



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

---

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

**PLAN MAESTRO GEOTÉRMICO DE  
NICARAGUA**

**Volumen V**

**EVALUACIÓN DEL AREA DE SAN JACINTO - TIZATE**

**OCTUBRE DE 2001**



## CONTENIDO

<b>ILUSTRACIONES</b> .....	6
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	9
<b>1. DESCRIPCION DEL AREA</b> .....	19
1.1 LOCALIZACIÓN .....	19
1.2 EXTENSIÓN DEL ÁREA .....	20
1.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS .....	20
<b>2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE</b> .....	23
2.1 CONCESIONES .....	23
2.2 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN .....	24
2.2.1 <i>Estudios Existentes</i> .....	24
2.2.2 <i>Estudios del Plan Maestro-2000</i> .....	33
2.3 PERFORACIÓN DE EXPLORACIÓN Y DE DESARROLLO .....	37
2.4 PRODUCCIÓN .....	38
2.5 ESTADO ACTUAL .....	39
<b>3. REGIMEN GEOLOGICO-VULCANOLOGICO-HIDROGEOLOGICO</b> .....	40
3.1 MARCO GEOLÓGICO .....	40
3.1.1 <i>Marco Geológico Regional</i> .....	40
3.1.2 <i>Marco Geológico Local</i> .....	50
3.2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA .....	56
3.3 HIDROLOGÍA .....	61
3.4 RIESGOS GEOLÓGICOS .....	62
<b>4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL</b> .....	69
4.1 MANIFESTACIONES TERMALES .....	69
4.1.1 <i>Tipo, Localización y Extensión</i> .....	69
4.1.2 <i>Quimismo y Geotermometría</i> .....	71
4.2 INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS .....	77
4.2.1 <i>Tipo</i> .....	77
4.2.2 <i>Cobertura</i> .....	78
4.2.3 <i>Resultados</i> .....	79
4.3 RESULTADOS DE POZOS GEOTÉRMICOS .....	86
<b>5. NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO</b> .....	93
5.1 LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE CALOR.....	93



5.2	ZONAS DE ASCENSO.....	94
5.3	DIRECCIÓN DE MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS.....	95
5.4	TEMPERATURA.....	95
5.5	QUÍMICA DEL FLUIDO .....	96
<b>6.</b>	<b>ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS .....</b>	<b>98</b>
6.1	RESERVAS DE LA CATEGORÍA 1 .....	99
6.1.1	<i>Definición de Parámetros.....</i>	<i>99</i>
6.1.2	<i>Cálculo de Reservas.....</i>	<i>101</i>
6.1.3	<i>Comentarios.....</i>	<i>102</i>
6.2	RESERVAS DE LA CATEGORÍA 3 .....	103
6.2.1	<i>Definición de Parámetros.....</i>	<i>103</i>
6.2.2	<i>Calculo de Reservas.....</i>	<i>105</i>
6.2.3	<i>Comentarios.....</i>	<i>105</i>
<b>7.</b>	<b>ASPECTOS AMBIENTALES.....</b>	<b>107</b>
7.1	INFORMACIÓN EXISTENTE.....	107
7.2	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES .....	108
7.2.1	<i>Aspectos Socioeconómicos.....</i>	<i>108</i>
7.2.2	<i>Aspectos Abióticos .....</i>	<i>112</i>
7.2.3	<i>Aspectos Bióticos .....</i>	<i>115</i>
7.3	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES .....	116
7.3.1	<i>Situación Ambiental General.....</i>	<i>116</i>
7.3.2	<i>Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico .....</i>	<i>117</i>
<b>8.</b>	<b>ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS.....</b>	<b>119</b>
8.1	ACCESIBILIDAD.....	119
8.2	USO DE LA TIERRA.....	120
8.3	DISPONIBILIDAD DE SITIOS PARA PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN .....	120
8.4	DISPONIBILIDAD DE AGUA.....	122
8.5	FACTIBILIDAD DE REALIZAR TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y DESARROLLO .....	123
<b>9.</b>	<b>OPCIONES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO .....</b>	<b>125</b>
9.1	CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL CAMPO DE SAN JACINTO - TIZATE .....	125
9.2	OPCIONES PARA MAYOR EXPLORACIÓN .....	127
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>130</b>
<b>T A B L A S.....</b>		<b>136</b>
<b>F I G U R A S.....</b>		<b>153</b>



<b>ANEXO A: ESTUDIO GEOQUIMICO E HIDROGEOLOGICO</b> .....	182
A.1    ALCANCE.....	183
A.2    METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	184
A.2.1 <i>Programa de Actividades de Campo</i> .....	184
A.2.2 <i>Base de Datos de Hidrogeología y Química de Fluidos</i> .....	184
A.3    RECOPILACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	187
A.3.2 <i>Muestras de Gases</i> .....	193
A.3.3 <i>Síntesis</i> .....	195
<b>T A B L A S</b> .....	197
<b>F I G U R A S</b> .....	241
<b>ANEXO B: ANALISIS PETROGRAFICO DE ROCAS</b> .....	246
B.1    INTRODUCCIÓN .....	247
B.2    DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS.....	247
B.3    DATACIÓN DE ROCAS VOLCÁNICAS.....	250
<b>T A B L A S</b> .....	254
<b>F I G U R A S</b> .....	260



## ILUSTRACIONES

### Tablas

- V-2.1 Principales Estudios Existentes sobre el Areas San Jacinto-Tizate
- V-4.1 Investigaciones Geofísicas en el Areas de San Jacinto-Tizate
- V-4.2 Características Técnicas de los Pozos Geotérmicos, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-4.3 Datos de Producción de los Pozos Geotérmicos, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-6.1 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría I), Areas de San Jacinto-Tizate
- V-6.2 Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3), Areas de San Jacinto-Tizate
- V-7.1 Población en el Areas San Jacinto-Tizate y Alrededores
- V-7.2 Características Químicas de las Aguas Superficiales y Subterráneas en el Areas de San Jacinto-Tizate (DAL, 1992b)
- V-7.3 Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas más Cercanas al Areas San Jacinto-Tizate
- V-7.4 Lista de Especies de Flora para el Areas Protegida Complejo Telica - Rota (FUNDENIC-SOS, 1999)
- V-7.5 Lista de Especies Animales para el Areas Protegida Complejo Telica - Rota (FITNDENIC-SOS, 1999)
- V-7.6 Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Areas de San Jacinto-Tizate
- V-9.1 Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para el Reconocimiento Detallado, Areas de San Jacinto-Tizate, Zona del Cerro Rota



Figuras

- V-1.1 Mapa de ubicación, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-1.2 Imagen Landsat, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-3.1 Esquema tectónico de la región Centroamericana y del Caribe (Weinberg, 1992)
- V-3.2 Provincias fisiográficas de Nicaragua (McBirney *et al.*, 1965)
- V-3.3 Estratigrafía y evolución tectónica de la parte occidental de Nicaragua
- V-3.4 Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)
- V-3.5 Esquema estratigráfico y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)
- V-3.6a Esquema geológico del área San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-3.6b Leyenda del esquema geológico del área San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-3.7a Esquema geológico local del área San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-3.7b Leyenda del esquema geológico local del área San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-3.8 Esquema estratigráfico general del área San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-3.9 Mapa hidrogeológico, San Jacinto-Tizate, Nicaragua (DAL, 1992)
- V-4.1.1 Ubicación y características de manifestaciones termales existentes, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-4.1.2 Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-4.2.1 Mapa de las anomalías residuos de Bouguer, Volcán Telica-San Jacinto-El Tizate, Nicaragua (Unocal Geotérmica Nicaragua, 1998)



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

- V-4.2.2 Mapa de ubicación de sondeos eléctricos y electromagnéticos y líneas dipolos-dipolos eléctricas, Volcán Telica-San Jacinto-El Tizate, Nicaragua
- V-4.2.3 Mapa de anomalías de resistividad, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-4.2.4 Sección geoelectrica, San Jacinto-Tizate, Nicaragua (Ostapenko *et al.*, 1998)
- V-4.3.1 Ubicación de los pozos geotérmicos perforados por Intergeoterm (1992 - 1995), San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-5.1 Modelo geotérmico conceptual, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-6.1 Distribución de temperatura a la elevación de -1,000 m s.n.m., campo geotérmico de San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-6.2 Histograma de capacidad energética, San Jacinto-Tizate
- V-6.3 Probabilidad acumulativa de capacidad energética, San Jacinto-Tizate
- V-6.4 Cálculo de reservas, complejo volcánico de Telica
- V-6.5 Cálculo de reservas, complejo volcánico del Cerro Rota
- V-7.1 Reservas naturales vigentes, San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-7.2 Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), San Jacinto-Tizate, Nicaragua
- V-8.1 Elementos infraestructurales, San Jacinto-Tizate, Nicaragua



## RESUMEN EJECUTIVO

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

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

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



centros del complejo volcánico de Telica ha sido principalmente de tipo efusivo, con rocas de composición variable entre basáltica y andesítica, con predominancia de los términos basálticos.

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

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

La zona de San Jacinto - Tizate presenta varias fallas normales con rumbo aproximadamente N-S, las cuales generan una estructura hundida que se extiende desde El Tizate hacia el S y es generalmente conocida como el Graben de San Jacinto. El conjunto de estas estructuras en combinación con otras con rumbos NE y NO parece definir un sistema incipiente de "rift" con dirección N-S.



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

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

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



corrientemente utilizados en los países occidentales y/o con tipos de acero que no son utilizados corrientemente en la industria geotérmica.

El primer pozo (SJ-1), ubicado en la proximidad del área termal de San Jacinto, encontró zonas permeables relativamente someras (350 - 1,100 m) con temperaturas moderadas (180 - 190°C), pero nunca fue posible inducirlo a la producción. Por debajo de 1,200 m, hasta la profundidad total de 2,322 m, este pozo encontró rocas impermeables. El segundo pozo, (SJ-2) ubicado a unos tres km al SO, resultó impermeable y claramente ubicado fuera del sistema hidrotermal.

Los cuatro pozos sucesivos fueron perforados en la zona de El Tizate y todos encontraron temperaturas elevadas (265 - 290°C). El pozo SJ-4 logró encontrar una zona somera altamente permeable y productiva, a una profundidad de aproximadamente 600-m, y los otros tres pozos restantes (SJ-3, SJ-5 y SJ-6) fueron terminados en zonas de permeabilidad moderada, a profundidades por debajo de 1,700 m. La perforación del último pozo (SJ-7), se realizó en la zona intermedia entre San Jacinto y El Tizate, pero tuvo que ser abandonado a la profundidad de 1,260 m, a causa de la suspensión del proyecto. La extrapolación de los datos térmicos registrados al final de la perforación indica una temperatura estabilizada alrededor de 215°C al fondo, lo cual confirma la gradual reducción de las temperaturas en el reservorio hacia el S de la zona de El Tizate.

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



de los pozos, de daños causados durante su perforación o terminación impide además la evaluación completa de su potencial de producción.

El yacimiento geotérmico contiene aguas de tipo Na-Cl (sodio-cloruro), con pH neutro, que resulta típico de sistemas hidrotermales con temperatura moderada a alta contenidos en rocas volcánicas jóvenes. El fluido proveniente de la parte más profunda contiene 1,800 mg/l de Cl a 265°-280°C, mientras que el pozo más somero encontró fluidos con 2,400 mg/l de Cl a 265°C. En la zona de flujo lateral hacia el S, el pozo SJ-1 encontró fluidos con unos 3,800 mg/l de Cl a 190°C.

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

Entre 1970 y 1998, en el área de San Jacinto - Tizate y otros sectores aledaños, se realizaron investigaciones geofísicas (levantamientos gravimétricos, magnetométricos, y geoelectricos) a nivel de reconocimiento, prefactibilidad y factibilidad, conducidos en siete períodos distintos. Estos estudios cubrieron áreas desde tres km<sup>2</sup> hasta 350 km<sup>2</sup>. La máxima profundidad de exploración de los sondeos geoelectricos fue de aproximadamente 2.5 km o posiblemente mayor. Desde 1970 hasta 1998 la tecnología de los equipos y algunos de los métodos de interpretación geofísica mejoraron en una forma importante, lo que permitió obtener datos que eran siempre más confiables sobre el área.



En general, la información disponible indica que la extensión y la profundidad de la actividad hidrotermal somera en la zona de San Jacinto - Tizate han sido bien definidas a través de las investigaciones geofísicas realizadas, los resultados de las cuales han encontrado cierta confirmación en los datos obtenidos de los pozos perforados. Existen, por otro lado, dudas acerca de la extensión del recurso a profundidad y, en particular, sobre la conformación de las zonas productivas que fueron encontradas por los pozos en El Tizate a profundidades mayores a 1,700 m.

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

Las reservas energéticas del sistema geotérmico se han estimado como reservas de Categoría I, según la metodología volumétrica probabilística descrita en el Anexo B del Volumen I. El valor promedio de la distribución probabilística de reservas calculada por este método es de aproximadamente 161 MW para un plazo de 30 años, con una desviación estándar de 62 MW. El 10° percentil de la distribución es de aproximadamente 90 MW (es decir, hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor). El valor mediano (50



percentil) de las reservas es de aproximadamente 151 MW, y el valor promedio de la energía recuperable por unidad de área es de aproximadamente 22 MW/km<sup>2</sup>.

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

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

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



económicamente recuperable si el campo fuese expandido exitosamente por medio de perforaciones adicionales.

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

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

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

- cercanía y facilidad de acceso desde las ciudades de León y Managua;
- facilidad de acceso local, a través de los caminos existentes, y condiciones topográficas favorables en la mayoría del área;
- buena conexión con toda la principal infraestructura de transporte del país;



- subestación eléctrica principal del Sistema Interconectado Nacional ubicada unos 20 km al S del área;
- bajo potencial de conflictos de carácter social; y
- limitados problemas o restricciones de disponibilidad de terrenos (a menos que no se logren resolver los problemas existentes con los propietarios de los terrenos, o que surjan nuevos problemas).
- no se anticipan problemas ni costos importantes derivados de la atenuación adecuada de los potenciales impactos ambientales negativos.

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

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



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

La magnitud de la actividad volcánica en el área sugiere que se justificaría una mayor exploración en busca de recursos adicionales y, en este respecto se observa que el complejo volcánico del Cerro Rota no ha sido investigado del todo. Las actividades más adecuadas para el estudio de reconocimiento de esta zona implicarían reconocimientos geológicos de detalle, datación de los depósitos volcánicos, e investigaciones de tipo geofísico. La realización de todas estas investigaciones requiere de un presupuesto en el orden de varios cientos de miles de Dólares (tal vez \$410,000), durante un período de 5 o 6 meses, para cumplir con los requerimientos de una etapa de reconocimiento.



## 1. DESCRIPCION DEL AREA

### 1.1 Localización

El campo geotérmico de San Jacinto - Tizate se ubica en la Cordillera de los Marrabios, unos 75 km al NO de Managua y aproximadamente 20 km al NE de León. Más precisamente, se ubica en la extremidad oriental del macizo volcánico de Telica, inmediatamente al N del poblado de San Jacinto. Desde el punto de vista administrativo el área se encuentra en el Departamento de León y está completamente incluida en el territorio del Municipio de Telica.

El área se encuentra explorada con pozos profundos los cuales se ubican inmediatamente al N del poblado de San Jacinto, en una zona de planicie y moderados relieves, que constituye la base de la ladera oriental del macizo volcánico de Telica. Unos 2 km al N de San Jacinto se ubica la localidad de El Tizate, donde han sido perforados los pozos geotérmicos más exitosos (ver **Figura V-1.1**).

El único centro poblado existente en el área es San Jacinto, ubicado a orillas de la Carretera Nacional No. 26, que une la región occidental de Nicaragua (León - Chinandega) con el interior del País. A lo largo de la misma carretera, unos 10 km al SO, se encuentra la ciudad cabecera municipal de Telica, mientras que unos 10 km al E está el poblado de Malpaisillo, cabecera del Municipio de Larreynaga. En todos los alrededores no existen centros habitados significativos, sino solamente comarcas rurales con población muy dispersa en el territorio.

La Carretera Nacional No. 26 corre al límite meridional del área de interés geotérmico y constituye una cómoda vía de acceso que facilita la comunicación del campo geotérmico con todas las principales ciudades de la región occidental de Nicaragua. La cabecera departamental, León, se encuentra a tan sólo 20 km y puede ser alcanzada en menos de media hora de vehículo,



mientras que en una hora se alcanza Chinandega y en aproximadamente dos horas se alcanza la ciudad capital, Managua.

## 1.2 Extensión del Área

La concesión de exploración geotérmica bajo la cual la empresa Intergeoterm S.A. realizó las investigaciones exploratorias en los años 1992-1995 comprendió un área de 90 km<sup>2</sup>, la cual abarcaba buena parte del sector oriental del macizo volcánico de Telica. Los resultados de los estudios y de las perforaciones efectuadas por la empresa Intergeoterm S.A. han permitido delimitar un sector de aproximadamente 5-6 km<sup>2</sup>, en la planicie comprendida entre San Jacinto y El Tizate, en el cual se supone existe un yacimiento geotérmico de interés comercial a profundidades relativamente someras (DAL, 1995 Ostapenko et al., 1998). Algunos pozos, perforados en la zona de El Tizate, han también encontrado un yacimiento más profundo, pero su extensión no resulta completamente definida por los datos existentes.

En el presente estudio, a los fines de una evaluación geológica general, además del área del campo geotérmico delimitada por las investigaciones anteriores, se tomó en consideración la ladera oriental del complejo volcánico de Telica, parte de la planicie adyacente, en la cual se encuentran también estructuras volcánicas de cierto interés, y el macizo del Volcán Rota, que se desarrolla inmediatamente al S del campo geotérmico. La mayoría del área de estudio se encuentra adentro del mapa topográfica 1:50,000 de Telica (2853-IV) de INETER, mientras que su porción extrema oriental está en el mapa de Malpaisillo (2853-I).

## 1.3 Características Fisiográficas

El área se desarrolla en la zona comprendida entre el Volcán Telica y el Volcán Rota, abarcando la parte inferior de las laderas volcánicas y porciones de la planicie adyacente, donde existen algunos edificios volcánicos menores (ver **Figuras V-1.1** y **V-1.2**).



El Volcán Telica es un edificio compuesto, con morfología general de escudo y con forma alargada en sentido E-O, que se eleva desde la planicie de la Depresión Nicaragüense (aproximadamente 100 m s.n.m.) hasta la altura máxima de 1,061 m s.n.m. Este edificio está cubierto por amplias coladas lávicas que se extienden hasta 8-10 km desde su centro principal.

Su cumbre, que se presenta como una cuesta de 3 km de largo, está constituida por una secuencia de cráteres que se traslapan parcialmente, desde el denominado Volcán San Jacinto (o el Listón) hasta el Telica actual. El flanco meridional del edificio volcánico es bastante empinado, mientras que sus laderas E y N son más suaves y presentan una transición gradual hacia las planicies adyacentes.

Sobre el amplio escudo lávico principal del macizo de Telica resaltan los conos menores del Volcán Santa Clara (834 m s.n.m.), ubicado en su sector SE (un poco al O del poblado de San Jacinto) y el Cerro de Agüero (744 m s.n.m.), ubicado en su sector NO. En las extremidades occidental y oriental del complejo se encuentran respectivamente el Cerro Montoso y los relieves de El Chorro, que representan porciones de edificios más antiguos parcialmente cubiertos por los sucesivos productos del Telica (ver Figuras V-1.1 y V-1.2). En la planicie inmediatamente al Este del complejo volcánico se observan varios residuos de cráteres de explosión freática y dos pequeños domos lávicos (Lomas de San Ignacio del Bosque).

El Volcán Rota (832 m s.n.m.), ubicado inmediatamente al S del área geotérmica, es una vieja estructura volcánica intensamente erosionada, deformada por colapsos de sus laderas y dislocada por fallas.

Buena parte de la zona alrededor del Volcán Telica, incluyendo las porciones inferiores de sus laderas, está ocupada por terrenos agrícolas, a menudo muy fragmentados. Las actividades agrícolas son generalmente realizadas a nivel familiar en pequeñas parcelas, pero existen



también grandes haciendas con cultivos intensivos, las cuales ocupan principalmente las planicies morfológicamente más favorables al E y al N del volcán.

En las laderas volcánicas, la vegetación originaria ha sido intensamente afectada por la intervención humana, de tal manera que la cobertura boscosa actual en condiciones naturales es drásticamente reducida. Las principales causas de este fenómeno han sido la extracción de leña, y los frecuentes incendios forestales, causados por las actividades agrícolas y por la caza indiscriminada. La expansión de la frontera agrícola hasta en las porciones más altas de las laderas volcánicas, ha también contribuido significativamente a la reducción de la originaria superficie boscosa.

Con excepción del poblado de San Jacinto y sectores aledaños, el área es en general poco poblada. En los relieves volcánicos se encuentran dispersas comunidades de campesinos que practican una agricultura de subsistencia.

El clima de la zona es de tipo subtropical (FUNDENIC-SOS, 1999), con precipitaciones medias anuales en el rango de los 1,600-1,700 mm (INETER, 1997b). Las precipitaciones son esencialmente concentradas en la estación lluviosa, la cual abarca el período entre mayo y octubre y es frecuentemente irregular. La temperatura media anual es de 27°C (INETER, 1997a).



## 2. EXPLORACION Y DESARROLLO GEOTERMICO EXISTENTE

### 2.1 Concesiones

La empresa Intergeoterm, S.A., constituida entre el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) y un consorcio de empresas rusas, las principales de las cuales son la fábrica de turbinas Kaluga y la empresa de perforaciones Burgaz-geoterm, efectuó trabajos de exploración y de perforación en el campo Geotérmico San Jacinto -Tizate, en el período comprendido entre mediados de 1992 y mediados de 1995. En 1994, con la re-estructuración del INE y la formación de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), la participación estatal en Intergeoterm pasó a ser administrada por ENEL.

Intergeoterm operó bajo una concesión de exploración emitida por el Instituto Nicaragüense de Energía en mayo de 1993, por un plazo de dos años. El área de concesión fue establecida en 90 km<sup>2</sup>, abarcando buena parte de la ladera SE del complejo volcánico de Telica y de la ladera NO del Volcán Rota.

El proyecto de Intergeoterm fue suspendido en 1995 por falta de financiamiento, cuando la respectiva concesión de exploración ya había vencido. Sucesivamente, el proyecto ha quedado pendiente de que Intergeoterm re-organizara una entidad con la suficiente capacidad financiera y técnica para continuar con las actividades. Al mismo tiempo, la respectiva concesión de exploración no fue renovada por Intergeoterm y, en 1997, ésta fue declarada oficialmente caduca (Alemán, 1998).

A finales de 1999, Intergeoterm firmó un contrato de compra-venta de energía con ENEL para la generación de 66 MW en el campo geotérmico de San Jacinto - Tizate. Actualmente, la empresa está tramitando con el INE la obtención de una concesión de explotación geotérmica.



## 2.2 Trabajos de Exploración

### 2.2.1 *Estudios Existentes*

El campo geotérmico de San Jacinto - Tizate fue identificado como un área de elevado interés geotérmico a finales de los años 1960, durante los primeros estudios realizados sobre la geotermia en Nicaragua y, sucesivamente, ha sido objeto de muchas investigaciones.

Durante toda la década de los 1980, el Instituto Nicaragüense de Energía estuvo planificando la explotación de este recurso, pero la falta de financiamientos detuvo el desarrollo del proyecto hasta 1992, cuando, con la creación de la empresa ruso-nicaragüense Intergeoterm, S.A., se dieron las condiciones para activar un proyecto de desarrollo comercial. El proyecto de Intergeoterm estuvo en operación desde mediados de 1992, cuando fueron iniciados los trabajos preparatorios para la perforación, hasta marzo de 1995, cuando las actividades fueron suspendidas por falta de recursos financieros. Buena parte de los resultados de este proyecto están disponibles en los archivos de ENEL y fueron consultados para fines del presente estudio.

Por lo que se refiere a estudios de carácter científico, u otros estudios no específicamente relacionados con la exploración geotérmica (riesgos naturales, recursos hídricos), se observa que el área del Volcán Telica, en general, no ha sido objeto de mucha atención, pero existen algunos estudios, los más importantes de los cuales son los realizados por Lefebure (1986), Bowers (1982), INETER-CEPREDANAC (1995) y La Femina (1997).

Todos los principales estudios con finalidades geotérmicas actualmente disponibles sobre el campo geotérmico de San Jacinto - Tizate se resumen en la Tabla V-2.1 y se comentan brevemente a continuación.



*McBirney, 1952-53*

A principio de los años 1950, este autor efectuó estudios geológicos en la zona de San Jacinto, con particular atención a las manifestaciones termales presentes en el área, aparentemente en coordinación con la empresa que operaba la Mina de El Limón. Los resultados fueron considerados alentadores y los trabajos procedieron con la perforación de tres pozos someros en el área termal de El Tizate, para evaluar la posibilidad de producir electricidad con vapor geotérmico. Se trató de pozos inclinados, el más profundo de los cuales alcanzó una profundidad vertical de 86 m. Uno de estos pozos (el Pozo de McBirney) encontró una fractura alrededor de los 60 m de profundidad y estuvo produciendo vapor por largo tiempo, una vez abandonado el pozo.

*Texas Instruments, Inc., 1970*

A finales de los años 1960 el Gobierno de Nicaragua encargó a la compañía Texas Instruments, Inc. La ejecución de un estudio sobre el potencial geotérmico del País. Los trabajos efectuados en el área bajo examen fueron investigaciones geológicas, hidrogeoquímicas y geofísicas, seguidas por la perforación de 6 pozos someros de gradiente.

El trabajo geológico, presentado en un informe específico elaborado por J.B. Thigpen, fue principalmente dedicado a la descripción de las manifestaciones termales de San Jacinto y El Tizate. El mismo estudio incluye también informaciones acerca de los manantiales y pozos termales existentes en la zona. Los estudios hidrogeoquímicos, realizados por R. Bennett, incluyeron el muestreo de gases fumarólicos y del vapor del pozo de McBirney en El Tizate, además del muestreo de todos los manantiales termales existentes en el sector entre San Jacinto y El Tizate.



Los estudios geofísicos incluyeron levantamientos gravimétricos y magnéticos y una serie de investigaciones geoeléctricas (SEV y perfiles Schlumberger, electromagnéticas TDEM, y mapeo dipolar), las cuales fueron realizadas por la compañía Group 7.

La mayoría de los estudios fueron concentrados en la zona entre San Jacinto y El Tizate, pero algunos cubrieron un área más amplia, alcanzando la zona termal de El Ñajo, ubicada en el mismo complejo volcánico de Telica, algunos km al NO de El Tizate.

Los pozos de gradiente fueron perforados hasta la profundidad máxima de 61 m en la zona al S y al NE de las manifestaciones termales de San Jacinto (a lo largo de la Carretera Nacional No. 26), pero no proporcionaron información muy significativa. Al final de todos los estudios, Texas Instruments expresó una opinión muy favorable acerca de un posible desarrollo geotérmico comercial en el área de San Jacinto - Tizate y propuso un programa de investigaciones adicionales con miras a la ubicación de un pozo exploratorio.

#### *Naciones Unidas, 1974*

A principio de los años 1970 este organismo, a través del "Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo" (PNUD), llevó a cabo estudios sobre el aprovechamiento de recursos geotérmicos en Nicaragua. El proyecto fue particularmente dedicado a las áreas de Momotombo y San Jacinto - Tizate, indicadas por los anteriores estudios de Texas Instruments (1970) como áreas prioritarias.

En la zona de San Jacinto fueron re-interpretados todos los datos obtenidos por Texas Instruments (1970), y la contratista Scintrex Ltd. efectuó algunas investigaciones geoeléctricas adicionales. Los resultados de todos estos estudios permitieron elaborar un mapa de resistividad que confirmó y mejoró la delimitación de la zona de baja resistividad que había sido anteriormente identificada por Texas Instruments (1970). Esta zona resultó comprender todo el



sector entre San Jacinto y El Tizate, incluyendo todas las manifestaciones termales presentes en el área. Sobre la base de algunas consideraciones acerca de la distribución de la conductividad eléctrica en el subsuelo, los expertos de las Naciones Unidas especularon también acerca de la posible presencia de un recurso de vapor dominante.

Al final del estudio, los expertos de las Naciones Unidas reconfirmaron el interés comercial del área y propusieron dos sitios para la perforación de pozos exploratorios profundos, uno en correspondencia de las manifestaciones de El Tizate y otro un poco al N de las fumarolas de San Jacinto.

*California Energy Company Inc. (C.E. C.L), 1978*

California Energy Company Inc. (C.E.C.I.) efectuó algunas investigaciones en el macizo del Volcán Telica, paralelamente a las actividades que llevó a cabo para el desarrollo comercial del campo geotérmico de Momotombo en 1975-1979. En particular, efectuó un estudio fotogeológico dedicado al reconocimiento de los rasgos estructurales del área, hizo un estudio detallado de todas las manifestaciones termales presentes en el macizo del Volcán Telica, y subcontrató a la compañía Phoenix Geophysics la ejecución de investigaciones geoelectricas.

Phoenix Geophysics (1977) efectuó algunos perfiles dipolo-dipolo en los sectores oriental y septentrional del macizo volcánico de Telica. Los resultados de estas investigaciones confirmaron la existencia de la zona conductiva somera entre San Jacinto y El Tizate (ya identificada por los estudios anteriores) y detectaron otra zona de baja resistividad, a mayor profundidad, en el sector al N de El Tizate.

Al final de estos trabajos C.E.C.I. elaboró un informe de evaluación del área, indicando al sector de El Tizate como el más prometedor para empezar con perforaciones de desarrollo geotérmico.



*OLADE, 1982*

A principios de los años de 1980 la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) promocionó la ejecución de nuevas investigaciones geotérmicas en Nicaragua, las cuales fueron llevadas a cabo por la compañía Geotérmica Italiana srl. En 1981 esta compañía completó un nuevo estudio de "Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua." Sucesivamente, concentró las investigaciones en el sector de Cordillera de los Marrabios comprendido entre el Volcán Momotombo y el Volcán Telica, y elaboró un informe titulado: "Estudio de Prefactibilidad del Área El Hoyo - San Jacinto" (OLADE, 1982). En estos proyectos fueron llevadas a cabo investigaciones vulcanológicas, hidrogeológicas, hidrogeoquímicas y geofísicas, las cuales cubrieron con cierto detalle el área de San Jacinto-Tizate.

Desde el punto de vista de la geo-vulcanología, OLADE elaboró principalmente descripciones generales de los rasgos vulcanológicos y estructurales de los complejos volcánicos, acompañadas por estudios básicos de clasificación petrológica y de estudios sobre la composición del magma. Las investigaciones geofísicas incluyeron los métodos geoelectrico, gravimétrico y magnético.

Las investigaciones geoelectricas consistieron en la ejecución de SEV Schlumberger, principalmente distribuidos a lo largo de un perfil que cruza toda la cordillera volcánica en correspondencia de la carretera que une Telica con Malpaisillo (Carretera Nacional No. 26). Estas investigaciones no aportaron ultimas informaciones con respecto a la ya conocida estructura geoelectrica anómala detectada por los estudios anteriores entre San Jacinto y El Tizate, pero tuvieron una penetración mayor e identificaron la presencia de un basamento resistivo a profundidades variables entre los 1,500 y los 2,000 m.



Los levantamientos gravimétricos y magnéticos fueron basados sobre una distribución muy heterogénea de los sitios de medición, que fueron localizados esencialmente a lo largo de carreteras. Los resultados de estos estudios no son por lo tanto muy útiles en lo que se refiere a la identificación de anomalías localizadas, generalmente relacionadas con sistemas geotérmicos.

En el campo de la hidrogeología, OLADE efectuó estudios regionales sobre los acuíferos someros, determinando sus condiciones hidrodinámicas y de recarga hidráulica. En este contexto elaboró también un mapa de anomalía de temperatura en dichos acuíferos, el cual evidenció la presencia de una anomalía térmica de moderada extensión, con centro en el área termal de San Jacinto.

Las investigaciones hidrogeoquímicas incluyeron muestreos de aguas y gases en todo el sector del Volcán Telica y áreas aledañas, incluyendo a las fumarolas y manantiales termales en la zona de San Jacinto - Tizate. Con referencia específica al área bajo examen, el informe geoquímico de OLADE evidenció que las manifestaciones termales de El Tizate parecen estar directamente relacionadas con una zona de subida de fluidos geotérmicos profundos, mientras que aquellas de San Jacinto serían alimentadas por un fluido empobrecido de gases que ha migrado lateralmente desde la zona de alimentación profunda.

Al final, OLADE, a pesar de los indicios geoquímicos muy favorables en la zona de El Tizate, propuso la perforación de tres pozos exploratorios en el sector al SO de las manifestaciones de San Jacinto, con el objetivo de interceptar estructuras (fallas y levantamientos del basamento resistivo) detectadas por las investigaciones geofísicas.

*Intergeoterm, S.A., 1992-1995*

El trabajo realizado por esta empresa incluye la ejecución de investigaciones geocientíficas y la perforación de 7 pozos con profundidades de hasta 2,300 m. Paralelamente a los trabajos de



perforación y correspondientes pruebas de los pozos, Intergeoterm llevó a cabo investigaciones geológicas, estudios hidrogeológicos, levantamientos de CO<sub>2</sub> y de temperatura en el suelo, e investigaciones geoelectricas con los métodos magnetotelúrico y electromagnético ("sondeo de frecuencia"). Los resultados de estos estudios y de los pozos son presentados en varios informes internos de la empresa y han sido también resumidos en algunas publicaciones de Ostapenko *et al.* (1996, 1998).

Los estudios geofísicos constituyeron la investigación geocientífica más importante, en cuanto cubrieron con una serie de 25 perfiles paralelos, con separación entre 0.2 y 0.5 km., una zona de aproximadamente 20 km<sup>2</sup>. Los sondeos de frecuencia (FS) dieron información hasta profundidades de 1,500 - 2,000 m y detectaron una capa somera de baja resistividad, a profundidades variables entre los 20 m y los 500 m, la cual, en base a resultados de perforación, resultó corresponder con una capa sello hidrotermalizada. Esta capa coincide aproximadamente con la anomalía de baja resistividad ya identificada por varios de los estudios anteriores.

De los siete pozos, dos fueron perforados en la zona de San Jacinto, siguiendo las sugerencias de OLADE (1982), cuatro en la zona termal de El Tizate y uno (no completado) en el sector intermedio entre San Jacinto y El Tizate. Solamente los pozos perforados en la zona de El Tizate encontraron temperaturas y zonas de producción de interés comercial.

Al final de todos los estudios, Intergeoterm elaboró un modelo conceptual del recurso el cual presenta dos distintas zonas de "upflow", la principal de las cuales se ubica en correspondencia de las manifestaciones termales de El Tizate y la otra en San Jacinto. El recurso sería, además, constituido por dos yacimientos que en San Jacinto se ubicarían respectivamente a profundidades de 350-650 m y 850-1,100 m, mientras que en el Tizate a profundidad de 550-1,200 m y a profundidades mayores de 1,600 m (Ostapenko *et al.*, 1998).



*DAL SpA, 1992-1995*

En el ámbito del proyecto de Intergeoterm, el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) y la sucesora Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), en su calidad de ente regulador y de socio mayoritario en el proyecto, contrató a la compañía consultora DAL SpA, para proporcionar asesoría técnica. La participación de DAL inició en 1992, con una revisión y síntesis de toda la información geocientífica existente y la realización de un estudio geológico-estructural adicional. Este estudio aportó informaciones sobre la estructura general de la zona e identificó un estrecho graben comprendido entre San Jacinto y El Tizate (denominado Graben de San Jacinto), el cual incluye todas las manifestaciones y anomalías de origen geotérmico presentes en el área.

El estudio produjo también un modelo conceptual preliminar del recurso, básicamente caracterizado por una zona de ascenso de fluidos geotérmicos profundos en El Tizate y una descarga lateral somera hacia San Jacinto, controlada por la estructura del graben arriba mencionado. Sobre esta base DAL sugirió la perforación de un primer pozo exploratorio en la zona de El Tizate y de otros dos pozos respectivamente ubicados en las cercanías de San Jacinto y en el sector intermedio entre San Jacinto y El Tizate (DAL, 1992a).

En el mismo período DAL elaboró también un estudio de caracterización del medio ambiente en el área del proyecto, antes del inicio de las actividades de perforación geotérmica (DAL, 1992b).

Durante la perforación de los pozos, DAL efectuó estudios estratigráficos, petrográficos y sobre la alteración hidrotermal, produciendo varios informes e interpretaciones del subsuelo del área. El trabajo principal, efectuado sobre el pozo SJ-1, permitió identificar la presencia de un sistema hidrotermal fósil de alta temperatura en la zona de San Jacinto (DAL, 1994).



En 1995, cuando las actividades de perforación fueron suspendidas, DAL ejecutó pruebas de pozo y pruebas de interferencia, para elaborar luego una evaluación del yacimiento y un informe de factibilidad del campo (DAL, 1995). Este informe resume e interpreta todos los datos producidos por Intergeoterm, integrando observaciones efectuadas por los asesores de DAL durante todo el proyecto. La nueva interpretación conceptual del recurso confirmó la existencia de una zona de "upflow" en correspondencia de El Tizate y la presencia de un yacimiento somero con descarga lateral hacia el S, controlado por la estructura del Graben de San Jacinto. En los pozos de El Tizate fueron identificadas zonas productivas a profundidades mayores de 1,700 m, que fueron atribuidas a un yacimiento profundo.

Según las evaluaciones de DAL (1995), el campo tendría una capacidad de 35 MW probados, 60 MW probables y 90 MW posibles, valores éstos, referidos a un período mínimo de explotación comercial de 20 años.

*Unocal Geotérmica Nicaragua, S.A. (UGN), 1997-1999*

En 1997-1998, durante la exploración en la cercana concesión El Ñajo - Santa Isabel, UGN efectuó investigaciones geocientíficas que abarcaron buena parte el macizo volcánico de Telica. Los resultados de estos estudios fueron reportados al INE y, al renunciar UGN a su concesión, pasaron a ser de dominio público. Sobre la base de la información proporcionada por el INE, resulta que UGN llevó a cabo investigaciones geológicas y estructurales y una serie de investigaciones geofísicas que abarcaron también la zona de San Jacinto - Tizate. El estudio geofísico incluyó un levantamiento gravimétrico basado en 307 estaciones de medición y sondeos MT/TDEM en 98 estaciones, cubriendo globalmente un área de aproximadamente 350 km<sup>2</sup>.

Los resultados confirmaron la mayoría de las informaciones existentes, ya sea en el aspecto estructural, como en la definición de una anomalía de baja resistividad coincidente con el



graben de San Jacinto. Un dato nuevo de cierto interés fue la identificación de una faja de elevada conductancia que, desde la zona de El Tizate, se extiende hacia el NE, pero su significado no fue completamente aclarado.

### 2.2.2 Estudios del Plan Maestro-2000

El campo geotérmico de San Jacinto - Tizate es una de las áreas geotérmicas más estudiadas de Nicaragua y ha sido objeto de exploración con perforaciones profundas. Actualmente, la empresa Intergeoterm, S.A. está tramitando una concesión de explotación para su desarrollo comercial. Considerando todo esto, en el ámbito del Plan Maestro se llevó a cabo esencialmente una recolección, evaluación y re-interpretación de la información existente y disponible, con el objetivo de analizar los aspectos generales del campo geotérmico y sus posibilidades de desarrollo.

Paralelamente a los estudios geocientíficos se recopiló también información general sobre los aspectos infraestructurales y logísticos. Además, se analizó la situación del medio ambiente local, la cual ha sido resumida en un marco de referencia ambiental. Los estudios que se han llevado a cabo en el ámbito del presente Proyecto se describen a continuación.

#### *Geología-Vulcanología*

El trabajo geológico ha sido principalmente dedicado a la identificación y caracterización de las estructuras presentes en el área y al estudio de los centros volcánicos y de otros aspectos relacionados con el vulcanismo reciente. Se efectuó una recopilación y revisión crítica de toda la información geológica, estructural, vulcanológica y petrológica existente en literatura acerca de los complejos volcánicos de Telica y Rota, para luego proceder a un estudio fotogeológico complementario, basado sobre fotografías aéreas (INETER, 1996, escala 1:40,000) e imágenes de satélite (Landsat 5, 6 de Enero 1987). El trabajo ha sido luego completado por medio de



chequeos de campo, dirigidos a la verificación de los principales aspectos geológicos y estructurales, antes de pasar a la elaboración de un mapa geológico de síntesis.

Durante el trabajo de campo, se recolectaron 5 muestras de roca en la zona inmediatamente al E del campo geotérmico, donde existen unas características estructuras volcánicas de aspecto bastante joven, que se han originado afuera del complejo volcánico principal. Otras 15 muestras de roca han sido recolectadas alrededor del Volcán Rota para referencia general de este edificio volcánico, que es probablemente uno de los menos estudiados en toda la Cordillera de los Marrabios. Cinco de las muestras recolectadas (3 del Volcán Rota y 2 de la zona de San Jacinto) han sido sometidas a análisis petrográficos. Una muestra procedente de los domos lávicos ubicados en la planicie al E de San Jacinto ha sido datada con el método de la termoluminiscencia (TL), para establecer la edad de la actividad volcánica en esa área. Las ubicaciones de las muestras se encuentran en **las Figuras 3.6 y 3.7** e informaciones adicionales acerca de estos estudios se encuentran el Anexo B del presente volumen.

#### *Hidrología - Hidrogeoquímica*

Se recolectó y organizó en una base de datos toda la información geoquímica procedente de los estudios anteriores y, al mismo tiempo, se recopiló también la información disponible sobre la hidrología y la hidrogeología del área, con el fin de obtener un marco de referencia general para la interpretación de los datos hidrogeoquímicos. Debido a la abundancia de información existente no se realizaron muestreos adicionales en la zona de San Jacinto - Tizate; solamente se evaluaron y reinterpretaron los datos químicos disponibles, relativos a manantiales y pozos someros y a los pozos geotérmicos profundos perforados por Intergeoterm. La metodología y los resultados de este estudio son ampliamente reportados en el Anexo A del presente volumen.



### *Geofísica*

El trabajo geofísico fue limitado a la evaluación y revisión crítica de la información generada por los estudios anteriores. La información geofísica pre-existente resultó ser abundante y completa, incluyendo datos geoeléctricos y gravimétricos de cierto detalle y producidos con tecnologías modernas (Unocal Geotérmica Nicaragua, 1998).

Parte de los datos, especialmente los que proceden de investigaciones efectuadas en los años 1970 y 1980, han resultado, sin embargo, ser de limitada utilidad debido a técnicas de medición y métodos de interpretación que ahora son considerados proporcionan solamente informaciones cualitativas. En otros casos, los datos fueron adquiridos con baja densidad de medición o con distribución muy heterogénea de las estaciones, así que no se consideran suficientemente representativos para definir situaciones muy localizadas, como pueden ser los sistemas geotérmicos. Los datos de Intergeoterm son también de difícil interpretación, en cuanto no se pudieron conocer los detalles de los métodos de adquisición y procesamiento.

Se efectuó, sin embargo, un análisis crítico y comparativo de toda la información disponible, para elaborar una síntesis de los aspectos más importantes a ser utilizada en la reconstrucción del modelo geotérmico del área.

### *Síntesis de la Información*

Una vez completado el análisis de toda la información geocientífica existente e integrado los resultados de las investigaciones efectuadas en el presente proyecto, se procedió a elaborar un modelo conceptual del recurso, tratando de definir todas las principales componentes del sistema geotérmico existente en el área. En particular, se trató de definir los siguientes aspectos: la localización y naturaleza de la fuente de calor; la localización y dinámica del sistema hidrotermal (flujos ascendentes, flujos laterales); la temperatura y las características químicas del fluido geotérmico; y la profundidad y extensión del recurso. Al final, basándose sobre el



modelo conceptual obtenido y sobre los resultados de los pozos perforados por Intergeoterm, se procedió a elaborar una estimación del potencial energético y a definir las posibilidades y los requerimientos para el desarrollo comercial del campo.

#### *Estudios Ambientales*

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

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

Se completó el estudio con un análisis de la situación logística general y de las condiciones infraestructurales del área. Los datos correspondientes han sido en parte obtenidos de información existente y luego han sido ampliamente verificados y completados con observaciones efectuadas durante las investigaciones de campo del Plan Maestro. Se prestó particular atención a la identificación y evaluación de todos los aspectos que pueden afectar o favorecer el desarrollo de actividades geotérmicas como son: accesibilidad y condiciones de los caminos; uso de la tierra; disponibilidad de sitios para la perforación y la construcción; disponibilidad de agua; infraestructura eléctrica; y otros aspectos eventuales que puedan afectar positivamente o negativamente el desarrollo de un proyecto geotérmico.



### 2.3 Perforación de Exploración y de Desarrollo

Las primeras perforaciones efectuadas en el campo geotérmico de San Jacinto - Tizate fueron realizadas a principios de los años 1950 por la empresa que operaba la Mina de El Limón (McBirney, 1953). Se trató de tres pozos someros ubicados en el área termal de El Tizate, los cuales fueron abandonados después de su terminación. Uno de ellos, que había encontrado a los 60 m de profundidad una fractura con producción de vapor, quedó por largo tiempo descargando al aire a través de un tubo de 1-1/2".

Sucesivamente, en el ámbito del primer proyecto de evaluación de los recursos geotérmicos de Nicaragua, la compañía Texas Instruments Inc. (1970) perforó 6 pozos someros de gradiente (aproximadamente 60 m de profundidad) en la zona al SSO y al NE del área termal de San Jacinto, a lo largo de la Carretera Nacional No. 26 (ver las Figuras V-1.1 y V-4.1.1; ver también el informe de California Energy Co., 1978). Uno de estos pozos (SJ-3), perforado al margen del área termal, encontró una temperatura máxima de 105°C y un gradiente de aproximadamente 50°C/100 m. El pozo SJ-2, ubicado unos 800 m al SSO, encontró una temperatura máxima de 50°C con un gradiente promedio de 50°C/100 m. Los pozos al NE (SJ-4 y SJ-5), a distancias de 600 y 850 m desde las manifestaciones termales, presentaron gradientes isotérmicos con temperaturas alrededor de los 30°C. Los pozos perforados más al sur (SJ-1 y SJ-1a), ubicados unos 1,300 m al SSO de las manifestaciones termales, encontraron fuertes pérdidas de circulación y fueron abandonados antes de su terminación.

