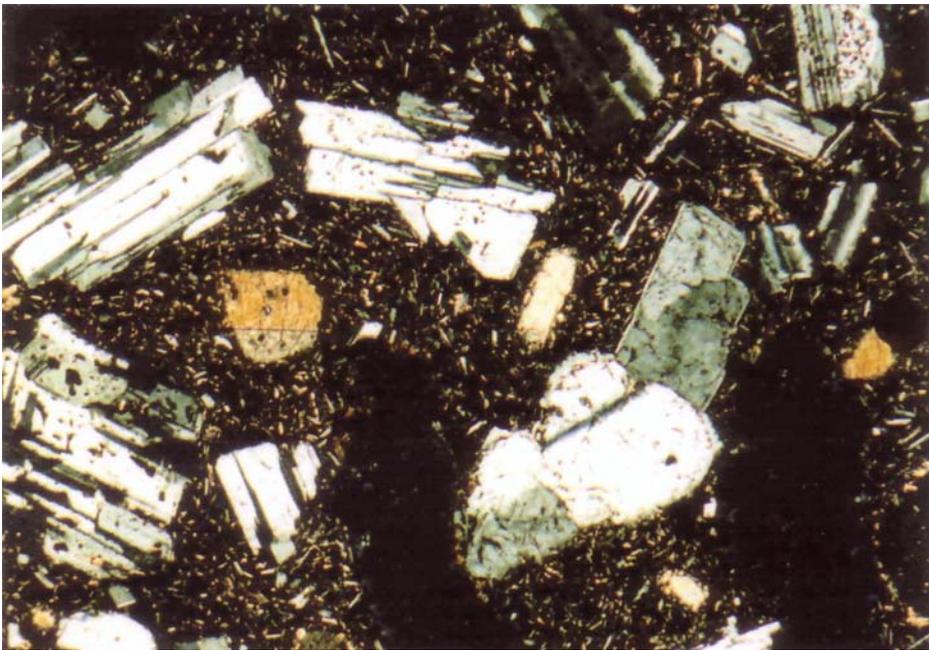


**Nicols cruzados**

**FIGURA II-B.2: Muestra Cos-3 – Microfotografía, ampliación 50X**

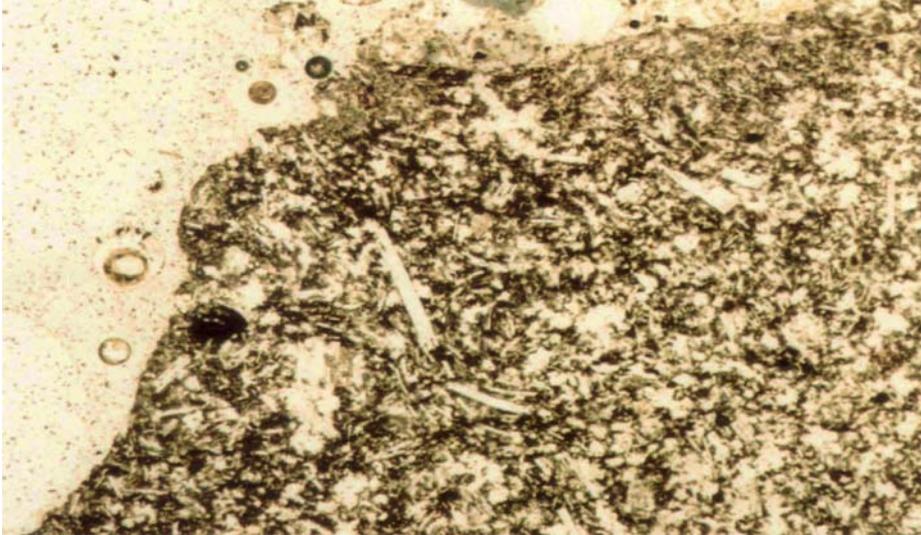


**Luz normal**

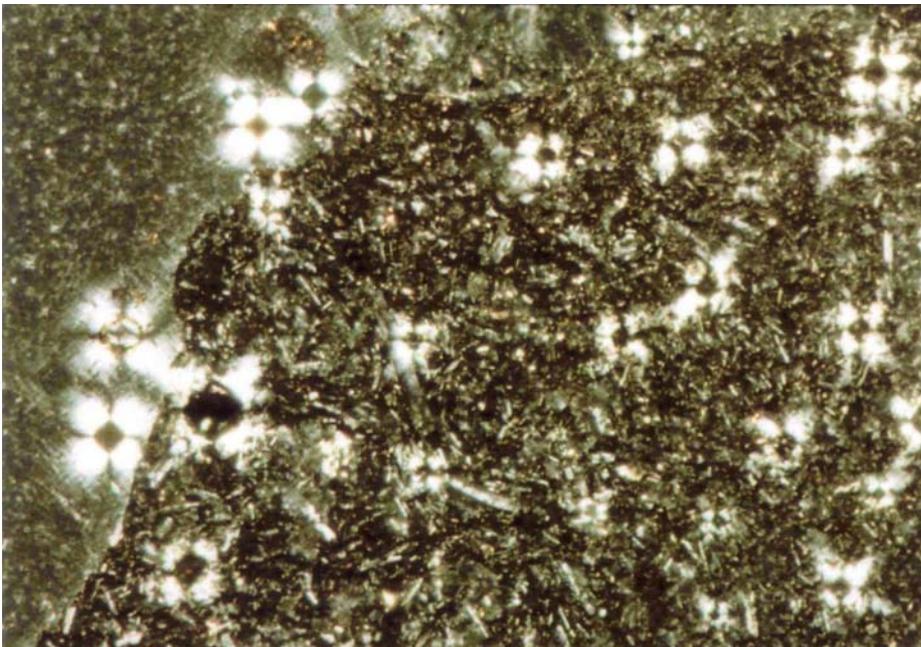


**Nicols cruzados**

**FIGURA II-B.3 Muestra Cos-5– Microfotografía, ampliación 50X**

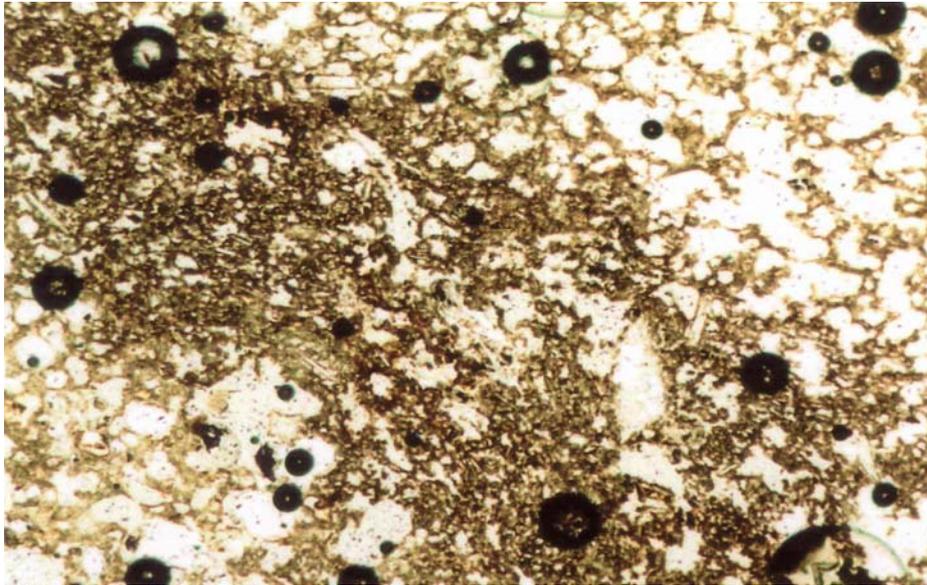