Intergeoterm, S.A. (1992-1995) perforó 7 pozos con profundidad variable entre los 724 m y los 2,335 m (ver la Figura V-1.1 y otros, pozos SJ-1 a SJ-7). Estos pozos fueron perforados con el típico esquema constructivo de los pozos geotérmicos comerciales, con la única diferencia de haber utilizados tuberías de ademe de producción rusa, con diámetros diferentes a los estándares corrientemente utilizados en los países occidentales y/o constituidas por tipos de acero no corrientemente utilizados en la industria geotérmica.



Los primeros dos pozos (SJ-1 y SJ-2) fueron perforados uno inmediatamente al N y el otro unos 2.5 km al SO del área termal de San Jacinto. El pozo SJ-1, que alcanzó la profundidad de 2,322 m, encontró zonas permeables relativamente someras (350-1,100 m) pero con temperatura sub-comercial, mientras que el SJ-2 (1,471 m) resultó impermeable y claramente ubicado en una posición externa al sistema hidrotermal. El pozo SJ-1 fue sucesivamente taponado a la profundidad de 1,200 m, mientras que el pozo SJ-2 fue abandonado y está actualmente obstruido.

Los sucesivos cuatro pozos (SJ-3 hasta SJ-6) fueron perforados en un sector de aproximadamente 0.5 km<sup>2</sup> en correspondencia del área termal de El Tizate. Todos estos pozos encontraron elevadas temperaturas en el subsuelo (265-290°C) y condiciones de permeabilidad muy variables. El pozo SJ-4 (724 m) encontró una zona altamente permeable y productiva alrededor de los 600 m de profundidad. Los otros tres pozos aparentemente no encontraron permeabilidad a niveles someros, pero terminaron en zonas moderadamente permeables a profundidades superiores a los 1,700 m. El más profundo (SJ-5) fue terminado a la profundidad de 2,335 m.

El último pozo (SJ-7) fue perforado en la zona intermedia entre San Jacinto y El Tizate, pero fue abandonado a la profundidad de 1,260 m, a causa de la suspensión de las actividades del proyecto. Ulteriores informaciones acerca de los pozos se reportan en la sección 4.3 del presente volumen.

#### 2.4 Producción

El proyecto de Intergeoterm está paralizado desde mediados de 1995 y, si bien algunos de los pozos existentes sean considerados comercialmente productivos, con una disponibilidad total de aproximadamente 25 MW (DAL, 1995), no ha habido hasta la fecha ningún tipo de producción.



Se excluye de esta consideración la producción relacionada con las pruebas de descarga y de interferencia que fueron efectuadas durante el proyecto de Intergeoterm.

## 2.5 Estado Actual

Los pozos perforados por Intergeoterm han permitido confirmar la existencia de un recurso geotérmico de alta temperatura (260-290°C) en la zona de El Tizate. Estos han demostrado la presencia de elevada permeabilidad a niveles someros, donde se ha perforado un pozo con productividad inicial de unos 15 MW, y productividades inferiores, en el rango 3-5 MW, en zonas permeables a profundidades mayores de 1,700 m.

Los pozos perforados en la zona de El Tizate son, sin embargo, incluidos en un sector muy limitado (aproximadamente 0.5 km<sup>2</sup>) y, además, son aparentemente afectados por problemas técnicos y daños a la formación, que ponen algunas dudas sobre la efectiva evaluación de su potencial. Todo esto limita la evaluación y definición de las características globales del campo geotérmico, para las cuales se requieren perforaciones adicionales, dirigidas a una mejor delimitación y caracterización del recurso. A pesar de esto, se puede considerar que se ha terminado la etapa de factibilidad en el campo de San Jacinto - Tizate, para los propósitos de un proyecto inicial.

El Proyecto de Intergeoterm está paralizado desde 1995 y, actualmente, la empresa está gestionando con el Instituto Nicaragüense de Energía la obtención de una concesión de explotación, para reactivar las actividades y proceder con el desarrollo comercial de 66 MW ya contratados con la Empresa Nicaragüense de Electricidad.



### 3. REGIMEN GEOLOGICO-VULCANOLOGICO-HIDROGEOLOGICO

#### 3.1 Marco Geológico

##### 3.1.1 *Marco Geológico Regional*

###### Aspectos Generales

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

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

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



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

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

#### *Evolución Geológica y Tectónica*

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

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



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

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

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



### *La Depresión Nicaragüense*

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

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

Los resultados de un estudio geofísico a través de la Depresión Nicaragüense (Elming *et al.*, 1997) evidencian un gradual aumento de espesor de la corteza desplazándose desde la costa del Pacífico hacia el E y una sustancial diferencia en la composición litosférica al NE y SO de la Depresión Nicaragüense, con una corteza de tipo continental debajo del Altiplano del Interior y 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 y Puerto Díaz) y en el sector NO de la Depresión. Las rocas terciarias son, por lo contrario, bien representadas en las regiones adyacentes a la Depresión, donde han sido reconocidas secuencias que abarcan desde el Plioceno hasta el Cretácico Tardío. Un esquema general de la estratigrafía regional se presenta en la **Figura V-3.4**.

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

No existen muchas informaciones directas acerca de la estratigrafía al interior de la Depresión. Datos geofísicos (Elming *et al.*, 1997) evidencian la presencia de un basamento resistivo y con elevada densidad alrededor de los 2 km de profundidad, cubierto por formaciones conductivas que constituyen el relleno de la Depresión. Los únicos datos de observación directa disponibles



derivan de las perforaciones efectuadas en los campos geotérmicos de Momotombo y de San Jacinto - Tizate, en la porción NO de la Depresión. En ambos campos, debajo de la secuencia aluvial/lacustre y volcánica cuaternaria, que alcanza espesores de hasta 500-600 m, se reconocieron espesas secuencias de vulcanitas pliocénicas, con abundantes intercalaciones de material volcánico retrabajado y sedimentos continentales.

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

Diferentes autores interpretaron la Depresión Nicaragüense como un graben delimitado por sistemas de fallas normales (McBirney *et al.*, 1965; Weyl, 1980), o por un originario sistema de fallas normales que en tiempos recientes ha evolucionado a un sistema de fallas con movimiento lateral derecho (Cruden, 1989). Otros autores (Weinberg, 1992) han interpretado la Depresión como un semi-graben delimitado en su margen SO por un sistema de fallas normales,



entre las cuales la Falla de Mateare sería el elemento más significativo. A raíz de un análisis global de la situación geológica y estructural regional, van Wyk de Vries (1993) observó, sin embargo, que la Depresión Nicaragüense puede ser sencillamente un sector subsidente, comprendido entre el Altiplano del Interior y la costa del Pacífico, sin tener una estricta relación genética con una estructura tectónica tipo graben. En este contexto, su formación puede atribuirse al resultado de ajustes isostáticos sucesivos a la deposición de las espesas formaciones volcánicas terciarias en el Altiplano del Interior.

#### *La Cordillera Volcánica Cuaternaria*

La cordillera volcánica cuaternaria, que se desarrolla al interior de la Depresión Nicaragüense, es parte del Arco Volcánico Centroamericano, originado por los procesos de subducción de la Placa de Cocos a lo largo de la Fosa Centroamericana. Dicha cordillera se compone por un total de unos 40 edificios, los cuales en su mayoría aparecen agrupados a constituir complejos volcánicos que representan unidades morfológicas distintas y generalmente separadas entre sí por sectores con ausencia, o presencia muy reducida, de actividad volcánica. La causa de estas agrupaciones no ha sido todavía determinada, pero es probable que dependa de condiciones estructurales profundas, que originan una génesis no uniforme y diferentes modalidades de subida de los magmas.

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

- Escudos-volcánicos, los cuales son generalmente ubicados en proximidad de zonas de fallas transversales a la cordillera volcánica y están ellos mismos cruzados por importantes fallas. Estos incluyen varios conos y cráteres, a menudo esparcidos en un radio de unos 5-15 km desde el centro principal. Su elevación es generalmente modesta (menor de 1,050 m s.n.m.) y sus laderas son suavemente inclinadas (15-20°). Se



componen principalmente por lavas en forma de amplias y delgadas coladas que se extienden hasta distancias de 15 km desde el centro del complejo, mientras que los productos piroclásticos son esencialmente limitados a las zonas alrededor de los cráteres.

- Estrato-volcanes, normalmente alejados de importantes zonas de falla y limitadamente afectados por fallas de origen tectónico. Las deformaciones de estos edificios son, en su mayoría, atribuibles a fenómenos de inestabilidad gravitacional. Presentan en general un edificio principal y pocos conos secundarios. Su elevación es mayor que los escudos-volcánicos, alcanzando hasta los 1,700 m s.n.m. Estos volcanes presentan en general una parte superior del cono principalmente compuesta por depósitos piroclásticos y caracterizada por inclinaciones de hasta 30°, y una parte inferior con abanicos de coladas lávicas, depósitos de escombros y de lahar intercalados con delgadas capas de piroclastos.
- Complejos ácidos, 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 y Carr (1973) y Burbach *et al.* (1984) subdividieron el Arco Volcánico Centroamericano en siete diferentes segmentos caracterizados por variaciones en el rumbo del eje volcánico. Cada segmento corresponde también a variaciones en la subyacente zona de subducción, la cual sería subdividida en porciones casi independientes, con diferente inclinación y orientación.

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



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

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

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

Los magmas cuaternarios de Nicaragua parecen generados por fusión parcial de un manto con composición muy similar a aquel que produce los basaltos oceánicos, modificado por efectos de 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  $^{10}\text{Be}$ , que es entre los más altos registrados en márgenes convergentes.

Otro rasgo peculiar de los magmas nicaragüenses, es la coexistencia de basaltos con alto y bajo contenido de titanio lo que ha sido interpretado por Walker (1990) como indicio de cierta heterogeneidad en 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 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 situación geológica local se presenta en la **Figura V-3.6**, que es un bosquejo geológico general de los macizos volcánicos de Telica y Rota, y en la **Figura V-3.7** que presenta con mayor detalle el sector oriental del complejo volcánico de Telica y la zona de San Jacinto -



Tizate. Los principales aspectos morfológicos, vulcanológicos y estructurales del área se pueden observar también en la imagen Landsat de la **Figura V-1.2**.

El área de San Jacinto - Tizate se desarrolla en la base de la ladera oriental del macizo volcánico de Telica. Abarca las porciones inferiores de las laderas del Volcán San Jacinto y del Volcán Santa Clara, y los relieves del viejo edificio volcánico de El Chorro. Inmediatamente al S del área se encuentra el Volcán Rota. En la planicie al E de San Jacinto - Tizate se encuentran dos pequeños domos de lava ácida (Lomas de San Ignacio del Bosque) asociados con cráteres y productos de explosión freática (Lomas de Apante) y con una amplia colada basáltica (La Campana - Valle Las Zapatas). Estos productos volcánicos constituyen una unidad separada desde los edificios volcánicos principales de Telica y Rota y han sido generalmente identificados como Grupo Lomas de Apante (Unocal Geotérmica Nicaragua, 1998).

#### *El Complejo Volcánico de Telica*

El macizo del Telica se compone por diferentes edificios volcánicos unidos parcialmente uno al otro, que forman en su conjunto una estructura a escudo marcadamente alargada en sentido E-O, con una elevación máxima de 1,061 m s.n.m. La cumbre del edificio volcánico se presenta como una cadena de 3 km de largo compuesta por cuatro cráteres principales, los cuales resultan de un desplazamiento progresivo de la actividad volcánica desde el E hacia el O, es decir, desde El Volcán San Jacinto (o El Listón) hasta el Telica actual. Respectivamente al SE y al NO del edificio principal se encuentran dos edificios menores, el Volcán Santa Clara y el Cerro de Agüero, mientras que al límite oriental y occidental del complejo volcánico afloran residuos de edificios más antiguos, que representan las fases iniciales de formación de la Cordillera de los Marrabios.

La estructura general del complejo volcánico de Telica puede ser subdividida en cinco unidades principales, parcialmente sobrepuestas. La base del complejo está constituida por formaciones



volcánicas de edad pleistocénica (o, quizás, hasta plio-pleistocénica) correspondientes a varios edificios que constituyen relieves muy erosionados en las extremidades NO y SE del complejo y, localmente, en algunos puntos de su ladera septentrional. Los relieves en la zona inmediatamente al E y NE de San Jacinto (El Chorro) representan una porción de las formaciones más antiguas que componen el macizo de Telica. Hacia el O estas formaciones están bruscamente cortada por la falla del borde oriental del Graben de San Jacinto, mientras que hacia el N desaparecen debajo de los productos más recientes del Volcán San Jacinto pero, probablemente, la misma formación vuelve a aflorar un poco más al N, controlada por elementos tectónicos de rumbo NE-SO, en la zona de Corral Falso, donde afloran rocas con morfología y composición litológica similares (ver **Figura V-3.6**). Otros autores (Lefebure, 1986; Unocal Geotérmica Nicaragua, 1998) han, sin embargo, considerado las rocas de Corral Falso como una colada perteneciente al Volcán San Jacinto que parece tener un punto de emisión alejado del centro volcánico principal.

Sobre los edificios más viejos crecieron los dos conos principales del Volcán San Jacinto, que constituye toda la porción oriental del macizo volcánico, y del Volcán Telica, que constituye la mayoría de su porción occidental. El Volcán San Jacinto presenta una morfología moderadamente erosionada y deformada por fallas, especialmente en su ladera oriental, y es evidentemente más viejo que el Telica, aunque presenta todavía en su cumbre unas estructuras cratéricas bastante bien conservadas. El Cerro de Agüero y el Volcán Santa Clara son dos conos menores crecidos en posición marginal con respecto al eje de emisión principal San Jacinto - Telica.

#### *Volcán Rota*

El Volcán Rota se presenta como una estructura profundamente erosionada y deformada por fallas y por varios deslizamientos en sus laderas, lo que atestigua una larga inactividad.



A pesar de ser ampliamente deformado y erosionado, el Volcán Rota parece ser un típico estrato-volcán compuesto por un cono principal y por un edificio secundario crecido sobre su ladera occidental (Cerro Amapola). En la cumbre del edificio volcánico se reconoce todavía un cráter de aproximadamente 800 m de diámetro. El Cerro Amapola, aunque sea ampliamente afectado por el colapso de su ladera occidental, presenta una morfología mejor conservada que el edificio principal del Volcán Rota y es evidentemente más joven, lo que indica una reactivación en tiempos más recientes de la actividad volcánica.

Alrededor del Volcán Rota, especialmente en su base SO y, raramente, en su base oriental, existen depósitos de pómez que parecen correlacionarse con el Escudo de Malpaisillo, una formación que se extiende ampliamente hacia el S, en la zona de El Hoyo - Momotombo. Estas formaciones parecen subyacer al edificio del Volcán Rota, aunque sus relaciones aparecen complicadas por la presencia de algunas fallas y no son completamente claras. En la planicie al E del Volcán Rota, en la zona La Esperanza - San Martín, existen pequeños afloramientos de lavas y tobas con características similares a las formaciones volcánicas terciarias que afloran hacia el N, en la zona de la mina El Limón.

#### *Grupo Lomas de Apante*

En la planicie inmediatamente al E del edificio volcánico de Telica e inmediatamente al N del Volcán Rota, se encuentran una serie de estructuras de explosión freática (maars), asociados con secuencias de sedimentos epiclásticos, conos de escorias y dos domos dacíticos, que en conjunto caracterizan, con sus suaves relieves, toda la zona entre las comarcas de La Cruz y San Ildefonso Norte. Inmediatamente más al E se extiende una amplia colada basáltica, con una extensión general en sentido N-S de 8-9 km y un ancho de hasta 3 km, cuyo punto de origen no está bien claro, pero se presenta como una estructura bastante reciente y con morfología general comparable a las demás estructuras volcánicas existentes en la zona.



### *Geología del Subsuelo*

Las perforaciones efectuadas en el campo geotérmico de San Jacinto - Tizate han proporcionado amplia información sobre la estratigrafía en el subsuelo del área. Las muestras litológicas de los pozos han sido estudiadas por Intergeoterm (Ostapenko *et al.*, 1998) y por DAL (1995) y han permitido identificar una secuencia de diferentes unidades que varían desde los productos volcánicos recientes de la cordillera volcánica cuaternaria hasta rocas volcánica y volcáno-sedimentarias del Terciario. La secuencia estratigráfica encontrada en los pozos fue subdividida por Ostapenko *et al.* (1998) y por DAL (1995) en cuatro unidades principales (Figura V-3.8), como sigue:

- Unidad 1 - Compuesta por rocas volcánicas recientes (lavas y tobas de composición variable entre andesítica y basáltica) y productos epiclásticos relacionados. Su espesor varía entre los 300 m en la zona meridional del campo (pozo SJ-2) y unos 100 m en la zona de El Tizate.
- Unidad 2 - Compuesta esencialmente por lavas intercaladas con tobas y escorias, con un espesor variable entre los 400 m en la zona de San Jacinto y 300 m en la zona de El Tizate. Esta unidad fue atribuida a las formaciones más viejas de la cordillera volcánica de los Marrabios, de edad pleistocénica.
- Unidad 3 - Es una formación muy heterogénea, que presenta significativas variaciones de espesor y composición. En la zona meridional (pozos SJ-1 y SJ-2) se compone por secuencias monótonas de material volcánico retrabajado y caótico (brechas, conglomerados, bloques lávicos), con menores intercalaciones de lavas andesíticas o andesítico-basálticas, mientras que en los pozos de El Tizate resulta principalmente compuesta por espesas secuencias de lavas andesíticas masivas. El espesor varía alrededor de los 500-600 m. Esta formación es considerada pertenecer al Plioceno y



correlacionarse con las formaciones volcánicas terciarias que afloran más al N, en la zona de la Mina El Limón.

- Unidad 4 - Se presenta en toda el área a partir de 850-950 m de profundidad y se caracteriza por una secuencia volcáno-clástica de lutitas y areniscas rojas, conglomerados y brechas, variamente intercalada con productos volcánicos primarios (lavas y tobas). En la zona del El Tizate, debajo de los 1,700 m abundan las lavas y, al fondo del pozo más profundo (SJ-5), fueron encontradas areniscas finas grises, que pueden inclusive representar el tope de una unidad subyacente. La edad de esta unidad es considerada abarcar el período entre el Plioceno y el Mioceno superior.

Al interior de la secuencia, en varios de los pozos y a diferentes profundidades, han sido reportadas también rocas subintrusivas, en forma de diques y pequeños cuerpos subvolcánicos. En el pozo SJ-7, en particular, parece que fue encontrado un importante cuerpo subintrusivo (microdiorita), que se extiende con continuidad a partir de los 600 m de profundidad.

#### *Marco Estructural*

Los principales lineamientos tectónicos identificados en el área de San Jacinto - Tizate tienen orientación NO-SE, N-S y NE-SO. Sin embargo, las estructuras más evidentes tienen orientación aproximada N-S. En su conjunto el sistema de fracturas presente en la zona es consistente con el campo de esfuerzos tectónicos regionales definido por Weinberg (1992), caracterizado por un esfuerzo principal de compresión en sentido N-S, el cual genera un sistema de fracturas que incluye fallas de tipo "strike slip" con rumbo alrededor de NE-SO y NO-SE y fallas normales de rumbo N-S.

En la zona de San Jacinto - Tizate resalta la presencia de varias fallas normales aproximadamente N-S, las cuales generan una estructura hundida que se extiende desde El Tizate hacia el S y es



generalmente conocida como Graben de San Jacinto. Otras estructuras controladas por fallas normales, que originan marcadas crestas y estrechos valles (graben y semigraben) están presentes en la ladera oriental del Volcán San Jacinto, un poco al O y NO del área bajo examen y, también hacia al S, en el macizo del Volcán Rota (ver Figuras V-3.6 y V-3.7).

Unocal Geotérmica Nicaragua (1998) analizó en detalle el sistema de fallas presente en la porción oriental del edificio volcánico de Telica, incluyendo al Graben de San Jacinto y concluyó que el conjunto de estas estructuras parece definir un sistema incipiente de "rift" (fisura) N-S. Este sistema está subdividido en diferentes segmentos separados por zonas de acomodación, controladas por fallas de rumbo ENE-OSO o NE-SO (una de las cuales se localiza en correspondencia de El Tizate), y por estructuras NO-SE, como por ejemplo el sistema de fallas que se encuentra entre la ladera NE del Volcán Santa Clara y San Jacinto. Tomando en consideración lo anteriormente observado acerca del régimen tectónico regional (Weinberg, 1992), las fallas de rumbo NE, como las que caracterizan las zonas de acomodación en el sistema de "rift" en El Tizate, tienen probablemente un movimiento principal de tipo lateral izquierdo, mientras que las fallas de rumbo NO, como las que se pueden observar inmediatamente al NE del Volcán Santa Clara, deberían tener una importante componente de desplazamiento lateral derecho.

### 3.2 Actividad Volcánica

Como ya evidenciado anteriormente, el área de San Jacinto - Tizate queda comprendida entre tres diferentes complejos volcánicos: el Telica, el Rota y la zona volcánica de las Lomas de Apante. La actividad de los varios centros del complejo volcánico de Telica ha sido principalmente efusiva, de composición variable entre basáltica y andesítica, con predominancia de los términos más máficos. Amplias coladas generadas por el Volcán Telica y por el Volcán San Jacinto se extienden en las planicies que rodean el complejo volcánico, alcanzando distancias del orden de los 10 km desde los respectivos centros de emisión.



Los edificios volcánicos que componen el complejo de Telica han sido ampliamente descritos en el Volumen IV del Plan Maestro (Volcán Telica - El Ñajo), al cual se hace referencia, mientras que a continuación se reportan solamente los edificios que rodean la zona de San Jacinto - Tizate, es decir: el viejo edificio de El Chorro, el Volcán San Jacinto, el Volcán Santa Clara, el Volcán Rota y el Grupo de las Lomas de Apante.

#### *Formaciones Volcánicas Antiguas de El Chorro*

En los relieves inmediatamente al E y NE del poblado de San Jacinto, aflora una porción de un viejo edificio volcánico abruptamente cortado por la falla del borde oriental del Graben de San Jacinto. Se compone principalmente por una secuencia de coladas lávicas andesíticas, profundamente erosionadas, deformadas por fallas y en parte cubierta por depósitos piroclásticos más recientes. Una datación efectuada con el método K/Ar por OLADE (1981) sobre rocas de este edificio ha proporcionado una edad de 360,000 años.

#### *Volcán San Jacinto*

El Volcán San Jacinto, a veces también mencionado como El Listón, es un amplio escudo, con un cráter terminal ovalado (aproximadamente 1.5 x 0.7 km), alargado en sentido ENE-OSO, el cual incluye a su vez un cráter menor. Inmediatamente al O del cráter principal se observa otra amplia estructura cratérica (o una pequeña caldera), bruscamente cortada por una falla y parcialmente cubierta por productos más recientes del Volcán Telica, la cual es generalmente conocida como cráter de La Ceiba.

El edificio del Volcán San Jacinto es en su mayoría compuesto por flujos de basalto toleítico y está cubierto por una delgada capa de tobas, lahares y depósitos epiclásticos. Solamente algunas lavas en la porción inferior de su secuencia parecen tener una composición un poco más ácida (Unocal Geotérmica Nicaragua, 1998). La porción predominante, que aparece en la mayoría de las laderas del Volcán San Jacinto, es una secuencia de flujos lávicos basálticos intercalados con



brechas lávicas de la misma composición. Los flujos lávicos son generalmente de espesor inferior a los 10 m y se presentan a menudo en unas secuencias de varios flujos sobrepuestos.

Al tope de la secuencia estratigráfica del Volcán San Jacinto, se encuentran tobas, y depósitos de lahares y escombros en forma de una delgada capa que cubre la subyacente secuencia principalmente compuesta por lavas básicas. Lefebure (1986) definió esta capa como "Formación San Jacinto" en cuanto atribuyó su formación a una de las mayores erupciones del volcán homónimo. Unocal Geotérmica Nicaragua (1998) sugiere por lo contrario que la porción más importante de la capa tobácea que cubre el Volcán San Jacinto derive probablemente del Volcán Telica o de algún otro centro volcánico en el área y que se requieren investigaciones de detalle para poder confirmar esta hipótesis. Las tobas de la "Formación San Jacinto" son de composición basáltico-andesítica y de textura variable. Algunas porciones, particularmente comunes en la ladera oriental, son muy heterogéneas, contienen abundantes bloques líticos, y pueden atribuirse a depósitos de lahar o de escombros.

Unocal Geotérmica Nicaragua (1998) evidenció que la "Formación San Jacinto" incluye también un nivel más ácido de ceniza rosada asociado con toba arenosa que localmente contiene fragmentos de pómez blanca. Este nivel fue datado con el método del, <sup>14</sup>C, obteniendo indicaciones de una edad mínima en el rango 6,400 - 13,000 años (Unocal Geotérmica Nicaragua, 1998), lo que pone en duda su efectiva derivación del Volcán San Jacinto, que presenta una morfología evidentemente más antigua.

### *Volcán Santa Clara*

Este edificio se desarrolla en la base de la ladera meridional del Volcán San Jacinto y se compone principalmente por lavas basálticas cubiertas por capas de tobas y lahares. Presenta una forma cónica casi perfecta y muestra una morfología muy joven. En su cumbre se observan



los restos de un pequeño cráter cuya porción septentrional ha sido afectada por un colapso que ha cortado también una porción de la ladera volcánica.

Los flujos lávicos del Santa Clara no presentan una gran extensión, sin embargo algunas coladas se desplazaron hacia el E hasta alcanzar la zona del poblado de San Jacinto y afloran con un espesor de algunas decenas de metros en correspondencia del manantial tibio de El Chorro (un poco al norte del poblado de San Jacinto). Las lavas se caracterizan por contener grandes agregados de plagioclasa, con una textura muy similar a la que se observa en las lavas más recientes del Volcán Telica (Unocal Geotérmica Nicaragua, 1998).

El Volcán Santa Clara fue reportado con cierta actividad (emisión de humo) en el siglo XVI, pero no hubo ninguna confirmación sucesiva y, actualmente, se presenta en total inactividad (Mooser *et al.*, 1958). Se observa que en el mismo período estuvo activo también el Volcán Telica, así que no se excluye la posibilidad de que pueda tratarse de una confusión entre los dos cerros. Por otro lado, el análisis detallado de los reportes históricos (INETER-CEPREDANAC, 1994) indica que puede haber sido utilizado el nombre de Santa Clara para el Telica, así que no se puede establecer con certeza si este volcán ha efectivamente tenido actividad en tiempos históricos. No existen dataciones de las rocas del Volcán Santa Clara, pero su morfología atestigua una importante actividad en tiempos bastante recientes, posiblemente inferiores a los 10,000 años.

#### *El Volcán Rota*

El Volcán Rota es una estructura profundamente erosionada y deformada por fallas y por varios deslizamientos en sus laderas, lo que atestigua un largo período de inactividad. Existe, sin embargo, en su ladera meridional, el edificio secundario del Cerro Amapola que presenta una morfología mejor conservada y evidentemente más joven, lo que indica una reactivación en tiempos más recientes de la actividad volcánica.



El volcán se compone principalmente por lavas de composición variable entre basáltica y andesítica. En su porción meridional, cerca del poblado de Rota existen también productos tobáceos con abundantes líticos de rocas subintrusivas (microdioritas y microgabros). Durante el trabajo de campo del Plan Maestro se recolectaron varias muestras de rocas alrededor del edificio volcánico, algunas de las cuales han sido sometidas a análisis petrográfico y son reportadas en el Anexo B del presente volumen.

No existen en la literatura dataciones de las rocas de este complejo volcánico y, durante las investigaciones del presente estudio, no se encontraron muestras que fueran adecuadas para la datación radiométrica (por falta de minerales en cantidades y condiciones suficientes para la datación; ver el Anexo B). Comparando la morfología del Volcán Rota con aquella de otros edificios similares en la Cordillera de los Marrabios, para los cuales se tienen dataciones (como la Loma La Guatusa en el complejo de Momotombo) se considera que el edificio volcánico principal del Rota tenga una edad de aproximadamente 400,000-500,000 años, mientras que el Cerro Amapola es claramente más reciente y puede tener edad en el rango de los 100,000 años. Actualmente, en todo el macizo del Rota no existe ninguna evidencia superficial de actividad y el volcán es considerado extinto.

#### *Grupo Lomas de Apante*

Las estructuras volcánicas presentes en la planicie inmediatamente al E, de San Jacinto - Tizate se relacionan con diferentes tipos de actividad volcánica. Los productos más antiguos parecen derivar de una actividad que ha variado entre puramente magmática, con la formación de conos y depósitos de escorias basálticas, y de explosión freática, con formación de estructuras de tipo maar y amplios depósitos de tobas y materiales epiclásticos relacionados. La amplia colada basáltica de La Campana está probablemente relacionada con esta etapa de la actividad volcánica, pero es difícil determinar sus relaciones con las emisiones de escorias y de los productos de explosión freática.



La actividad más reciente es caracterizada por la emisión de limitados volúmenes de lavas dacíticas, o riodacíticas, como evidenciado por Unocal Geotérmica Nicaragua (1998), en base al análisis químico. Estas lavas constituyen dos pequeños domos (con una elevación máxima de 238 m s.n.m.) que crecieron al interior y sobre el borde de una preexistente estructura circular constituida por escorias básicas. La morfología de los domos, como también aquella de la colada de La Campana y de las otras estructuras volcánicas presentes en la zona, es bastante bien conservada y atestigua una edad relativamente reciente.

Una datación de los domos, basada sobre el método K/Ar, presentada por OLADE (1981), indica una edad de 480,000 años, pero este valor no parece ser consistente con la morfología general de estas estructuras. Durante el presente estudio se recolectó una muestra del domo septentrional y se dató con el método de la termo-luminiscencia, obteniendo una edad de 150,000 años (ver ubicación en la [Figura V-3.6a](#) y detalles en el Anexo B del presente volumen), la cual se considera una buena referencia para las fases más recientes de la actividad volcánica en esta zona.

### 3.3 Hidrología

En el área no existen importantes cuerpos hídricos superficiales y el retículo hidrográfico no es muy desarrollado, debido a la elevada permeabilidad de los depósitos volcánicos. El corrimiento superficial ocurre solamente en correspondencia de fuertes lluvias y, a veces, puede generar aluviones catastróficos, como ocurrió durante el Huracán Mitch, en octubre de 1998. El huracán causó la pérdida de varias vidas humanas, y fuertes daños materiales en el valle del Río El Chorro y en la planicie aledaña de El Apante - La Cruz (en la zona al NE de San Jacinto).

En la zona comprendida entre San Jacinto y El Tizate y, particularmente, en la zona conocida como El Chorro, existen pequeños manantiales, a menudo con agua débilmente termal, los cuales alimentan riachuelos que desaparecen rápidamente por infiltración en el terreno (ver



ubicación en **Figura V-4.1.1**). La mayoría de estos manantiales son utilizados para aprovechamiento hídrico de la población local.

La situación hidrogeológica local se presenta en la **Figura V-3.9**. La situación piezométrica es bien definida en la planicie al E de San Jacinto, donde existen muchos pozos excavados y el acuífero freático se encuentra a profundidades de 30-40 m, desarrollado en depósitos piroclásticos y aluvionales recientes y altamente permeables. En esta misma zona, Intergeoterm perforó algunos pozos para proveer el agua de perforación en la zona de El Tizate. En el sector de San Jacinto - Tizate y en los relieves volcánicos no existen muchos pozos y la situación hidrogeológica es menos definida.

El drenaje subterráneo resulta, de toda forma, suficientemente definido y se observa que San Jacinto se ubica en la zona de confluencia de las escorrentías subterráneas procedentes de las laderas de los volcanes Santa Clara, El Listón y Rota, las cuales originan a su vez dos flujos principales de drenaje hacia los dos lados de la cordillera volcánica. El drenaje en el sector oriental de la cordillera (al E y NE de San Jacinto) ocurre principalmente hacia el N, mientras que en el sector occidental (al SO de San Jacinto) fluye hacia el SO.

OLADE (1982), en el ámbito del Estudio de Pre-factibilidad del Área El Hoyo - San Jacinto, efectuó un estudio de cierto detalle acerca de la recarga y de los balances hidrológicos de los acuíferos en la zona, al cual se hace referencia para mayores informaciones. Se ha revisado este estudio en el ámbito del Estudio Plan Maestro y se encuentra que los resultados son adecuados para la evaluación geotérmica de la zona.

### 3.4 Riesgos Geológicos

La zona de San Jacinto - Tizate está sujeta a riesgos naturales de tipo sísmico y volcánico. La ubicación específica del área, en la base de edificios volcánicos recientes, implica además



ciertos riesgos relacionados con inestabilidad de las laderas, mientras que las zonas bajas que se extienden inmediatamente al E de San Jacinto están sujetas a riesgos de inundaciones.

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) publicó en 1995 un mapa de amenaza volcánica de la República de Nicaragua, a escala 1:400,000, pero éste clasifica solamente los rasgos generales de la actividad en la cordillera cuaternaria y no proporciona información de mucho detalle para el área bajo examen. El mismo INETER realizó también un estudio más específico sobre el riesgo relacionado con la actividad del Volcán Telica (INETER-CEPREDANAC, 1994), mientras que un estudio general sobre los riesgos naturales en toda la Cordillera de los Marrabios, incluyendo al Volcán Telica, está en fase de ejecución por parte del Servicio Geológico Checo, en colaboración con el INETER.

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

### *Riesgo Sísmico*

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



Como ya evidenciado en la anterior sección 3.1.2, el área bajo examen está caracterizada por la presencia de un importante sistema de fallas de rumbo N-S (Graben de San Jacinto) y por la intersección estructural de El Tizate, además de otras importantes fallas que afectan los macizos volcánicos de Telica y Rota, todas con evidencias morfológicas de estructuras muy recientes y posiblemente activas.

De hecho en la zona, además de varios sismos regionales, también ha sido reportada en tiempos históricos cierta actividad sísmica generada por movimientos telúricos locales. Los casos más recientes han sido un terremoto en 1938 que destruyó a la ciudad de Telica, ubicada unos 10 km al SO de San Jacinto, y un enjambre sísmico registrado en 1977 entre el Cerro Montoso y el Volcán Santa Clara (Wheelock *et al.*, 2000). Ambas actividades sísmicas han sido acompañadas por cierta actividad volcánica y, a este propósito, cabe también recordar que el Volcán Telica es activo y puede ser también fuente de movimientos telúricos relacionados con sus procesos magmáticos y eruptivos, independientemente de la actividad de los sistemas tectónicos regionales o locales.

#### *Riesgo Volcánico*

El volcán activo más cercano es el Telica, ubicado unos 7 km al O de San Jacinto - Tizate. Entre los otros centros del complejo volcánico solamente el Volcán Santa Clara, ubicado poco al SO del área, fue reportado con cierta actividad (emisión de humo) en el siglo XVI, pero no hubo ninguna confirmación sucesiva y, actualmente, se presenta en total inactividad (Mooser *et al.*, 1958). Todos los demás centros del complejo de Telica, aunque presenten morfologías muy jóvenes, son apagados y aparentemente extintos. El Volcán Rota, inmediatamente al SE, es también extinto y se presenta profundamente erosionado, signo de una prolongada inactividad.

El Telica es un volcán que ha mantenido una actividad casi continua en tiempos históricos, aunque sus emisiones han sido principalmente de gas y vapor, con ocasionales erupciones de



cenizas (Mooser *et al.*, 1958). La mayor erupción en tiempos recientes fue en 1948, cuando el volcán estuvo emitiendo densas columnas de humo y cenizas durante 11 días (Wheelock *et al.*, 2000). A principios de 1980 el Telica presentó varios episodios explosivos con emisión de cenizas y, en 1982, una pequeña erupción originó una columna de humo y cenizas de 3.7-4.3 km de altura (INETER-CEPRDANAC, 1994). Otra erupción de corta duración pero caracterizada por una moderada actividad freatomagmática ocurrió en 1994 (La Femina, 1997). La última actividad de cierto relieve fue en 1999 y el volcán sigue manteniendo una conspicua actividad fumarólica intra-cratérica.

A pesar de la marcada actividad de este volcán, los reportes históricos no incluyen erupciones desastrosas, y las cenizas del Telica han esencialmente afectado la región al occidente del volcán, incluyendo a las ciudades de León, Chinandega, El Viejo y otros centros menores del área. No existen reportes de daños en su sector occidental, donde se ubica San Jacinto - Tizate.

Considerando la evolución vulcanológica general del edificio volcánico (ver sección 3.2 y también INETER-CEPRDANAC, 1994), parece que el principal riesgo relacionado con la actividad del Telica derive de erupciones efusivas, con coladas de lava muy fluida que puedan alcanzar distancias de hasta 7-8 km desde el centro eruptivo. Los sectores más expuestos a los efectos de coladas lávicas parecen ser a las laderas S y SO del cono actual del Telica, donde coladas con edad estimable en algunos miles de años han alcanzado el borde de la ciudad de Telica. La morfología del edificio volcánico hace imposible que coladas del Telica puedan alcanzar la zona de San Jacinto.

La caída de cenizas y lapilli, a menudo asociada con las erupciones efusivas, o generada por procesos explosivos de moderada intensidad (como ha sido el caso de las erupciones más recientes), representa también un riesgo de cierta importancia, sobre todo en los sectores al occidente del centro de emisión, donde los vientos predominantes desde el E tienden a



transportar la mayoría de los productos piroclásticos. Sobre la base de observaciones de campo, Navarro (INETER-CEPREDANAC, 1994) identificó un área de máxima amenaza que se extiende hasta 15 km al O del cráter del Telica, la cual es potencialmente la que se encuentra más sujeta a caídas de escorias y cenizas, con posibles acumulaciones de hasta 2 m entre los 0 y 9 km de distancia y de hasta 0.5 m entre los 9 y los 15 km de distancia. Estas mismas zonas pueden ser afectadas por lluvias ácidas asociadas con intensos fenómenos de desgasificación del volcán.

Del estudio de INETER-CEPREDANAC (1994) resulta que el Volcán Telica, en la fase inicial de su formación, presentó una importante erupción freatomagmática, cuyos productos se distribuyeron sobre un área de 81 km<sup>2</sup> al O y SO del mismo. Luego, la actividad ha sido principalmente efusiva, con un gradual incremento en el tiempo de las intercalaciones piroclásticas, las cuales llegaron a ser los únicos productos del volcán en por lo menos los últimos 500 años: Según Navarro (INETER-CEPREDANAC, 1994), es posible que este tipo de evolución se derive del hecho que el edificio volcánico haya progresivamente alcanzado una altura tal que ya no le permite emitir coladas lávicas.

Se observa, sin embargo, que la limitada emisión de lava en los últimos 500 años, y quizás más, no significa que el sistema magmático no haya seguido siendo alimentado por debajo, como por otro lado confirman la continua actividad fumarólica de alta temperatura y las pequeñas erupciones explosivas que ha mantenido el volcán. Esto implica la presencia de una cámara magmática relativamente somera debajo del volcán, la cual está en un proceso de diferenciación y desgasificación, que podría finalmente evolucionar en algún fenómeno explosivo. Este aspecto debería ser profundizado a través de estudios específicos sobre la evolución petrológica y la estratigrafía de los productos de todo el complejo volcánico, para determinar el riesgo de erupciones fuertemente explosivas, las cuales podrían efectivamente afectar amplias áreas alrededor del edificio volcánico.



Considerando todo lo arriba mencionado, el área geotérmica de San Jacinto - Tizate no resulta estar sujeta a importantes riesgos volcánicos. La morfología del edificio volcánico hace imposible que coladas lávicas del Telica puedan afectar al área bajo examen (las coladas están dirigidas hacia el S y el N), y la caída de cenizas, lapili y escorias sería también limitada ya que los vientos predominantes tienden a transportar estos productos hacia el O y el NO. Por otro lado, el potencial de grandes erupciones explosivas podría tener ciertos efectos también sobre este sector del edificio volcánico, pero, como ya mencionado en el párrafo anterior, necesita ser mejor investigado y cuantificado.

#### *Riesgo de Deslizamientos y Derrumbes*

Las laderas volcánicas alrededor del área San Jacinto - Tizate son en general poco empinadas y parecen bastante estables. Durante el reciente Huracán Mitch varios puntos del macizo volcánico de Telica han sido afectados por fenómenos de erosión acelerada a lo largo de los principales cauces, los cuales han localmente evolucionado en pequeños desprendimientos y derrumbes, pero este tipo de fenómenos no afectó al área bajo examen.

A nivel general, se considera por lo tanto que no existen significativos riesgos de derrumbes que puedan limitar el desarrollo de obras geotérmicas en San Jacinto - Tizate, pero se considera de toda forma oportuno efectuar evaluaciones específicas de las condiciones locales antes de planificar cualquier obra de cierta importancia.

#### *Riesgo de Inundaciones y Aluviones*

Como ya evidenciado en la anterior sección 3.3, en toda el área no existen cursos permanentes de agua superficiales, y el drenaje ocurre principalmente en el acuífero freático. En ocasión de precipitaciones fuertes, como generalmente ocurre durante los varios huracanes y tormentas tropicales que afectan Nicaragua durante la estación lluviosa, se activa también un fuerte corrimiento de agua en superficie, el cual genera significativos fenómenos de erosión y



consiguiente transporte de material clástico desde las laderas volcánicas hacia las planicies adyacentes. Es común que las corrientes de agua, al llegar a las porciones inferiores de las laderas y en las planicies adyacentes, como es el caso de la zona bajo examen, desborden de los limitados cauces, inundando y depositando arena y lodo con consecuencias drásticas sobre las actividades y los asentamientos humanos.

Durante el Huracán Mitch (en 1998) varios sectores de la planicie al E de San Jacinto han sido inundados y afectados por corrientes de lodo procedentes del valle del Río El Chorro y de la ladera NE del Volcán Rota. Los sectores más impactados fueron los ubicados a lo largo del camino que conecta El Apante con La Cruz, el cual recorría un cauce inactivo, que se reactivó durante el huracán, causando fuertes daños materiales y pérdida de vidas humanas. Otros fenómenos de inundación, con destrucción de puentes sobre la Carretera Nacional No. 26, ocurrieron en la base de la ladera meridional del Volcán Telica, poco al NE de la ciudad de Telica, afectando la carretera de acceso a San Jacinto; y ciertos daños fueron registrados también en los caminos de acceso a los pozos en San Jacinto - Tizate.

Resulta por lo tanto importante tomar en debida consideración este tipo de riesgos durante la planificación de caminos, plataformas de perforación y otras obras de desarrollo geotérmico, al fin de establecer su ubicación en zonas seguras o de aplicar las medidas de protección adecuadas.



## 4. INDICIOS DE ACTIVIDAD TERMAL

### 4.1 Manifestaciones Termales

En la zona de San Jacinto - Tizate existen dos manifestaciones fumarólicas principales, que son las fumarolas de El Tizate y de San Jacinto. Además existen algunos manantiales tibios y algunas anomalías térmicas en pozos someros. En el conjunto, todas estas manifestaciones ocurren en un área bastante reducida, de unos 2 km<sup>2</sup>, alineada a lo largo de la falla del borde oriental del Graben de San Jacinto.

Otras manifestaciones termales ocurren en varios puntos del macizo volcánico de Telica, especialmente en su cumbre y en su ladera septentrional (El Carol, El Ñajo y Hda. Santa Clara). Estas se describen en el Volumen IV del Plan Maestro (área de Volcán Telica - El Ñajo).

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

Las manifestaciones termales conocidas en toda el área San Jacinto - Tizate son reportadas en la **Figura V-4.1.1** y se describen a continuación. Informaciones más detalladas sobre sus aspectos químicos son reportadas en la sección 4.1.2 y en el Anexo A del presente volumen.

#### *Manifestaciones Termales de El Tizate (UTM 1393.5 N, 524 E)*

Se ubican en una depresión morfológica unos 2 km al N del poblado de San Jacinto, a una elevación de aproximadamente 170 m s.n.m. Se trata de una zona termal caracterizada por la presencia de limitadas emisiones de vapor y gases, pero con presencia de intensa alteración hidrotermal y amplios sectores de suelos calientes.

El área termal actualmente activa está reducida a pocos puntos, en los cuales se observan intensos fenómenos de arcillificación asociados con deposición de sublimados amarillos y blancos en correspondencias de pequeños escapes de vapor. Estas manifestaciones son, sin



embargo, incluidas en un sector más amplio, con una superficie total de poco menos de 0.5 km<sup>2</sup>, donde se observa alteración del suelo (oxidación y arcillificación), anomalía térmica e inclusive existen depósitos de "sinter" silíceo, lo que atestigua una mayor actividad en el pasado. En varios puntos se observa que porciones intensamente alteradas son cubiertas por material clástico y aluvial inalterado, evidenciando que la actividad fumarólica se ha reducido, o ha migrado, en el tiempo. McBirney (1953) efectuó un cálculo del flujo de calor emitido en correspondencia de esta área termal, incluyendo la componente de suelos calientes y las emisiones de vapor, obteniendo un valor de 0.843 MWt.

#### *Manifestaciones de San Jacinto (UTM 1390.5 N, 524 E)*

Estas manifestaciones son comúnmente conocidas como Hervideros de San Jacinto y se ubican al borde occidental del poblado homónimo, a una elevación de 190 m s.n.m. Aquí se observa una actividad más significativa que en El Tizate y, en particular, existe un sector central, con una superficie de aproximadamente una hectárea (10,000 m<sup>2</sup>), caracterizado por pozas de lodo hirviendo, intensa alteración hidrotermal, escapes de vapor y suelos calientes. El cálculo de McBirney (1953) del flujo de calor emitido en correspondencia del área termal, incluyendo la componente de suelos calientes, las emisiones de vapor, y las pozas de lodo, dio un valor global de 23.1 MWt.

#### *Manantiales Tibios de El Chorro (UTM 1391.5-1393 N, 524 E)*

En el estrecho valle entre San Jacinto y El Tizate, en la zona conocida como El Chorro, existen varios manantiales tibios que representan la descarga del acuífero somero existente en la planicie del Graben de San Jacinto. Se trata por lo general de manantiales efímeros, a menudo pequeñas filtraciones, con caudal variable a lo largo del año y con temperatura entre los 32°C y los 40°C aproximadamente. Texas Instruments (1970) reportó en la misma zona también un manantial más caliente, con 66.5°C, ubicado aproximadamente 1 km al SE del área termal de El



Tizate, pero este debe de haber desaparecido en los años sucesivos, ya que no ha sido mencionado por ningún otro autor con excepción de Parsons (1972). Actualmente no existen evidencias de este manantial, y una pequeña fuente en la misma zona presenta temperatura mucho más baja, aproximadamente los 32°C

#### *Otros Indicios de Termalidad*

A parte las fumarolas y los manantiales arriba mencionados no existen muchas otras evidencias de termalidad en la zona, si se excluyen un par de pozos con agua caliente. Uno es el pozo de la Hacienda El Tizate, poco al S del área termal homónima, con agua a 12 m de profundidad y temperatura de 40°C. El otro es el pozo perforado de la vieja desmotadora ubicada 1.2 km al SO de las manifestaciones termales de San Jacinto. Tiene profundidad de 128 m y produce agua con temperatura de 48°C. En todos los pozos someros existentes en las planicies al E, al N y al SO de San Jacinto - Tizate no ha sido reportada ninguna anomalía térmica, así que la expresión termal superficial del recurso geotérmico parece ser limitada al sector comprendido entre la zona de San Jacinto y El Tizate, es decir a la estructura del graben de San Jacinto.

#### *4.1.2 Quimismo y Geotermometría*

Los aspectos químicos de las aguas someras, de las manifestaciones termales y de los pozos geotérmicos profundos en San Jacinto - Tizate, han sido analizados tomando en consideración toda la información disponible, derivada de los estudios anteriores. El estudio geoquímico correspondiente se reporta en el Anexo A del presente volumen, incluyendo todos los detalles metodológicos, una discusión y una interpretación de los datos geoquímicos en el contexto general del sistema geotérmico. A continuación se reportan los rasgos más importantes, presentando separadamente las manifestaciones termales superficiales y las aguas someras hasta los fluidos geotérmicos profundos encontrados en los pozos perforados por Intergeoterm en el período 1992-1995.



El área geográfica cubierta por los datos del Anexo A es la región comprendida entre las coordenadas UTM 1389 N, 1395 N, 522 E y 526 E (Figura V-4.1.2). Esta área está rodeada en todos sus lados por el área más grande asignada al estudio del Volcán Telica - El Ñajo (Volumen IV del Estudio Plan Maestro).

#### *Manifestaciones Termales Superficiales y Aguas Subterráneas Someras*

La mayoría de las aguas muestreadas en manantiales y pozos someros del área son de tipo Ca(calcio)-cationes mixtos- $\text{HCO}_3$ (bicarbonato) en base la concentración por peso (nota: en este informe, la  $\text{HCO}_3$  siempre indica alcalinidad total en forma de bicarbonato), y presentan un contenido de Cl (cloruro) inferior a 55 mg/l. Entre los aniones tiende a prevalecer el  $\text{SO}_4$  (sulfato), en parte como resultado de la mezcla con aguas sulfatadas ácidas producidas en las áreas fumarólicas de San Jacinto y El Tizate por interacción del  $\text{H}_2\text{S}$  (hidrógeno de sulfuro) presente en el vapor geotérmico con el agua oxigenada del acuífero somero. Las temperaturas de las aguas subterráneas muestran una buena correlación con el  $\text{SO}_4$ , a partir de los  $24^\circ\text{C}$  hasta más de  $90^\circ\text{C}$  (en las áreas de fumarolas). Las aguas sulfatadas ácidas tienen una concentración de  $\text{SO}_4$  de hasta 3,000 mg/l y valores de pH tan bajos como 2.5, lo cual no es anormal en estas situaciones.

El contenido de Cl en las aguas subterráneas excede los 20 mg/l solamente en un pozo excavado, ubicado en la planicie al NE del área geotérmica (Las Catenas; ver la Figura V-4.1.2, N/m 767 y 1090) y en un conjunto de muestras recolectadas por Texas Instruments en 1970, en el sector entre San Jacinto y El Tizate. El agua de Las Catenas tiene aproximadamente 50 mg/l de Cl y resulta ser el producto de la mezcla entre un agua de tipo Na-Cl (sodio-cloruro) de derivación profunda y la típica agua bicarbonatada diluida presente en los acuíferos someros de la región. La temperatura reportada es de solamente  $30^\circ\text{C}$  y las demás características químicas del agua no son anómalas. En vista de que esta localidad se ubica en una zona baja, solamente 1.8 km al NE del pozo geotérmico SJ-05 (en la zona de El Tizate), parece probable que el



componente Na-Cl sea de origen geotérmico. Sin embargo, la falta de una anomalía térmica en esta agua parece indicar que no se trata de un afloramiento de agua geotérmica reciente o activo, sino más bien, sea una contaminación residual derivada de un estado anterior del sistema hidrotermal.

Las muestras de Texas Instruments provienen de manantiales y de un pozo con temperaturas variables entre 28° y 43°C, y cloruros entre 19 y 40 mg/l (**Figura V-4.1.2**, N/m 680-690, 692-693; **Figura V-A.3.1.2**). Existen, sin embargo, dos excepciones que se discuten a continuación. La mayoría de las muestras de Texas Instruments evidencian una cierta correlación entre Na y Cl, pero no hay correlación entre Cl y temperatura. Si bien las aguas subterráneas más diluidas en esta misma área muestran una correlación entre el SO<sub>4</sub> y el Cl, ese no es el caso de las muestras de Texas Instruments, y sus valores de pH son esencialmente neutros, en el rango de 6.8 a 8.4.

Las excepciones entre las muestras de Texas Instruments son el Pozo McBirney (en la zona termal del El Tizate, ver la **Figura V-4.1.2**, N/m 694) y el manantial ubicado aproximadamente 1 km al SE de El Tizate un poco al E de los otros manantiales del área (N/m 691; el N/m 2743 del base de datos es el mismo). El Pozo McBirney es un pozo exploratorio somero que se perforó en los años 1950, y su muestra es un agua de tipo cationes mixtos - S04 con un contenido de Cl de solamente 14 mg/l, pero con una temperatura de 85°C. El manantial al SE de El Tizate descarga un agua de tipo Na-Cl, con 66.5°C, que contiene 1,200 mg/l de Cl. Su carácter es muy semejante al agua de los pozos profundos perforados por Intergeoterm, pero ninguno de los estudios más recientes ha vuelto a reportar este manantial y actualmente no existe.

Asumiendo que los análisis de Texas Instruments son exactos, es probable que estas muestras (N/m 680 - 694) contengan un componente Na-Cl, especialmente la muestra del manantial al



SE de El Tizate. Estos manantiales son localizados a unos 200 m de elevación sobre el nivel del mar, lo que limita la probabilidad de que el componente Na-Cl represente un afloramiento activo del sistema geotérmico que existe en profundidad por debajo de esa área. Sin embargo, el notable quimismo del manantial desaparecido al SE de El Tizate sugiere que ha existido en algún momento un afloramiento de este tipo. No hay evidencia de que el Cl venga de una fuente magmática, como en el caso del HCl (ácido clorhídrico) gaseoso que es acarreado por vapor supercalentado. Las condiciones ácidas y el calor que se espera cuando el Cl es acarreado en forma de HCl, simplemente no están presentes. Queda posible que la pequeña "anomalía", de 20 a 40 mg/l Cl, es una expresión de: 1) errores en los análisis; 2) adquisición de pequeñas cantidades de Na-Cl de rocas volcánicas jóvenes; o 3) contaminación residual de una descarga del sistema geotérmico profundo en algún momento en el pasado.

Se tienen solamente tres muestras de isótopos estables (el isótopo 2 de hidrógeno, es decir  $^2\text{H}$  o deuterio; y el isótopo 18 de oxígeno, es decir  $^{18}\text{O}$ ) relativas al área de San Jacinto - Tizate. Existen dos muestras de las fumarolas de San Jacinto y de El Tizate (N/m 2161 y 2155), que evidencian en ambos casos un típico desplazamiento isotópico hacia niveles más altos de deuterio y de  $^{18}\text{O}$  (causado por evaporación a baja temperatura), y una muestra procedente de un manantial en El Chorro (N/m 2168; entre San Jacinto y Tizate), que tiene la composición del agua meteórica.

Por lo que se refiere a los gases, existen solamente dos muestras de las fumarolas de El Tizate (N/m 946 y 947) y tres de las fumarolas de San Jacinto (N/m 940, 948 y 951). Ninguna de las ellas incluye un análisis completo de todos los componentes principales y menores y tampoco incluyen valores interpretables de la relación gas/vapor. Las dos muestras de El Tizate evidencian una contaminación con aire seguida por una ligera pérdida de  $\text{O}_2$  (oxígeno) Su composición corresponde a una mezcla entre un gas geotérmico con  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbón) predominante y aproximadamente un 20% de aire. Una de las muestras de San Jacinto presenta



también una importante contaminación por aire. Las otras dos presentan las características típicas de las fumarolas geotérmicas, con un 95% de CO<sub>2</sub> y trazas de otros componentes, como H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub> (nitrógeno), CH<sub>4</sub> (metano) y H<sub>2</sub> (hidrógeno). Puesto que la evaluación del potencial geotérmico de San Jacinto - Tizate no depende en el quimismo de los gases de las fumarolas (porque hay muestras de los gases de los pozos profundos), no se tomaron nuevas muestras de las fumarolas durante los estudios de campo del Estudio Plan Maestro.

#### *Pozos Geotérmicos Profundos*

El yacimiento geotérmico de San Jacinto - Tizate contiene un agua de tipo Na-Cl, con pH neutro, que es típica de sistemas hidrotermales de temperatura moderadamente alta desarrollados en rocas volcánicas jóvenes.

Se dispone de muestras de fluidos de los pozos SJ-1, 3, 4, 5 y 6, recolectadas al vertedero durante pruebas de producción (después de ebullición a presión atmosférica). Estas presentan en general un contenido de Cl en el rango 2,500-3,500 mg/l, con la excepción del pozo SJ-01 (cuyos datos son, sin embargo, de baja precisión) y de las muestras iniciales del pozo SJ-04, que presentan un contenido de Cl más alto. Ambos pozos SJ-01 y SJ-04 producen a niveles relativamente someros.

El valor de pH es neutro, y el contenido de Ca es de 15 a 50 mg/l, con excepción de un dato con 180 mg/l en SJ-01, mientras que el SO<sub>4</sub> varía entre 20 y 60 mg/l. La alcalinidad, expresada como HCO<sub>3</sub>, es de aproximadamente 10 a 30 mg/l, con la excepción de niveles más altos en SJ-01 y en las pruebas iniciales (años 1993 - 1994) de los otros pozos, especialmente el SJ-04. Estos niveles transitorios más altos de alcalinidad pueden ser el resultado de contaminación por el fluido de perforación, o de aporte en la producción inicial de zonas relativamente someras, luego agotadas, donde el agua Na-Cl se mezcló con agua más somera de tipo HCO<sub>3</sub>. Las



muestras iniciales con  $\text{HCO}_3$  más alto presentan también niveles elevados de Mg con respecto a aquellas obtenidas de pruebas posteriores.

Las relaciones entalpía - cloro en las zonas profundas de producción de los pozos fueron reconstruidas utilizando la química al vertedero combinada con los registros de temperatura de fondo de pozo. En base a esta reconstrucción, la parte más profunda del yacimiento, alcanzada por los pozos SJ-3, SJ-5 y SJ-6, tiene aproximadamente 1,800 mg/l Cl a 265-280°C. El pozo más somero (SJ-4) encontró una condición con 2,400 mg/l Cl a aproximadamente 265°C, y el SJ-1, en la zona de flujo lateral hacia el Sur, encontró una condición de unos 3,800 mg/l Cl a 190°C.

La relación genética entre Cl y entalpía sugiere que el fluido originario, a mayor profundidad en el yacimiento, tiene aproximadamente 2,700 mg/l Cl y aproximadamente 300°C. Si esto es correcto, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

- la concentración de Cl en SJ-1 se explica como el resultado de ebullición y pérdida de vapor en el yacimiento.;
- las condiciones en SJ-3, SJ-5 y SJ-6 son el resultado de una mezcla con agua diluida de muy alta temperatura, como vapor de agua condensado (estas situaciones son bastante comunes en los sistemas geotérmicos); y
- la concentración intermedia de Cl en SJ-4 es el resultado de alguna combinación (en cualquier secuencia) de menor mezcla y ebullición, o de enfriamiento conductivo.

Sin embargo, esto puede ser una sobre-simplificación de los procesos que efectivamente ocurren en el yacimiento.



Los geotermómetros químicos aplicados al agua del yacimiento, utilizando las muestras disponibles procedentes de pruebas efectuadas en 1998, indican temperaturas en el rango 250°-300°C, en concordancia con las mediciones de temperatura de fondo pozo y con el modelo entalpía-Cl, que indica una temperatura originaria del fluido de 300°C.

Los datos de los gases se limitan a dos muestras del pozo SJ-3 y tres muestras de cada uno de los pozos SJ-4, 5 y 6, Ninguna de las muestras incluye un análisis completo de todos los componentes principales y menores. Los datos disponibles son incompletos y presentan algunas incongruencias, y dudas sobre las condiciones y fecha de muestreo. En términos generales se observa, sin embargo, que la composición del gas no es anómala y que, muy probablemente, la concentración de CO<sub>2</sub> es de un 95% por volumen y aquella del H<sub>2</sub>S es de aproximadamente 1-5% por volumen. La proporción de gases en el vapor, a la presión desconocida de las muestras disponibles, es de aproximadamente 0.5 a 1.5% por peso y los valores más razonables de H<sub>2</sub>S en el vapor son de aproximadamente 300 a 600 ppm por peso. Todos estos valores son relativamente bajos, por lo que no deberían constituir un impacto importante en la eficiencia de la producción de energía y sobre los costos de abatimiento del H<sub>2</sub>S, de ser éste necesario.

La mayoría de los geotermómetros de gas aplicados a las muestras de los pozos indican temperaturas en el rango 250° - 300°C, lo cual es consistente con todos los demás datos de temperatura del yacimiento.

## 4.2 Investigaciones Geofísicas

### 4.2.1 *Tipo*

En el área de San Jacinto - Tizate y sectores aledaños fueron realizadas investigaciones geofísicas a nivel de reconocimiento, pre-factibilidad y factibilidad entre 1970 y 1998 y durante 7 períodos distintos, como se presenta en la Tabla V-4.2.1. Las investigaciones han incluido levantamientos gravimétricos y magnetométricos, y levantamientos geoelectricos con métodos



de corriente directa (DC) y electromagnéticos (EM). Los métodos DC incluyeron sondeos Schlumberger y una variedad de métodos dipolo-dipolo. Los métodos EM incluyeron sondeos magnetotéluricos (MT), electromagnéticos de tipo "time domain" (TDEM) y "sondeos de frecuencia" (término utilizado por Intergeoterm).

Los "sondeos de frecuencia" utilizaron un dipolo-dipolo en geometría paralela, con corriente alterna del dipolo fuente; por lo tanto el método es de tipo electromagnético. Los otros métodos dipolo-dipolo utilizados en esta área fueron del tipo dipolos axiales a lo largo de perfiles, y del tipo mapeo dipolar. En el texto a continuación el término "dipolo-dipolo" significa dipolos axiales dispuestos a lo largo de un perfil, a menos que se especifique de otra manera.

#### 4.2.2 Cobertura

Las investigaciones han cubierto áreas de 3 km<sup>2</sup> hasta 350 km<sup>2</sup>. Algunos de los estudios efectuados sobre San Jacinto - Tizate, como los levantamientos de Phoenix Geophysics (1977) y unos pocos sondeos reportados por Texas Instruments (1970) y por Electrodyne Surveys (1980), llegaron muy cerca de la zona de El Ñajo (en la ladera septentrional del Volcán Telica). Los levantamientos magnetotéluricos y gravimétricos realizados por Unocal Geotérmica Nicaragua (1998) cubrieron todo el macizo del Volcán Telica y los sectores aledaños al N y al E, incluyendo ampliamente a las áreas de San Jacinto - Tizate y El Ñajo. Por lo contrario, solamente una pequeña parte del trabajo regional llevado a cabo por OLADE (1982) incluyó a San Jacinto - Tizate.

Entre las investigaciones geofísicas efectuadas, se reportan unos 500 sitios de medición con arreglos dipolares según los métodos de perfiles dipolo-dipolo, mapeo dipolar, o Schlumberger. En total fueron efectuadas por lo menos 300 mediciones utilizando los métodos de sondeo Schlumberger (SEV), magnetotélurico (MT) y electromagnético activo (EM), incluyendo el levantamiento MT realizado por Unocal Geotérmica Nicaragua (UGN). Este último incluyó un



total de 98 sitios de medición, de los cuales una pequeña cantidad resultó ubicada en el área San Jacinto - Tizate. La máxima profundidad de exploración entre todos los sondeos fue de aproximadamente 2.5 km, aunque sea posible que el levantamiento MT realizado por Intergeoterm en 1993 (Pérez *et al.*, 1993) pueda haber alcanzado profundidades mayores.

El levantamiento gravimétrico de UGN (1998) incluyó 307 estaciones, de las cuales aproximadamente 40 se encuentran en el área de San Jacinto - Tizate y se presentan razonablemente bien distribuidas. La **Figura V-4.2.1** presenta un mapa de anomalía residual de gravedad Bouguer y evidencia el área cubierta por este tipo de investigación, mientras que la **Figura V-4.2.2** muestra las ubicaciones de todos los sondeos geoelectrónicos, electromagnéticos y magnetotéluricos realizados en el área, con excepción de los de Scintrex y UGN que no han sido encontradas en los documentos disponibles.

#### 4.2.3 Resultados

La información disponible sobre el área de San Jacinto es en general suficiente para definir la estructura geofísica del campo geotérmico. La calidad y la precisión de las investigaciones han evolucionado con el tiempo, puesto que desde 1970 hasta 1998 la tecnología de los equipos y algunos de los métodos de interpretación mejoraron significativamente, permitiendo obtener datos más confiables. Las principales conclusiones de los trabajos realizados se resumen a continuación.

##### *Gravimetría*

Entre los tres levantamientos gravimétricos que cubren esta área, el más útil es el más reciente, llevado a cabo por Unocal Geotérmica Nicaragua S.A. (1998). Este fue basado sobre una densidad de estaciones de medición más alta (307 estaciones en 350 km<sup>2</sup>) y sobre una distribución de las estaciones más uniforme que en los levantamientos anteriores. El mapa de anomalía de Bouguer residual correspondiente a este levantamiento se presenta en la **Figura V-**



4.2.1, la cual muestra una anomalía positiva de aproximadamente 1 mgal en las áreas de San Jacinto y El Tizate. Esta anomalía tiene una extensión muy reducida y puede reflejar mineralización somera producida por fluidos geotérmicos.

El levantamiento gravimétrico llevado a cabo por OLADE (1982), el cual cubrió todo el sector de la Cordillera de los Marrabios comprendido entre el Volcán Momotombo y el Volcán Telica, está basado sobre una distribución muy heterogénea de los sitios de medición, que fueron localizados esencialmente a lo largo de las carreteras. Los resultados de este levantamiento sugieren, en la misma zona de San Jacinto - Tizate, una anomalía positiva más amplia y más fuerte de aquella obtenida por UGN, pero estos datos se consideran menos confiables, debido a la distribución no uniforme de las estaciones.

Texas Instruments (1970) también efectuó un levantamiento gravimétrico con estaciones aparentemente concentradas a lo largo de las carreteras principales y produjo un mapa de anomalía de Bouguer. Este mapa presenta un pequeño alto gravimétrico cerrado (con diámetro de aproximadamente 0.5 km y una amplitud de cerca de 1 mgal) cuyo centro se ubica aproximadamente 1 km al NE de San Jacinto.

### *Magnetometría*

Texas Instruments (1970) efectuó un levantamiento magnetométrico en correspondencia de las mismas estaciones utilizadas para el levantamiento gravimétrico. La distribución de los puntos de medición es muy heterogénea y no puede definir de manera confiable el campo magnético local. Sin embargo, los resultados de este levantamiento sugieren efectivamente una fuerte anomalía bipolar (con amplitud de aproximadamente 400 gamma) con centro unos 2 km al N del poblado de San Jacinto.



OLADE (1982) también efectuó un levantamiento magnetométrico en correspondencia de las mismas estaciones del levantamiento gravimétrico, pero los resultados correspondientes no han sido encontrados. De toda forma, en el área bajo examen no parecen haber sido efectuadas más de unas 25 mediciones mal distribuidas, las cuales se considera que no pueden haber proporcionado información muy útil.

### *Geoeléctrica DC*

Las investigaciones geoeléctricas de tipo DC efectuadas en el área han sido numerosas y variadas. Estas incluyen los perfiles Schlumberger realizados por Texas Instruments en 1970 y los perfiles dipolo-dipolo contratados por California Energy Company (Phoenix Geophysics, 1977). Juntos, los perfiles dipolo-dipolo y Schlumberger y los levantamientos de mapeo dipolar incluyeron un total de aproximadamente 500 sitios de medición con arreglos dipolares. Además, fueron efectuados por lo menos 60 sondeos verticales de tipo SEV Schlumberger.

El primer trabajo geofísico en el área San Jacinto - Tizate (y Momotombo) fue realizado por Keller y Harthill en 1970, trabajando por la compañía Group 7, bajo contrato con Texas Instruments, Inc. (1970). El levantamiento incluyó varios métodos geoeléctricos, tanto de corriente directa (DC) como electromagnéticos (EM), acompañados por levantamientos locales de gravedad y magnetismo. Entre los varios resultados, los levantamientos geoeléctricos son los más interesantes, porque cubren un área más amplia que los levantamientos gravimétricos y magnetométricos, y revelan anomalías mejor definidas. Los levantamientos geoeléctricos DC incluyeron perfiles de resistividad utilizando arreglos Schlumberger con distancia electrodica fija (150 m), sondeos Schlumberger y sondeos de mapeo dipolar. Estos métodos y, particularmente el mapeo dipolar, fueron de utilidad en delinear la capa sello conductiva del sistema geotérmico. El mapeo dipolar fue efectivo en esta aplicación porque la capa sello es muy somera.



Sucesivamente, en 1974, los resultados del mapeo dipolar de Texas Instruments fueron revisados y interpretados en el ámbito de un proyecto de las Naciones Unidas (UNDP, 1974), en el cual la compañía Scintrex Ltd. trabajó como subcontratista geofísico. Los métodos geoelectricos DC tuvieron en general una penetración máxima de aproximadamente 500 m y parecen haber delineado la capa sello conductiva. La única excepción son varios de los sondeos Schlumberger realizados por OLADE (1982), que alcanzaron 2.2 km de penetración.

El Instituto Nicaragüense de Energía (Electrodyne Surveys, 1980) efectuó también SEV Schlumberger a lo largo de 5 perfiles en el área de San Jacinto. El informe correspondiente reporta que el trabajo de campo fue efectuado en 1979 y la interpretación fue probablemente realizada en 1980, pero no hay fechas específicas en el informe. OLADE (1982) menciona, sin embargo, que los resultados de este trabajo son de dudosa utilidad en cuanto incluyen un amplio número de datos incoherentes, probablemente resultantes de fuertes inhomogeneidades superficiales, y también a causa de pérdidas de corriente a lo largo de los cables, debidas a las condiciones ambientales muy húmedas del período en el cual fue efectuado el levantamiento. OLADE (1981, 1982) contrató también estudios geoelectricos adicionales en el período 1981-1982.

### *Sondeos de Frecuencia*

En 1993, Intergeoterm efectuó una campaña de estudios geocientíficos en el área San Jacinto - Tizate, la cual incluyó dos levantamientos geofísicos: un levantamiento magnetotélurico y una serie de "sondeos de frecuencia" (FS), que son sondeos electromagnéticos activos con frecuencia variable (Ostapenko *et al.*, 1998). El método FS fue basado sobre la energización con corriente alterna de un bipolo enterrado y la medición del campo eléctrico inducido en un dipolo de recepción que fue desplazado a lo largo de 25 líneas transversales paralelas, separadas aproximadamente entre 0.2 y 0.5 km. El método es esencialmente un bipolo-dipolo paralelo ejecutado a una serie de frecuencias de transmisión. Los dipolos fueron de 100 m de largo y su



distancia desde el bipolo fue de hasta 8 km. Las frecuencias de corriente variaron desde 0.076 Hz hasta 312 Hz. Los resultados de este levantamiento se presentaron como resistividad aparente y profundidad aparente, y parece que los datos no fueron modelados para estimar resistividades y profundidades reales. El área cubierta con este estudio está indicada en la **Figura V-4.2.2**, mientras que en la **Figura V-4.2.3** se reporta la zona con resistividad aparente menor de 5.7 ohm-m, derivada del levantamiento FS. Esta zona coincide con la estructura del graben de San Jacinto y, según la información reportada por Ostapenko *et al.* (1998), coincide aproximadamente con la capa sello del sistema hidrotermal.

Los sondeos de frecuencia (FS) dieron información hasta profundidades de 1,500-2,000 m, y mostraron una capa de baja resistividad (de 1 a 8 ohm-m) a profundidades variables entre los 20 m y los 500 m (ver sección de resistividad aparente en la **Figura V-4.2.4**). Subyace a esta zona de baja resistividad un paquete de rocas más resistivas (de 10 a 20 ohm-m), compuesto por lavas andesíticas y materiales volcánicos retrabajados. Estas rocas, a profundidades variables entre los 500 m y los 1,200 m, presentan intercalados cuerpos de baja resistividad (de 2 a 8 ohm-m) que han sido asociados por Ostapenko *et al.* (1998) con un yacimiento geotérmico somero y con las posibles zonas de ascenso de fluidos hidrotermales. Por abajo se encuentra un basamento resistivo correspondiente a secuencias volcánicas y volcáno-sedimentarias del Terciario.

#### *Levantamientos TDEM, MT y MT/TDEM*

Texas Instruments (1970) llevó a cabo sondeos que fueron definidos como "sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo", y que ahora son comúnmente conocidos como sondeos TDEM. En sondeos de este tipo, un impulso de corriente directa (DC) da energía a un bipolo enterrado, y se observa la componente vertical de inducción magnética en un sitio de medición. Los sondeos TDEM de Texas Instruments tuvieron penetración de hasta unos 600 m y mostraron que la capa sello tiene una resistividad de aproximadamente 2-3 ohm-m y espesor



variable entre los 470 y los 540 m, en acuerdo general con los resultados de los sondeos DC y de los sondeos de frecuencia mencionados en la sección anterior.

En el área de estudio han sido realizados dos diferentes levantamientos MT: el primero por parte de Intergeoterm, en 1993 (Ostapenko *et al.*, 1998), y el segundo por Unocal Geotérmica Nicaragua S.A. (1998). El levantamiento de Intergeoterm fue confinado a una estrecha faja que cruza el área geotérmica en sentido aproximadamente N-S, y se efectuó con los objetivos de localizar una posible cámara magmática, investigar la tectónica profunda, e identificar los probables canales de ascenso de fluidos geotérmicos. Los resultados parecen ser presentados en términos de resistividad aparente y profundidad aparente, y parece que no fue aplicado ningún tipo de modelado para estimar resistividades y profundidades reales.

Una sección transversal elaborada por Intergeoterm, basada sobre los datos MT, describe una estructura geoelectrica hasta profundidades de 5 km, las cuales deben de ser muy aproximadas, ya que se considera que estos datos tengan probablemente un poder de resolución muy limitado a profundidades mayores de 2 km. La sección presenta, debajo de San Jacinto - Tizate, zonas de baja resistividad que se extienden hasta profundidades de 5 km, delineando lo que Ostapenko *et al.* (1998) interpretaron como posibles canales de ascenso de fluidos termales. Se observa, sin embargo, que estos datos no pueden efectivamente resolver estructuras tan reducidas (que pueden tener espesor de pocos centímetros), como son las fracturas o las zonas de fracturas que constituyen los conductos de subida de los fluidos geotérmicos. Por otro lado se observa a nivel general que la marcada relación entre zonas de muy baja resistividad y presencia de fluidos termales no ha sido satisfactoriamente comprobada por los resultados de la perforación en San Jacinto - Tizate.

La determinación de vectores de anisotropía en aproximadamente 20 km<sup>2</sup> cubiertos por el levantamiento MT, permitió conocer que a 1 km de profundidad domina la dirección NNE-SSO, en concordancia con la orientación del sistema prevaleciente de fracturas en superficie. En



cambio, a 5 km de profundidad la dirección de los vectores es NO-SE, paralela al eje de la cordillera volcánica cuaternaria.

El levantamiento de UGN (1998) cubrió con 98 estaciones MT/TDEM un área de 350 km<sup>2</sup>, incluyendo el Volcán Telica y las áreas de El Ñajo y San Jacinto - Tizate. A pesar de que el reporte completo del levantamiento geofísico (realizado por Geosystem srl, bajo contrato con UGN) no estaba disponible, un breve resumen de los resultados y dos mapas geoeléctricos son reportados en el informe final de la fase de exploración geocientífica (UGN, 1998). Un mapa de resistividad derivado de datos TDEM a un tiempo de 1 ms revela una situación interesante, mostrando una estrecha (aproximadamente 1 km de ancho), anomalía de baja resistividad (10 ohm-m) que se extiende en sentido NS entre San Jacinto y El Tizate. Esta anomalía es aproximadamente conforme con los resultados anteriores y aparece indicar la ubicación de una capa sello conductiva. La profundidad de penetración correspondiente a 1 ms es de pocos centenares de metros. Un mapa de conductancia a la profundidad de 1 km, basado sobre datos MT, muestra que San Jacinto - Tizate se ubica en una zona de relativamente baja conductancia (200-300). Una estrecha faja de elevada conductancia (mayor de 300 Siemens) se extiende desde El Tizate hacia el NE, pero su significado es desconocido.

### *Conclusiones*

En general, la información disponible indica que la extensión y profundidad de la actividad hidrotermal somera en la zona de San Jacinto - Tizate han sido bien definidas a través de las investigaciones geofísicas, los resultados de las cuales han encontrado cierta confirmación también en los datos de los pozos perforados. Existen, por otro lado, dudas acerca de la extensión del recurso en profundidad y en particular sobre la conformación de las zonas productivas que han sido encontradas por los pozos en El Tizate a profundidades mayores de 1,700 m, las cuales no parecen haber sido satisfactoriamente enmarcadas dentro de algún tipo de anomalía geofísica.



#### 4.3 Resultados de Pozos Geotérmicos

Intergeoterm, S.A. perforó 7 pozos con profundidad variable entre los 724 m y los 2,335 m en la zona de San Jacinto - Tizate durante el período 1992-1995. Las ubicaciones de estos pozos se presentan en la **Figura V-4.3.1**, mientras que sus características principales son resumidas en las Tablas V-4.2 y V-4.3.

Los primeros dos pozos (SJ-1 y SJ-2) fueron perforados en la parte meridional del área, en correspondencia de sitios propuestos por OLADE (1982). Luego, habiendo obtenido escasos resultados, la perforación fue desplazada a la zona del Tizate, unos 2 km al N de San Jacinto, donde fueron perforados los pozos SJ-3, SJ-4, SJ-5 y SJ-6. El último pozo (SJ-7) fue iniciado (sin terminarse) en la zona intermedia entre San Jacinto y El Tizate.

Los resultados y los datos proporcionados por los pozos son resumidos en el informe de factibilidad del campo (DAL, 1995) y en una publicación científica de Ostapenko et al. (1996), a los cuales se hace amplia referencia en la síntesis que se reporta a continuación.

##### *Pozo SJ-1*

El pozo SJ-1, ubicado en proximidad de las manifestaciones termales de San Jacinto, fue perforado hasta la profundidad total de 2,322 m, pero encontró temperaturas sub-comerciales y evidencias mineralógicas de un sistema hidrotermal fósil. El pozo interceptó varias zonas con permeabilidad significativa entre los 460 m y los 1,200 m aproximadamente; luego, a profundidades mayores, los indicios de permeabilidad resultaron muy escasos y de limitada importancia. Al final de la perforación, antes de instalar la tubería ranurada, fue colocado un tapón de cemento con tope a los 1,216 m, así que toda la sección más profunda del pozo no ha sido accesible para ulteriores mediciones.



Los perfiles de temperatura muestran un gradiente muy fuerte ( $30^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) en los primeros 350-400 m, donde se alcanza una temperatura de  $180^{\circ}\text{C}$ , luego se observa una moderada inversión térmica seguida por un gradiente aproximadamente isotérmico hasta los 1,000 m de profundidad, y luego un aumento gradual de temperatura en los últimos 200 m accesibles de pozo, hasta alcanzar los  $190^{\circ}\text{C}$  a los 1,200 m. El perfil térmico en la parte más profunda, medido al final de la perforación (en condiciones no estabilizadas), se presenta muy lineal y con un gradiente muy bajo. La temperatura máxima a fondo de pozo, medida poco después de terminada la perforación, fue de  $188^{\circ}\text{C}$  y extrapolaciones de la recuperación térmica indican valores estabilizados no mayores de unos  $205^{\circ}\text{C}$ .

Después del completado el pozo fueron efectuados varios intentos para descargarlo, pero sin obtener resultados. Las pruebas de inyektividad indican condiciones de permeabilidad mediana (ver Tabla V-4.3.2). Las zonas permeables del pozo localizadas entre la zapata de la tubería de producción (a los 915 m) y el tope del tapón de cemento (1,216 m) han sido aparentemente dañadas por numerosos tapones de cemento que fueron instalados durante la perforación, en el intento de aislar estas zonas permeables para continuar perforando a mayores profundidades.

#### *Pozo SJ-2*

El pozo SJ-2, ubicado unos 3 km al SO del área termal de San Jacinto, fue el primer pozo a ser terminado y resultó estar ubicado en una zona claramente externa al campo geotérmico. La perforación fue terminada a la profundidad de 1,471 m sin haber encontrado significativos indicios de permeabilidad por debajo de los 200 m, ni evidencias de alteración hidrotermal de elevada temperatura.

Debido a las condiciones poco prometedoras, el pozo fue perforado con agujero abierto desde los 322 m hasta los 1,471 m y luego no fue revestido. El pozo fue abandonado lleno de lodo de alta densidad y el agujero resultó muy pronto inaccesible debajo de la tubería somera, así que



no existen registros de las condiciones térmicas estabilizadas en las zonas más profundas. La temperatura máxima medida al fondo del pozo, poco después de terminada la perforación, fue de 97°C, mientras que estimaciones basadas sobre la extrapolación de la recuperación térmica inmediatamente después de la perforación indican valores de unos 120°C, los cuales son también consistentes con la mineralogía de alteración encontrada.

### *Pozo SJ-3*

El pozo SJ-3 fue el primer pozo perforado en la zona de El Tizate y alcanzó la profundidad total de 1,866 m. En toda su porción superior (hasta los 900 m de profundidad), el pozo cruzó una zona intensamente afectada por fenómenos de alteración y deposición hidrotermal, pero sin evidencias de permeabilidad. Debajo de los 900 m fueron reportadas algunas zonas permeables de limitada magnitud, en el tramo entre los 990 y los 1,570 m, y una zona permeable principal a partir de los 1,710 m. La perforación fue aparentemente suspendida por problemas técnicos en la tubería de revestimiento, así que el pozo ha posiblemente interceptado solamente una porción de la formación permeable encontrada debajo de los 1,710 m.

El perfil térmico muestra un gradiente muy fuerte en los primeros 200-300 m donde se alcanzan rápidamente valores superiores a los 200°C, luego sigue incrementándose con un gradiente muy débil hasta los 1,500 m, donde existe una temperatura de 265°C. En la zona más profunda existe una leve inversión térmica, la cual no mostró significativa tendencia a recuperar después de la perforación, así que su significado no está completamente aclarado.

A1 final de la perforación, el pozo fue puesto en producción pero con resultados muy modestos y sin alcanzar presiones de cabezal de interés comercial. Sus parámetros hidrodinámicos son relativamente bajos (ver Tabla V-4.3.2), pero es posible que el pozo sufra los efectos de algún daño relacionado con su construcción y su situación parece no haber sido completamente



investigada. El SJ-3 resultó, sin embargo, ser el pozo de descubrimiento del campo, siendo el primero que demostró la existencia de temperatura y permeabilidad de interés comercial.

#### *Pozo SJ-4*

El pozo SJ-4 encontró a niveles someros una situación geotérmica parecida a la encontrada en SJ-3, con un elevado gradiente térmico y con una intensa alteración hidrotermal, que en este caso resultó ser inclusive más pronunciada. El pozo no encontró ninguna evidencia de permeabilidad hasta los 560 m; luego entró en una zona muy fracturada, inicialmente con pérdidas de circulación parciales y, debajo de los 670 m, con pérdida total de circulación. El pozo fue terminado a los 724.5 m, y entubado con una tubería combinada de 9-5/8" y 8-5/8", cementada en la porción superior (hasta los 481 m) y ranurada en la porción inferior.

La temperatura estabilizada resultó de 268-269°C en correspondencia de la zona productiva. Varias pruebas de inyectividad y de producción efectuadas sobre el pozo han evidenciado también una elevada permeabilidad en la zona productiva y un índice de inyectividad mucho mayor que en todos los demás pozos perforados en la zona (ver Tabla V-4.3.1).

El pozo fue sometido a varias pruebas de producción y fue utilizado como pozo productor durante una prueba de interferencia que tuvo una duración de un mes. Los resultados indican que el pozo puede sostener un flujo total de aproximadamente 525 t/h a una presión de cabezal de 20 bar-a. La entalpía del fluido es de 1,211 kJ/kg. Todo esto indica una productividad inicial de por lo menos 15 MW, la cual puede ser inclusive más elevada operando inicialmente el pozo a presiones de descarga inferiores a los 20 bar-a

#### *Pozo SJ-5*

Este es el pozo más profundo y más caliente del campo, con una profundidad de 2,335 m y una temperatura máxima registrada de 289°C. En toda la porción superior a los 1,700 m encontró



significativos indicios de permeabilidad, mientras que la parte más profunda interceptó diferentes zonas con moderada permeabilidad, sobre todo entre los 2,000 m y el fondo del pozo. Su perfil térmico coincide o queda muy cerca de la curva de ebullición en toda la parte superior del pozo, luego continua incrementando constantemente hasta la profundidad de aproximadamente 1,700 m donde empieza a presentar una leve inversión, coincidente con la zona permeable, para luego recuperar en la parte terminal del pozo hasta los 289°C.

El pozo SJ-5 ha sido valorado solamente sobre la base de pruebas de inyectividad y de interferencia y por medio de una descarga de corta duración. Los resultados obtenidos indican un caudal total de 140 t/h a una presión de descarga de 11.5 bar-a, y una entalpía del fluido de aproximadamente 1290 kJ/kg. Estos datos permiten estimar una productividad inicial de aproximadamente 5 MW. Los valores de inyectividad y de transmisividad reportados (ver Tabla V-4.3.2) son relativamente bajos e inferiores a aquellos de los demás pozos en San Jacinto - Tizate, pero no se reconocen indicios de daños en la formación causados durante la perforación.

#### *Pozo SJ-6*

El pozo SJ-6, análogamente a los pozos SJ-3 y SJ-5, encontró zonas permeables significativas solamente en su parte terminal, entre los 1,740 m y los 1,881 m, donde fueron registradas pérdidas de circulación muy fuertes debajo de los 1,840 m, a raíz de las cuales fue aparentemente tomada la decisión de terminar el pozo a los 1,881 m de profundidad. La terminación del pozo fue afectada por una serie de problemas ocurridos durante la instalación de la tubería ranurada, los cuales han posiblemente causado daños que afectan su productividad. La temperatura máxima registrada en este pozo es de 264°C a los 1,700 m de profundidad, con una leve inversión a profundidades mayores. Análogamente a lo observado en el SJ-3, la inversión en coincidencia con la zona productiva no ha mostrado significativa tendencia a



recuperar después de la perforación e inclusive después de una larga prueba de descarga, por lo tanto su significado no está completamente aclarado.

Las características de producción del pozo, basadas sobre una breve prueba de producción efectuada después de su terminación y sobre un período de producción más largo (casi dos meses) durante una prueba de interferencia efectuada en 1995, indican una descarga total de aproximadamente 110 t/h con una presión de cabezal de 9 bar-a y una entalpía es de 1,100 kJ/kg, datos éstos que permiten estimar su potencial en aproximadamente 3 MW. Existen indicaciones de que el pozo está afectado por un fuerte "skin effect" (efecto superficial) ( $>20$ ), debido probablemente a los daños que se supone hayan sido causados al pozo durante su terminación.

#### *Pozo SJ-7*

El pozo SJ-7, ubicado aproximadamente 1.3 km al SO del SJ-4, fue iniciado en febrero de 1995, con el doble objetivo de explorar la extensión hacia el S de la zona productiva de El Tizate y, al mismo tiempo, buscar zonas idóneas para la reinyección. La perforación del pozo fue, sin embargo, suspendida a los 1,263 m de profundidad, después de la instalación de la tubería de revestimiento de 9-5/8", debido a la suspensión de las actividades del proyecto.

El pozo fue abandonado lleno de lodo de elevada densidad y sin re-perforar el cemento al interior de la tubería, hechos estos que han impedido efectuar sucesivas mediciones por imposibilidad de correr instrumentos en el agujero más abajo de los 300-400 m. Las únicas informaciones acerca de su temperatura indican que el pozo presentó una recuperación térmica al fondo desde los 105°C hasta los 170°C en las 24 horas sucesivas a la suspensión de la perforación y una temperatura de 124°C a los 430 m, después de 19 días de abandonado el pozo. La extrapolación de los datos térmicos registrados al final de la perforación, indica una temperatura estabilizada alrededor de los 215°C al fondo del pozo.



El SJ-7 encontró un importante cuerpo subintrusivo a partir de aproximadamente 600 m de profundidad y no interceptó evidencias significativas de permeabilidad. Parece sin embargo que los datos litológicos, mineralógicos y generales del pozo no hayan sido estudiados en detalle, debido al abandono de las actividades del proyecto.

### *Conclusiones*

El Pozo SJ-1 resultó ubicado en una zona marginal del sistema, con temperaturas sub-comerciales. El pozo SJ-2 resultó estar claramente ubicado en una zona externa al sistema hidrotermal y, por lo tanto, indica que el recurso no se extiende hacia el SO de San Jacinto. El pozo SJ-7, aunque no terminado ni completamente estudiado, confirma la gradual reducción de temperatura hacia el S de El Tizate.

Los pozos en El Tizate encontraron evidencias de un sistema geotérmico activo de elevada temperatura, en el rango 265-290°C, y con dos niveles productivos distintos: uno somero alrededor de los 600-700 m (interceptado sólo por el pozo SJ-4) y otro a profundidades mayores de los 1,700 m. Todos los pozos en la zona de El Tizate fueron, sin embargo, ubicados a distancias uno del otro que no superan los 500 m y en su conjunto cubren un área de tan sólo 0.5 km<sup>2</sup>. Esto representa una limitación en términos de exploración del recurso, ya que los pozos disponibles no permiten delinear su efectiva extensión. La presencia, en varios de los pozos, de daños causados durante su perforación o terminación impide además la evaluación completa de su potencial de producción.



## 5. NATURALEZA DEL RECURSO GEOTERMICO

### 5.1 Localización de la Fuente de Calor

La cumbre del edificio volcánico de Telica presenta una cadena de cráteres unidas (parcialmente traslapando) de 3 km de largo, que muestra un desplazamiento progresivo de la actividad volcánica desde el E hacia el O, es decir, desde El Volcán San Jacinto (o El Listón) hasta el Telica actual. En su conjunto se trata de una estructura reciente y todavía activa en el Telica, lo que atestigua la presencia de un importante sistema magmático en evolución por debajo del edificio volcánico.

El campo geotérmico de San Jacinto - Tizate se ubica en la base de la ladera oriental del Volcán San Jacinto, a una distancia de 7 km desde el cráter activo del Volcán Telica, en una de las porciones más viejas del complejo volcánico. El Volcán San Jacinto, ubicado inmediatamente al E del campo geotérmico, es sin embargo una estructura relativamente joven. Es por lo tanto razonable pensar que debajo del Volcán San Jacinto exista una suficiente anomalía térmica de origen magmático, la cual puede constituir la fuente de calor que acciona el sistema hidrotermal de San Jacinto - Tizate. El Volcán Santa Clara, que también se ubica poco al O del campo geotérmico, no parece contribuir significativamente, como demostrado por el pozo SJ-2, perforado en su base meridional, el cual ha encontrado un gradiente constante en el rango de 6 7°C/100 m y una temperatura del orden de los 120°C a 1,400 m de profundidad.

No existen estudios petrológicos específicos sobre los aspectos termo-barométricos de los magmas del Volcán San Jacinto, así que no hay información acerca de la profundidad y temperatura de la cámara magmática correspondiente.