**Luz normal**

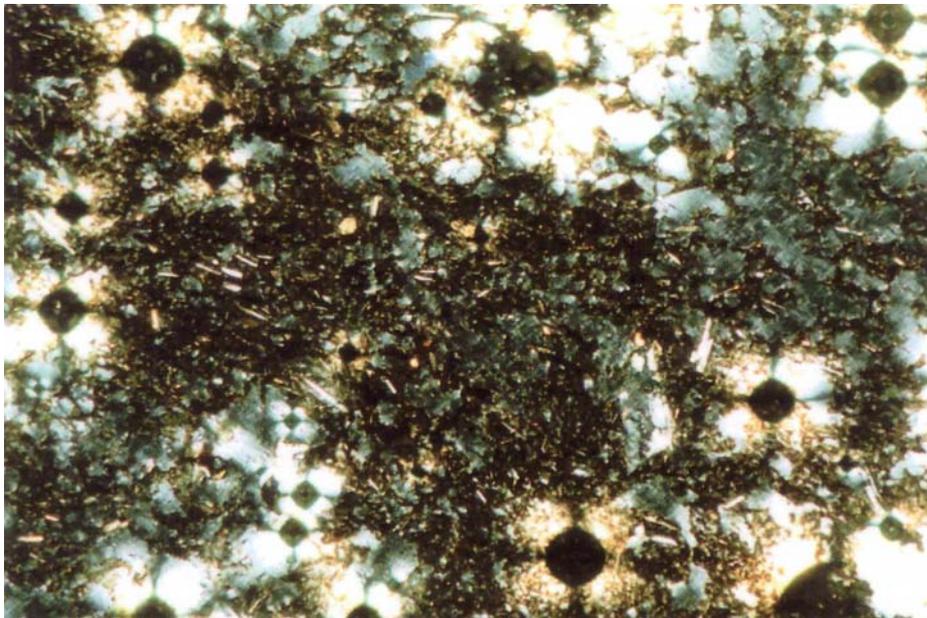


**Nicols cruzados**

**FIGURA II-B.4 Muestra Cos-6– Microfotografía, ampliación 50X**

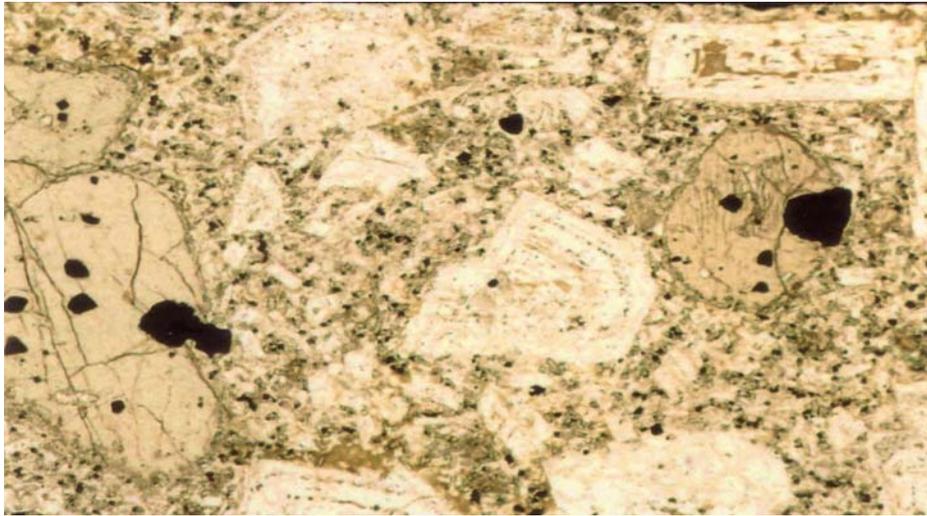


**Luz normal**



**Nicols cruzados**

**FIGURA II-B.5 Muestra Cos-7– Microfotografía, ampliación 50X**



**Luz normal**