Es, por otro lado, interesante observar que tan sólo unos 3 km al E de San Jacinto - Tizate existe la zona volcánica de las Lomas de Apante, en la cual hay evidencias (aunque limitadas en



volumen) de magmatismo ácido (domos de San Ignacio) y de emplazamiento de cuerpos magmáticos a niveles relativamente someros (actividad de explosión freática). La edad de este vulcanismo es bastante reciente, alrededor de los 150,000 años (ver sección 3.2 y Anexo B del presente volumen). Por lo tanto, no se puede excluir que también en esta zona exista una fuente de calor que tenga relación con el sistema geotérmico de San Jacinto - Tizate. La tendencia de las temperaturas subterráneas (medidas en los pozos del campo) de aumentarse hacia el N o NE da soporte para esta posibilidad. Sin embargo, los datos geofísicos e hidrogeoquímicos, y las evidencias termales superficiales, no evidencian ninguna relación entre esta zona volcánica y el campo de San Jacinto - Tizate.

## 5.2 Zonas de Ascenso

Los resultados de los pozos perforados por Intergeoterm, incluyendo los aspectos térmicos, y las características de los fluidos encontrados en el yacimiento, indican claramente que la zona de ascenso de fluidos geotérmicos profundos que alimenta el sistema hidrotermal de San Jacinto - Tizate se ubica en o cerca del sector de El Tizate. La zona más caliente y de origen del fluido geotérmico parece coincidir con la intersección estructural entre las fallas N-S del Graben de San Jacinto y otros importantes elementos tectónicos transversales de rumbo NE-SO, por lo tanto es posible que exista una situación estructural que facilita el ascenso de los fluidos geotérmicos.

Los pozos perforados en El Tizate cubren sin embargo un área muy reducida y no permiten definir la ubicación exacta ni la efectiva extensión de la zona de ascenso y de las zonas permeables relacionadas a niveles profundos. Es posible que la zona de ascenso parcialmente interceptada por los pozos de El Tizate se extiende hacia el N, el NE o el NO, mientras que hay poca posibilidad de que pueda extenderse hacia el S.



### 5.3 Dirección de Movimiento de los Fluidos

A partir de la zona de ascenso identificada en el sector de El Tizate, los fluidos geotérmicos se desplazan lateralmente hacia el S, a profundidad variable entre aproximadamente 400 y 1,200 m, al interior de la estructura del Graben de San Jacinto, como presentado en el esquema conceptual de la **Figura V-5.1**. Esta situación es claramente evidenciada por los resultados de los pozos, que demuestran una progresiva disminución de temperatura desplazándose desde El Tizate hacia el S y, en particular, por el pozo SJ-1, que a distancia de aproximadamente 2 km desde la zona de ascenso de El Tizate, ha encontrado zonas productivas someras con temperaturas de aproximadamente 190°C y con fluidos que evidencian haber sido marcadamente afectados por separación de vapor y enfriamiento conductivo. Todo esto concuerda con la distribución de la resistividad en el subsuelo, la cual se caracteriza por una marcada anomalía somera de baja resistividad, que desde la zona de El Tizate se extiende hacia el S en correspondencia de la estructura del Graben de San Jacinto.

La evidencia de los pozos indica que la mayoría del flujo hacia el S está confinado al nivel somero mencionado anteriormente (400-1,200 m); no hay indicios de flujo importante a niveles más profundos en esta dirección. Sin embargo, la distribución de los pozos no permite excluir la posibilidad de un flujo profundo con otro rumbo, el cual, de existir, podría representar una extensión del yacimiento profundo. Será necesario esperar la obtención y análisis de información procedente de pozos adicionales para hacer una interpretación más completa del esquema de flujo en el sistema geotérmico.

### 5.4 Temperatura

La temperatura máxima medida en los pozos, correspondiente al pozo SJ-5, es de 290°C, y todos los pozos perforados en la zona de El Tizate han encontrado temperaturas superiores a los 265°C. La temperatura de equilibrio geoquímico estimada con los geotermómetros de cationes



y de gases, así como a través de la relación Cl-entalpía, indica valores de aproximadamente 300°C para el sistema geotérmico en profundidad.

Estas temperaturas corresponden a las condiciones profundas en la zona de ascenso del fluido geotérmico. A niveles someros, los fenómenos de ebullición al tope de la zona de ascenso y los procesos de mezcla y pérdida de calor por conducción durante el flujo lateral hacia el S, han disminuido la temperatura del fluido termal, y en San Jacinto (pozo SJ-1) no se encuentran temperaturas mayores de unos 190°C. No se conoce exactamente la situación térmica y la variación de temperatura en la zona entre San Jacinto y El Tizate, pero los datos del pozo SJ-7, 1.3 km al SSO del Tizate, indican una posible temperatura de 215°C a unos 1,200 m de profundidad. Más al S de San Jacinto, en el pozo SJ-2, a unos 4 km al SO de la zona principal de ascenso de El Tizate, la temperatura es de solamente unos 120°C a 1,400 m de profundidad.

### 5.5 Química del Fluido

El fluido encontrado por los pozos perforados en el área es de tipo clorurado-sódico, con pH neutro, típico de los sistemas hidrotermales de temperatura moderadamente alta desarrollados en rocas volcánicas jóvenes. En base a las relaciones Cl-entalpía, reconstruidas utilizando los datos químicos de muestras del vertedero combinada con los registros de temperatura de fondo de pozo, resulta que la parte más profunda del yacimiento en la zona de ascenso del fluido geotérmico profundo, alcanzada por los pozos SJ-3, SJ-5 y SJ-6, tiene aproximadamente 1,800 mg/l de Cl a 265°-280°C. El pozo SJ-4 (más somero) encontró una condición con 2,400 mg/l de Cl a aproximadamente 265°C, y el SJ-1, en la zona de flujo lateral hacia el Sur, encontró una condición de unos 3,800 mg/l de Cl a 190°C. La relación genética entre Cl y entalpía sugiere que el fluido originario, a mayor profundidad en el yacimiento, tiene aproximadamente 2,700 mg/l de Cl y aproximadamente 300°C.



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

La composición y el contenido de gases no condensables, aunque no sea muy bien definida por la información existente, es aparentemente normal, con un 95% de CO<sub>2</sub> y aproximadamente 1-5% en volumen de H<sub>2</sub>S. Las proporciones de gases en el vapor, a la presión desconocida de las muestras disponibles, es de aproximadamente 0.5 a 1.5% por peso y los valores más razonables de H<sub>2</sub>S en el vapor son de aproximadamente 300 a 600 ppm por peso. Todos estos son valores relativamente bajos, que no deberían constituir un impacto importante sobre la eficiencia de producción de energía y sobre los costos de abatimiento del H<sub>2</sub>S, de ser éste necesario.



## 6. ESTIMACION DE RESERVAS ENERGETICAS

El área de estudio de San Jacinto - Tizate incluye el campo geotérmico del mismo nombre, donde se han perforado pozos geotérmicos profundos y se ha identificado un recurso explotable. Los pozos completados en el campo geotérmico proveen suficiente información como para hacer con cierta confianza una caracterización preliminar del recurso y estimar sus reservas de energía recuperable.

El área de estudio incorpora también una parte del complejo volcánico Telica, y el Volcán Rota ha sido incluido dentro del área para efectos del Estudio Plan Maestro. Con excepción del campo geotérmico de San Jacinto, y la zona de El Ñajo - El Carol (discutida en el Volumen IV), ningún otro sistema geotérmico se ha identificado con claridad dentro de los dos complejos volcánicos. No obstante, el tamaño y la reciente actividad de estos complejos sugieren la posibilidad de que puedan existir otros sistemas potencialmente explotables que todavía no se han descubierto.

Por esta razón, las reservas de energía geotérmica recuperable en el área de San Jacinto - Tizate se han estimado como sigue:

- Las reservas del sistema geotérmico San Jacinto - Tizate se han estimado como reservas de Categoría I, de acuerdo a la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I.
- Las reservas potenciales asociadas con todo el complejo volcánico de Telica se han estimado como reservas de Categoría 3, usando la metodología que se presenta en el Anexo B del Volumen I. La mayor parte del complejo volcánico Telica yace dentro del área de estudio del Volcán Telica - El Ñajo, y por lo tanto las reservas de Categoría 3 discutidas más adelante se deben considerar que son compartidas entre las áreas de estudio de Volcán Telica - El Ñajo y San Jacinto - Tizate. No hay una manera concluyente



de determinar cuál fracción de los recursos estimados corresponde a cada área, pero para efectos de comparar las dos áreas con las demás evaluadas dentro del Estudio Plan Maestro, se ha asumido que el 60% de las reservas de Categoría 3 del complejo Telica pertenecen al área de Telica - El Ñajo, y el 40% al área de San Jacinto - Tizate, en vista de que la primera de estas áreas ocupa la mayor parte del complejo (ver Volumen I, Capítulo 4). No obstante, se debe reconocer que esta división es arbitraria.

- Las reservas potenciales asociadas con todo el complejo del Volcán Rota se han estimado como reservas de Categoría 3, usando la misma metodología que para el complejo Telica. El complejo Rota yace en su totalidad dentro del área de estudio de San Jacinto - Tizate, por lo que se puede considerar que todas las reservas potenciales pertenecen a esta área.

## 6.1 Reservas de la Categoría 1

### 6.1.1 *Definición de Parámetros*

Las distribuciones probabilísticas de los parámetros críticos requeridos para el cálculo volumétrico de reservas en el campo de San Jacinto - Tizate, se han estimado utilizando la información disponible de los pozos geotérmicos ya completados. La base principal para estimación de los parámetros es la distribución tridimensional de la temperatura en el yacimiento geotérmico, que se ha interpretado a partir del análisis de perfiles de temperatura medidos en los pozos. La **Figura V-6.1** muestra una parte de la distribución interpretada de temperatura, a nivel de -1,000 m s.n.m. en el campo geotérmico. La distribución de temperatura permite la estimación del área y el espesor de la roca que está por encima de una temperatura mínima específica, así como la temperatura promedio dentro del yacimiento geotérmico. En el campo de San Jacinto - Tizate, se ha usado una temperatura mínima de 200°C para definir los límites del yacimiento geotérmico.



A ciertos parámetros que son comunes para todas las áreas del Estudio Plan Maestro, o cuya determinación específica es demasiado incierta, se les han asignado los valores típicos descritos en el Volumen I, Anexo B. Estos incluyen: la capacidad de calor volumétrico de la roca del yacimiento, la porosidad de la roca, vida útil de la planta eléctrica, el factor de capacidad de la planta, factor de utilización y la temperatura de salida. Todos los parámetros usados en el cálculo de las reservas de Categoría 1 en el campo San Jacinto - Tizate se resumen en la Tabla V-6.1.

#### *Localización y Extensión del Yacimiento*

Los pozos en el campo San Jacinto - Tizate definen una amplia zona de altas temperaturas subterráneas (Figura V-6.1). La parte más caliente de la zona se encuentra en la vecindad de los pozos de El Tizate, donde las temperaturas del yacimiento exceden los 260°C y en forma local alcanzan hasta los 290°C. Las temperaturas descienden gradualmente hacia el Sudoeste, y posiblemente también hacia el Oeste. La tendencia de temperatura hacia el Este y el Norte no está definida por los pozos existentes; por lo tanto, es incierta la extensión del yacimiento de alta temperatura en estas direcciones.

El área mínima del yacimiento (dentro del cual las temperaturas son mayores o iguales a 200°C) es de por lo menos 2.5 km<sup>2</sup>, tomando en cuenta la distribución de temperatura a varios niveles dentro de la zona donde los pozos suministran datos definitivos. Como se muestra en la Figura V-6.1, existe una razón para prever que la alta temperatura persiste en un área grande, especialmente hacia el Norte y el Este de El Tizate. Una extrapolación conservadora de la zona de alta temperatura indica un área probable de yacimiento de unos 6.5 km<sup>2</sup>. Una extrapolación más optimista sugiere que el área del yacimiento puede ser de hasta 13 km<sup>2</sup>. Por lo tanto, para el yacimiento se ha asumido una distribución probabilística triangular, definida por valores mínimo, más probable y máximo de 2.5, 6.5 y 13.0 km<sup>2</sup>, respectivamente.



### *Espesor del Yacimiento*

Los pozos en el área de El Tizate demuestran la existencia de temperaturas altas en un intervalo de por lo menos 2,000 m, con indicios de que tales temperaturas pueden persistir a mayores profundidades. Además, se han identificado zonas de producción en varios niveles diferentes, lo que indica la posibilidad de recuperar energía en un intervalo vertical sustancial. Es razonable suponer que conforme el sistema se explota, es posible recuperar calor en un intervalo mayor, hasta unos 3,000 m, aún en pozos con profundidad no mayor de 2,000 m. Por lo tanto, para el espesor del yacimiento se ha asumido una distribución probabilística rectangular, con límites mínimo y máximo de 2,000 y 3,000 m.

### *Temperatura Promedio del Yacimiento*

La distribución estimada de temperatura provee un método para estimar con confianza la temperatura promedio del yacimiento (dentro del volumen del yacimiento donde se exceden los 200°C), por lo menos dentro de la zona para la cual se dispone de datos de pozos. Asumiendo que la distribución de temperatura es bastante similar en la zona del yacimiento que está fuera del campo de pozos, se ha estimado que la temperatura promedio está entre 225° y 235°C. Se han seleccionado estos como los límites de la distribución probabilística rectangular para la temperatura.

#### *6.1.2 Cálculo de Reservas*

La distribución probabilística de las reservas de energía recuperable en el yacimiento geotérmico de San Jacinto - Tizate se calculó usando los parámetros descritos anteriormente y la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I. La distribución calculada se resume en la Tabla V-6.1 y se muestra gráficamente en las **Figuras V-6.2 y V-6.3**.



El valor medio de la distribución probabilística es de aproximadamente 161 MW, con una desviación estándar de 62 MW. El 10° percentil de la distribución es aproximadamente de 90 MW; en otras palabras, hay un 90% de probabilidad de que las reservas recuperables excedan este valor, en base a las suposiciones usadas (**Figura V-6.3**). El valor medio de la capacidad es de 151 MW, aproximadamente, y el valor medio de la energía recuperable por unidad de área es alrededor de 22 MW/km<sup>2</sup>.

### 6.1.3 Comentarios

El método probabilístico de estimación volumétrica indica que las reservas de calor geotérmico en el sistema San Jacinto - Tizate son sustanciales y con capacidad de suplir a un proyecto de generación de energía de tamaño moderado a grande, si se puede obtener en forma económica suficiente capacidad de producción mediante la perforación de pozos. La desviación estándar de 62 MW indica que hay asociado un importante grado de incertidumbre, como resultado, principalmente, de la incertidumbre en cuanto a la máxima extensión horizontal y vertical del yacimiento. Sin embargo, existe una gran probabilidad de que las reservas disponibles de calor sean suficientes como para suplir a un proyecto inicial, y la incertidumbre en la estimación de reservas disminuirá conforme se perforen pozos adicionales y se amplíe el desarrollo del campo.

Como se indica con mayor detalle en el Anexo B del Volumen I, la presencia de reservas de energía calculadas con el método volumétrico no asegura que las reservas puedan ser recuperadas económicamente para producción de electricidad geotérmica. Los pozos perforados en el campo hasta esta fecha demuestran que por lo menos parte de las reservas pueden explotarse mediante pozos geotérmicos productivos, pero no es posible explotar a plena capacidad las reservas de calor sin perforar pozos productores adicionales.



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

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

## 6.2 Reservas de la Categoría 3

### 6.2.1 *Definición de Parámetros*

Las bases para estimación de los parámetros críticos usados para calcular las reservas de Categoría 3 asociadas con el complejo volcánico de Telica ya han sido comentadas en el Volumen VI del Plan Maestro, y se resumen en la Tabla V-6.2. Para el complejo del Volcán Rota, más adelante se discute la base para estimación de los parámetros críticos, que también se resumen en la Tabla V-6.2. A los otros parámetros requeridos para el cálculo se les asignaron valores estándar usados en todas las áreas, que se describen en el Anexo B del Volumen I.



### *Volumen de la Cámara Magmática*

El volumen de la cámara magmática/complejo intrusivo asociado con el Volcán Rota se estimó de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo B del Volumen I, utilizando como base el volumen de los productos eruptivos señalado por el volumen total del edificio volcánico. Como parte del Estudio Plan Maestro se calculó un volumen del edificio volcánico en  $6.5 \text{ km}^3$ , lo que se ha asumido como el límite mínimo de la distribución probabilística rectangular del volumen del magma. El límite superior se ha asumido como dos veces este valor, o sea  $13 \text{ km}^3$ .

### *Profundidad de la Cámara Magmática*

No hay información directa con la cual se pueda estimar confiablemente la profundidad del magma emplazado debajo del Volcán Rota. En ausencia de información más específica para estimar con mayor precisión la profundidad del magma, se ha usado el rango "estándar" de 3 a 7 km, para definir los límites de la distribución probabilística rectangular.

### *Edad de Emplazamiento*

Existe poca evidencia directa a partir de datación radiométrica que se pueda usar para estimar la edad del complejo de Rota. La parte principal del edificio parece ser antigua, basándose en la erosión observable. La comparación con edificios erosionados similares, como en La Guatusa, en el área de Momotombo, sugiere que, en general, la antigüedad del complejo puede ser alrededor de 500,000 años. Sin embargo, la porción del complejo del Cerro de Amapola muestra evidencia de actividad más reciente, posiblemente dentro del rango de 50,000 a 100,000 años. Se ha seleccionado un rango relativamente amplio de 100,000 a 500,000 para la distribución probabilística rectangular de la edad del complejo magmático de Rota.



### *Temperatura del Magma*

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

#### *6.2.2 Calculo de Reservas*

Las reservas potenciales de energía recuperable asociadas con los complejos volcánicos de Telica y Rota se han estimado en base a los parámetros descritos anteriormente y con la metodología presentada en el Anexo B del Volumen I. Los resultados de esta estimación se resumen en la Tabla V-6.2. Las Figuras V-6.4 y V-6.5 describen gráficamente la distribución de reservas como función de la distancia al centro del volcán, con el rango de incertidumbre indicado por la desviación estándar del cálculo de las reservas. Sumando las reservas potenciales asociadas con el complejo magmático de Telica, se tiene una estimación de reservas totales de 307 MW, basadas en el valor medio de la distribución probabilística. Las reservas totales del complejo Rota, calculadas con el mismo método, se estiman en 61 MW.

#### *6.2.3 Comentarios*

Podrá notarse que, como en todas las áreas a las que se les ha asignado la Categoría 3 para el cálculo de las reservas de energía, los resultados presentados anteriormente son una representación estadística del potencial del área, y no prueban concluyentemente que esté presente un recurso geotérmico comercialmente explotable dentro de un sistema o varios sistemas geotérmicos. El tamaño de las reservas comercialmente explotables se debe demostrar en última instancia, mediante perforación de pozos geotérmicos.



Además, las reservas estimadas del complejo Telica se deben considerar como compartidas entre las áreas de Telica - El Ñajo y San Jacinto - Tizate, tal como se menciona anteriormente. Debido a que ambas áreas colindan entre sí a lo largo de una división arbitraria dentro del complejo volcánico, la fracción de reservas que puede adjudicarse a una u otra área no se pueden calcular con precisión.

Las reservas de Categoría 1 calculadas para el campo de San Jacinto - Tizate conllevan un mayor nivel de certeza que aquellas de Categoría 3, en cuanto a la precisión del cálculo y en la localización inferida del recurso geotérmico. Es decir, las reservas de Categoría 1 representan una estimación más refinada de la magnitud de un subconjunto de reservas indicadas por la metodología de Categoría 3. Por lo tanto, las reservas de Categoría 1 no aumentan el potencial máximo indicado por lo estimado en la Categoría 3.



## **7. ASPECTOS AMBIENTALES**

### **7.1 Información Existente**

A pesar de la existencia de una zona de Reserva Natural en los relieves del Volcán Telica y del Volcán Rota, no existen muchos estudios sobre los aspectos naturales y ambientales del área. La investigación más reciente, que enfrenta estos temas de manera sistemática, aunque preliminar, es un estudio llevado a cabo por FUNDENIC-SOS (1999) en el ámbito del proyecto de evaluación y redefinición del sistema de áreas protegidas de Nicaragua, al cual se hace por lo tanto amplia referencia en este informe.

Otras informaciones se encuentran en un estudio ambiental efectuado en 1992, antes del inicio de las actividades de perforación del Proyecto Geotérmico San Jacinto - Tizate, por parte de la empresa Intergeoterm S.A. (DAL, 1992b). Este estudio fue limitado a la descripción del "Marco de Referencia Ambiental" y reporta un análisis general de la situación, con particular atención a las componentes ambientales que fueron consideradas ser potencialmente impactadas por el proyecto (población, recursos hídricos, suelos y aire).

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. Por lo tanto, no existen datos específicos en las áreas de los volcanes. En el caso del área bajo examen las estaciones meteorológicas más cercanas se ubican en León, unos 20 km al SO, y en Chinandega, unos 40 km al ONO, cuyos registros son tomados como referencia climática principal. Informaciones adicionales se obtuvieron de los mapas regionales de parámetros climáticos publicados por INETER, los principales de los cuales son el Mapa de Precipitación Media Anual y el Mapa de Temperatura Media Anual (INETER, 1997). Por un breve período durante el proyecto de Intergeoterm (abril 1994 -junio 1995) se



registraron datos locales de temperatura (bulbo húmedo y bulbo seco) para el cálculo de la humedad relativa, en la zona de El Tizate (DAL, 1995).

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

Información complementaria sobre la situación ambiental en el área ha sido recolectada por el personal (geólogos y geoquímicos) que trabajaron en el campo durante la ejecución de los estudios del Plan Maestro.

## 7.2 Características Ambientales

### 7.2.1 *Aspectos Socioeconómicos*

#### *Población*

A parte el poblado de San Jacinto, ubicado en la extremidad meridional del área geotérmica, la zona comprendida entre el Volcán Telica y el Volcán Rota es poco habitada. En los relieves volcánicos se encuentran dispersas comunidades de campesinos que se dedican a cultivos agrícolas y ganadería de subsistencia. En las zonas de planicie adyacentes a los relieves volcánicos existe una población dispersa en comarcas rurales, las cuales se desarrollan básicamente a lo largo de las principales vías de comunicación.

El área queda completamente incluida en el Municipio de Telica, el cual abarca prácticamente todo el macizo del volcán homónimo y algunas zonas aledañas, con una superficie total de 400 km<sup>2</sup>. La ciudad de Telica, cabecera municipal, se encuentra unos 10 km al SO de San Jacinto y tiene aproximadamente 5,000 habitantes. La distribución de la población en la Municipalidad de Telica se presenta en la Tabla V-7.1, en la cual se reportan los datos oficiales del último censo



nacional, subdivididos por comarcas y por rangos de edades (INEC, 1995). Las comarcas más cercanas al área geotérmica son La Cruz, San José del Apante y El Ojochal. La población total de municipio es de 22,779 habitantes, 4,399 de los cuales viven en la zona urbana de la ciudad de Telica y 2,068 en el poblado de San Jacinto. Los restantes 16,281 (71.5%) habitan en pequeños centros poblados y esparcidos en las zonas rurales alrededor y en las laderas del macizo del Volcán Telica.

La población ubicada en el valle del Río El Chorro (inmediatamente al NE de San Jacinto) y en la planicie aledaña (zona El Apante - La Cruz) fue fuertemente impactada por las inundaciones del Huracán Mitch en 1998 y, sucesivamente, ha sido reubicada en nuevos asentamientos, alrededor del poblado de San Jacinto y a lo largo de la Carretera Nacional No. 26, hacia Malpaisillo (Comarca San Idelfonso Norte).

Según la OIM (1999) un 31.6% de la población de la municipalidad de Telica es considerada “económicamente activa”, y un 42.4% de esta se dedica a las actividades agropecuarias.

#### *Uso de la Tierra*

El uso de la tierra es principalmente de tipo agrícola en toda las planicies alrededor del edificio volcánico de Telica. Durante las décadas de 1960 y 1970 la mayoría de la zona fue dedicada al cultivo intensivo de algodón. Ahora los principales cultivos son sorgo, maíz, soya, ajonjolí y maní, los cuales, en las zonas morfológicamente más favorable, son cultivados con tecnologías agroindustriales en propiedades de medianas y grandes extensiones, como por ejemplo en la planicie inmediatamente al E de San Jacinto - Tizate (zona de La Cruz).



En los relieves volcánicos, el bosque originario ha sido profundamente degradado en muchos lugares por la intervención humana (incluyendo la extracción de leña y madera, y los incendios forestales) o destruido para permitir el avance de la frontera agrícola. Varios sectores de la ladera oriental del Volcán Telica, incluyendo a toda la zona de San Jacinto - Tizate y sectores aledaños, presentan cultivos en pequeñas parcelas de frijoles, maíz, yuca y especies frutales, esencialmente para el consumo de la población local.

No se encontraron datos específicos sobre la clasificación y distribución general del uso de la tierra en el área, con exclusión de algunos datos reportados por FUNDENIC-SOS (1999) y limitados al área de la Reserva Natural Telica-Rota y de su propuesta zona de amortiguamiento. Los datos más significativos se resumen a continuación.

En la Reserva Natural, a elevaciones superiores a los 300 m s.n.m., el 59% de la superficie corresponde a zonas con vegetación natural (bosques latifoliados, vegetación arbustiva y plantaciones forestales) y un 7.5% corresponde a coladas lávicas, depósitos de arena volcánica y deslaves, mientras que el 31% está ocupado por pastos y malezas, y el 2.5% por zonas cultivadas. En la zona de amortiguamiento propuesta alrededor del área protegida, la cual incluye el campo Geotérmico San Jacinto - Tizate, las zonas con vegetación natural cubren el 40%, mientras que las zonas cultivadas alcanzan el 27% de la superficie y las zonas con pastos y malezas cubren un 24% del área. Un 9% de esta zona está ocupado por centros poblados.

#### *Sitios Culturales y Arqueológicos*

Se conoce un pequeño sitio arqueológico en fase de excavación y evaluación, ubicado en la localidad El Apante, al margen oriental del área. Algunos pobladores de San Jacinto ofrecen a los turistas que visitan “Los Hervideros”, objetos de pedernal y de barro que dicen hallar en el sector poco al N del poblado, pero no existe ningún sitio arqueológico, que haya sido reconocido o estudiado en esa zona. Se observa, por otro lado, que el área de Telica es



relativamente inexplorada desde el punto de vista arqueológico y que la presencia de espesas capas de cenizas volcánicas recientes, ha posiblemente cubierto todas las evidencias arqueológicas, dificultando la identificación en superficie de los sitios de interés. Se desconoce la existencia de bienes y monumentos históricos en toda el área.

#### *Centros Turísticos*

Un atractivo turístico, de muy fácil acceso y que está siendo bastante visitado, a pesar de la falta de estructuras de apoyo, son las fumarolas y pozas de lodo hirviente ubicadas a orillas del poblado de San Jacinto, localmente conocidas como "Los Hervideros". Por lo demás, el área del campo geotérmico y sus inmediatos alrededores no presentan particulares atracciones turísticas.

#### *Áreas Protegidas*

El Decreto 1320-83 establece como Reserva Natural todas las porciones de los cerros Los Portillos, Telica, Santa Clara y Rota, con elevación superior a los 300 m s.n.m. (ver **Figura V-7.1**). Tanto la reciente evaluación técnica del área protegida (FUNDENIC-SOS, 1999), como el estudio de impacto ambiental efectuado en la cercana Concesión El Ñajo - Santa Isabel (Harding Lawson Associates, 1998) han identificado un alto grado de intervención humana en la zona de reserva, con deterioro de la vegetación y de la fauna. Solamente un 12% de la reserva está actualmente cubierto por bosque natural, limitado a sectores muy fragmentados. Al interior de la reserva existe también una población dispersa, que mantiene cultivos de granos básicos y practica ganadería de subsistencia.

La "Reserva Natural Complejo Volcánico Telica – Rota" está propuesta por FUNDENIC-SOS (1999) para ser transformada en un Parque Ecológico Municipal, manteniendo el mismo límite de los 300 m de elevación, con la excepción de extenderse éste a elevaciones inferiores en correspondencia de las coladas de lava recientes del Volcán Telica y en correspondencia de los Hervideros de San Jacinto (ver **Figura V-7.2**). La zona de amortiguamiento propuesta para el



nuevo Parque Ecológico Municipal es esencialmente la franja comprendida entre su límite y las carreteras principales que rodean el Volcán Telica y el Volcán Rota (FUNDENIC-SOS). Estas propuestas están actualmente en fase de evaluación por parte de las instituciones competentes. El campo geotérmico San Jacinto - Tizate quedaría completamente incluido en la zona de amortiguamiento, con excepción de su sector meridional (Hervideros de San Jacinto) que sería parte del nuevo parque ecológico municipal (ver **Figura V-7.2.**).

### 7.2.2 Aspectos Abióticos

#### *Topografía*

El área se ubica en la base de la ladera oriental del macizo volcánico de Telica, en una zona de planicie conformada por relieves suaves y relativamente bajos (200-300 m s.n.m.). Poco al SO resalta el cono del Volcán Santa Clara (834 m s.n.m.), mientras que inmediatamente al SE se encuentra el Volcán Rota (832 m s.n.m.). Al E se encuentra la planicie que rodea la cordillera volcánica, en la cual resaltan los residuos de algunos cráteres de explosión y dos característicos domos lávicos. El retículo hidrográfico está principalmente representado por cauces poco profundos que bajan de las laderas volcánicas y confluyen en un estrecho valle que corta los relieves inmediatamente al E de la planicie de San Jacinto - Tizate, hasta alcanzar la planicie alledaña.

#### *Hidrología*

En el área no existen cuerpos hídricos superficiales. El retículo hidrográfico no es muy desarrollado y no existen ríos permanentes, debido a la elevada permeabilidad de los terrenos volcánicos. El principal eje de drenaje superficial está representado por el Río el Chorro, que se origina por la confluencia de varios cauces que bajan de la ladera oriental del macizo volcánico de Telica, y descarga en la planicie al E de la cordillera volcánica. Es parcialmente alimentado



por manantiales ubicados en la zona inmediatamente al N de San Jacinto, los cuales determinan un régimen casi permanente en un corto tramo de su curso intermedio.

El corrimiento superficial ocurre solamente en correspondencia de fuertes lluvias, y a veces puede generar inundaciones catastróficas, como ocurrió durante el Huracán Mitch, en octubre de 1998. El huracán causó la pérdida de varias vidas humanas y fuertes daños materiales en amplios sectores a lo largo del Río El Chorro y en la planicie al NE de San Jacinto.

En toda el área existe un acuífero freático, ampliamente utilizado para aprovechamiento hídrico, el cual se encuentra a profundidades variables entre los 15 y los 45 m, como se puede observar en el mapa hidrogeológico de DAL Spa (1992) presentado en la [Figura V-3.9](#).

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

DAL (1992b) efectuó un muestreo de los manantiales que alimentan el Río El Chorro y de varios pozos en los alrededores del campo geotérmico de San Jacinto - Tizate, con el objetivo de caracterizar los aspectos físico-químicos de las aguas e identificar la posible presencia de contaminaciones naturales derivadas de procesos hidrotermales. La ubicación de los sitios de muestreo es reportada en la [Figura V-3.9](#), mientras que los resultados son indicados en la Tabla V-7.2, en la cual son también reportados (para referencia) los valores de la normativa de la Comunidad Económica Europea (CEE) para aguas de consumo humano.

Los resultados evidencian que, en general, las aguas presentes en el área quedan dentro de los límites normativos para el consumo humano, aunque a veces la concentración de algunos componentes es significativamente superior a los valores guías establecidos por la Normativa CEE, y también por otras normativas internacionales. Los elementos que a menudo exceden los valores guías son Na, SO<sub>4</sub> y Cl, los cuales son típicamente asociados con fluidos de origen geotérmico. DAL (1992b) concluyó que el agua presente en varios sectores del área de San



Jacinto - Tizate presenta un bajo nivel de calidad; debido a una contaminación natural de origen geotérmico.

No se encontró información específica sobre los aspectos bacteriológicos de las aguas en el área.

### *Clima*

Toda la zona, incluyendo sectores significativos de los relieves volcánicos, ha sido afectada por intensos fenómenos de deforestación, los cuales han causado modificaciones en la originaria zonación micro-climática del área. Sin embargo, FUNDENIC-SOS (1999) identificó, en el Volcán Telica, en el Volcán Rota y en las zonas aledañas, la existencia de cuatro zonas climáticas distintas: Tropical con transición a húmeda, Tropical húmeda, Sub-tropical con transición a húmeda y Sub-tropical húmeda.

El área se ubica entre las isoyetas correspondientes a 1,600 y 1,700 mm de precipitación media anual y se caracteriza por precipitaciones esencialmente concentradas en la estación lluviosa, entre mayo y octubre. La temperatura media anual es de 27°C y disminuye aproximadamente 1°C cada 150 m de elevación en los relieves volcánicos (FUNDENIC-SOS, 1999). Mapas de isoyetas y de temperaturas medias anuales relativos a la región occidental de Nicaragua, los cuales evidencian la distribución y variación de estos parámetros en el área bajo examen, son incluidos en el Volumen I, Anexo G, del Plan Maestro.

Con respecto al viento, los únicos datos disponibles son aquellos registrados en las estaciones meteorológicas de Chinandega y de León, para las cuales existen respectivamente datos registrados en el período 1966-1999 y en el período 1980-1999. En Chinandega, unos 40 km al ONO del área bajo examen, el viento sopla predominantemente desde el N, con variaciones desde el SO en el período entre febrero y mayo y desde el E en el mes de julio. En la ciudad de



León, unos 20 km al SO, la dirección del viento es variable en el año entre los cuadrantes NE, E y SE, aunque en promedio prevalezcan vientos que soplan desde el E. Los meses más afectados por el viento son enero, febrero y marzo. La velocidad media del viento varía en el año entre 1.2 m/s (en octubre-noviembre) y 2.3 m/s (en marzo) en Chinandega, y entre 1.4 m/s (en noviembre) y 2.6 m/s (en febrero) en León. La velocidad máxima del viento en el período de registro es de 7.6 m/s en Chinandega y de 5.7 m/s en León (ver datos adicionales en Tabla V-7.3).

### 7.2.3 Aspectos Bióticos

#### *Flora*

Según FUNDENIC-SOS (1999), la vegetación en los relieves de los volcanes Telica y Rota está fuertemente degradada y explotada. El bosque natural es muy fragmentado y disperso, y prácticamente reducido a sólo un 12% de la superficie del macizo volcánico (FUNDENIC-SOS). Las principales causas de estos fenómenos han sido la extracción de leña y de madera, los incendios forestales y el avance de la frontera agrícola hasta en las porciones más elevadas de las laderas volcánicas. La vegetación dominante es la del bosque sub-tropical húmedo y se presenta en el listado de la Tabla V-7.4.

#### *Fauna*

Análogamente a la vegetación, la fauna ha sido ampliamente afectada por la intervención humana y, con respecto a otras áreas similares de la región pacífica de Nicaragua, es muy reducida. La intensa explotación del bosque ha sido acompañada por una caza indiscriminada, por frecuentes incendios forestales y por otros fenómenos que, en su conjunto, han originado una drástica reducción del hábitat natural, con un impacto significativo sobre la fauna. En la Tabla V-7.5 se presenta un listado de las especies animales identificadas en el área por FUNDENIC-SOS (1999). Las únicas especies de interés son el gato montés y el puma, incluidas



en el Apéndice I de CITES (1977), y una especie de tucán, una especie de gavilán, y algunas especies de lora, que aparecen en el Apéndice II de CITES (1977).

### 7.3 Análisis de las Condiciones Ambientales

#### 7.3.1 *Situación Ambiental General*

El campo geotérmico de San Jacinto - Tizate se desarrolla en una zona rural significativamente afectada por intervenciones humanas, tales como la abundante deforestación, la caza, los frecuentes incendios forestales, y la expansión de las áreas agrícolas. La misma Reserva Natural que ocupa las laderas del Volcán Telica, al O del campo geotérmico, y del Volcán Rota, al S de San Jacinto, presenta un significativo estado de deterioro de la flora y de la fauna, debido a la falta de una adecuada protección, control y manejo.

La zona, en general, no es muy poblada, pero al límite meridional del área de interés geotérmico existe el poblado de San Jacinto y, en sus alrededores, hay varias comarcas rurales con población esparcida en el territorio. Aunque existan algunas actividades agrícolas de tipo industrial, la economía local es muy pobre y, además, hay escasez de servicios básicos, como son: agua potable, transporte público, telecomunicaciones, electricidad, salud pública.

La población ubicada en los sectores al NE de San Jacinto, en el valle del Río El Chorro y en la planicie aledaña (zona El Apante - La Cruz), ha sido fuertemente impactada por inundaciones causadas por el Huracán Mitch en 1998, y sucesivamente ha sido parcialmente reubicada en nuevos asentamientos, alrededor del poblado de San Jacinto y a lo largo de la Carretera Nacional No. 26, hacia Malpaisillo (Comarca San Idelfonso Norte).



### 7.3.2 Aspectos Ambientales y Desarrollo Geotérmico

En todo el sector de interés geotérmico, ubicado inmediatamente al N del poblado de San Jacinto, la población es muy reducida, pero existen pequeñas comunidades, especialmente en el valle de Río El Chorro. En general, se considera que el desarrollo de actividades geotérmicas en esta área no implique importantes impactos negativos sobre la población local, pero no se puede excluir la posibilidad de que sea necesario desplazar alguna familia o pequeña comunidad.

La experiencia de anteriores proyectos realizados en el macizo del Volcán Telica, como el mismo San Jacinto - Tizate (Intergeoterm S.A., 1992-1995) y El Ñajo - Santa Isabel (Unocal Geotérmica Nicaragua S.A., 1997-1999), ha demostrado que las instituciones locales, los organismos no gubernamentales operantes en el área y la población en general aceptan con mucho interés los proyectos geotérmicos, en cuanto son considerados fuente de trabajo y beneficio para la deprimida economía local. En el Proyecto San Jacinto - Tizate, Intergeoterm S.A. encontró problemas con algunos propietarios de tierras, los cuales quedaron sin resolverse a causa de la suspensión del proyecto.

Hay ciertos aspectos ambientales adicionales los cuales podrían ser importantes en las actividades planeadas o propuestas de exploración y desarrollo (ver la Tabla V-7.6). Sobre la flora y la fauna en el área, se considera que éstos sean mínimos en todas las zonas de planicie, las cuales son ampliamente deforestadas y cultivadas. En las laderas de los edificios volcánicos, estos impactos pueden resultar más significativos y estar acompañados también por problemas de estabilidad y erosión del terreno, por lo tanto, será necesario evaluar detenidamente cada situación para aplicar las correspondientes medidas de mitigación y prevención. Los cuerpos hídricos presentes en el área, ya sea los manantiales del Río El Chorro, como el acuífero freático, son ampliamente utilizados para el aprovechamiento de la población local, por lo tanto deben ser adecuadamente protegidos de cualquier proceso de contaminación.



Un resumen de los impactos negativos, medidas de atenuación y monitoreo ambiental debidos a actividades de exploración y desarrollo en el área de San Jacinto - Tizate se presenta en la Tabla V-7.6. La gran mayoría de las medidas de atenuación representan la aplicación de diseños y buenas prácticas de la ingeniería civil, hidráulica, de perforación y de yacimientos. Como consecuencia, no tienen una valoración económica adicional a los gastos normales para las obras de estas disciplinas. Los gastos típicos para estas obras se presentan en el capítulo 9 y en más detalle en los Anexos J y K del Volumen I del Estudio Plan Maestro.

Un aspecto de particular importancia a ser considerado es la existencia de la Reserva Natural Complejo Volcánico Telica - Rota, establecida por el Decreto 1320/83 y actualmente en fase de re-evaluación por parte del MARENA (FUNDENIC-SOS). El artículo 3 del decreto constitutivo de dicha reserva está dirigido a la prevención de mayor deterioro de las condiciones ecológicas, y prohíbe la ejecución de varias actividades en la misma, incluyendo cualquier trabajo de ingeniería. Un análisis más completo de este problema se reporta en el Volumen I, Anexo G, del presente estudio.



## 8. ASPECTOS INFRAESTRUCTURALES Y LOGISTICOS

### 8.1 Accesibilidad

El campo geotérmico de San Jacinto - Tizate se extiende inmediatamente al N del poblado de San Jacinto, el cual está ubicado a orilla de la Carretera Nacional No. 26. Esta se origina en Telica y representa la principal vía de comunicación que conecta la zona de León con el interior del País. En Telica, 12 km al SO de San Jacinto, la Carretera Nacional No. 26 se conecta con la Carretera Nacional No. 12, que interconecta la cabecera departamental de León con la ciudad de Telica y con todas las otras ciudades del occidente del País. A partir de San Jacinto, la red vial arriba mencionada permite alcanzar la ciudad de León en menos de media hora, la capital Managua en aproximadamente dos horas y la ciudad de Chinandega en una hora.

En la zona del campo geotérmico, Intergeoterm construyó dos diferentes caminos de acceso que permiten alcanzar la zona de El Tizate, unos 2 km al N del poblado de San Jacinto, donde se encuentra la mayoría de los pozos. El camino principal fue construido directamente desde el poblado de San Jacinto, cruzando toda la planicie al N hasta llegar a la zona de El Tizate, donde cortos tramos de caminos secundarios conectan con todos los pozos existentes en esa área (SJ-3, SJ-4, SJ-5, SJ-6). El mismo camino pasa también por la plataforma del pozo SJ-1 y permite el acceso al pozo SJ-7. Se trata de un camino no pavimentado pero amplio y con fondo de material bien compactado.

Otro camino de acceso a El Tizate fue construido a partir de la comarca La Cruz, en la planicie al E del campo geotérmico. El acceso a esta zona es desde la Carretera Nacional No. 26, unos 3 km al E de San Jacinto, recorriendo el camino rural que lleva a las localidades de El Apante y la Cruz. En La Cruz el camino entra a una hacienda agrícola privada y, siguiendo una trocha interna, alcanza la base de la loma ubicada inmediatamente al E de El Tizate, en la cual Intergeoterm construyó una nueva trocha que llega hasta la zona de los pozos. Este camino, que



en el tramo entre El Apante y La Cruz fue completamente destruido durante el Huracán Mitch, es más largo y más incómodo del anterior y presenta varias desventajas como son las pasadas de cauces sin puentes y una subida que es muy pronunciada.

Recientemente Intergeoterm reacondicionó la vía de acceso desde el E, la cual constituye la única posibilidad para alcanzar los pozos de El Tizate, porque el acceso directo desde San Jacinto está actualmente cerrado a causa de problemas con algunos propietarios de tierras.

## 8.2 Uso de la Tierra

El uso de la tierra es principalmente de tipo agrícola en toda la zona de San Jacinto - Tizate y sectores aledaños. Actualmente los principales cultivos son sorgo, maíz, soya, ajonjolí y maní. En los relieves volcánicos y, sobre todo en la zona de San Jacinto Tizate, el bosque originario ha sido profundamente degradado por la intervención humana. En toda la zona de interés geotérmico y en sus alrededores existen cultivos en pequeñas parcelas de frijoles, maíz, yuca y especies frutales, esencialmente para el consumo de la población local, así como zonas de pasto o de malezas dedicadas a limitadas actividades ganaderas. Mayor detalle sobre el uso de la tierra en el área de estudio se presenta en la sección 7.2.1.

## 8.3 Disponibilidad de Sitios para Perforación y Construcción

El campo geotérmico de San Jacinto - Tizate se encuentra en una zona rural, con planicies y relieves poco accidentados y con población principalmente concentrada en el poblado de San Jacinto. Ya existen en el área instalaciones e infraestructuras relacionadas con el proyecto geotérmico de Intergeoterm. En general, se puede por lo tanto asumir que no existan importantes problemas para la ubicación de perforaciones e instalaciones geotérmicas en el área.



En algunos sectores específicos podrán, sin embargo, encontrarse ciertas restricciones debidas a los siguientes aspectos:

- En las zonas termales de San Jacinto y de El Tizate existen sectores afectados por intensa alteración hidrotermal del suelo, los cuales pueden no ser idóneos para la construcción de plataformas de perforación u otras obras civiles.
- En el valle del Río El Chorro, inmediatamente al E de El Tizate, existen limitadas zonas con morfología abrupta y relieves escarpados, que implican ciertas limitaciones para la ubicación de plataformas de perforación.
- En algunos limitados sectores, como alrededor del poblado de San Jacinto y a lo largo del Río El Chorro se encuentra cierta concentración de población.
- Todos los terrenos en el área son de propiedad privada, por lo tanto no se pueden excluir posibles conflictos con dueños de terrenos, como de hecho ya surgieron durante el proyecto de Intergeoterm.

Tomando en consideración la ubicación, la distribución, las características y la extensión de las zonas problemáticas arriba mencionadas, se considera, sin embargo, que las restricciones afectan áreas relativamente limitadas y, probablemente, no constituyen importantes problemas. En el campo de la perforación, si fuera necesario, muchos de estos problemas podrán ser superados con la aplicación de técnicas de perforación direccional.

Cabe, en fin, mencionar la existencia de la Reserva Natural que se extiende en los macizos de los volcanes Telica y Rota a elevaciones superiores a los 300 m s.n.m., cuyo límite empieza un poco al O y un poco al S del área San Jacinto - Tizate. La Reserva Natural presenta significativos impactos generados por la intervención humana y está actualmente en fase de re-



definición por parte del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARENA). Las efectivas restricciones generadas por esta área protegida dependerán del criterio de protección que aplicará el MARENA con el proceso de re-definición y del conjunto de políticas ambientales y energéticas que implementará el Gobierno de Nicaragua. Informaciones adicionales acerca de este problema se encuentran en el Capítulo 7 del presente volumen y en el Anexo G del Volumen I.

#### 8.4 Disponibilidad de Agua

En toda el área no existen cuerpos hídricos superficiales, si se excluyen algunos pequeños manantiales, a menudo con aguas ligeramente termales, como los que se encuentran en el valle del Río el Chorro, entre San Jacinto y El Tizate. Todos estos manantiales presentan un caudal efímero y son utilizados para el aprovechamiento hídrico por la población local. Resulta así evidente que, para la ejecución de obras de perforación y construcción, debe de planificarse el uso de aguas subterráneas.

En toda el área, y especialmente en las planicies al E y al S del campo geotérmico, existe un amplio acuífero con buenas características de permeabilidad y transmisividad, a profundidades de algunas decenas de metros. En este acuífero ya existen muchos pozos perforados o excavados, para uso doméstico y para riego.

Intergeoterm construyó un sistema de aprovechamiento hídrico para las operaciones de perforación basado sobre dos puntos de alimentación, ubicados respectivamente al S y al E del área San Jacinto - Tizate. El sistema meridional se basa sobre el pozo de la vieja planta desmotadora de algodón ubicada aproximadamente 1.5 km al SO del poblado de San Jacinto, a partir del cual el agua es bombeada a una pila de almacenamiento y distribución localizada poco al NO del pozo SJ-1. El sistema oriental se abastece con dos pozos en la zona de La Cruz, desde los cuales el agua es bombeada a una pila de almacenamiento en el tope de la loma



inmediatamente al E de El Tizate, para ser distribuida a todos los posibles sitios de perforación en la zona.

#### 8.5 Factibilidad de Realizar Trabajos de Exploración y Desarrollo

Las informaciones recolectadas durante las investigaciones del Plan Maestro permiten evidenciar una serie de factores logísticos que hacen muy favorable la realización de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en esta área. Estos aspectos se resumen como sigue:

- Cercanía y facilidad de acceso desde la ciudad de León, con todas las correspondientes ventajas de tipo logístico. La ciudad de Managua, aunque más alejada, se encuentra a sólo 2 horas en vehículo.
- Facilidad de acceso local, a través de los caminos construidos por Intergeoterm. Las condiciones topográficas son, además, favorables en la mayoría del área y no existen significativas limitaciones para la construcción de nuevos caminos.
- Buena conexión con toda la infraestructura principal de transporte del país, a través de la Carretera Nacional No. 26, que corre al límite meridional del área y se conecta en Telica con la Carretera Nacional No. 12, la cual representa el eje vial principal de la región pacífica de Nicaragua.

La subestación eléctrica principal del Sistema Interconectado Nacional más cercana se ubica en León, aproximadamente unos 20 km al S de San Jacinto (ver **Figura V-8.1**). Esto implica una relativa facilidad de conexión al sistema de transmisión eléctrica nacional e internacional.

- Bajo potencial de conflictos de carácter social.



- Limitados problemas o restricciones de disponibilidad de terrenos (a menos de que queden sin resolverse los problemas existentes con dueños de terrenos o que aparezcan otros).

Existen también algunos aspectos que pueden implicar ciertas restricciones o ser fuente de problemas, como, por ejemplo, la presencia de la Reserva Natural del Volcán Telica. Esta no afecta directamente a la zona actualmente conocida del campo geotérmico, pero podría implicar restricciones en la ampliación de la exploración hacia el O, o imponer limitaciones relacionadas con su zona de amortiguamiento, que está en fase de definición.

La evaluación global de la situación permite sin embargo considerar que, aunque existan locales puntos sensibles, no se reconocen problemas de tipo logístico, infraestructural y socioeconómico que impongan significativas limitaciones a la viabilidad de un proyecto geotérmico en San Jacinto - Tizate. La cercanía de la ciudad de León, la facilidad de acceso al área y las condiciones relativamente favorables de conexión al sistema de transmisión eléctrica, representan en su conjunto una condición muy favorable para el desarrollo de un proyecto de generación geotermoeléctrica en esta área.



## 9. OPCIONES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

### 9.1 Consideraciones para el Desarrollo del Campo de San Jacinto - Tizate

La perforación, terminación y prueba de varios pozos productivos en el campo de San Jacinto - Tizate ha comprobado la existencia de un recurso geotérmico de alta temperatura, y los pozos han demostrado, en combinación, una capacidad inicial de producción cercana a los 25 MW. Los estudios del recurso realizados con base a los resultados de perforación y otras investigaciones, y al modelado del yacimiento, indican una capacidad comercial comprobada de 35 MW, una capacidad probable de 60 MW, y una capacidad posible de 90 MW (DAL, 1995). Por consiguiente, puede considerarse que el campo está en la etapa de factibilidad para desarrollo comercial inicial.

A pesar de la viabilidad demostrada del recurso, existen ciertas incertidumbres, los cuales deberán resolverse como parte del desarrollo del campo. Dentro de estas se incluyen:

- Localización de pozos de desarrollo. Todos los pozos productivos existentes han sido perforados dentro de una pequeña parte de la zona de El Tizate; por lo tanto, el desarrollo de capacidad adicional de producción más allá de lo que actualmente está disponible requerirá que se perforen pozos de extensión. Las tendencias de temperatura que se han identificado en el campo indican que, hacia el Sur de Tizate, es posible una extensión limitada solamente, mientras que el potencial de expansión del campo de pozos productores es mayor en otras direcciones. Será necesario evaluar y definir los límites horizontales del yacimiento geotérmico productivo conforme se perforen nuevos pozos, y la capacidad máxima posible de producción del campo dependerá, en un alto grado, del área que se pueda desarrollar económicamente.



- Producción somera versus profunda. Con el pozo SJ-4 se ha demostrado la existencia de una zona somera y (por lo menos localmente) altamente productiva; no obstante, no se ha definido la extensión del yacimiento somero. Dos de los pozos (SJ-5 y SJ-6) han logrado producir a partir de lo que en apariencia es un yacimiento bien diferenciado y más profundo, aunque su capacidad de producción sea más baja que la del SJ-4. Los costos de perforación se pueden reducir si la producción del yacimiento somero se puede explotar de manera sostenida, mejorándose así la economía del proyecto; sin embargo, al decidirse por una producción somera se toma el riesgo potencial de sobreexplotación, con los consecuentes problemas operacionales. Por el otro lado, un énfasis en la producción a partir de niveles más profundos puede ser más conservador, pero probablemente resultaría en mayores costos de desarrollo del campo.
- Condición de los pozos existentes. Hay cierta evidencia que indica la posible existencia de problemas mecánicos en algunos de los pozos, lo cual puede limitar su utilidad en operación de largo plazo o para una mejor evaluación del recurso. Intergeoterm supuestamente ha estado investigando recientemente la condición de los pozos, pero los detalles no han estado disponibles para el Estudio Plan Maestro. La posibilidad o imposibilidad de usar los pozos existentes puede causar impacto en los planes de desarrollo y en los costos.
- Estrategia de Inyección. El modelo conceptual del campo, en gran parte basado en los resultados de perforaciones profundas, indica que una zona relativamente extensa de flujo lateral se extiende al Sur de Tizate, hacia San Jacinto (ver **Figura V-5.1**). Dentro de una gran parte de esta zona se interpreta que las temperaturas están por debajo del límite comercial (200°C o menos), lo que la hace atractiva como posible área de inyección. Sin embargo, las características de permeabilidad de la zona no se han definido totalmente, ni se ha identificado la localización óptima de los pozos de inyección. Un elemento



importante en la estrategia general de desarrollo es la selección de sitios para pozos de inyección que balanceen la necesidad de sostenimiento de presión del yacimiento contra el riesgo de un retorno excesivo de agua inyectada hacia los pozos de producción (creando la posibilidad de que el yacimiento se enfríe).

Las consideraciones para desarrollo descritas anteriormente no son exclusivas para el campo de San Jacinto - Tizate. Los proyectos de desarrollo geotérmico generalmente tienen que hacerle frente a algunos o a todos estos asuntos, cuya solución es parte inherente del proceso normal de desarrollo. El nivel de riesgo del recurso, representado por las incertidumbres presentes en el campo de San Jacinto - Tizate, está dentro del rango normal de riesgo en desarrollos geotérmicos.

## 9.2 Opciones para Mayor Exploración

El campo geotérmico de San Jacinto - Tizate es el único recurso geotérmico que ha sido identificado dentro del área de estudio (indicios de potencial geotérmico dentro de la mayor parte del complejo volcánico Telica se estudian y discuten en el Volumen IV: Volcán Telica - El Ñajo). Parece posible la ampliación del recurso identificado en San Jacinto - Tizate, principalmente mediante perforación de pozos de extensión del campo en, y alrededor de, la zona de El Tizate. A pesar de que en otras partes del área de estudio no hay indicios fuertes (como fumarolas o manantiales calientes) de recursos explotables, la magnitud de la actividad volcánica justificaría una mayor exploración en busca de recursos adicionales.

El complejo volcánico Telica ha sido objeto de investigaciones bastante extensas para exploración geotérmica; la naturaleza y los resultados de las investigaciones han sido descritas en este volumen y en el Volumen IV. Comparativamente, el complejo volcánico de Cerro Rota no ha sido investigado del todo, presumiblemente debido a su aparente mayor edad, a la ausencia de manifestaciones termales, y a la presencia de áreas cercanas más atractivas. No



obstante, la actividad volcánica del complejo Rota es lo suficientemente reciente como para que potencialmente hubiera presencia de actividad geotérmica.

Las investigaciones que se pueden llevar a cabo en el complejo Rota para exploración geotérmica serían de naturaleza de reconocimiento. Basándose en lo que se conoce de esta zona, las actividades más adecuadas consistirían de:

- Detalladas investigaciones geológicas, incluyendo estudios vulcanológicos y estructurales, para determinar el tipo y localización de las principales estructuras geológicas dentro del edificio volcánico, y caracterizar la evolución volcánica del complejo. En conjunto con este trabajo se puede conducir una búsqueda exhaustiva de posibles áreas de suelos alterados u otras manifestaciones termales, utilizando métodos de sensores remotos e investigaciones de campo.
- Datación de depósitos volcánicos del complejo, para calcular mejor la edad de las diferentes etapas de la actividad volcánica.
- Investigaciones geofísicas, para identificar y caracterizar zonas de anomalía geofísica que pueden ser asociadas con actividad geotérmica. Tales investigaciones se deben diseñar para que cubran la mayor parte posible del complejo volcánico, con una densidad moderada de estaciones. Los estudios gravimétricos e investigaciones geoelectricas basadas en métodos magnetotelúricos (MT, AMT o CSAMT) suministrarían información útil de manera más directa.

La Tabla V-9.1 es un resumen de estas actividades y los costos aproximados asociados. Todas las investigaciones se deben diseñar para que contribuyan a cumplir con el objetivo principal, de evaluar la posibilidad de que exista un recurso geotérmico dentro del complejo Rota, y determinar si sería útil un estudio más detallado de una zona o zonas particulares.



**COMISION NACIONAL DE ENERGIA**

---

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

Basándose en la evidencia disponible y en el modelo conceptual del sistema San Jacinto - Tizate, es aparente que cualquier recurso explotable que se pueda llegar a descubrir en el complejo de Cerro Rota sería un sistema separado, y no una extensión de San Jacinto - Tizate. Por lo tanto, los estudios de reconocimiento deben cubrir todo el complejo de Rota, y no se debe poner énfasis en encontrar una extensión del campo San Jacinto - Tizate.



## 10. REFERENCIAS

- Aitken, M. J., 1985. Thermoluminescence Dating. Academic Press, London, 359 pp.
- Alemán Lacayo A. J., 1998. Primer informe de gobierno, 1997. Mensaje presidencial del 10 de enero de 1998 a la honorable asamblea nacional.
- Bowers, C., 1982. Geochemistry and petrology of Telica volcano, Nicaragua. B. S. thesis, Rutgers University, New Brunswick, N.J., U.S.A., 34 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.
- California Energy Co., 1978. Thermal prospects of the San Jacinto Tizate area. (Informe preparado por Burns P. y Campbell A.)
- 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.)
- DAL / ELC / ENEL, 1995. Estudios de evaluación del potencial energético, factibilidad de la estabilización y de la tercera unidad geotermoelectrica del campo geotermico de Momotombo, Fase IA - investigaciones geocientificas: Informe de síntesis, Anexo C - Estudios geofisicos, y Anexo D - Estudio geoquímico. Managua, Octubre de 1995. BID (Banco Interamericano de Desarrollo) Washington D.C., Estados Unidos. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia. ELC - Electroconsult, Milano, Italia.



- DAL SpA, 1992a. Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate. Servicios de ingeniería para el desarrollo del campo. Síntesis de la información existente y ubicación de tres pozos de prueba. Intergeoterm, Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL SpA, 1992b. Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate. Servicios de ingeniería para el desarrollo del campo. Marco de referencia ambiental. Intergeoterm, Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL SpA, 1994. Pozo SJ-1. Resultados y evaluación del sector San Jacinto (Septiembre 1994). Proyecto Geotérmico San Jacinto - Tizate. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. Informe SJT 126/018. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL SpA, 1995. Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate, Informe de factibilidad, Vol. 1, Evaluación del recurso e ingeniería, Agosto de 1995. ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- DAL SpA, 1997. Proyecto geotérmico Momotombo, Pozo MT-43. Perforación, datos geológicos, mediciones y pruebas. Informe interno ENEL (Empresa Nicaragüense de Electricidad), Managua, Nicaragua. DAL SpA, Milano, Italia.
- Decreto No. 1320, del 8 de Septiembre de 1983. Creación de Reservas Naturales en el Pacífico de Nicaragua. Publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 213 del 19 de Septiembre de 1983.
- Electrodyne Surveys, 1980. INE - Instituto Nicaragüense de Energía, Plan maestro de desarrollo eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua, Volumen 5.2, Geothermal resources inventory: Geophysics investigations (Electrical geophysical surveys in Nicaragua 1978). Preparado para Consorcio IECO - LAHMEYER, Managua, Nicaragua, por Electrodyne Surveys Inc., Reno, Nevada EUA, Marzo de 1979.
- Elming, S. A. y T. Rasmussen, 1997. Results of magnetotelluric and gravimetric measurements in western Nicaragua, Central America. Geophysical Journal International, Vol. 128, No. 3, pp. 647-658.
- FUNDENIC-SOS, 1999. Evaluación y re-definición del sistema de Afeas Protegidas del Pacífico y centro norte de Nicaragua. Volumen I: Áreas Protegidas del Pacífico. Informe no publicado, elaborado para MARENA/PROTIERRA/CBA, Managua, Nicaragua.



Harding Lawson Associates, 1998, Estudio de impacto ambiental para la perforación exploratoria de los recursos geotérmicos de la concesión El Ñajo - Santa Isabel, Municipio de Telica, Departamento de León, República de Nicaragua. Informe preparado para Unocal Geotérmica Nicaragua, S.A., Managua, Nicaragua, por Harding Lawson Associates, Engineering and Environmental Services, Novato, CA, EUA, Proyecto de HLA No. 40746, August 6, 1998..

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

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

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

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

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

INETER-CEPREDANAC, 1994. Peligro volcánico "Volcán Telica." Informe preparado por Navarro CM., 80 pp.

Krásny, 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.

La Femina, P.C., 1997. Monitoring of soil mercury and soil gas radon and carbon dioxide at two active volcanoes: Cerro Negro and Telica, Nicaragua. Florida International University, Miami, Florida, USA. MS thesis.

Lefebure, D. V., 1986. The Mina El Limon area and the Telica complex: two examples of Cenozoic volcanism in northwestern Nicaragua, Central America. PhD thesis, Department of Geology, Carleton University, Ottawa, Canada. 1986, by David V. Lefebure. 355 pp. y mapas. Análisis químicos en la tabla 8.1 y Anexo IV.



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

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., 1952-1953. Memorandum y cartas a Mr. Spencer acerca de la exploración y perforación de pozos someros en la zona de El Tizate. Archivo ENEL.

Mooser F., H. Meyer-Abich y A. R. McBirney, 1958. Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields. Part VI, Central America. Publicación de la "International Volcanological Association".

Naciones Unidas, 1974. Aprovechamiento de recursos geotérmicos, Nicaragua. Conclusiones y recomendaciones del proyecto. Informe no publicado. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Naciones Unidas, Nueva York DP/UN/NIC-71- 510/1.

OIM, 1999. Características socio-demográficas 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, Diciembre 1981. OLADE - Organización Latino Americana de Energía.

OLADE, 1982. Aprovechamiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua. Estudio de prefactibilidad del área El Hoyo - San Jacinto.

Ostapenko S. V., S. V. Spektor, H. Dávila, E. Porras y M. Pérez , 1996. A reservoir engineering assessment of the San Jacinto - Tizate geothermal field, Nicaragua. Proc. 21st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, California, Jan. 22-24, 1996.

Ostapenko S. y N. Baklikov, 1994. Proyecto de búsqueda en el Sector de San Jacinto del Campo Geotérmico de San Jacinto - Tizate. Intergeoterm, S.A., Departamento de Exploración.

Ostapenko S., N. Baklikov y S. Spektor, 1994. Proyecto de exploración en el área geotérmica de San Jacinto - Tizate (área "Santa Isabel"). Intergeoterm, S.A., Departamento de Exploración, Mayo de 1994.

Ostapenko, S. V., S. V. Spektor y Y. P. Netesov, 1998. San Jacinto-Tizate geothermal field, Nicaragua; exploration and conceptual model. Geothermics, Vol. 27, No. 3, pp. 361-378.



- Parsons, 1972. Final Technical Report, Volume IV, The Geology of Western Nicaragua. Tax Improvement and National Resources Inventory Project, Nicaragua. Prepared under the supervision of Parsons Corporation in Joint Venture with Marshall & Stevens Incorporated and International Aero Service Corporation, Operations Consultant. Managua, Nicaragua, March 1972. Datos geoquímicos en Chapter V, Thermal Spring and Lake Water, con tablas asociadas.
- Pérez, L. NI. y G. Zabarni, 1993. Informe Sobre los Trabajos de Exploración Hidrogeológica y Geofísica en el Campo de San Jacinto en el Período Comprendido de 01.08.92 hasta 01.02.93: INTERGEOTERM, S. A., Managua, Marzo 1993.
- Phoenix Geophysics, 1977. Report on the reconnaissance resistivity survey of the San Jacinto area, Nicaragua, Central America. Prepared by Phoenix Geophysics Incorporated for California Energy Company. (por B. S. Bell)
- 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.
- 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 (por J.B. Thigpen).
- Texas Instruments Inc., 1970. Reporte final, Proyecto de recursos geotérmicos - Etapa una, Parte 5, Prospecciones de gravedad y magnético. Para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Julio de 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (por M. Mazzolini).
- Texas Instruments Inc., 1970. Reporte final, Proyecto de recursos geotérmicos - Etapa una, Parte 6, Prospecciones de geofísica eléctrica. Para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Diciembre de 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (por G. Keller y N. Harthill).



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

- Texas Instruments Inc., 1970. Reporte final, Proyecto de recursos geotérmicos - Etapa una, Parte 7, Geoquímica del área del proyecto geotérmico Nicaragüense. Para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Diciembre de 1970. Texas Instruments Incorporated, Services Group (por R. Bennett).
- Texas Instruments Inc., 1971. Reporte final, Proyecto de recursos geotérmicos - Etapa una, Parte 1 - Sumario del proyecto. Para el gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Febrero de 1971. Texas Instruments Incorporated, Services Group (por D.E. Heilner y L. T. Braun).
- Unocal Geotérmica Nicaragua S. A., 1998. Concesión para la exploración de recursos geotérmicos El Ñajo - Santa Isabel, Departamento de León. Primer año de concesión, 28 de Agosto de 1997 - 27 de Agosto de 1998. Informe de actividad y resultados de la exploración de superficie. Informe presentado al Instituto Nicaragüense de Energía.
- 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.
- Weyl, R., 1980. *Geology of Central America*. Gebrüder Borntraeger, Berlin y Stuttgart, Germany.
- Wheelock, J., J. Incer, L. Cardenal, y A. Rodríguez, 2000. *Desastres naturales de Nicaragua. Guía para conocerlos y prevenirlos*. Hispamer, Managua.

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

**Tabla V-2.1: Principales Estudios Existentes sobre el Area San Jacinto - Tizate**

ESTUDIO	GEOLOGIA VULCANOLOGIA	HIDROGEOLOGIA GEOQUIMICA	GEOFISICA	PERFORACION
McBirney, 1952-53	Estudio de las áreas termales			Tres pozos someros en el área termal de El Tizate
Texas Instruments Inc., 1970	Mapeo geológico general. Descripción áreas termales de El Tizate y San Jacinto y otros manantiales calientes en el área	Análisis fumarolas de El Tizate y manantiales calientes en el área entre El Tizate y San Jacinto	Gravimetría, magnetometría, SEV y perfiles Schlumberger, sondeos electromagnéticos, mapeo dipolar	6 pozos someros (60 m) de gradiente en la zona de San Jacinto
Naciones Unidas, 1974			Reinterpretación de los datos de Texas Ins. (1970). Ejecución de investigaciones geoelectricas adicionales.	
California Energy Co., 1978	Identificación de los rasgos estructurales del sector oriental del complejo volcánico de Telica. Estudio de todas las manifestaciones termales presentes en el área.		Perfiles geoelectricos dipolo-dipolo.	
OLADE, 1982	Geovulcanología, petrografía y petrología	Estudio hidrogeológico regional. Mapa de anomalía de temperatura en el acuífero somero. Análisis químico de aguas y gases termales.	Gravimetría y magnetometría regional. SEV Schlumberger	
Intergeoterm, S.A., 1994-1995	Levantamiento geológico y estructural. Geología de pozo	Estudios hidrogeológicos Levantamiento de CO <sub>2</sub> en el suelo	Sondeos magnetotelúricos y "de frecuencia". Levantamiento de temperatura en el suelo	Perforación de 7 pozos de diámetro comercial con profundidad de hasta 2300m.
DAL SpA, 1992-1995	Síntesis geológica y estructural. Estudios estratigráficos y de alteración hidrotermal en pozos			
Unocal Geotérmica Nicaragua, S.A., 1997-1999	Levantamiento geológico y estructural. Estudios petrográficos y petrológicos		Levantamiento Gravimétrico, sondeos magnetotelúricos MT y electromagnéticos TDEM	

**Tabla V-4.1: Investigaciones Geofísicas en el Area de San Jacinto-Tizate**

EMPRESA	AÑO	METODO	PROF. DE INVEST. (m)	DIST. MAX. AB O ENTRE DIPOLOS (m)	AREA (km <sup>2</sup> )	PERFILES		NUMEROD E SONDEOS	NUMERO DE SITIOS DE MEDICION
						NUM.	LONG. TOTAL (km)		
Texas Instruments	1970	Gravimetria-Reconocimiento				1	122		?
		Gravimetria de Detalle				5	17		?
		Magnetometria-Reconoc.				1	122		
		Magnetometria de Detalle				5	17		
		SEV Schlumberger	< 400	1,000	14			32	
		Perfiles Schlumberger		300				>35	230
		Electromagnético TDEM	590					6	
		Mapeo Dipolar		>5,000	15	15			200
Scintrex, Ltd.	1973	Perfiles Schlumberger				?	?		
		SEV Schlumberger	< 300	2,000				3	
Phoenix Geophysics	1977	Dipolo Dipolo axial	< 1,500	3,750	65	6	80		90
INE	1980	SEV Schlumberger	1,213	4,000	>20	5		27?	
OLADE	1981-82	SEV Schlumberger Fase I	2,250	6,000		2	14	14	
		SEV Schlumberger Fase II	550	2,000		2	9	10	
		Gravimetria Regional			1,500				1,224
		Magnetometria Regional			1,500				1,224
Intergeoterm, S. A.	1993	Magnetotelúrico MT	5,000?		20			>38?	
		Electromagnético FS ("sondeos de frecuencia")	2,000	2,000-8,000	3	26?		>40?	
UNOCAL GEOTERMICA NICARAGUA, S. A.	1998	Magnetotelúrico MT	3,000?		350			98	98
		Electromagnético TDEM	500?		350			98	98
		Gravimetria			350				307

**Tabla V-4.2: Características Técnicas de los Pozos Geotérmicos, San Jacinto - Tizate, Nicaragua**

Pozo	Fechas de Perforación		Prof. Total (m)	Tubería Revestimiento		Tubería Ranurada		Observaciones
	Inició	Terminó		Prof. (m)	Diámetro (pulgadas)	Prof. (m)	Diámetro (pulgadas)	
SJ-1	13-01-93	12-09-93	2,322	915	9-5/8	1,216	6-5/8	El pozo fue taponado a los 1,216 m antes de la instalación de la tubería ranurada.
SJ-2	08-02-93	03-06-93	1,471	321	12-3/4			Pozo impermeable. Abandonado sin instalar tubería de producción.
SJ-3	30-09-93	14-12-93	1,866	956	9-5/8	1,866	6-5/8	La perforación fue aparentemente suspendida por daños en la tubería de revestimiento.
SJ-4	30-12-93	14-02-94	724	481	9-5/8	721	8-5/8	Entubado con columna compuesta: ciega y cementada en la parte superior y ranurada en la inferior.
SJ-5	05-05-94	24-07-94	2,335	1,210	9-5/8	2,278	6-5/8	
SJ-6	12-08-94	15-12-94	1,881	989	9-5/8	1,879	6-5/8	El pozo aparentemente ha sido afectado por daños ocurridos durante su terminación.
SJ-7	09-02-95	26-04-95	1,263	1,262	9-5/8			Pozo abandonado antes de lo programado, por cierre de las actividades del proyecto.

Datos obtenidos de DAL (1995) y Ostapenko *et al.*, (1996)

2000, GeothermEx, Inc.

**Tabla V-4.3: Datos de Producción de los Pozos Geotérmicos, San Jacinto - Tizate, Nicaragua**

Pozo	Temperatura Máxima			Indice de Inyección (t/h.bar)	kh (d-m)	Datos de Producción			Potencial Estimado (MWe)	Observaciones
	Prof. (m)	Medida (°C)	Estimada* (°C)			Pres. Cab. (bar-a)	Flujo Total (t/h)	Entalpía (kJ/kg)		
SJ-1	1,200 2,300	190 188	205	10	1.7					El pozo nunca logró producir.
SJ-2	1,450	97	120							Pozo impermeable.
SJ-3	1,500	265		3.2	0.8					Pruebas de descarga han resultado con caudal modesto y muy baja presión de cabezal.
SJ-4	700	269		> 250	> 15	20.5	525	1,211	15	El potencial estimado puede ser inclusive mayor a los 15 MW.
SJ-5	2,330	289		2.2 - 6.1	0.4 - 1.3	11.5	140	1,290	5	
SJ-6	1,700	264		1.4 - 3.0	2.3 - 4.6	9	110	1,100	3	Pozo afectado por fuertes daños ("skin effect" > 20).
SJ-7	1,260	170	215							Pozo abandonado antes de su terminación.

Datos obtenidos de DAL (1995) y Ostapenko *et al.*, (1996)

\* Temperatura estimada en base a extrapolaciones de la recuperación térmica inmediatamente después de terminada la perforación.

**Tabla V-6.1: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 1),  
Área de San Jacinto-Tizate**

<b>Parámetros Fijos</b>	<b>Campo de San Jacinto-Tizate</b>		
	Capacidad volumétrica de calor (kJ/m <sup>3</sup> /°C)	2,280	
Temperatura de eyección (°C)	30		
Factor de utilización	45%		
Factor de capacidad	90%		
Vida de operación de la planta (años)	30		
<b>Parámetros Inciertos</b>	Mínimo	Más Probable	Máximo
Área del yacimiento (km <sup>2</sup> )	2.50	6.50	13.00
Espesor del yacimiento (m)	2,000		3,000
Porosidad de la roca	3.0%		7.0%
Temperatura promedio (°C)	225.0		235.0
Factor de recuperación	10.0%		20.0%
<b>Resumen de Resultados</b>	Capacidad en MW	MW/km <sup>2</sup>	Eficiencia de Recuperación
Promedio	160.7	22.0	1.57%
Desviación Estándar	62.1	5.0	0.30%
25 percentil	115.2	18.0	1.31%
50 percentil	150.7	21.5	1.57%
75 percentil	197.7	25.4	1.84%

**Tabla V-6.2: Resumen del Cálculo de Reservas (Categoría 3),  
Area de San Jacinto-Tizate**

Parámetros Fijos	Complejo de Telica		Complejo de Rota	
	Conductividad termal (kJ/m/s/°C)	0.0025		0.0025
Calor específico de la roca (kJ/kg/°C)	1.0		1.0	
Densidad de la roca (kg/m <sup>3</sup> )	2,700		2,700	
Porosidad de la roca	3.0%		3.0%	
Calor de solidificación (kJ/kg/°C)	300		300	
Gradiente inicial de temperatura (°C/km)	50		50	
Límite de profundidad (km)	4.0		4.0	
Intervalo de profundidad (m)	100		100	
Temperatura de eyección (°C)	30		30	
Factor de utilización	45%		45%	
Temperatura límite (°C)	200		200	
<b>Parámetros Inciertos</b>	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Volume de magma (km <sup>3</sup> )	35	70	6.5	13
Profundidad de magma (km)	3	7	3	7
Edad de magma (años)	20,000	40,000	100,000	500,000
Temperatura de magma (°C)	900	1,100	900	1,100
Factor de recuperación	5%	10%	5%	10%
<b>Resumen de Resultados</b>				
Total de Reservas (MW)	307		61	
		Desviación		Desviación
MW/km <sup>2</sup>	Medio	Estándar	Medio	Estándar
Distancia = 0 km	14.4	15.6	1.1	0.8
0.5 km	14.0	14.8	1.1	0.8
1.0 km	12.8	13.2	1.1	0.7
2.0 km	7.0	8.1	1.0	0.6
3.0 km	3.9	3.6	0.8	0.4
5.0 km	0.6	0.2	0.5	0.2

**Tabla IV-7.1: Población en el Area San Jacinto - Tizate y Alrededores**

Localidad	Poblacion Total	Poblacion por Rango de Edades (años)			
		0-4	5-14	15-49	>50
<b>Municipio de Telica</b>	<b>22,779</b>	<b>3,671</b>	<b>6,680</b>	<b>10,132</b>	<b>2,296</b>
Zona Urbana de Telica	4,399	607	1,135	2,170	487
Comarca El Zapote	999	217	304	398	80
Comarca San Pedro	1,500	295	500	585	120
Comarca La Cruz	2,067	373	695	816	183
Comarca San José de Apante	3,548	599	1,032	1,579	338
Comarca El Ojochal	1,717	247	492	773	205
Comarca Valle Viejo	1,438	224	412	630	172
Comarca El Panal	4,098	650	1,234	1,825	389

Fuente: INEC, Censo de Poblacion 1995

**Tabla V-7.2: Características Químicas de los Aguas Superficiales y Subterráneas en el Area de San Jacinto-Tizate (DAL, 1992b)**

a - Características químicas de las aguas superficiales (WF: muestra de manantial; WR: muestra de río).

Muestra	Fecha de muestreo	Temp. (°C)	pH	TDS ppm	Cond. µS/cm	Dureza total	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	SO <sub>4</sub> ppm	B ppm	F ppm	Cl ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	CO <sub>3</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	PO <sub>4</sub> ppm	Hg ppb	As ppb
WF 1	30/07/92	38	8.10	220	280	98.3	15.0	3.0	25.8	8.3	58.4	12.5	0.08	1.1	6.4	145.3	0.0	1.3	0.1	0.27	3.20
WF 2	30/07/92	-	7.97	300	270	95.5	15.0	3.0	22.7	9.2	62.1	16.4	0.08	1.2	4.8	135.9	0.0	5.8	0.2	0.08	1.82
WF 3	30/07/92	-	7.83	238	290	105.8	13.0	2.0	27.3	9.2	70.5	16.0	0.13	1.1	4.8	142.2	0.0	0.8	0.2	<0.03	7.19
WF 4	07/08/92	-	7.72	346	270	98.3	15.0	3.0	25.8	8.3	55.3	15.0	0.08	1.1	3.2	154.9	0.0	0.0	0.3	0.03	2.06
WF 7 (*)	08/08/92	-	8.10	250	270	96.9	15.0	3.0	22.7	7.4	58.4	11.1	0.08	1.2	4.8	132.7	0.0	1.1	0.5	<0.03	3.60
WR 10	12/08/92	-	7.74	202	250	90.7	13.7	3.0	21.2	9.2	57.7	11.1	0.13	0.5	4.8	135.9	0.0	0.3	0.1	<0.03	2.39

(\*) - Fuente utilizada para abastecer el acueducto de San Jacinto.

b - Características químicas de las aguas subterráneas someras.

Muestra	Fecha de muestreo	Temp. (°C)	pH	TDS ppm	Cond. µS/cm	Dureza total	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	SO <sub>4</sub> ppm	B ppm	F ppm	Cl ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	CO <sub>3</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	PO <sub>4</sub> ppm	Hg ppb	As ppb
WP 5	07/08/92	-	7.66	440	560	189	27.0	8.0	32.6	26.2	46.8	20.7	0.17	3.2	30.3	211.7	0.0	3.25	0.7	0.02	<1.7
WP 6	08/08/92	48	7.74	242	610	236	32.9	7.0	62.2	19.8	78.0	19.2	0.09	1.0	4.8	360.3	7.7	3.0	0.4	0.05	18.46
WP 8	08/08/92	-	7.98	358	370	146	13.0	4.0	36.4	13.3	60.8	13.9	0.09	1.0	4.8	199.0	4.7	0.8	0.3	0.04	4.34
WP 9	08/08/92	-	7.91	274	480	189	19.0	5.0	45.4	18.4	40.7	19.4	0.09	1.0	8.0	265.5	1.6	1.7	0.1	0.03	4.76
WP 11	12/08/92	40	7.50	402	420	155	19.5	6.0	39.4	13.8	81.7	101.4	0.17	0.8	6.4	107.4	0.0	0.7	0.1	0.38	2.17
WP 12	12/08/92	-	8.02	460	630	202	46.2	9.0	50.0	18.8	49.0	24.1	0.39	0.6	39.9	294.0	0.0	4.3	0.2	0.03	4.98
WP 13	12/08/92	-	7.80	464	620	257	25.4	6.0	60.6	25.7	49.0	24.1	0.13	1.6	4.8	319.2	0.0	6.3	0.3	0.04	2.60

c - Normativa CEE sobre las aguas para consumo humano.

Parámetros	Temp. (°C)	pH	TDS ppm	Cond. µS/cm	Dureza total	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	SO <sub>4</sub> ppm	B ppm	F ppm	Cl ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	CO <sub>3</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	PO <sub>4</sub> ppm	Hg ppb	As ppb	
Concentraciones																					
Valor guía	12	6.5-8.5		400	-	20	10	100	30	-	25	1	-	25			5	0.4	-	-	
Concentración máxima admisible	25	-		-	-	175	-	-	50	-	250	-	0.7-1.5	200			50	5	1	50	

**Tabla V-7.3: Datos Estadísticos del Viento en las Estaciones Meteorológicas más Cercanas al Area San Jacinto - Tizate**

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

Datos de INETER, 2000

**Tabla V-7.4: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo Telica - Rota (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Adiantaceae	<i>Adiantum Sp.</i>	
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin L.</i>	jocote jobo
	<i>Spondias purpurea L.</i>	jocote garrobo
	<i>Spondias sp.</i>	
	<i>Astronium Graveolens Jacq.</i>	palo obeno-ron ron
Annonaceae	<i>Annona reticulata L.</i>	anona
	<i>Sapranthus nicaraguensis Seem.</i>	palanco/a
	<i>Annona purpurea Moc. s. Sesse</i>	
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra L.</i>	Sacuanjoche
	<i>Nerium oleander L.</i>	
	<i>Stemmadenia obovata (Hook.&amp; Arn) K. Schum</i>	huevo de chanchito
Araliaceae	<i>Sciadodendron excelsum Griseb</i>	lagarto
Areçaceae	<i>Acrocomia vinifera Oerst.</i>	coyol
Asteraceae	<i>Wedelia sp.</i>	
Bignoniaceae	<i>Amphilophium paniculatum (L) HBK</i>	pico de pato
	<i>Tabebuia ochracea A. Gentry</i>	cortez
	<i>Cydusia diversifolia</i>	Ahosmecca
	<i>Godmania aesculifolia (HBK) Standl.</i>	
	<i>Tecoma stans. (L.) Juss. ex HBK</i>	sardinillo
	<i>Tabebuia chrysantha (Jacq.) Nicholson</i>	
	<i>Arrahidaea sp.</i>	
	<i>Tabebuia sp.</i>	
Bixaceae	<i>Bixa orellana L.</i>	achiote
Bombacaceae	<i>Bombacopsis quinatum (Jacq.) Dugand</i>	pochote
	<i>Ceiba pentandra (L) Gaerth</i>	ceiba
Boraginaceae	<i>Tournefortia volubilis L.</i>	
	<i>Cordia alliodora (R. &amp; P.) Oken</i>	laurel macho
	<i>Cordia bicolor A.D.C</i>	
	<i>Cordia caracasana</i>	
	<i>Cordia gerascanthus L.</i>	laurel hembra
	<i>Cordia salvadorensis Standl.</i>	
Burseraceae	<i>Bursera simaruba (L.) Sarg.</i>	jiñocuabo
	<i>Bursera graveolens (HBK) Triana &amp; Planch.</i>	Caraña
Caesalpinaceae	<i>Haematoxylon brasiletto Kuntz</i>	Brasil
	<i>Cassia emarginata L.</i>	vainillo

**Tabla V-7.4: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo Telica - Rota (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN
Caesalpinaceae	<i>Cassia grandis</i> L.	carao
	<i>Senna atomaria</i> (L.) Irwing & Barneby.	
	<i>Chamaecyze</i> sp.	Tamarindillo
Capparaceae	<i>Capparis indica</i> (L.) Fawc. y Rendle	olivo
	<i>Capparis</i> sp.	olivo
Cecropiaceae	<i>Cecropia peltata</i> (L.)	guarumo
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	poro-poro
Combretaceae	<i>Terminalia oblonga</i> (R. & P.) Steud.	guayabón, guayabillo
	<i>combretum laxum</i>	papamiel
Ebenaceae	<i>Diospyros nicaraguensis</i> Standl.	chocoyo
Elaeocarpaceae	<i>Muntingia calabura</i> (Swartz) DC	capulin
Euphorbiaceae	<i>Sapium macrocarpum</i> Muell. Arg.	leche sapo
	<i>Hura crepitans</i> (L.)	
Fabaceae	<i>Sapium macrocarpum</i> Meull. Arg.	lechecuabo
	<i>Erythrina berteriana</i> Urbans	elequente
	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	madero negro
	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i> (Donn. Smith)	chaperno negro
	<i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers.	trencilla
	<i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC.	pica pica
	<i>Pachyrhizus erosus</i> (L.) Urban	jicama (silvestre o monte)
	<i>Dalbergia retusa</i> (Hornst)	Granadilloo, Ñambar
	<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	guachipillin
	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i> Benth.	
	<i>Lonchocarpus</i> sp.	
	<i>Machaerium biolatum</i> (Michx.)	
	<i>Piscidia grandifolia</i> (D. Smith) I.M Johnston	
	<i>Phaseolus lunatus</i>	Clionetillo
	<i>Centrosema plumieri</i>	Gallinita
Flacourtiaceae	<i>Casuarina corymbosa</i> H.B.K	Frutillo cafe de monte
Hernandiaceae	<i>Gynerium americanum</i> Jacq.	talalate
Lamiaceae	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.	chan
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) HBK	nanquite
	<i>Banisteria argentea</i>	
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	cedro real
	<i>Guarea excelsa</i> HBK	
	<i>Trichilia americana</i> (Sesse + Mociño) Pennington	matapiojo
	<i>Trichilia hirta</i> L.	
	<i>Swietenia humilis</i> Zucc.	caoba (CITES II)

**Tabla V-7.4: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo Telica - Rota (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Mimosaceae	<i>Acacia sp.</i>	
	<i>Inga spuria</i> Humb & Bonpl. ex Willd	
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	guanacaste negro
	<i>Lysiloma spp.</i>	quebracho
	<i>Lysiloma auricum</i> (Schlecht.) Benth.	quebracho
Moraceae	<i>Mimosa albida</i> Humb. & Bonpl.	Zarza Común
	<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz	ojoche
	<i>Castilla elastica</i> Cerv.	palo de hule
	<i>Chlorophora tinctoria</i> (L.) Gaud	mora
	<i>Ficus spp.</i>	chilamate
Myrsinaceae	<i>Ficus obtusifolia</i> HBK	matapalo
	<i>Ardisia revoluta</i> HBK	palo de uva
Myrtaceae	<i>Eugenia hondurensis</i> A. Molina	guayavita
Nyctaginaceae	<i>Psidium sartorianum</i>	Arrayán
	<i>Pisonia macranthocarpa</i> (Donn. Smith)	espino negro
Olacaceae	<i>Neea psychotrioides</i> Donn. Smith	brujo
	<i>Xinienia americana</i> L.	jocomico
Phytolacaceae	<i>Rivinia humilis</i> L.	coralillo, comida de eulebra
Piperaceae	<i>Piper sp.</i>	
Poaceae	<i>Bouteloua filiformis</i> .	Zacate
	<i>Stenotaphrum sp ?</i>	zacate San Agustín
	<i>Paspalum notatum</i>	Zacate Nacional
	<i>Anthefora hermaphrodita</i> (L.) Kuntze	Zacate
	<i>Cooculoba caracassana</i> Meisn	papalón
Polygonaceae	<i>Cooculoba floribunda</i> (Benth.) Lindau.	papaturo/Iril
	<i>Ptyrogramma calumelanos</i>	Helecho
Pteridophyta	<i>Karwinskia calderoni</i> Standl.	guiliguiste
Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i> (Vahl.) DC.	madroño
	<i>Coutorea hexandra</i> (Jacq) Schum	
	<i>Exostema caribaeum</i> (Jacq.) R. & S.	
	<i>Exostema mexicanum</i> Gray	
	<i>Rondeletia jurgensenii</i> Standl.	
	<i>Hamelia patens</i> (Jacq.)	Canilla de venado
	<i>Genipa americana</i> L.	jagua
	<i>Rundia armata</i>	comida de lora
	<i>Diodia sp.</i>	

**Tabla V-7.4: Lista de Especies de Flora para el Area Protegida Complejo Telica - Rota (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Sapindaceae	<i>Allophylum occidentale</i> (Sw.) Radlk	huesito
	<i>Sapindus saponaria</i> L.	jaboncillo
	<i>Serjania</i> sp.	barbasco
Sapotaceae	<i>Mastichodendron capiri</i> Var. <i>tempisque</i> (pittier) Crong.	tempisque
	<i>Bumelia</i> sp.	
Simaroubaceae	<i>Alvaradoa amorphoides</i> Liemb.	zorrillo
	<i>Simarouba glauca</i> DC.	acetuno- talchocote
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i> L.	chile montero
Sterculiaceae	<i>Guasuma ulmifolia</i> Lam.	guácimo de ternero
	<i>Bytheria aculeata</i> Jacq. <i>Byttneria</i>	bebechicha
	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) Karst.	panamá
	<i>Waltheria americana</i>	Escoba amarilla, velluda
	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	peine de mico, burillo
Tiliaceae	<i>Helicarpus appendiculatus</i> Turcz	majagua
	<i>Luehea candida</i> (T.C.) Mart. S Zucc	guacimo de molenillo
	<i>Helicarpus</i> sp.	
	<i>Luehea seemannii</i> Triana & Planch.	
Ulmaceae	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	cajalera
	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	capulin negro, c. macho
	<i>Celtis schippii</i> Standl.	
Urticaceae	<i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Griseb.	
	<i>Myriocarpa yzabalensis</i>	chichicaston
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	cuaquito, cinco negritos
	<i>Lippia cardiostegia</i> Benth.	tacote blanco, Juanisiana
Vitaceae	<i>Cissus</i> sp.	