**Nicols cruzados**

**FIGURA II-B.6 Muestra Cos-8– Microfotografía, ampliación 50X**



**Luz normal**

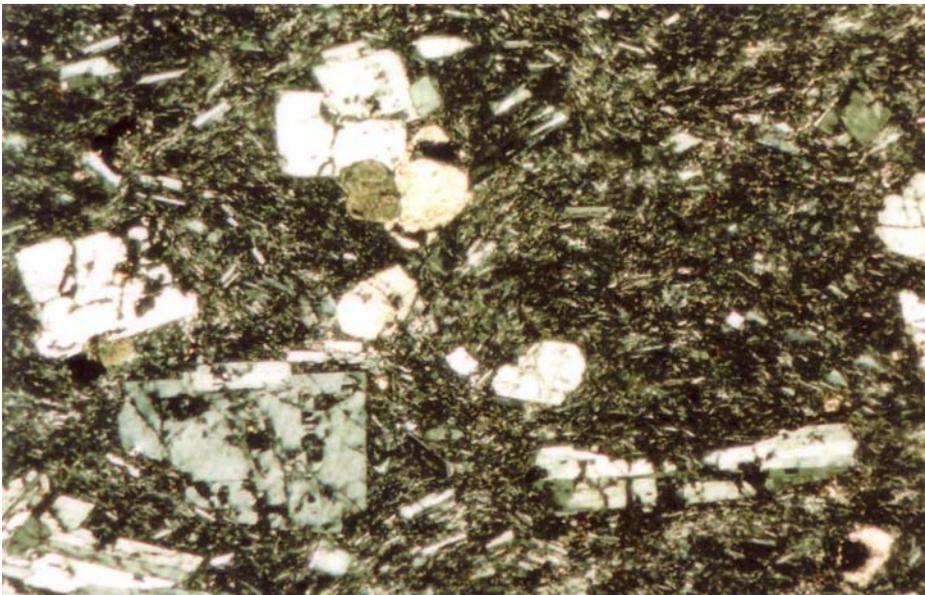


**Nicols cruzados**

**FIGURA II-B.7 Muestra Cos-10 Microfotografía, ampliación 50X**



**Luz normal**



**Nicols cruzados**

**FIGURA II-B.8 Muestra Cos-12– Microfotografía, ampliación 50X**