**Tabla V-7.5: Lista de Especies Animales para el Area Protegida Complejo Telica - Rota (FUNDENIC-SOS, 1999)**

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	Grado de Amenaza (Apéndice CITES)
<b>REPTILES</b>			
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	Garrobo negro	
<b>AVES</b>			
Accipitridae	<i>Buteo sp.</i>	Gavilán	II
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote	
Corvidae	<i>Calocitta formosa</i>	Urraca	
Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>	Chachalaca	
Icteridae	<i>Icterus schlatzeri</i>	Chichiltote	
Psittacidae	<i>Amazona albifrons</i>	Cotorra	II
Psittacidae	<i>Amazona ochrocephala</i>	Lora	II
Psittacidae	<i>Brodiaeae jugularis</i>	Chocoyo (Perico) Zapoyol (ito)	II
Ramphastidae	<i>Ramphastus sulfuratus</i>	Tucán Curré, tucán pico iris	II
Tyrannidae	<i>Tyrannus verticalis</i>	Guiz, tirano colinegro	
Tyrannidae	<i>Tyrannus sp.</i>	Guiz	
<b>MAMIFEROS</b>			
Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote	
Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado Cola Blanca (Rocío, Rainazón)	
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro cola pelada	
Erethizonidae	<i>Ceondu mexicanus</i>	Zorro Espín (chueho)	III
Felidae	<i>Felis wiedii</i>	Gato montes	I
Felidae	<i>Felis concolor</i>	León (Puma)	I
Leporidae	<i>Sylvilagus floridanus</i>	Conejo	
Mustelidae	<i>Spilogale augustifrons</i>	Zorro mión	
Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	Mapache (Mapachín)	

Tabla V-7.6: Impactos Ambientales Negativos, Medidas de Atenuación y Monitoreo Ambiental, Area de San Jacinto - Tizate

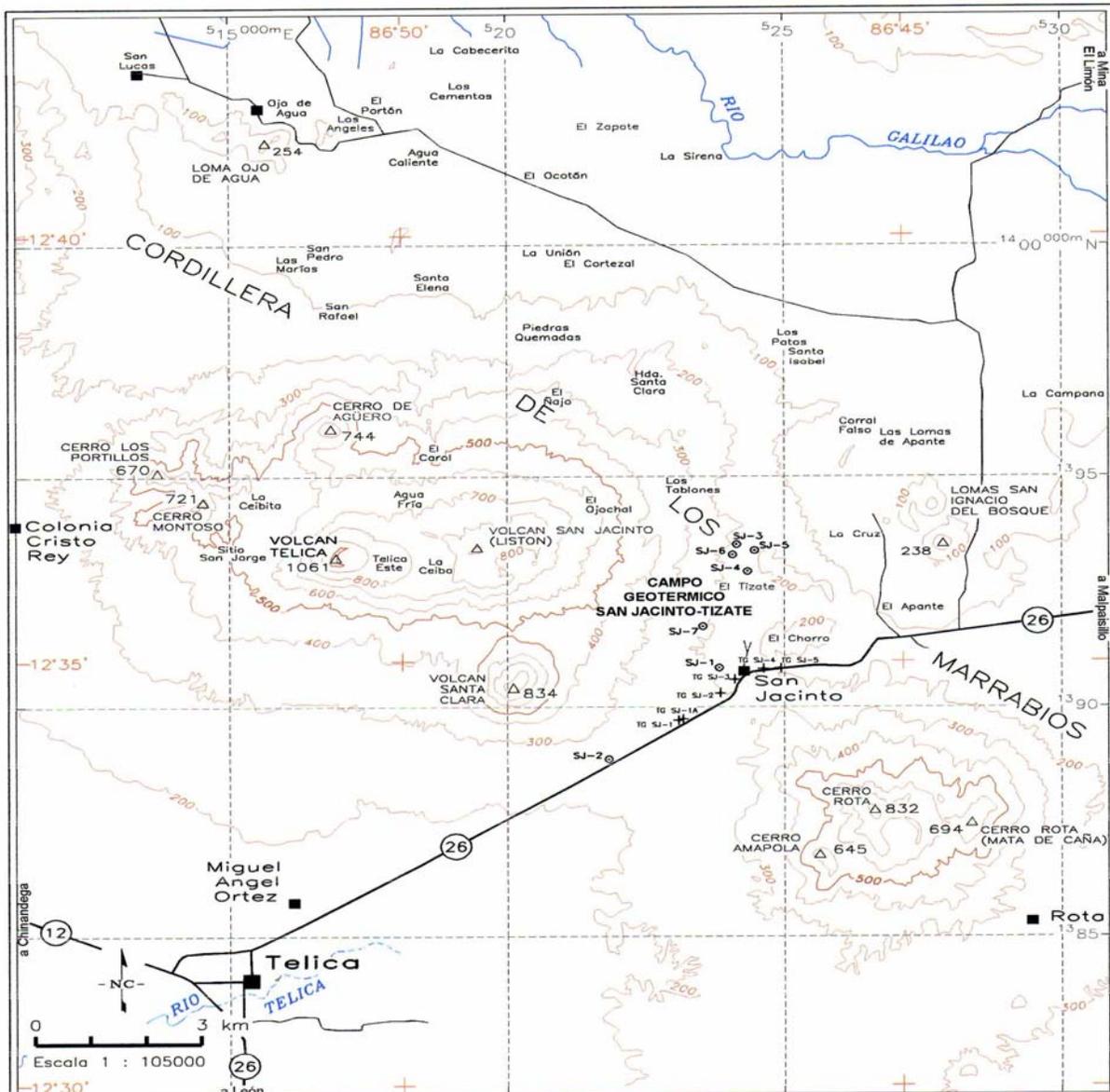
Impacto	Intensidad	Medidas de Atenuación	Monitoreo
Impacto potencial en los bosques nativos, y sobre plantas nativas y especies de animales específicos, si las actividades de exploración y desarrollo se dan en zonas de mayor elevación dentro del complejo volcánico.	Débil-Moderada (dependerá del lugar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

Tabla V-9.1: Perfil Técnico-Económico y Cronograma de Actividades Básicas Requeridas para el Reconocimiento Detallado, Área de San Jacinto-Tizate, Zona del Cerro Rota

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

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

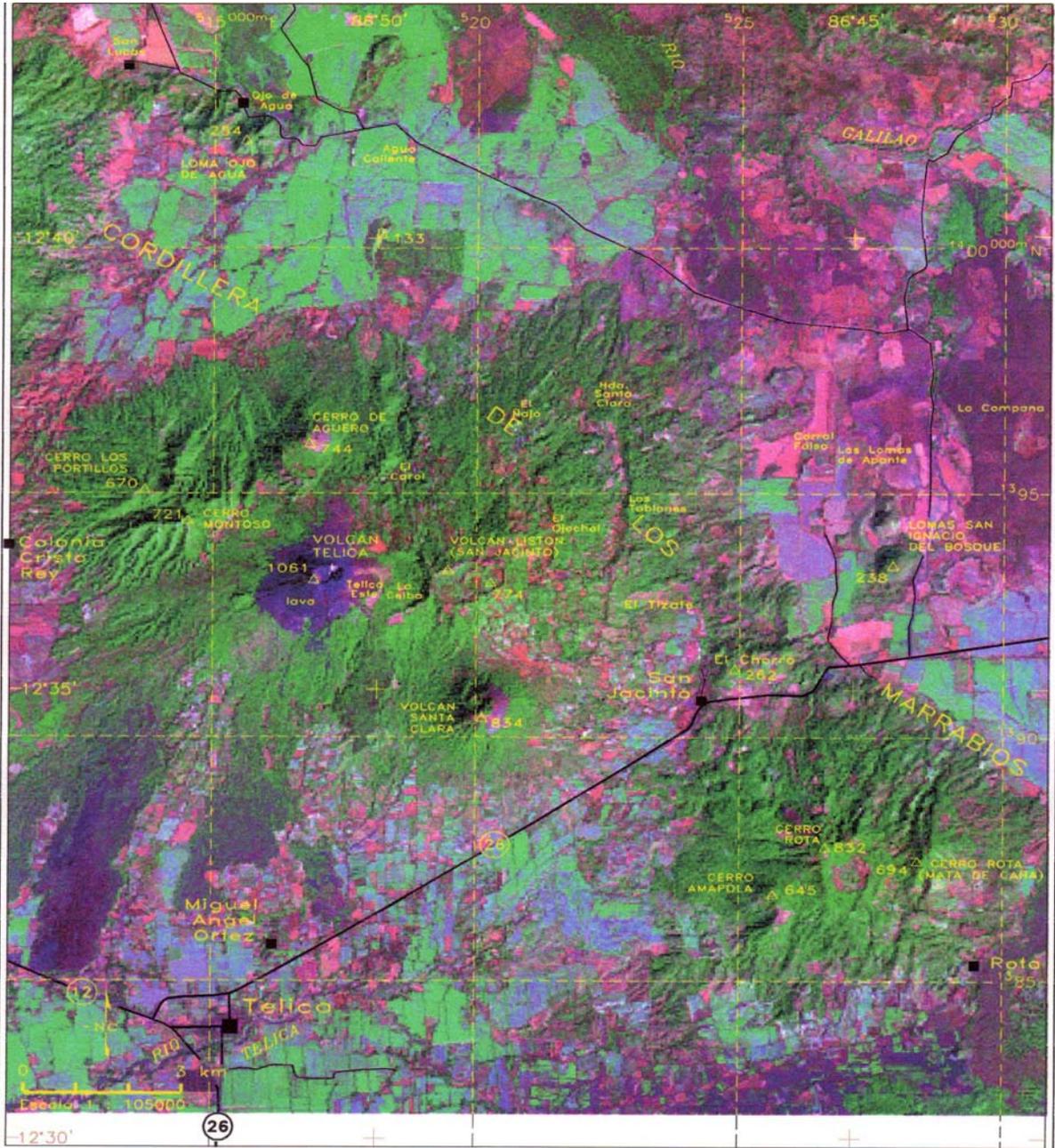
## **FIGURAS**



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

**Figura V-1.1:**  
**Mapa de ubicación,**  
**San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: V-1.1.LWG	SCALE: 1 : 105000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 29OCT2001	DRAWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGE SETUP: VTELEJN	REV: DEC99/APROD/JAN01
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8184 EMAIL MW@GEOHERMEX.COM			

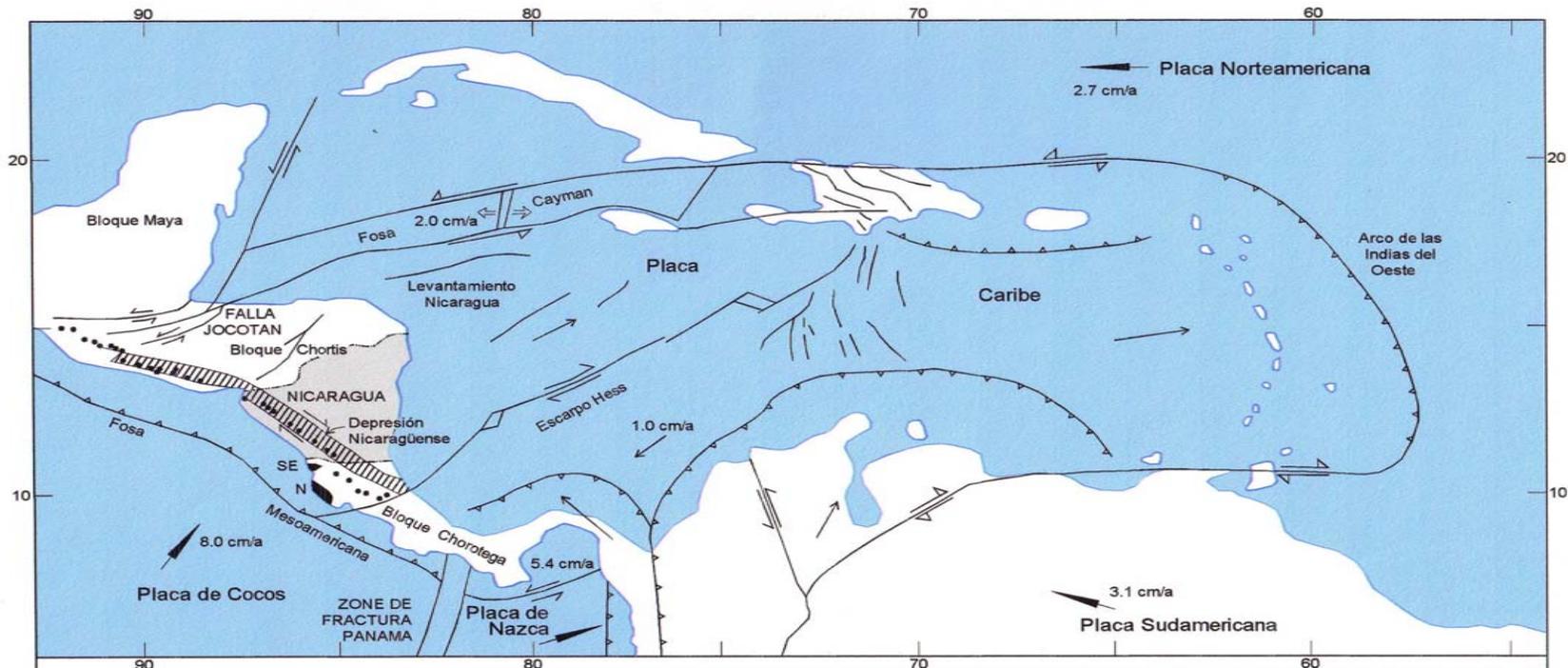


- LEYENDA**
- ■ Poblado
  - (12)— Carretera nacional
  - Camino secundario
  - 834 Δ Elevación, m

Imagen satelitaria: Landsat 5, Jan 6, 1987

**Figura V-1.2:**  
**Imagen Landsat,**  
**Volcán Telica-EI Ñajo, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: V-1.2.DWG	SCALE: 1 : 105000
GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 17JUL2001	DRAWN: RRS APP: RWG
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEO THERMEX.COM	
		PAGESETUP: VTELEIN	IMAGE B20 C50 F0



**LEYENDA**

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

**Figura V-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: V-3.1.DWG	PAGE SETUP: FIG 3.1	

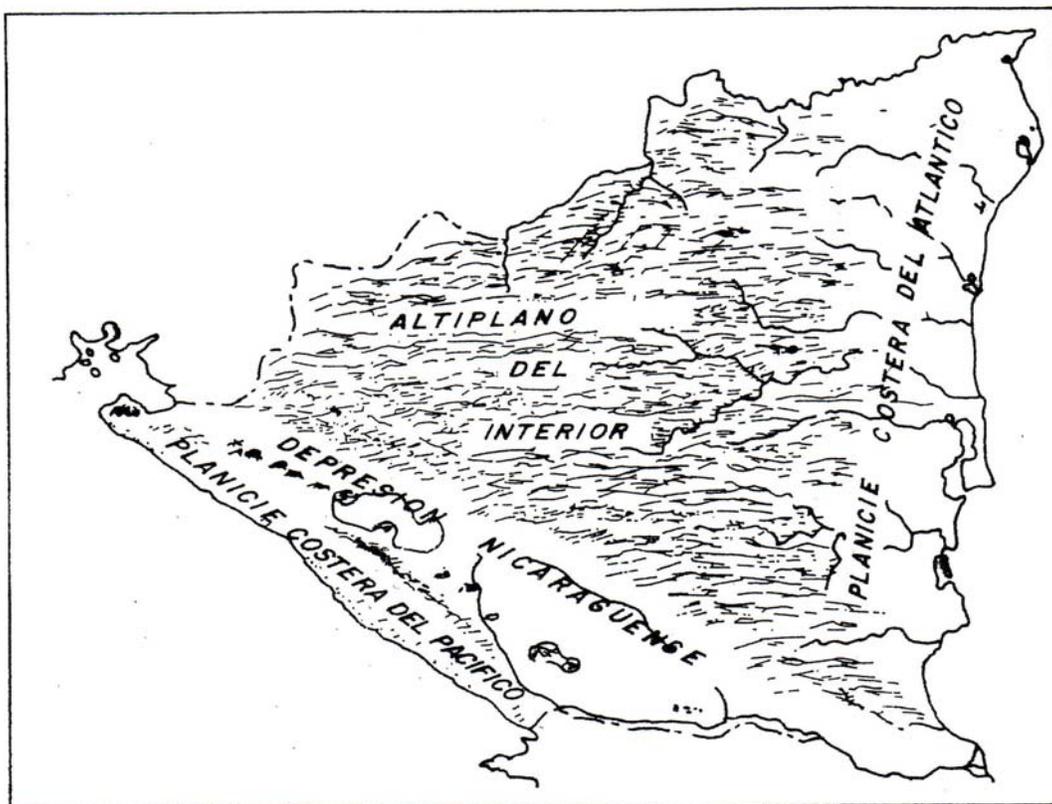
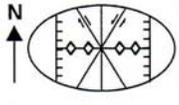
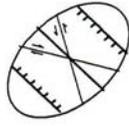
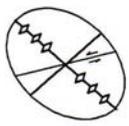


Figura V-3.2: Provincias fisiográficas de Nicaragua  
(McBirney *et al.*, 1965)

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

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

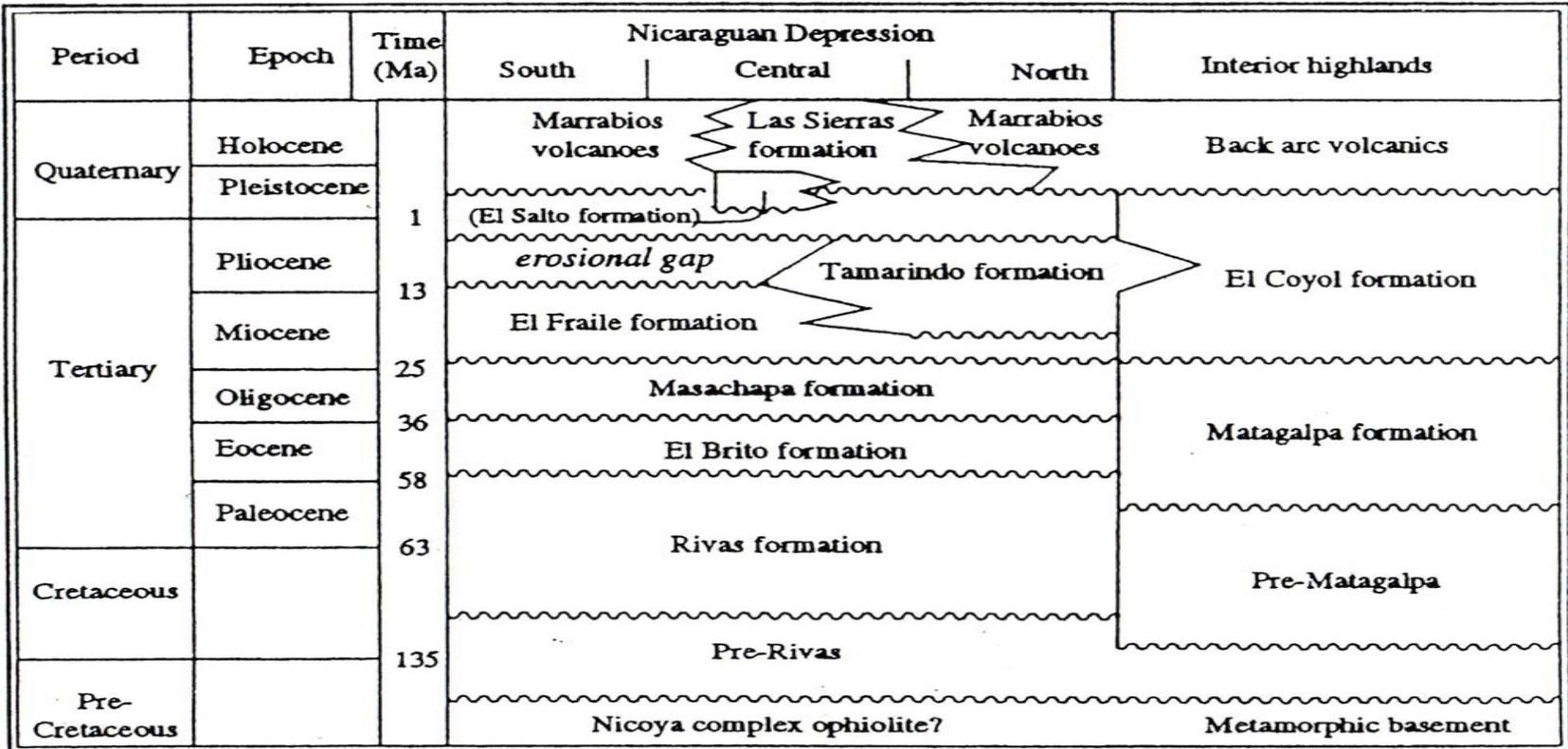


Figura V-3.4: Esquema de correlaciones estratigráficas regionales (van Wyk de Vries, 1993)

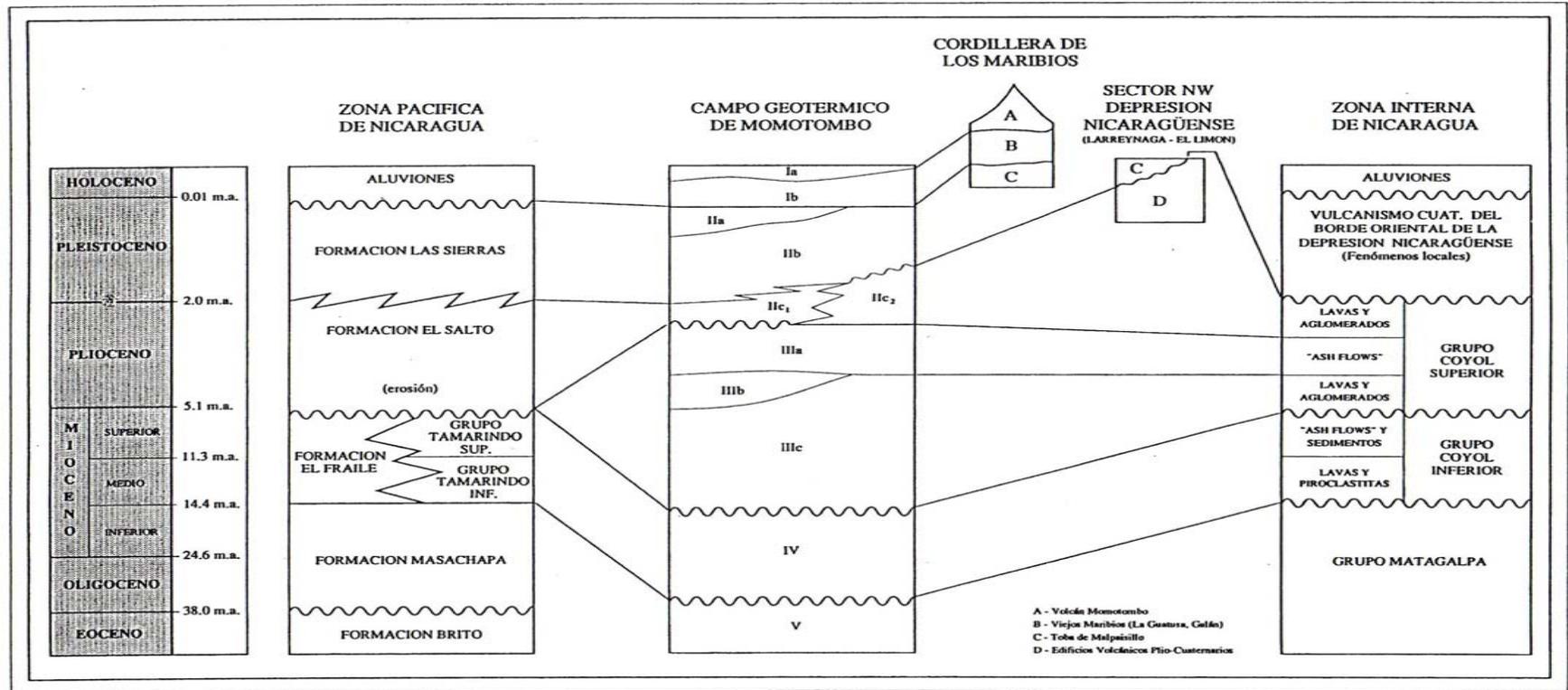
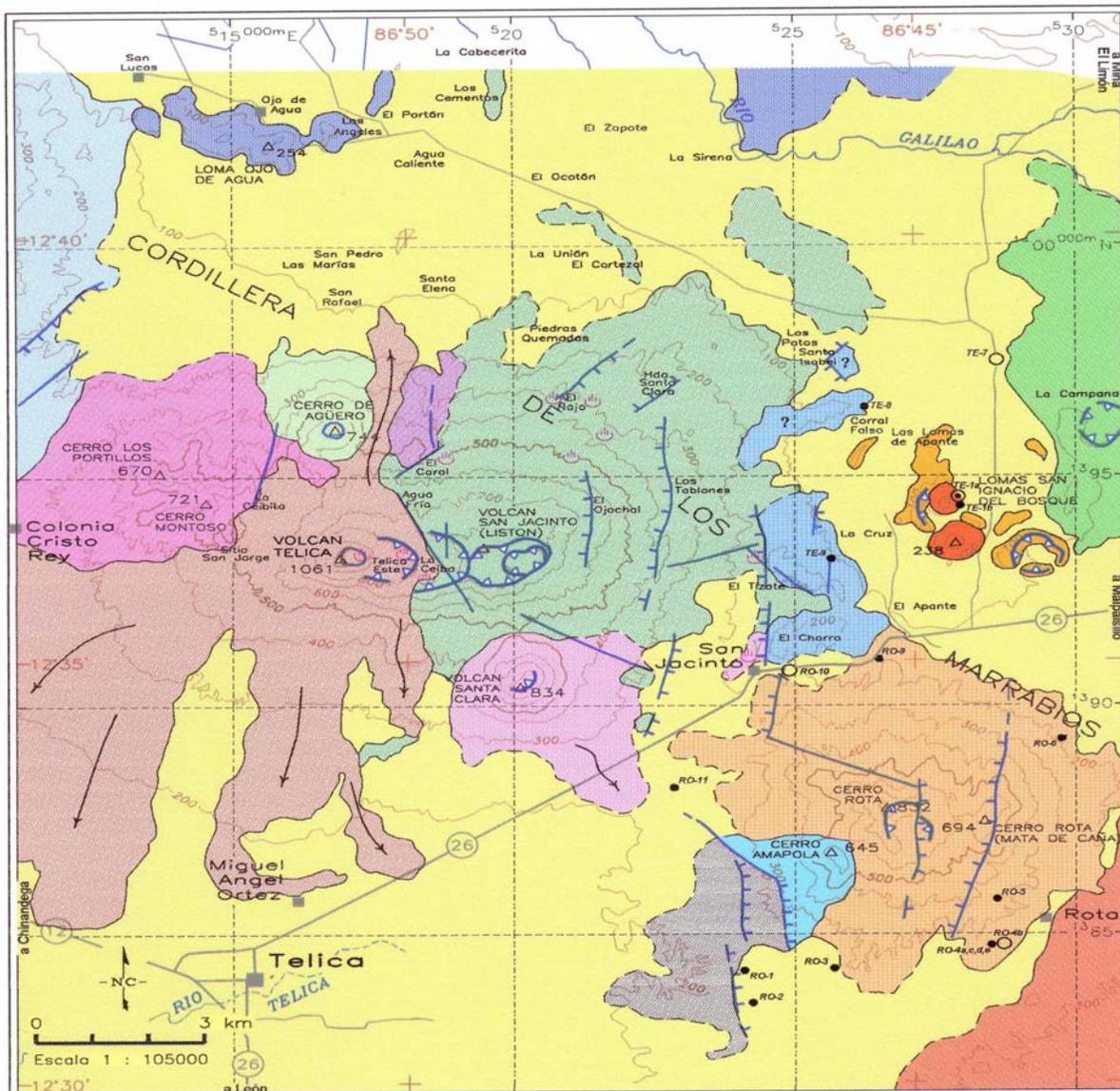


Figura V-3.5: Esquema estratigráfico y correlaciones regionales en la porción central de la Depresión Nicaragüense (DAL, 1997)



**LEYENDA**

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

**Figura V-3.6a:**  
**Esquema geológico del área**  
**San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

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

FLE: V-3.6a.DWG	SCALE: 1 : 105000
PLOTDATE: 18JUL2001	DRAWN: RRS APP: RCH
PAGE SETUP: VTEL3LN	REV: APR. SEP. DEC00/JUL01

**LEYENDA GEOLOGICA**

-  Depositos aluvionales y coluviales
-  Complejo volcánico Casita-San Cristóbal
-  Complejo del Volcán El Hoyo

**COMPLEJO VOLCANICO DE TELICA**

-  Edificio del Volcán Telica
-  Edificio del Volcán San Jacinto
-  Edificio del Cerro de Agüero
-  Edificio del Volcán Santa Clara
-  Edificio Cerro Montoso - Los Portillos
-  Rocas volcánicas pre-Telica / San Jacinto de El Carol
-  Edificio de El Chorro

**COMPLEJO VOLCANICO LOMAS DE APANTE - LA CAMPANA**

-  Domos riódacíticos de San Ignacio
-  Depósitos piroclásticos y de maar
-  Colada basáltica de La Campana

**COMPLEJO DEL VOLCAN ROTA**

-  Edificio del Volcán Rota
-  Edificio del Cerro Amapola
-  Toba de Malpaisillo
-  Formaciones volcánicas y subvolcánicas terciarias (no diferenciadas)

**SIMBOLOS**

-  Contacto geológico
-  Borde de caldera o cráter
-  Flujo lávico
-  Falla
-  Lineamiento estructural
-  Fumarola
-  Muestra de roca (p.e. RO-1)
-  Muestra de roca análisis petrográfico
-  Muestra de roca análisis petrográfico y datación

**Figura V-3.6(b):  
Leyenda del esquema geológico del área  
San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

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

FILE: V-3.6b.DWG			
PLOTDATE: 10JUL2001	DRAWN: RRS	APP.: RCH	
PAGESETUP: VTELELN	REV.: APR, SEP, DEC00, JUL01		

**LEYENDA GEOLOGICA**

-  Depositos aluvionales y coluviales
-  Zonas con intensa alteración hidrotermal

**COMPLEJO VOLCANICO DE TELICA**

-  Edificio del Volcán Telica
-  Edificio del Volcán San Jacinto
-  Edificio del Volcán Santa Clara
-  Edificio de El Chorro

**COMPLEJO DEL VOLCAN ROTA**

-  Edificio del Volcán Rota
-  Edificio del Cerro Amapola

**OTRAS FORMACIONES VOLCANICAS**

-  Grupo Lomas de Apante
-  Escudo ignimbrítico de Malpaisillo

**SIMBOLOS**

-  Contacto geológico
-  Borde de caldera o cráter
-  Borde de sector colapsado (derrumbe)
-  Falla
-  Lineamiento estructural
-  Flujo lávico
-  Muestra de roca (p.e. RO-9)
-  Muestra de roca análisis petrográfico

**Figura V-3.7(b):  
Leyenda del esquema geológico local del área  
San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

**GeothermEx, Inc.**

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

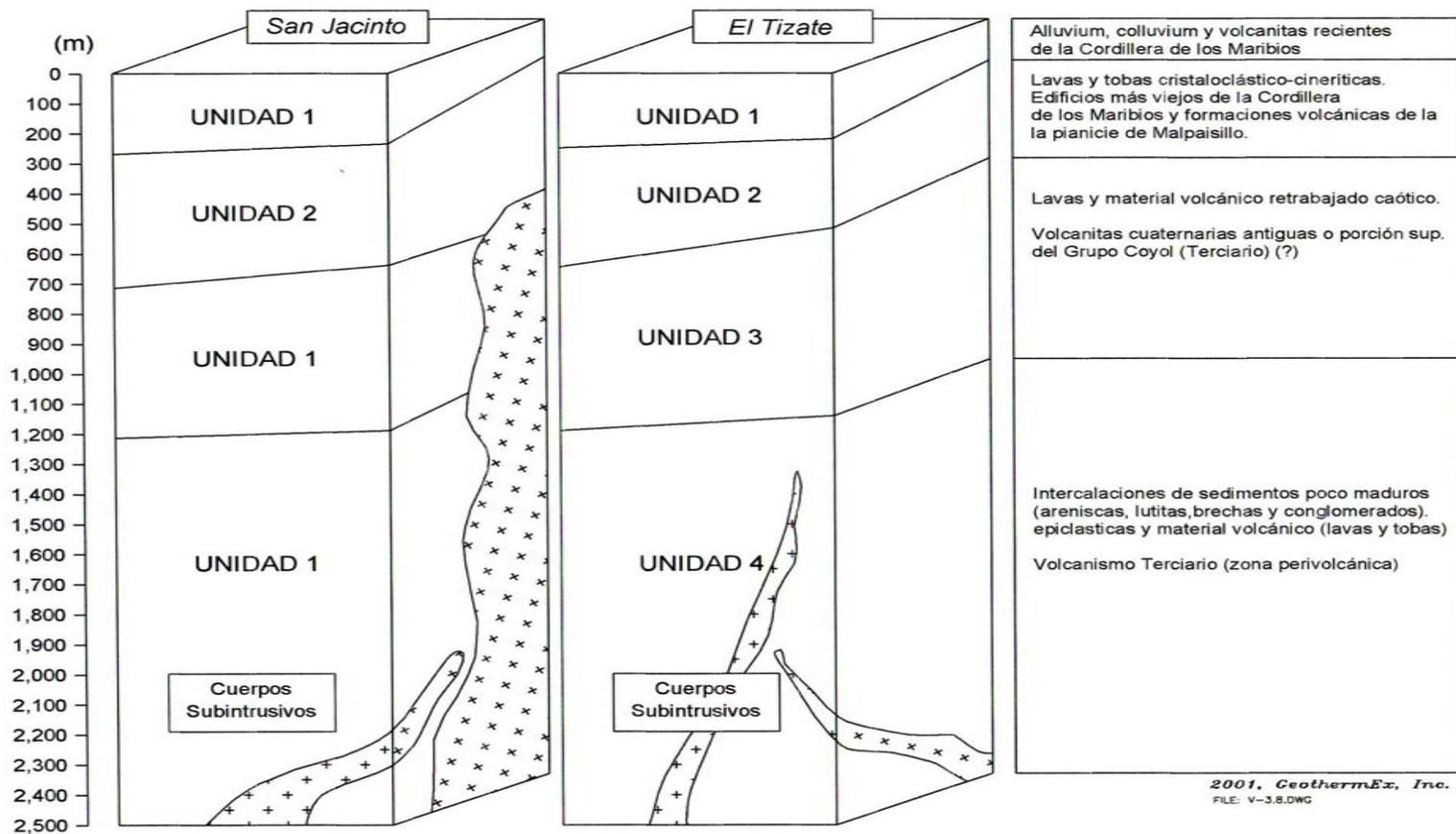
FILE: V-3.7b.DWG

PLOTDATE: 10JUL2001

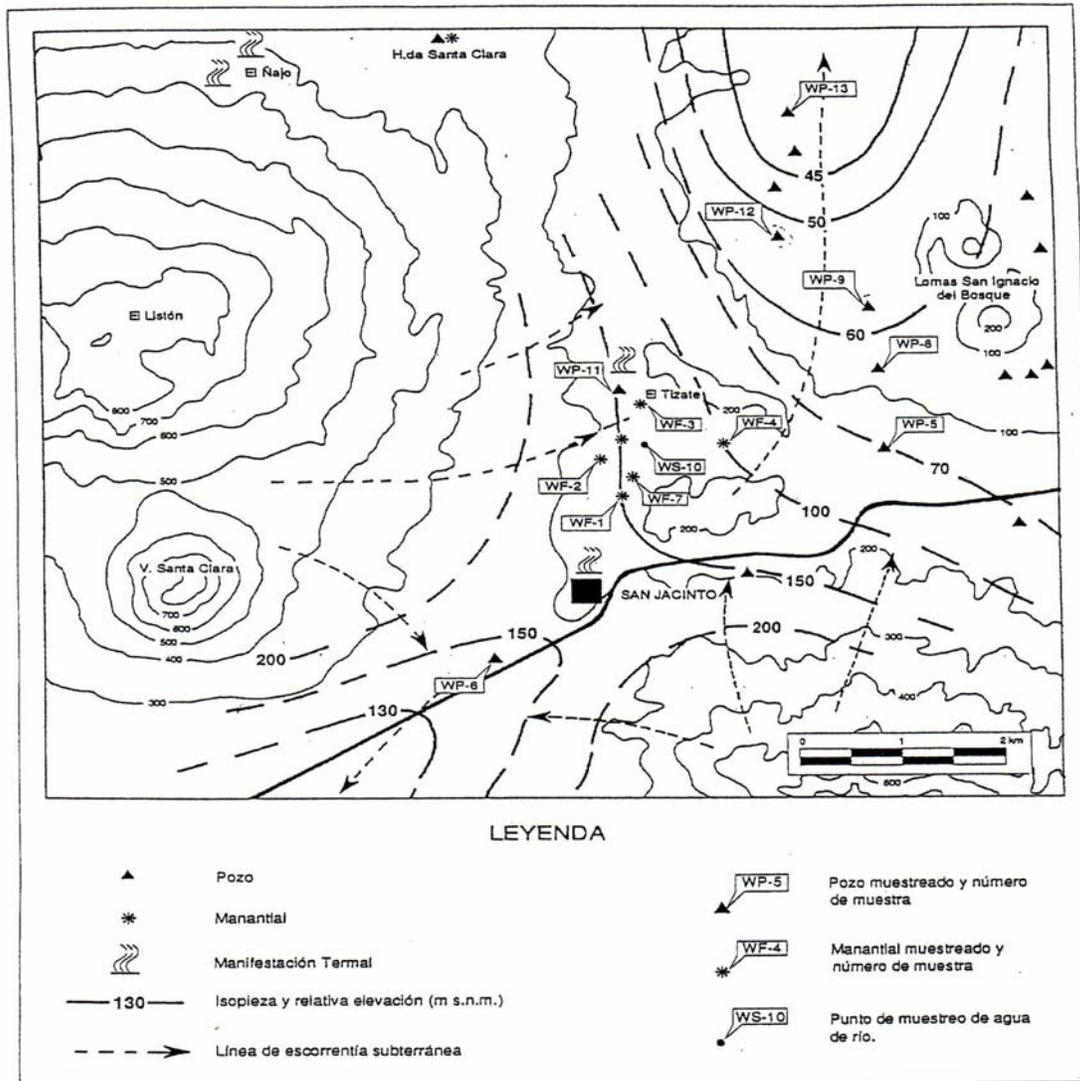
DRAWN: RRS APP.: RCH

PAGESETUP: VTELELN

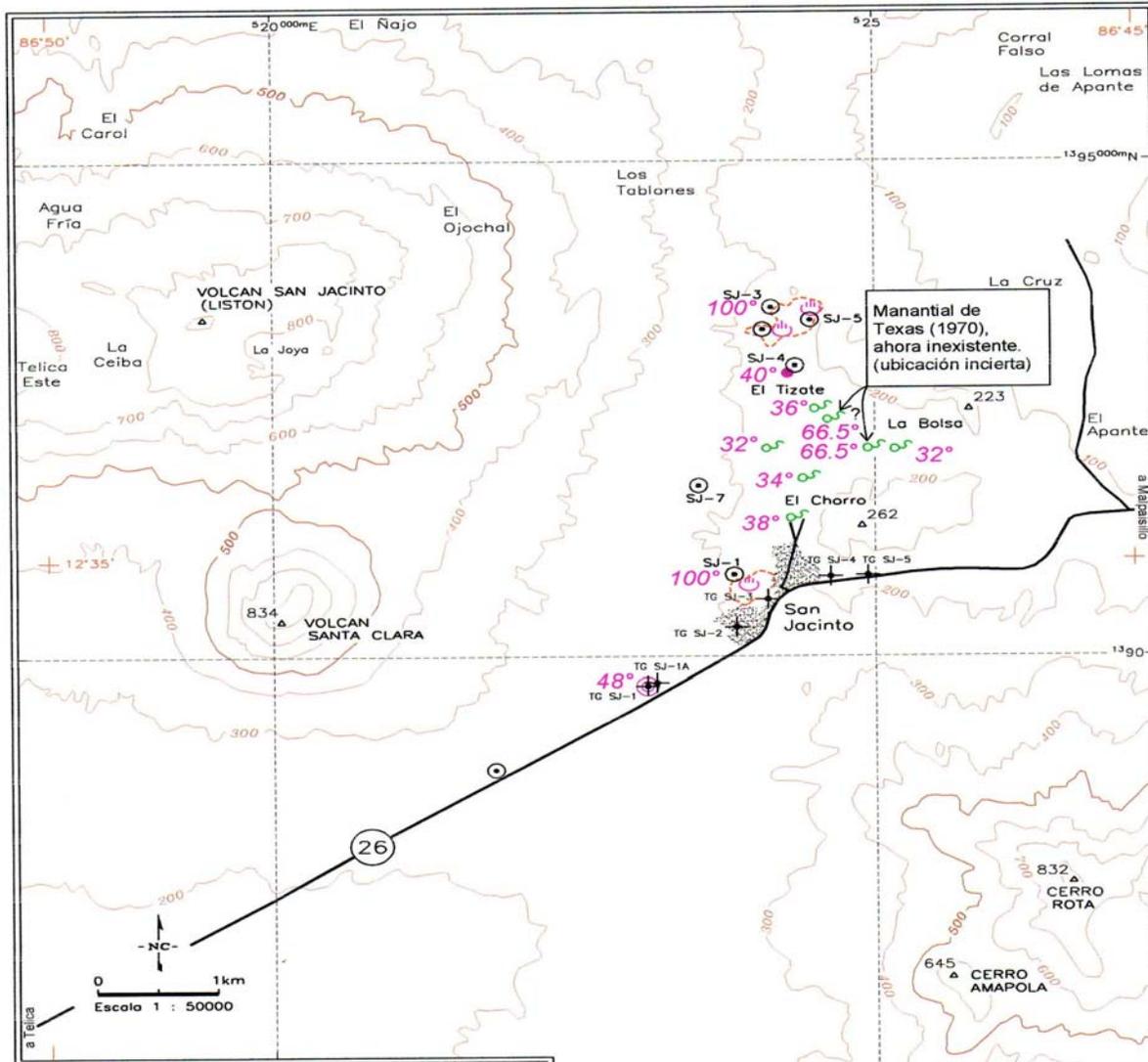
REV.: APR\_SEP\_DECCO/  
JUL01



**Figura V-3.8: Esquema estratigráfico general del área San Jacinto-Tizate, Nicaragua**  
(original de DAL SpA, 1995)



**Figura V-3.9: Mapa hidrogeológico, San Jacinto-Tizate, Nicaragua (DAL, 1992)**

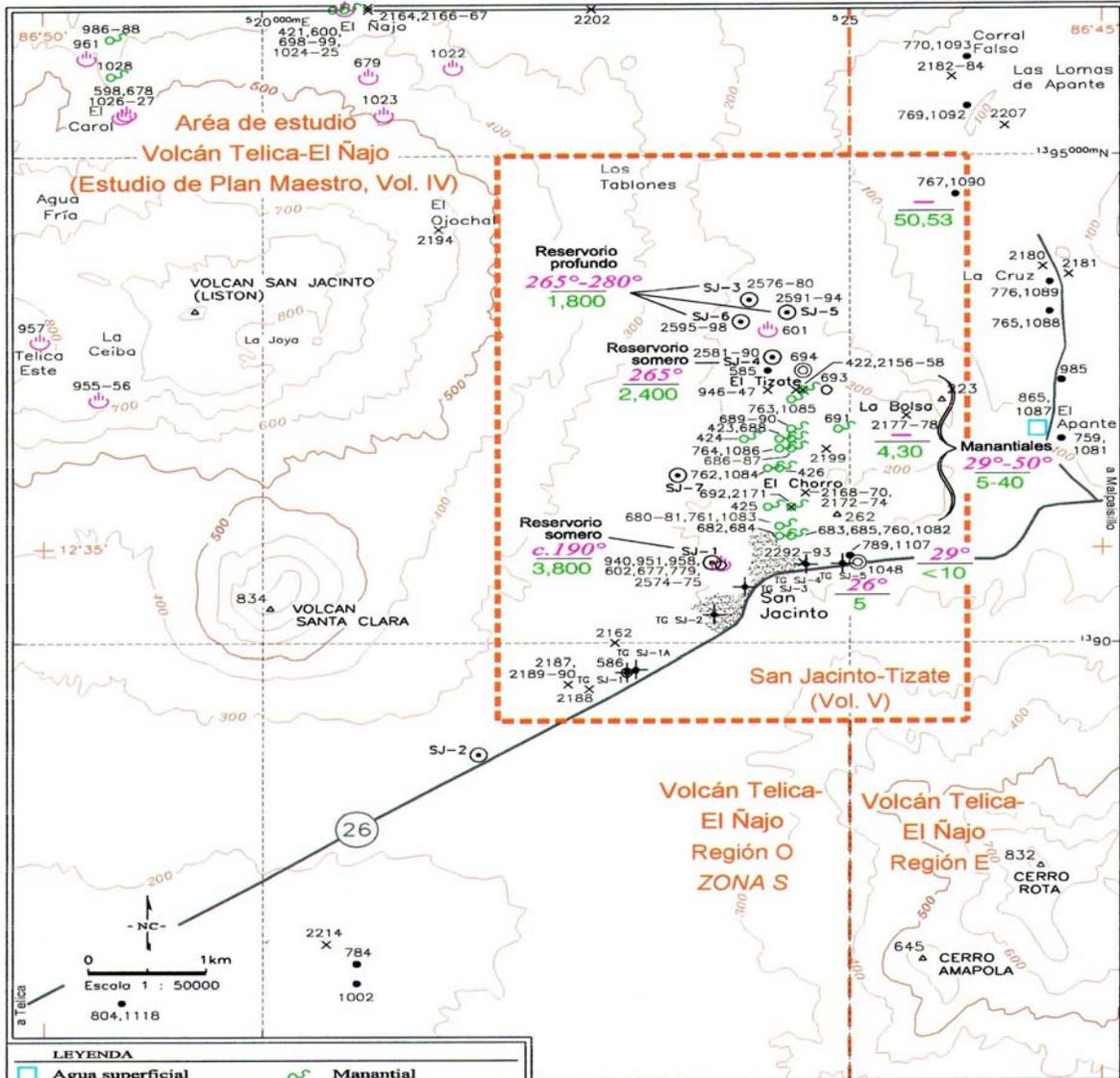


**LEYENDA**

SJ-2	●	Pozo geotérmico profundo
TG SJ-1	+	Pozo gradiente somero (aprox. 60m) de Texas Instruments (1970)
	○	Area con intensa alteración hidrotermal
100°	☼	Fumarola y temperatura (°C)
34°	☼	Manantial y temperatura (°C)
48°	●	Pozo excavado/perforado y temperatura (°C)

**Figura V-4.1.1: Ubicación y características de manifestaciones termales existentes, San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

<p><b>GeothermEx, Inc.</b>          GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS          2221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804          TEL. (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL: MW@GEOTHERMEX.COM</p>	<p>FILE: V-4.1.1.DWG SCALE: 1 : 50000          PLOTDATE: 19JUL2001 DRAWN: RRS          PAGE SETUP: VSJTIZ-1 APP.: RCH</p>
--	---



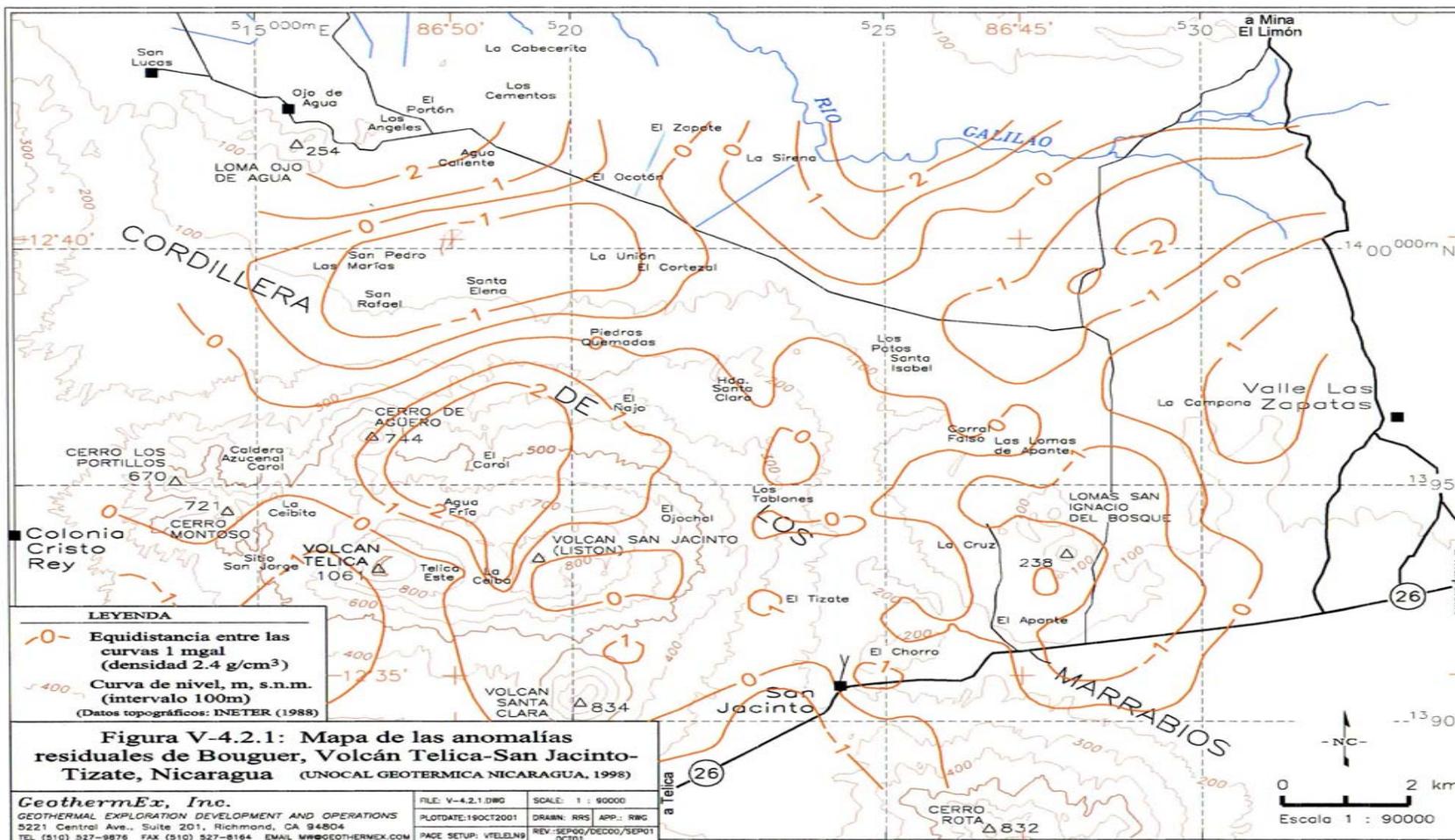
**LEYENDA**

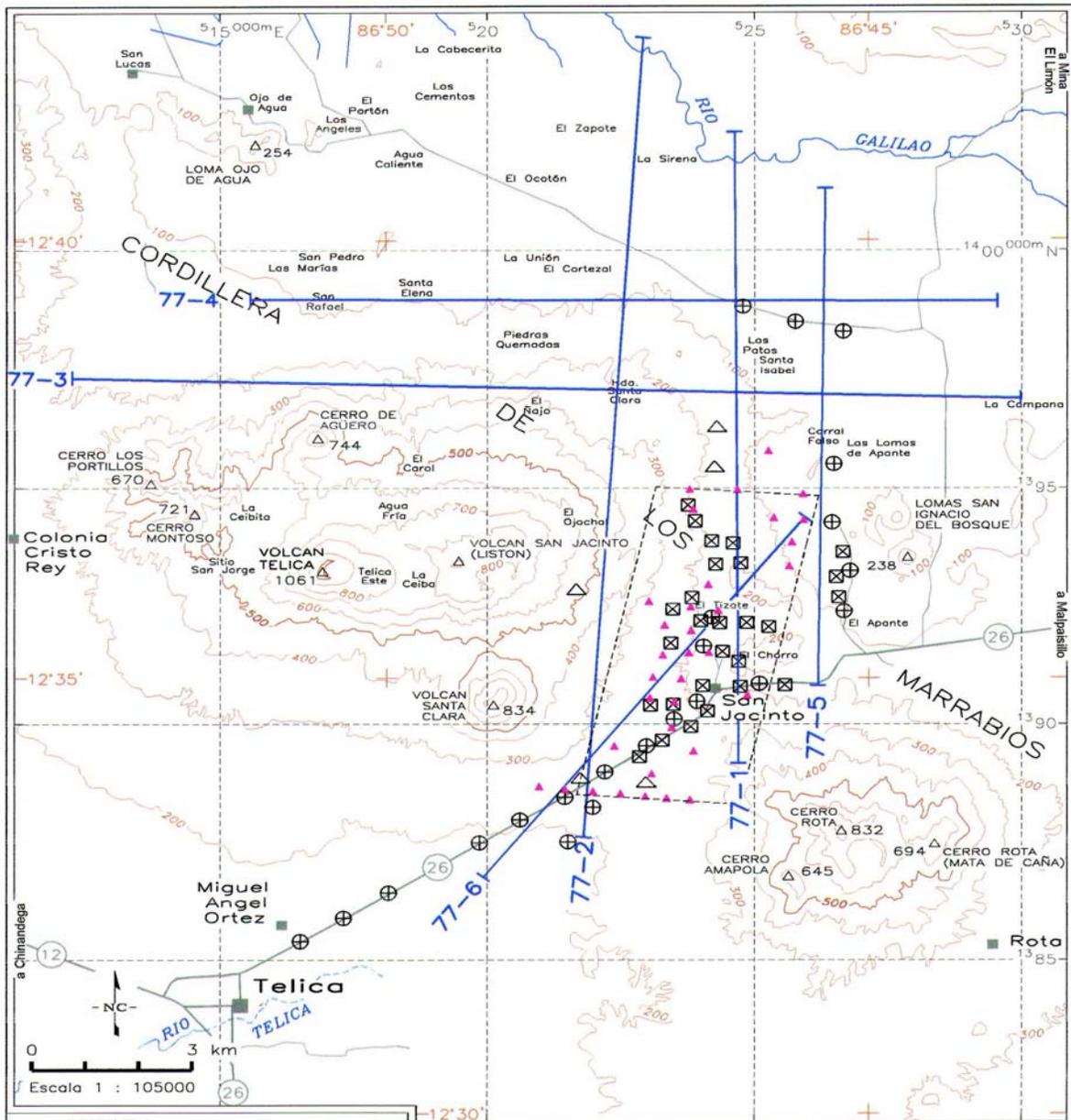
□ Agua superficial	○ Manantial
⊙ Pozo geotérmico profundo	○ Fumarola/solfataras
○ Pozo sin especificarse	× Tipo (pozo, manantial) desconocido
● Pozo excavado	● N/m de fila del archivo base de datos
⊙ Pozo perforado	⊙ Temperatura, °C
⊕ Pozo gradiente somero (aprox. 60m) de Texas Instruments (1970)	19 mg/l de Cl

**Figura V-4.1.2: Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

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

FILE: V-4.1.2.DWG SCALE: 1 : 50000  
 PLOTDATE: 26OCT2001 DRAWN: PMS  
 PAGE SETUP: VSUTIZ-1 APP: CMC





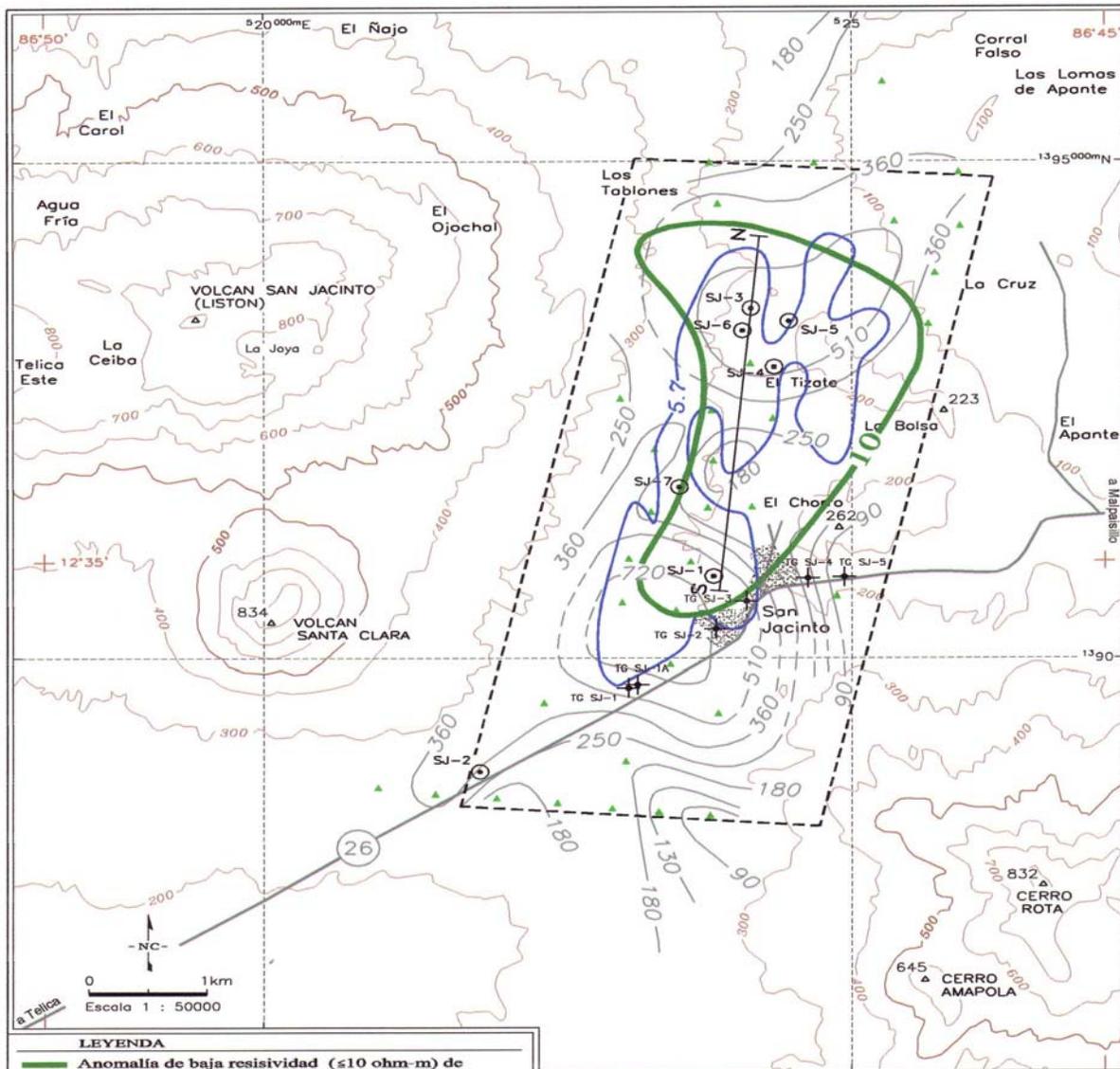
**LEYENDA**

⊕	Sondeos Schlumberger (OLADE 1982)
△	Sondeos electromagnéticos (Texas Instruments, 1970)
⊗	Sondeos profundos
⊠	Area de sondeos de frecuencia
▲	Estación de magnetotélúrica
— —	Línea dipolo-dipolo axial (Phoenix Geophysics, 1977)

**Figura V-4.2.2: Mapa de ubicación de sondeos eléctricos y electromagnéticos y líneas dipolos-dipolos eléctricos, Volcán Telica-San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

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

FILE: V-4.2.2.DWG	SCALE: 1 : 105000
PLOTDATE:29OCT2001	DRAWN: RRS APP: RWG
PAGE SETUP: VTELJLN	REV: OCT98/APR00/DEC00 JUL01/SEP01/OCT01



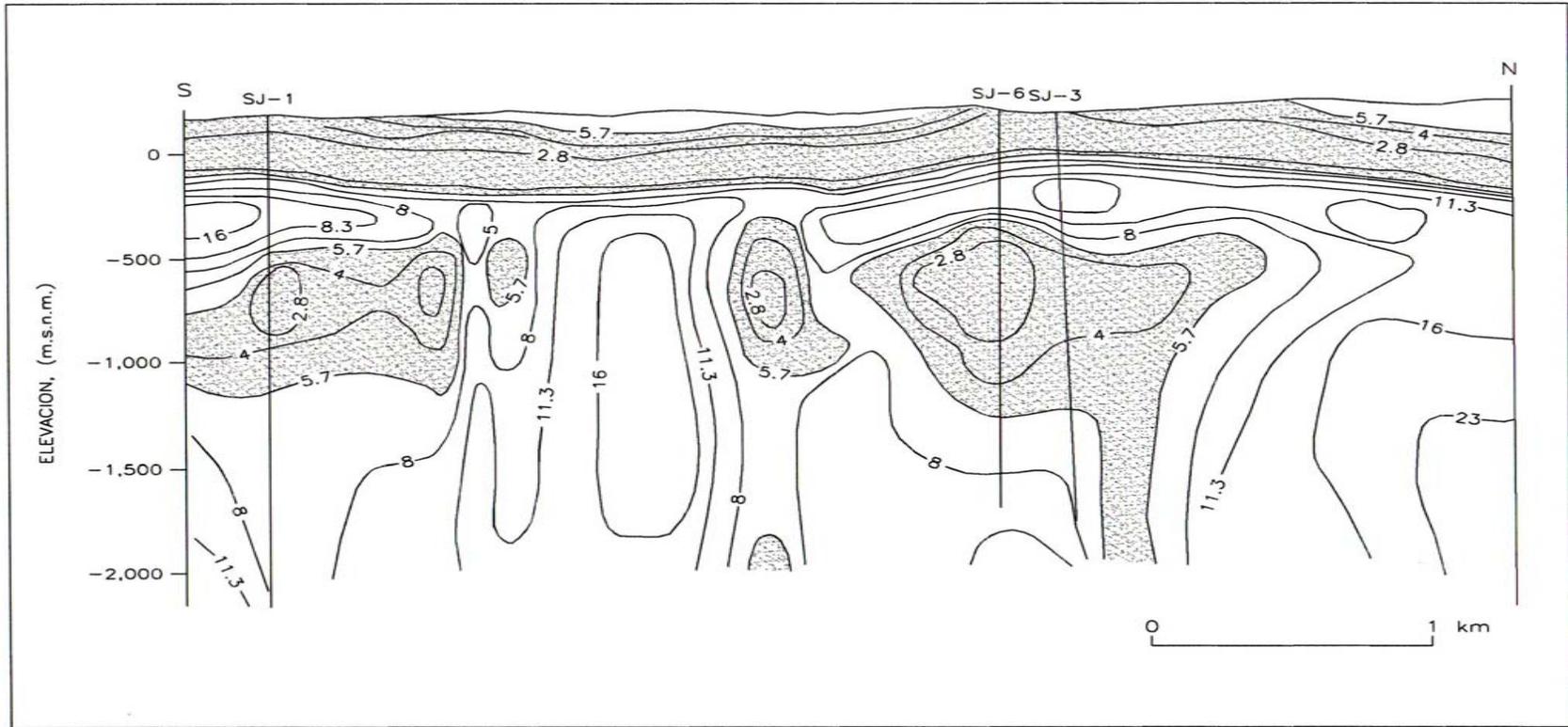
**LEYENDA**

- Anomalia de baja resistividad ( $\leq 10$  ohm-m) de mapeo dipolar (United Nations, 1974)
- Anomalia de baja resistividad ( $\leq 5.7$  ohm-m) entre 800 y 1,200m de profundidad de sondeos de frecuencia (Intergeoterm, 1993)
- 90- Contorno de conductancia total hasta una profundidad de 1 km de sondeos MT (Intergeoterm, 1993)
- [ - - ] Area de sondeos de frecuencia (Intergeoterm, 1993)
- ▲ Estación magnetotelúrica
- Línea de la sección de figura V-4.2.4

**Figura V-4.2.3:**  
**Mapa de anomalías de resistividad,**  
**San Jacinto-El Tizate, Nicaragua**

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

FILE: V.4.2.3.DWG	SCALE: 1 : 50000
PLOTDATE: 26OCT2001	DRAWN: RRS
PAGE SETUP: VSUTZ-1	APP: RWG



**LEYENDA**

11.3 Valores en Ohm-m

  $\rho < 5.7 \Omega\text{-m}$

**Figura V-4.2.4:**  
**Sección geoelectrica, San Jacinto-Tizate, Nicaragua**  
 (Ostapenko et al, 1998)

**GeothermEx, Inc.**

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

FILE: V-4.2.4.DWG

NOT TO SCALE

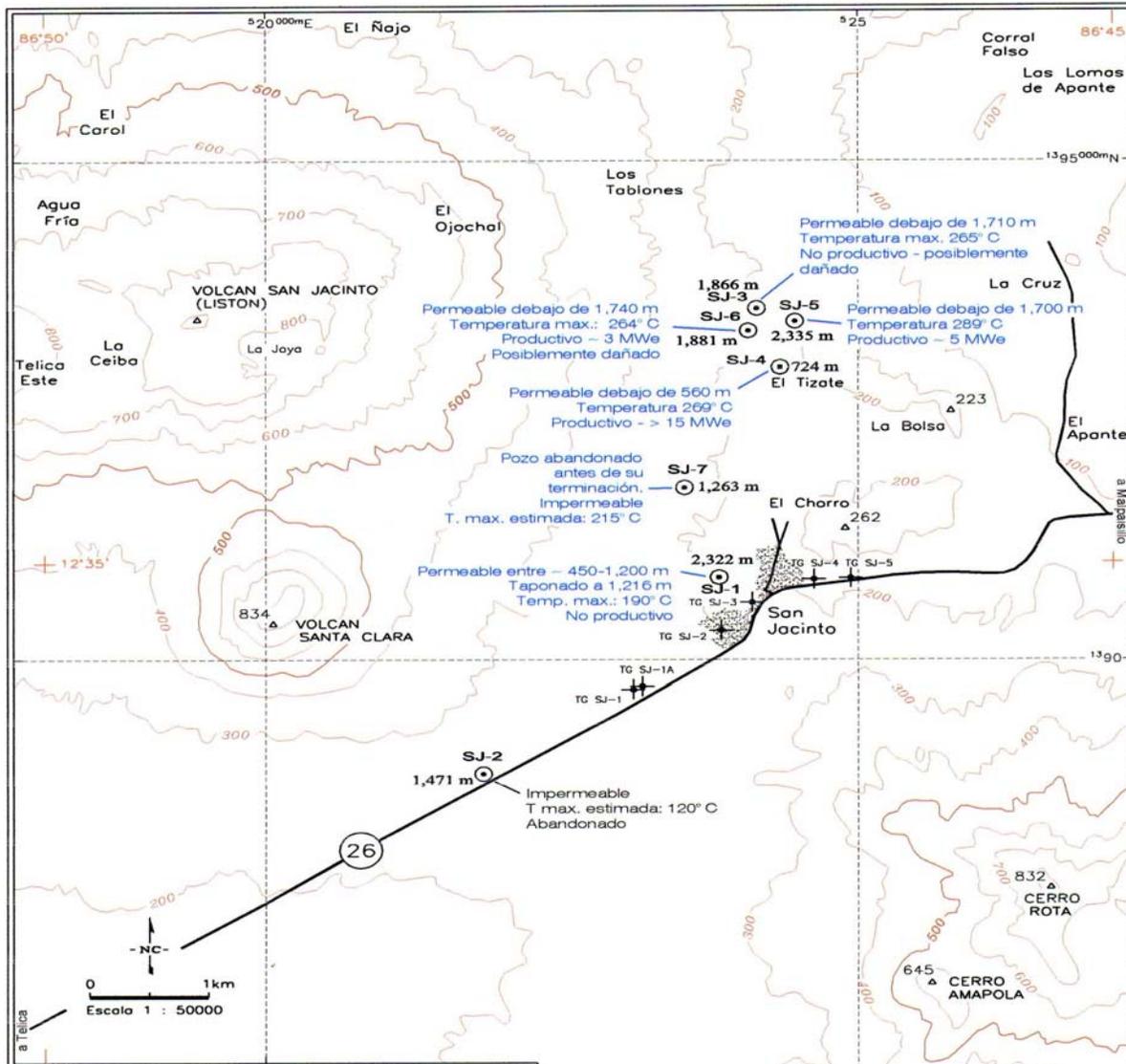
PLOTDATE: 08DEC2000

DRAWN: RRS

APP.: RWG

PAGESETUP: V-4.2.4

REV: JUL00/DEC00



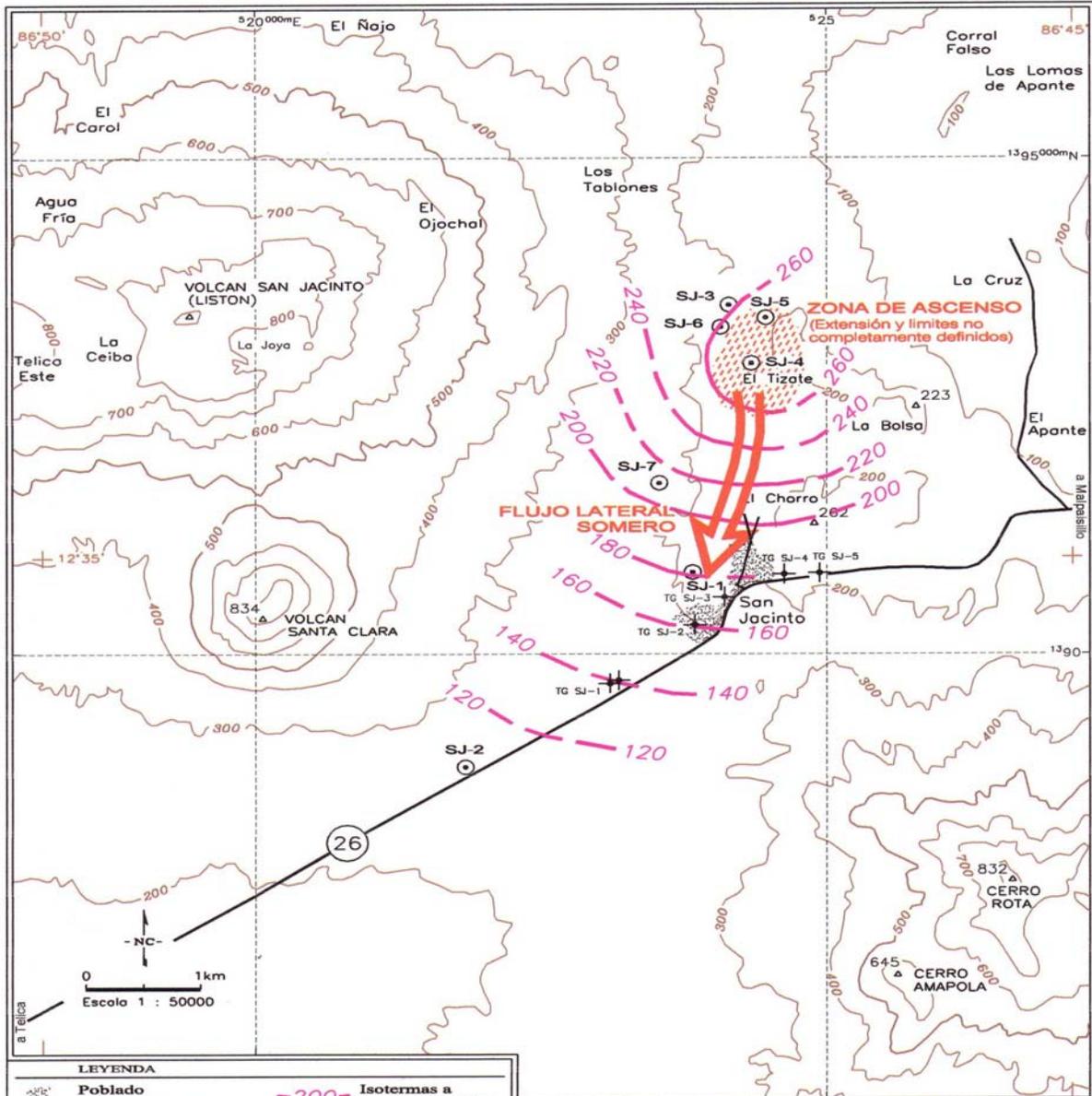
**LEYENDA**

	Poblado		Pozo geotérmico profundo y profundidad total
	Carretera nacional		Pozo gradiente somero (aprox. 60m) de Texas Instruments (1970)
	Camino secundario		
	-200- Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)		

Datos topográficos: INETER (1988)

**Figura V-4.3.1: Ubicación de los pozos geotérmicos perforados por Intergeoterm (1992-1995), San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b> 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: V-4.3.1.DWG SCALE: 1 : 50000 PLOTDATE: 26OCT2001 DRAWN: RRS PAGE SETUP: V5UTZ-1 APP: RCH
--	--



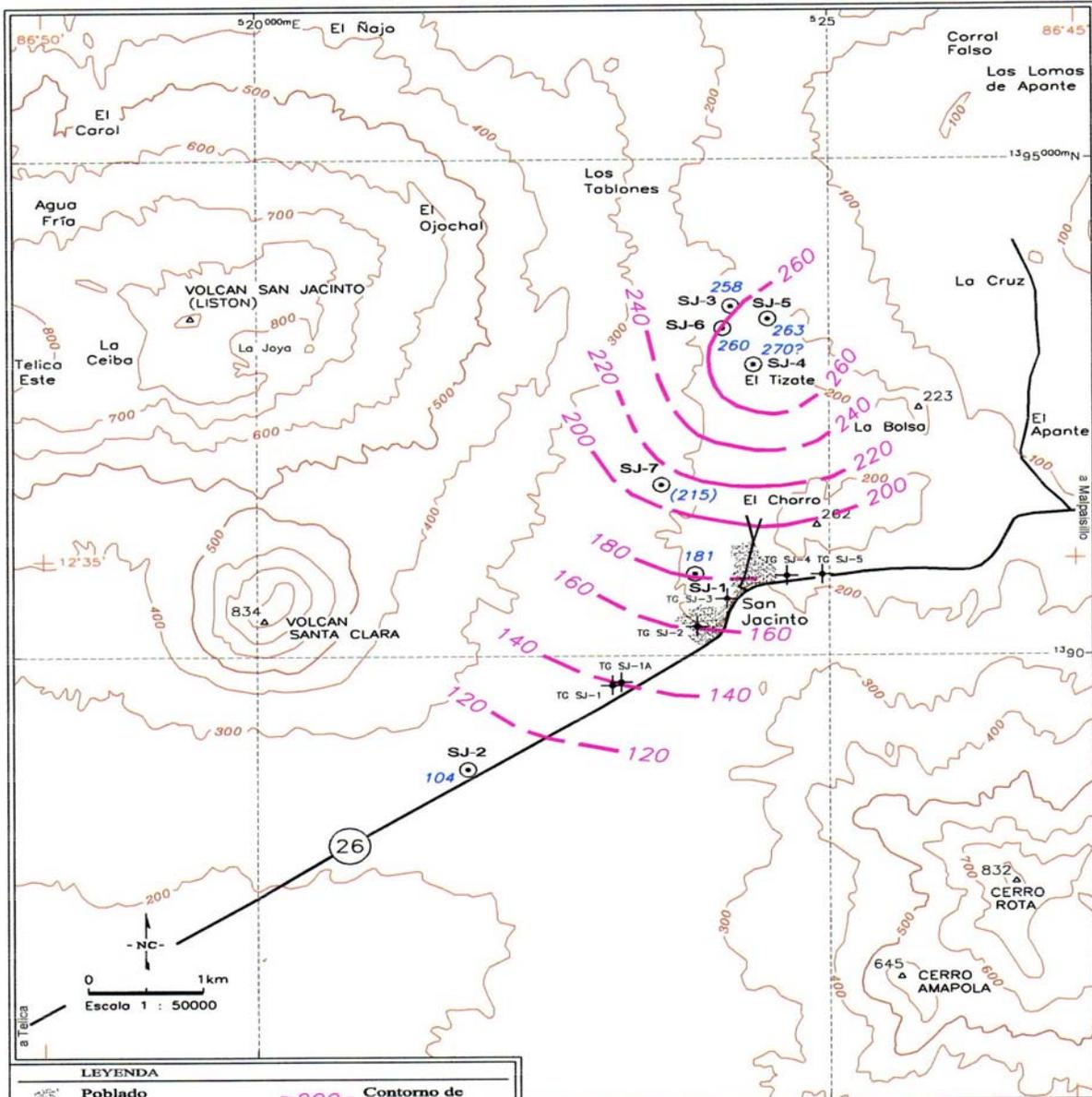
**LEYENDA**

	<b>Poblado</b>		<b>-200-</b> Isothermas a -1,000 m s.n.m.
	<b>Pozo geotérmico profundo</b>		<b>Zona de ascenso</b>
	<b>Pozo gradiente somero (aprox. 60m) de Texas Instruments</b>		<b>Flujo lateral somero</b>
	<b>-200-</b> Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)		

Datos topográficos: INETER (1988)

**Figura V-5.1:  
Modelo geotérmico conceptual,  
San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b> GEO THERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL: (510) 527-9876 FAX: (510) 527-8164 EMAIL: WWW@GEO THERMEX.COM	FILE: V-5.1.DWG PLOTDATE: 26OCT2001 PAGE SETUP: VS/TIZ-1	SCALE: 1 : 50000 DRAWN: RRS APP.: RCH
---	--	---



LEYENDA			
	Poblado	-200-	Contorno de temperatura, °C
	Pozo geotérmico profundo	263	Temperatura medida, °C
	Pozo gradiente somero (aprox. 60m) de Texas Instruments	(215)	(estimada)
	-200-		Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
Datos topográficos: INETER (1988)			

**Figura V-6.1: Distribución de temperatura a la elevación de -1,000 m s.n.m., campo geotérmico de San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 3221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL. (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL WWW@GEOTHERMEX.COM

FILE: V-6.1.DWG	SCALE: 1 : 50000
PLOTDATE: 26OCT2001	DRAWN: RRS
PAGE SETUP: VISITIZ-1	APP: RCH

Figura V-6.2: Histograma de capacidad energética, San Jacinto-Tizate

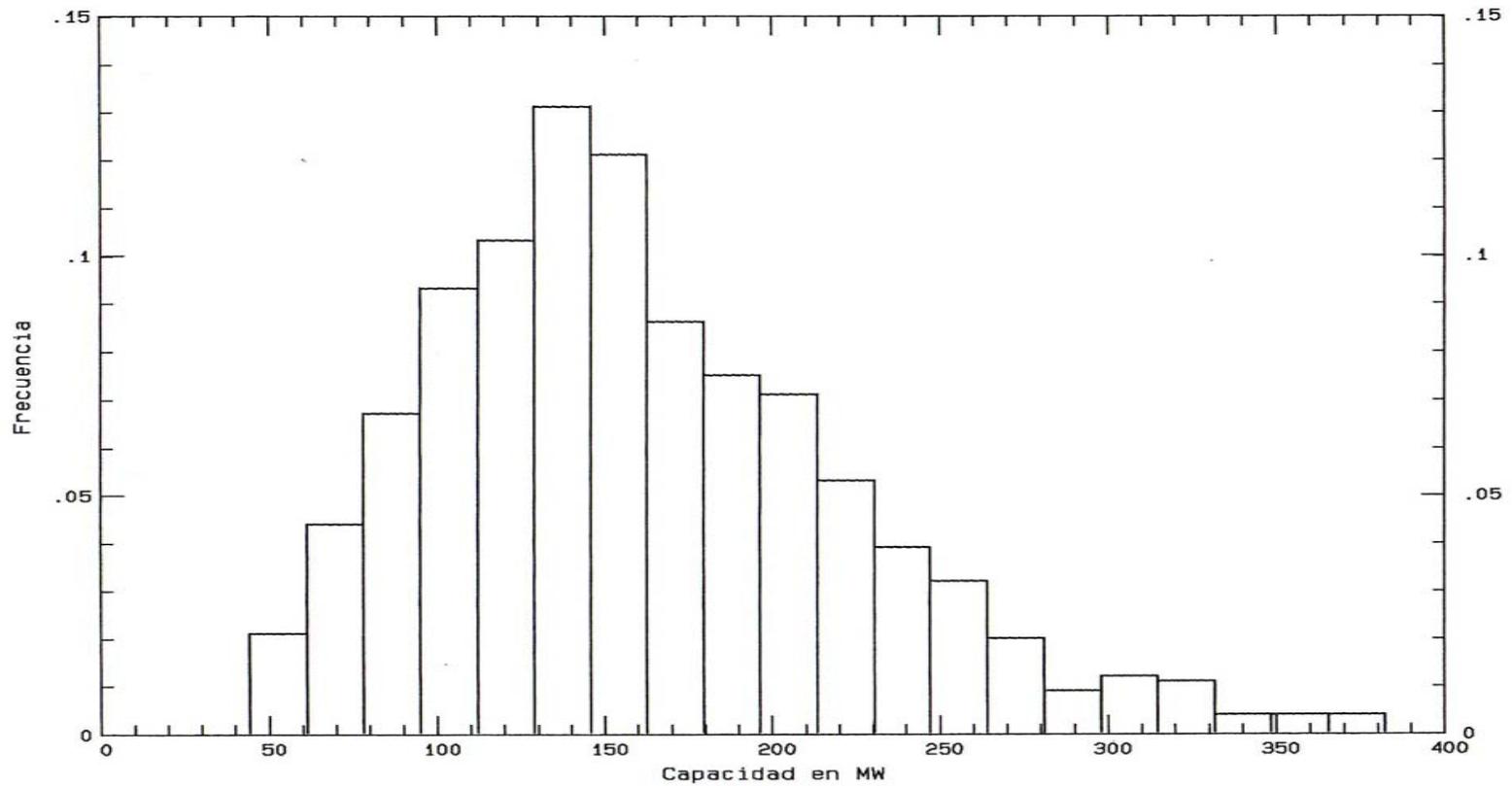
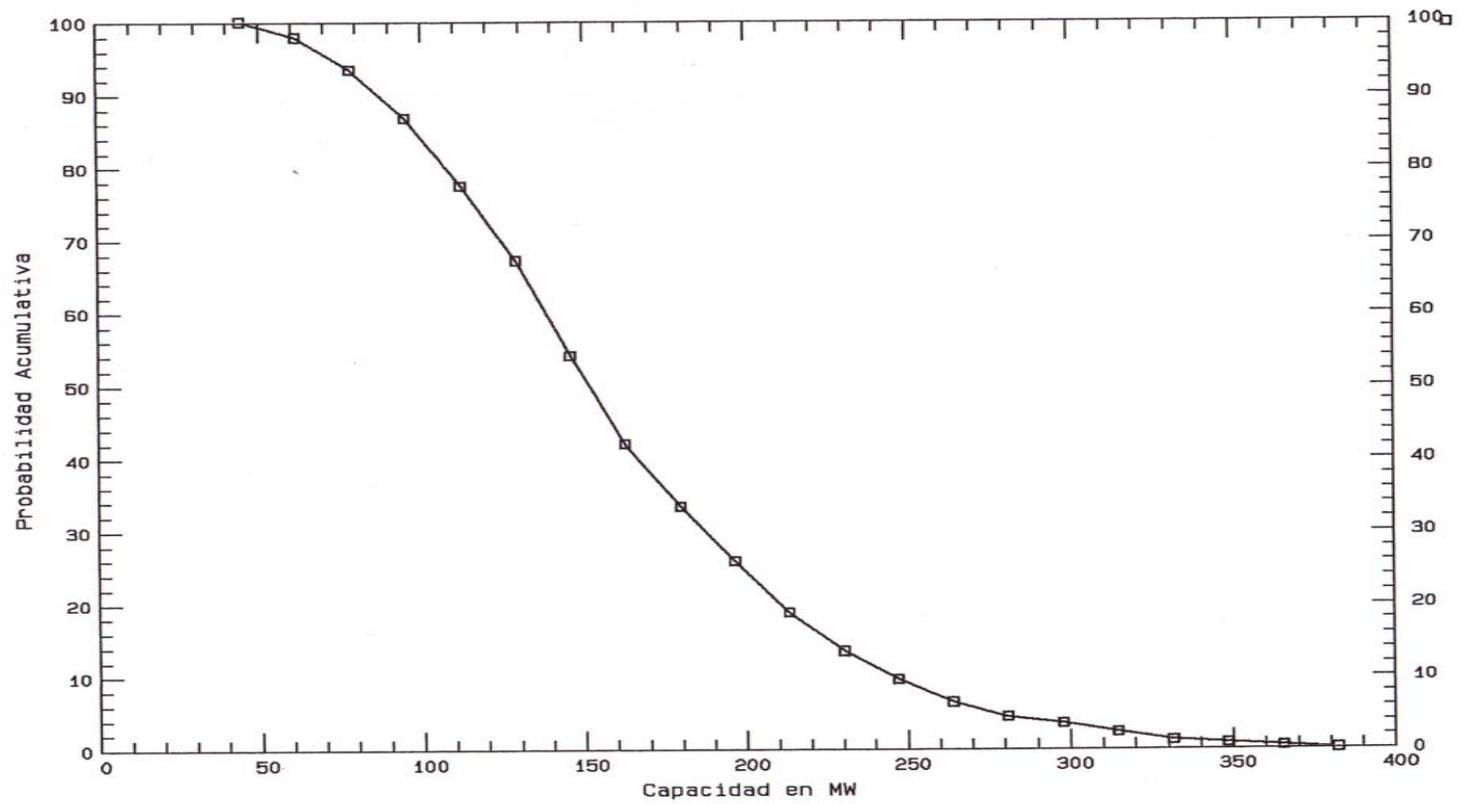
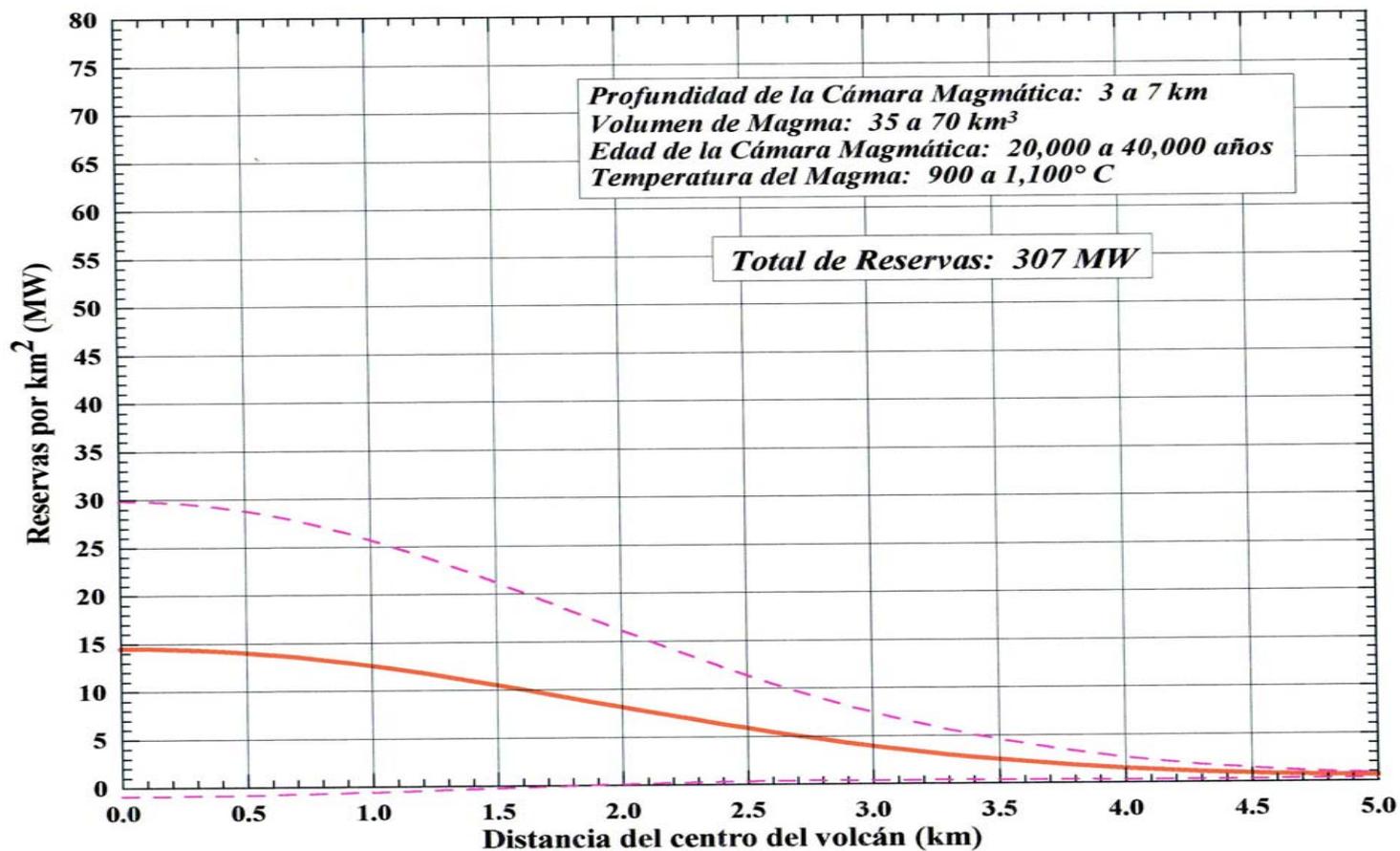


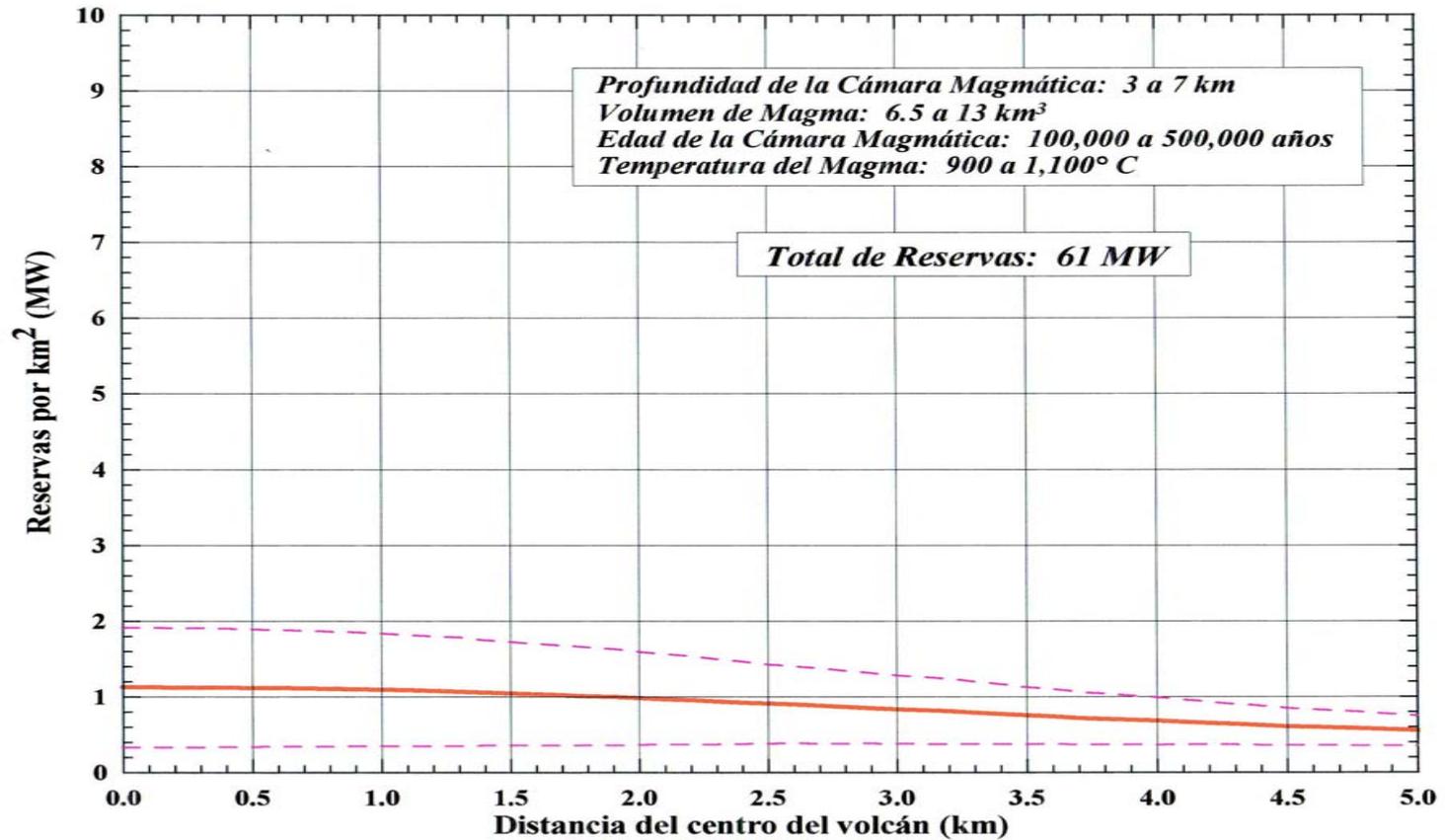
Figura V-6.3: Probabilidad acumulativa de capacidad energética, San Jacinto-Tizate

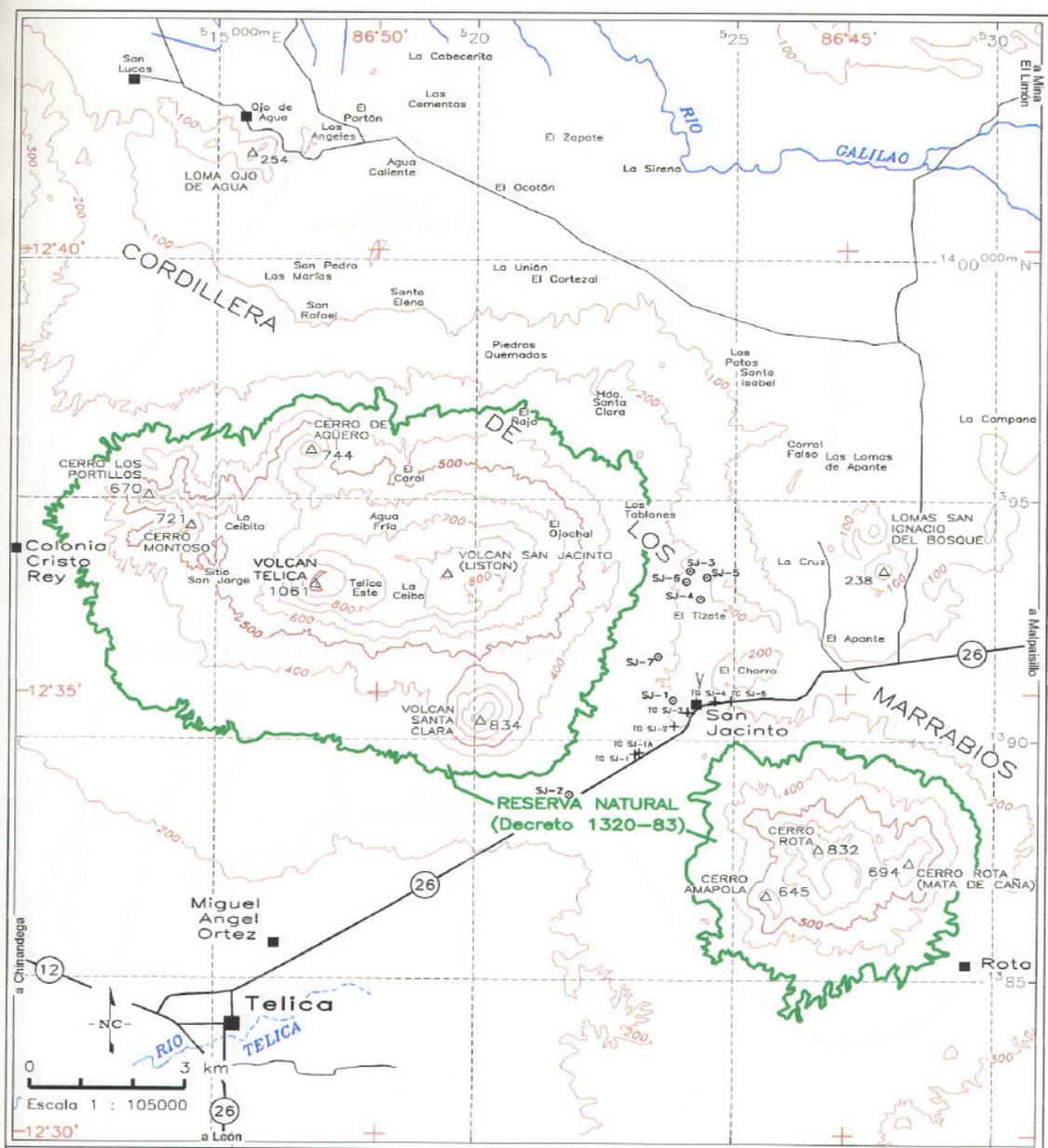


**Figura V-6.4: Cálculo de reservas, complejo volcánico de Telica**



**Figura V-6.5: Cálculo de reservas, complejo volcánico del Cerro Rota**

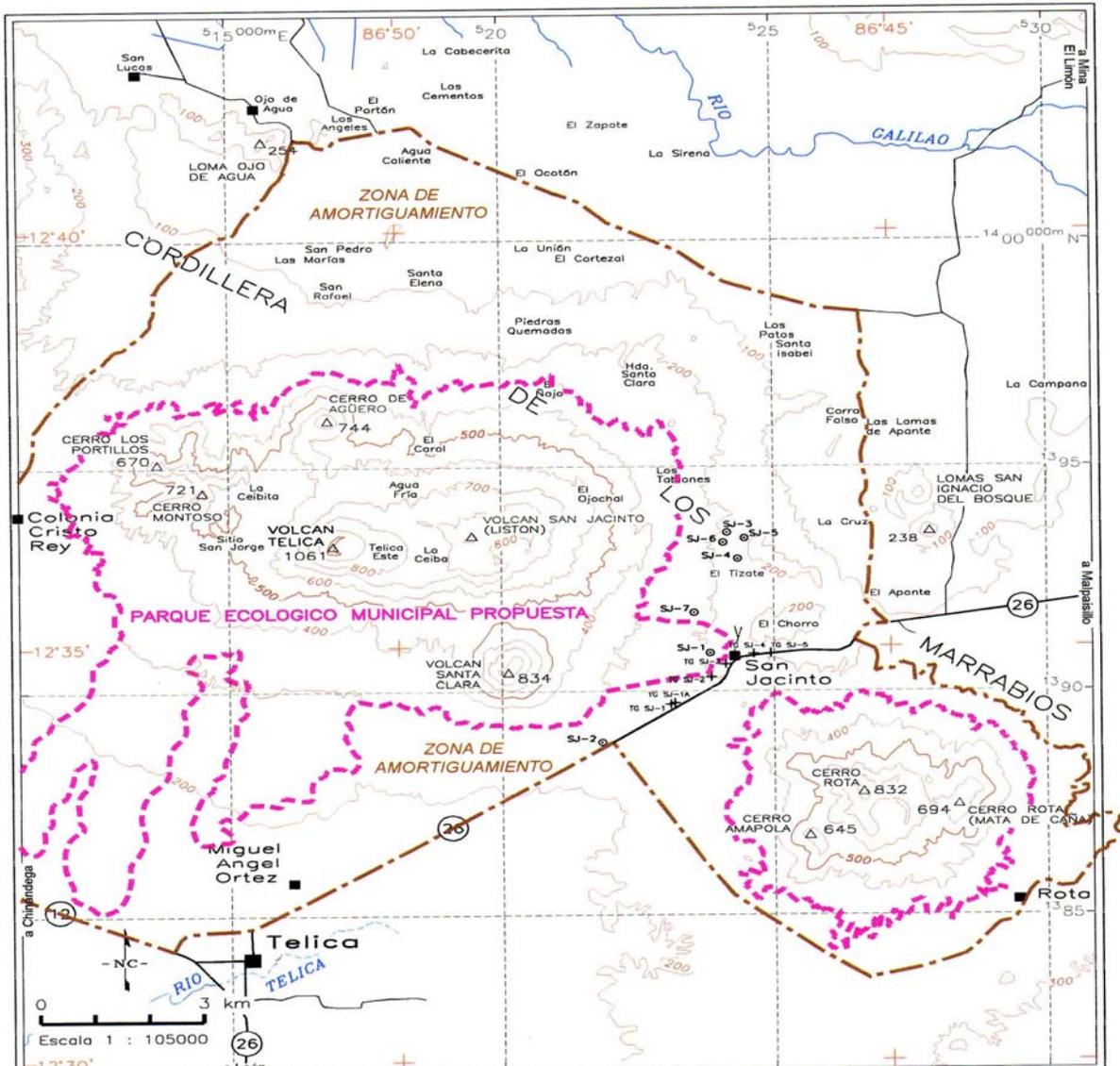




LEYENDA	
	Limite zona de reserva natural
	Poblado
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
Datos topográficos: INETER (1988)	

**Figura V-7.1:**  
Reservas naturales vigentes,  
San Jacinto-Tizate, Nicaragua

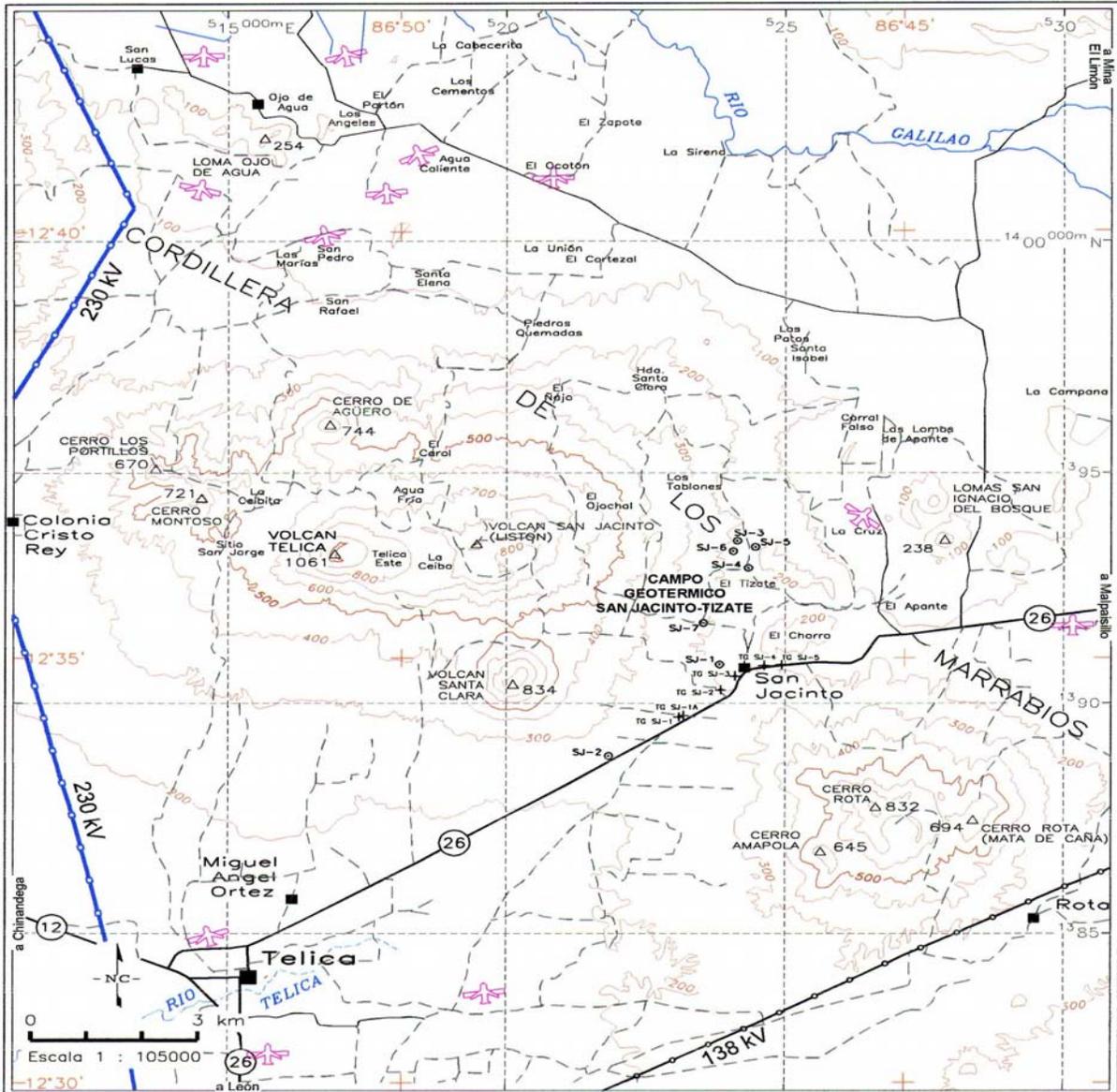
<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: V-7.1.DWG	SCALE: 1 : 105000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PLTDATE: 19OCT2001	DRAWN: RRS APP: RWG
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL: MW@GEOHERMEX.COM		PAGE SETUP: VTELEJN	REV: OCT99 / APROG / DECOO JUL01 / OCT01



LEYENDA	
	Límite propuesta para la parque ecologico municipal
	Límite zona de amortiguamiento
	Curva de nivel, m s.n.m. (intervalo 100m)
Datos topográficos: INBTER (1988)	

**Figura V-7.2: Modificaciones propuestas por FUNDENIC-SOS (1999), San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b> GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS 5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804 TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8184 EMAIL NW@GEOTHERMEX.COM	FILE: V-7.2.DWG	SCALE: 1 : 105000
	PLOTDATE: 26OCT2001	DRAWN: RRS
	PAGE: SETUP/TELELN	REV.: OCT99/APROO/DECCO JUL01/OCT01



**LEYENDA**

	Carretera nacional
	Camino secundario
	Camino sin mejoras
	Líneas de transmisión eléctrica
	Pista de aterrizaje

**Figura V-8.1:  
Elementos infraestructurales,  
San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

<b>GeothermEx, Inc.</b>		FILE: V-8.1.DWG	SCALE: 1 : 105000
GEOHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS		PLOTDATE: 26OCT2001	DRAWN: RRS APP: RCH
5221 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804		PAGE SETUP: VIELEJN	REV.: DEC99/APR00/JUN01
TEL (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOHERMEX.COM			JUL01/OCT01



## ANEXO A: ESTUDIO GEOQUIMICO E HIDROGEOLOGICO

### ILUSTRACIONES

#### Tablas

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

#### Figuras

- V-A.1: Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, San Jacinto - Tizate, Nicaragua
- V-A.3.1.1: Diagrama Piper, San Jacinto - Tizate, Nicaragua
- V-A.3.1.2: Diagramas x-y, San Jacinto - Tizate, Nicaragua
- V-A.3.1.3: Entalpía y Cl en el reservorio de San Jacinto - Tizate, Nicaragua



## A.1 Alcance

En el ámbito del Estudio Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua, los aspectos hidrogeoquímicos e hidrológicos del área de San Jacinto - Tizate han sido estudiados utilizando los datos existentes y disponibles. Estos han sido analizados y se presentan utilizando técnicas gráficas y de computación, combinadas con descripciones y comentarios que permiten, en su conjunto, determinar y describir el sistema geotérmico del área. Este trabajo ha sido enfocado en proporcionar información general sobre el reservorio geotérmico en base a sus manifestaciones superficiales y a las aguas subterráneas someras, muchas de las cuales son tibias, y a los datos químicos de los pozos perforados. El presente Anexo presenta los detalles de este trabajo, los cuales son también resumidos, conjuntamente con otros datos geotérmicos, en la parte principal de este Volumen, especialmente en las secciones 3.3 y 4. 1, y en el Capítulo 5.

En el ámbito del Estudio Plan Maestro se efectuó también una revisión de la química de las aguas subterráneas a una escala más regional, con el fin de identificar posibles afloramientos de flujos laterales procedentes del sistema geotérmico de San Jacinto - Tizate, los cuales podrían existir al NE, o al S y SO del área geotérmica. Esta revisión se incluyó en el estudio geoquímico regional del área Volcán Telica - El Ñajo (Volumen IV del Estudio Plan Maestro), la cual rodea por completo el área geográfica asignada al estudio de San Jacinto - Tizate. No se encontró evidencia de afloramientos activos de fluidos geotérmicos procedentes de San Jacinto - Tizate, excepto en una sola localización, que se describe más adelante.



## A.2 Metodología y Procesamiento de Datos

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

Puesto que hay pozos geotérmicos profundos en San Jacinto - Tizate y análisis de muestras de aguas y gases del yacimiento profundo, no se realizaron nuevas actividades de campo en el área de San Jacinto - Tizate.

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

La base de datos de hidrogeología y química utilizada en el Estudio Plan Maestro está contenida en el disco compacto (CD ROM, en formato Access de Windows de Microsoft), que constituye los Anexo C y D del Volumen I (Volumen de Síntesis). Todas las tablas de datos presentadas en este Anexo se han extraído directamente de esa base de datos principal.

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 tomadas de varios estudios anteriores;



- desacuerdos entre coordenadas UTM y cuadrante del mapa de INETER en el cual 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 nombre de las localidades más importantes como las manifestaciones y pozos termales, pero es imposible resolver todas de las inconsistencias y ambigüedades.

El área geográfica cubierta por los datos en este Anexo es la región comprendida entre las coordenadas UTM 1389 N, 1395 N, 522 E y 526 E (**Figura V-A.1**). Esta área está rodeada en todos sus lados por el área más grande asignada al estudio del Volcán Telica - El Ñajo (Volumen IV del Estudio Plan Maestro). La pequeña área entre las coordenadas UTM 1389 N, 1395 N, UTM 525 E y 526 E en realidad está incluida tanto en este volumen como en el Volumen IV.

La Tabla V-A.1 es un inventario, descripción y lista de referencia de todos los registros de la base de datos maestra incluidos en el área de San Jacinto - Tizate, tal como se definió anteriormente, organizados en una serie de subdivisiones. Primero aparecen los pozos de exploración profunda y de producción, en orden alfabético, con las muestras clasificadas según la fecha. Sucesivamente aparecen los datos relativos a pozos someros, manantiales y fumarolas, organizados según una serie de subdivisiones geográficas desde el Sur (Carretera 26 al SO de San Jacinto) hasta el Norte (Fumarolas de Tizate), seguidos por la región comprendida entre las coordenadas UTM 525 E y 526 E. Estas subdivisiones proveen una cómoda herramienta organizativa para manejar los datos, sin embargo, tienen fronteras no muy rígidas y, como se explicó anteriormente, las localizaciones según coordenadas UTM de



muchos datos son a veces un poco inciertas. La columna Datos indica cuales tipos de análisis están disponibles para cada punto de información en la tabla.

Se han incluido en la base de datos todas las muestras disponibles de agua y gas obtenidas durante las pruebas de producción de los pozos de San Jacinto - Tizate, pero no se sabe si existen otros datos en los archivos privados de Intergeoterm. El pozo de exploración SJ-02, localizado fuera del área, hacia el Sudoeste (**Figura V-A. 1**) resultó impermeable y no proporcionó ninguna muestra.

Cada elemento del inventario tiene un número único de identificación (colum. N/m), que proviene de la base de datos maestra, e incluye referencias de las fuentes de información. Al final de la Tabla V-A. 1 se incluyen descripciones detalladas de las referencias reportadas y el Capítulo 10 de este Volumen presenta también una lista de referencias.

El mapa de la **Figura V-A.1** muestra la ubicación de todos los datos reportados en la Tabla V-A.1. Se puede observar una gran cantidad de manantiales entre el poblado de San Jacinto, al Sur, y la localidad de El Tizate, al Norte, los cuales son probablemente el resultado de coordenadas imprecisas de un número reducido de manantiales. En efecto, los mapas topográficos de INETER y los de diferentes documentos de exploración muestran un total de cuatro manantiales espaciados en forma equidistante entre las dos comunidades, pero no hay manera confiable para asignarle a cada punto de datos en la Tabla V-A.1 una de estas cuatro localizaciones específicas. (Sería imposible corregir los errores de ubicación por medio de un chequeo de campo, porque nunca sería posible determinar las ubicaciones exactas de muestras tomadas por otras personas en el pasado.) Por este motivo, la **Figura V-A.1** muestra simplemente las coordenadas UTM de todas las localidades que han sido reportadas en las fuentes de información correspondientes.



Al Este de San Jacinto, la localidad Casa Blanca, con dos análisis (N/m 789 y 1107) es altamente incierta. Las coordenadas UTM correctas para este punto pueden encontrarse más hacia el Sur, entre las coordenadas UTM 1382 N y 1385 N.

La **Figura V-A.1** muestra las áreas de fumarolas de San Jacinto y El Tizate, cada una con un único símbolo de fumarola. Sin embargo, el área de San Jacinto es mucho más grande y más activa que el área de El Tizate, que a veces ha sido reportada como casi inactiva.

### A.3 Recopilación de los Resultados

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

Las muestras de aguas se describen a continuación, usando en ciertas instancias las abreviaciones químicas para los nombres de elementos y compuestos comunes (Ca = calcio, Cl = cloruro,  $\text{HCO}_3$  = alcalinidad total en forma de bicarbonato,  $\text{H}_2\text{S}$  = sulfuro de hidrógeno, K = potasio, Mg = magnesio, Na = sodio,  $\text{SiO}_2$  = sílice,  $\text{SO}_4$  = sulfato):

#### *Aguas Subterráneas Someras*

La mayoría de las aguas muestreadas en manantiales y pozos someros del área tienen composiciones de tipo Ca - cationes mixtos -  $\text{HCO}_3$  (en base al peso), con contenido de Cl inferior a 55 mg/l (Tabla V-A.2, **Figuras V-A.3.1.1** y **V-A.3.1.2**). Los aniones tienden hacia el 504, en parte como resultado de la mezcla con aguas sulfáticas ácidas producidas en las áreas fumarólicas de San Jacinto y El Tizate cuando el agua oxigenada (agua con oxígeno disuelto de la atmósfera) somera interactúa con el sulfuro de hidrógeno presente en el vapor geotérmico. Las temperaturas de las aguas subterráneas muestran una buena correlación con el 504, a partir de los 24°C hasta más de 90°C, en las áreas de fumarolas (**Figura V-A.3.1.2**). Las aguas sulfáticas ácidas tienen una concentración de  $\text{SO}_4$  de hasta 3,000 mg/l, y valores de pH tan bajos como 2.5, lo cual no es anormal para estas situaciones.



El Cl en las aguas subterráneas excede los 20 mg/l solamente en un pozo excavado ubicado en una zona alejada al Noreste del área geotérmica (Las Catenas, N/m 767 / 1090) y en un conjunto de muestras recolectadas por Texas Instruments (Texas, 1970) en el sector entre San Jacinto y El Tizate (N/m 680-690, 692-693).

El agua de Las Catenas (N/m 767 / 1090) tiene de 50 a 53 mg/l de Cl (dos análisis de una sola muestra) y varias gráficas de datos (**Figura V-A.3.1.2**) indican que este es el resultado de la mezcla entre una componente Na-Cl y una típica agua bicarbonata diluida, con unos 20 mg/l de Na antes de la mezcla. La temperatura reportada es de solamente 30°C y las demás características químicas del agua no son anómalas. El nivel del agua en el pozo es de aproximadamente 56 m s.n.m. En vista de que esta localidad es a la vez de poca elevación y solamente a 1.8 km al Noreste del pozo geotérmico SJ-O5 (en la zona de El Tizate), parece probable que el componente Na-Cl sea de origen geotérmico. Sin embargo, como no se observa una anomalía térmica en el agua de Las Catenas, es posible que este no sea un afloramiento de agua geotérmica reciente o activo, sino que, más bien, sea una contaminación residual derivante de un estado anterior del sistema hidrotermal.

Con dos excepciones, las muestras de Texas Instruments provienen de manantiales y de un pozo con temperaturas variables entre 28° y 43°C, y cloruros entre 9 y 40 mg/l (**Figura V-A.3.1.2**). La mayoría de estas muestras evidencian una cierta correlación entre Na y Cl, pero no hay correlación entre Cl y temperatura. Si bien las aguas subterráneas más diluidas en esta misma área muestran una correlación entre el SO<sub>4</sub> y el Cl, ese no es el caso de las muestras de Texas Instruments y sus valores de pH son esencialmente neutros, en el rango de 6.8 a 8.4.

Las excepciones entre las muestras de Texas Instruments son el Pozo McBirney (N/m 694) y el manantial N/m 691. El Pozo McBirney es un agujero exploratorio somero que había sido



perforado cerca de El Tizate en los años 50. Su muestra es un agua de tipo cationes mixtos –  $\text{SO}_4$  con un contenido de Cl de solamente 14 mg/l, pero con una temperatura de 85°C.

La muestra N/m 691 (el N/m 2743 de Parsons, 1972, es el mismo) es un agua de tipo Na-Cl proveniente de un manantial en un arroyo al S de Tizate, un poco al E de los otros manantiales presentes en el área (ver **Figura V-A.1**). Esta muestra contiene 1,200 mg/l de Cl y la temperatura reportada es de 66.5°C. Su carácter es muy semejante al agua de los pozos profundos (ver **Figura V-A.3.1.1**), pero ninguno de los estudios más recientes ha vuelto a reportar el mismo manantial, el cual se ha probablemente secado y actualmente no se conoce su ubicación.

Asumiendo que los análisis de Texas Instruments son exactos, es probable que estas muestras contengan un componente Na-Cl, especialmente la muestra N/m 691. Estos manantiales son localizados a unos 200 m de elevación sobre el nivel del mar, lo que limita la probabilidad de, que el componente Na-Cl represente un afloramiento activo del sistema geotérmico que existe en profundidad por debajo de esa área. Sin embargo, el notable quimismo de la muestra N/m 691 sugiere que ha existido en algún momento un afloramiento de este tipo, el cual, posiblemente, ya no existe. No hay evidencia de que el Cl venga de una fuente magmática, como el HCl (cloruro de hidrógeno) gaseoso que es acarreado por vapor supercalentado. Las condiciones ácidas y el calor que se espera cuando el Cl es acarreado en forma de HCl, simplemente no están presentes. Es posible que la pequeña “anomalía”, de 20 a 40 mg/l Cl, sea una expresión de: 1) errores en los análisis, o 2) adquisición de pequeñas cantidades de Na-Cl de rocas volcánicas jóvenes, o 3) contaminación residual de una descarga del sistema geotérmico profundo en algún momento en el pasado.

Se tienen solamente tres muestras de isótopo estables relativas al área de San Jacinto - Tizate (Tabla V-A.4). Existe una muestra de las fumarolas de San Jacinto y una de El Tizate (N/m 2161 y 2155), que evidencia en ambos casos un típico desplazamiento isotópico hacia niveles más altos



de deuterio y de  $^{18}\text{O}$ , causado por evaporación a baja temperatura, y una muestra procedente de un manantial en El Chorro (N/m 2168; entre San Jacinto y Tizate), que tiene la composición del agua meteórica.

*Pozos Geotérmicos Profundos*

El yacimiento profundo de San Jacinto - Tizate contiene una agua de tipo Na-Cl, con pH neutro, que es típica de sistemas hidrotermales de temperatura moderadamente alta desarrollados en rocas volcánicas jóvenes. En la siguiente tabla se muestran los pozos y sus características físicas (los nombres formales de los pozos son SJ-1, -2, etc., pero han sido editados con formato SJ-01, -02, etc., para facilitar el manejo automático de los datos.)

Pozo	Profundidad (m)	Temp. max. medida (°C)	Resultado	Terminación
SJ-01	2,322	188°	no productivo	12 Sep 93
SJ-02	1,471	97°	impermeable	03 Jun 93
SJ-03	1,867	265°	no comercial	15 Dic 93
SJ-04	724	267°	comercial	14 Feb 94
SJ-05	2,335	289°	comercial	23 Jul 94
SJ-06	1,877	264	comercial	4 Dic 94
SJ-07	1,260			no terminado



Se dispone de muestras de fluidos de los pozos SJ-01, -03, -04, -05 y -06 (Tabla V-A.2). Las muestras recolectadas en el vertedero durante pruebas de producción (después de ebullición a presión atmosférica) tienen un contenido de Cl en el rango 2,500-3,500 mg/l, con la excepción del pozo SJ-01, en la zona de flujo lateral en San Jacinto, y de las muestras iniciales del pozo SJ-04, que presentan un contenido de Cl más alto. El pozo SJ-01 nunca logró fluir por si mismo, y, aparentemente, las muestras provienen de descargas artificiales muy breves, así que es muy posible que sean contaminadas con agua de perforación. Ambos pozos SJ-01 y SJ-04 producen de niveles relativamente someros. El valor de pH es neutro. El contenido de Ca en las muestras de vertedero es de 15 a 50 mg/l, con excepción de un dato con 180 mg/l en SJ-01, mientras que el SO<sub>4</sub> varía entre 20 y 60 mg/l. La alcalinidad como HCO<sub>3</sub> es de aproximadamente 10 a 30 mg/l, con la excepción de niveles más altos en SJ-01 y en las muestras de las pruebas iniciales (años 1993 - 1994) en varios otros pozos, especialmente el SJ-04. Estos niveles transitorios más altos de alcalinidad pueden ser el resultado ya sea de contaminación causada por el fluido de perforación, o por producción inicial desde zonas relativamente someras, subsecuentemente agotadas, donde el agua Na-Cl se mezcló con agua de tipo HCO<sub>3</sub>, más somera. Las muestras iniciales con HCO<sub>3</sub> más alto muestran también niveles más altos de Mg con respecto a aquellas obtenidas con pruebas posteriores (Figura V-A.3.1.2).

La Figura V-A.3.1.3 presenta las relaciones entalpía - cloro en las zonas profundas de producción de los pozos, reconstruida utilizando la química en el vertedero combinada con los registros de temperatura de fondo de pozo. Esta figura evidencia que la parte más profunda del yacimiento, alcanzada por los pozos SJ-03, SJ-05 y SJ-06, tiene aproximadamente 1,800 mg/l Cl a 265° - 280°C. El pozo más somero SJ-04 encontró una condición con 2,400 mg/l Cl a aproximadamente 265°C, y el SJ-01 en la zona de flujo lateral hacia el Sur, encontró una condición de unos 3,800 mg/l Cl a 190°C (dato muy aproximado, debido a la falta de producción normal de este pozo). La misma figura presenta también un modelo simple de



relación genética entre Cl y entalpía, el cual sugiere que el fluido originario, a mayor profundidad en el yacimiento, tiene aproximadamente 2,700 mg/l Cl a unos 300°C. Si esto es correcto, se pueden hacer las siguientes consideraciones: 1) la concentración de Cl en SJ-01 se explica como el resultado de ebullición y pérdida de vapor en el yacimiento, 2) las condiciones en SJ-03, SJ-05 y SJ-06 son el resultado de una mezcla con agua diluida de muy alta temperatura, como vapor de agua condensado, o son el resultado de calentamiento en rocas calientes, actuando sobre la mezcla o sobre el componente diluido antes de formación de la mezcla (estas situaciones son bastante comunes en los sistemas geotérmicos), y 3) la concentración intermedia de Cl en SJ-04 es el resultado de alguna combinación (en cualquier secuencia) de menores procesos de mezclas y ebullición o de enfriamiento conductivo. Sin embargo, esto puede ser una sobre-simplificación de los procesos que efectivamente ocurren en el yacimiento.

Los geotermómetros químicos aplicados al agua del yacimiento (Tabla V-A.6) utilizando las muestras disponibles procedentes de pruebas efectuadas en 1998, se resumen a continuación:

Pozo	Cuarzo (°C)	Na-K-Ca (°C)	Na/K (Fournier)(°C)	K-Mg (Fournier a base de Giggenbach) (°C)
SJ-01	140°-195 <sup>0</sup>	225°	225°	185°
SJ-03	260°	250°	260°	300°
SJ-04	260°	280°	280°	325°
SJ-05	280°	290°	300°	285°
SJ-06	250°	250°	260°	300°



Estos resultados concuerdan bien con las mediciones de temperatura de fondo pozo, reportadas anteriormente, y con el modelo de entalpía-Cl, el cual indica una temperatura originaria del fluido de 300°C. Con excepción del resultado del geotermómetro K-Mg en SJ-04, el cual se considera una sobre-estimación.

### *A.3.2 Muestras de Gases*

Los datos sobre gases se limitan a dos muestras provenientes de las fumarolas de El Tizate (N/m 946 y 947), tres muestras de las fumarolas (hervideros) de San Jacinto (N/m 940, 948 y 951), dos muestras del pozo geotérmico SJ-03 (N/m, 2579, 2580), y tres muestras de cada uno de los pozos SJ-04, -05 y -06 (ver Tabla V-A.3). Ninguna de estas muestras incluye un análisis completo de todos los componentes principales y menores y ningún análisis de las fumarolas en Tizate y San Jacinto incluye valores interpretables de la relación gas/vapor. Puesto que la evaluación del potencial geotérmico de San Jacinto - Tizate no depende en el quimismo de los gases de las fumarolas (porque hay muestras de los gases de los pozos profundos), no se tomaron nuevas muestras de las fumarolas durante los estudios de campo del Estudio Plan Maestro.

Las dos muestras de El Tizate presumiblemente provienen de fumarolas, aunque esto no está claramente documentado. Su composición representa una mezcla entre un gas geotérmico con CO<sub>2</sub> predominante y aproximadamente un 20% de aire, seguida por una ligera pérdida de O<sub>2</sub>.

Una de las muestras de San Jacinto presenta también una importante contaminación por aire. Las otras dos son típicas de fumarolas geotérmicas, con 95% de CO<sub>2</sub> y trazas de otros componentes, como H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>.

Las fechas de recolección de tres de las muestras de gases de pozos no fueron reportadas, sin embargo, no hay duda que provienen de pruebas efectuadas en 1994. Las muestras de gases



de pozos de 1997 y 1998 incluyen únicamente CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub> y las condiciones de flujo durante estos últimos muestreos son desconocidas; es posible que los pozos fueron descargados solamente a presión de cabezal muy alta. Existen diferencias sistemáticas entre las muestras recolectadas en 1994, 1997 y 1998, las cuales se resumen como sigue:

1994 CO<sub>2</sub> 94 - 99 % vol. H<sub>2</sub>S 0.4 - 2.2 % vol.

1997 CO<sub>2</sub> 78 - 88 % vol. H<sub>2</sub>S 11 - 22 % vol.

1998 CO<sub>2</sub> 92 - 97 % vol. H<sub>2</sub>S 3 - 8 % vol.

Es poco probable, aunque no imposible, que procesos naturales o las pruebas de pozos produzcan variaciones en la química de gases tan altas como aquellas entre 1997 y las otras fechas, pero se necesitarían pruebas adicionales para establecer con confianza la composición del gas del yacimiento. Por el momento, se puede decir que la composición del gas no es anómala, y que muy probablemente la concentración de CO<sub>2</sub> es de un 95 % vol. y aquella del H<sub>2</sub>S es de aproximadamente 1 - 5 % vol. Las proporciones de gases en el vapor, a la presión desconocida de las muestras disponibles, son de aproximadamente 0.5 a 1.5 % en peso y los valores más razonables de H<sub>2</sub>S en el vapor son de aproximadamente 300 a 600 ppm en peso (es posible que otros valores muy bajos no sean confiables). Todos estos son valores relativamente bajos, que no deberían constituir un impacto importante en la eficiencia para la producción de energía o en los costos de abatimiento del H<sub>2</sub>S, de ser necesario.

La mayoría de los geotermómetros de gas aplicados a las muestras de los pozos indican temperaturas en el rango 250° - 300°C (Tabla V-A.7), lo cual es consistente con los otros datos de temperatura del yacimiento.



### A.3.3 Síntesis

La información química proporcionada por los pozos geotérmicos perforados en San Jacinto - Tizate sugiere que el fluido más profundo y más caliente, encontrado en el área de El Tizate, es un agua de tipo Na-Cl con 2,700 mg/l Cl a 300°C y con un pH aproximadamente neutro. Los datos de las pruebas de pozo y la química de los gases sugieren que el yacimiento está dominado por la fase líquida.

En el ámbito del sistema de San Jacinto - Tizate, la zona de origen del fluido se ubica en la porción septentrional con un flujo lateral hacia el Sur, donde el pozo SJ-01 ha encontrado, a niveles relativamente someros, agua con 190°C que contiene muy aproximadamente 3,800 mg/l de Cl, como resultado de ebullición y separación de vapor. El vapor que se separa del fluido geotérmico en esta zona meridional de descarga lateral, alimenta las fumarolas de San Jacinto y, probablemente, una parte de éste se mezcla también con aguas subterráneas más someras.

Las aguas subterráneas someras, que yacen sobre el yacimiento geotérmico, tienen composiciones diluidas de tipo Ca - cationes mixtos - HCO<sub>3</sub>, con contenido de Cl de hasta 40 mg/l. Gran parte de estas aguas presentan una anomalía térmica, con variaciones desde 25°C hasta casi 50°C, derivada de procesos de mezcla con vapor y/o aguas sulfatadas ácidas, como indicado por la marcada correlación entre la concentración de SO<sub>4</sub> y la temperatura. Las aguas sulfatadas ácidas en las zonas de fumarolas tienen temperaturas hasta mayores de 90°C.

Existen datos correspondientes de finales de los años '60, que constituyen evidencia de un afloramiento activo de agua del yacimiento (Cl a 1,200 mg/l) en un manantial cerca de El Tizate. Sin embargo, entre los datos más recientes no hay indicios claros de que el agua de tipo Na-Cl del yacimiento geotérmico se mezcle activamente mezclando con las aguas subterráneas someras. Tampoco hay indicios claros de que algunas de estas aguas se haya mezclado con agua clorurada



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

ácida derivada de vapor con fuerte influencia 'magmática'. En un pozo frío ubicado a unos 1.8 km al NE del campo geotérmico se observa una pequeña anomalía de Cl (50 mg/l), la cual se considera sea una contaminación residual de alguna descarga lateral del sistema geotérmico que existió en el pasado. Se analizaron también las aguas subterráneas a distancias mayores hacia el NE el S y el SO de San Jacinto - Tizate, con el objetivo de buscar indicios de posibles afloramientos y descargas laterales de aguas Na-Cl del yacimiento geotérmico, pero no se encontró ninguna evidencia del mismo (ver Anexo A del Volumen IV del Estudio Plan Maestro, Volcán Telica - El Ñajo).

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

**Tabla V-A.1 : Inventario de Análisis Químicos de Fluidos y Puntos de Datos de Campo**  
**San Jacinto - Tizate** (ordenado por pozos geotérmicos, luego grupos geográficos)

N/m	Coordenadas		Cuad. <sup>(2)</sup> Elev.(m)	Tipo <sup>(3)</sup> NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos <sup>(4)</sup>	Nombre	Fecha		Referencia	Notas
	utm-E	utm-N						(5)			
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-01</b>											
2574	523.824	1390.828	telica 196.6	pozogt-cw 2322	6105	w	SJ-01	15-Nov-93	ENEL(1998)		Perforación: 13 ene 93 - 12 sep 93 Observaciones: Tapón de cemento (3.60 m3) a los 1216 m. Resultados: Zonas permeables en el tramo de 465 - 1100 m, con temperaturas del orden de 185 - 190°C. Temperatura estimada del fondo de pozo: 200 - 205°C. Notas: pozo no-comercial, sin flujo; muestras tomadas durante descarga artificial breve.
2575	523.824	1390.828	telica 196.6	pozogt-cw	4548	w	SJ-01	28-Ene-94	ENEL(1998)		Notas: pozo no-comercial, sin flujo; muestras tomadas durante descarga artificial breve.
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-03</b>											
2690	524.143	1393.524	telica	pozogt-cw	2607	w	SJ-03		DAL(1995)		Sin fecha. Probablemente de la caja de weir.
2576	524.143	1393.524	telica 186.3	pozogt-cw 1866	2607	w	SJ-03	02-Ago-94	ENEL(1998)		Perforación: 30 sep 93 - 14 dic 93 Líner: 6 5/8" desde 990.5 - 1030.9, 1290.3 - 1363.3, 1513.9 - 1574.1, 1701.9 - 1864.5 Resultados: Zona permeable principal debajo de los 1730 m; zonas permeables menores alrededor de los 1000, 1350 y 1550 m. Temperaturas en el rango de 260 - 270°C medidas.
2577	524.143	1393.524	telica 186.3	pozogt-cw	2774	w	SJ-03	23-Jul-97	ENEL(1998)		
2579	524.143	1393.524	telica 186.3	pozogt-sp		g	SJ-03	23-Jul-97	ENEL(1998)		
2578	524.143	1393.524	telica 186.3	pozogt-cw	2697	w	SJ-03	08-Ene-98	ENEL(1998)		
2580	524.143	1393.524	telica 186.3	pozogt-sp		g	SJ-03	08-Ene-98	ENEL(1998)		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-04</b>											
2689	524.340	1392.936	telica	pozogt-cw	3639	w	SJ-04		DAL(1995)		Sin fecha. Aguas es probablemente de la caja de weir.
2695	524.340	1392.936	telica	pozogt-sp		g	SJ-04		DAL(1995)		Sin fecha. Presión de muestra gas es desconocida.
2582	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-cw	3713	w	SJ-04	22-Mar-94	ENEL(1998)		

Martes, 05 de Junio de 2001

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

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

San Jacinto - Tizate

Pág 1 de 10

N/m	Coordenadas		Cuad. <sup>(2)</sup>	Tipo <sup>(3)</sup>	T°C	Datos	Nombre	Fecha		Referencia	Notas
	utm-E	utm-N						Elev.(m)	NA(m)		
2583	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-cw	4750	w	SJ-04	26-Abr-94	ENEL(1998)		
2585	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-cw	4750	w	SJ-04	26-Abr-94	ENEL(1998)		
2584	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-cw	4190	w	SJ-04	18-May-94	ENEL(1998)		
2581	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-cw	724.5 4434	w	SJ-04	03-Sep-94	ENEL(1998)		Perforación: 30 dic 93 - 14 feb 94. Liner: 8 5/8" desde 504.50 hasta 724.5 m. Resultados: Zona productiva con elevada permeabilidad debajo de los 560 m. Temperaturas en el rango de 260 - 270°C medidas.
2586	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-cw	3468	w	SJ-04	23-Jul-97	ENEL(1998)		
2589	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-sp		g	SJ-04	23-Jul-97	ENEL(1998)		Presión en cabezal = "140.23 bar", unidades correctos?
2587	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-cw	3453	w	SJ-04	08-Ene-98	ENEL(1998)		
2588	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-cw	3653	w	SJ-04	08-Ene-98	ENEL(1998)		
2590	524.340	1392.936	telica 161.0	pozogt-sp		g	SJ-04	09-Ene-98	ENEL(1998)		Presión en cabezal = "134.00 bar"
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-05</b>											
2691	524.466	1393.394	telica	pozogt-cw	2638	w	SJ-05		DAL(1995)		Sin fecha. Probablemente de la caja de weir. Presión de muestra gas es desconocida.
2694	524.466	1393.394	telica	pozogt-sp		g	SJ-05		DAL(1995)		Sin fecha. Presión de muestra gas es desconocida.
2591	524.466	1393.394	telica 167.3	pozogt-cw	2277. 9 2851	w	SJ-05	23-Jul-97	ENEL(1998)		ENEL(1998): Perforación: 5 may 94 - 24 jul 94. Liner: 6 5/8" desde 1710 hasta 2277.85 m Resultados: Zonas de pérdidas 1601 - 1675, 1715 - 1795, 1895 - 2035, 2135 - 2275 m. Temperatura del fondo 285 - 290°C medida. Zonas de producción probablemente c.280°C.
2593	524.466	1393.394	telica 167.3	pozogt-sp		g	SJ-05	23-Jul-97	ENEL(1998)		
2592	524.466	1393.394	telica 167.3	pozogt-cw	2959	w	SJ-05	08-Ene-98	ENEL(1998)		
2594	524.466	1393.394	telica 167.3	pozogt-sp		g	SJ-05	08-Ene-98	ENEL(1998)		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-06</b>											
2692	524.07	1393.30	telica	pozogt-cw	2984	w	SJ-06		DAL(1995)		Sin fecha. Probablemente de la caja de weir.

Martes, 05 de Junio de 2001

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

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

San Jacinto - Tizate

Pág 2 de 10

N/m	(1) Coordenadas		Cuad.(2) Elev.(m)	Tipo(3) NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Difos (4)	Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
2693	524.07	1393.30	telica	pozogt-sp		g	SJ-06		DAL(1995)	Sin fecha. Presión de muestra gas es desconocida.
2595	524.07	1393.30	telica 178.4	pozogt-cw 1879	2697	w	SJ-06	23-Jul-97	ENEL(1998)	Perforación: 12 ago 94 - 15 dic 94. Liner: 6 5/8" desde 1294 hasta 1865 m Resultados: Zona permeable principal entre 1750 - 1840 m. Temperatura máxima 265°C medida.
2597	524.07	1393.30	telica 178.4	pozogt-sp		g	SJ-06	23-Jul-97	ENEL(1998)	
2596	524.07	1393.30	telica 178.4	pozogt-cw	2574	w	SJ-06	08-Ene-98	ENEL(1998)	
2598	524.07	1393.30	telica 178.4	pozogt-sp		g	SJ-06	08-Ene-98	ENEL(1998)	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate C.26 al SO de San Jacinto</b>										
2187	522.6	1389.58	telica		7	w	Desmot.Gurdián punto 6	21-Sep-92	ENEL(2000)	
2189	522.6	1389.58	telica		13	w	Desmotadora Gurdián	17-Nov-92	ENEL(2000)	
2190	522.6	1389.58	telica		11	w	Desmotadora Gurdián #7	18-Nov-92	ENEL(2000)	
2188	522.78	1389.53	telica		5	w	Desmot.Gurdián punto 6	21-Sep-92	ENEL(2000)	
586	523.1	1389.7	telica 215	pozo 79 128	40.0		San Jacinto alg		TEXAS(1970)SNW82; parte de Catastro	San Jacinto cotton gin (máquina de algodón de San Jacinto). Volcánicos Cuaternarios con numerosos flujos de lava.
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate en San Jacinto</b>										
2179			telica		42.0 5	w	Desmotadora San Jacinto	07-Ago-92	ENEL(2000)	
677	523.9	1390.8	telica	pozo	36.0 10	w	Pozo c.SJ-1		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#70	Pozo cerca del pozo SJ-1; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#70. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
2292	524.6	1390.83	malpaisillo		10	w	Gasolinera Texaco punto 34	23-Nov-92	ENEL(2000)	
2293	524.6	1390.83	malpaisillo		10	w	Gasolinera Texaco punto 34	23-Nov-92	ENEL(2000)	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarolas de SJ</b>										

Martes, 05 de Junio de 2001

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

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

San Jacinto - Tizate

Pág 3 de 10

(1) N/m	Coordenadas		Cuad.(2) Elev.(m)	Tipo (3) NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos (4)	Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
2159			telica	manant	0	w	San Jacinto, Hervidero	06-May-88	ENEL(2000)	
2160			telica	manant	0	w	San Jacinto, Hervidero	06-May-88	ENEL(2000)	
2161			telica	manant	93.0 37	wi	San Jacinto, Hervidero	12-May-89	ENEL(2000); ENEL(1998b)	
2162	523	1390	telica	fumaro	2	w	San Jacinto, Fumarola	06-Oct-92	ENEL(2000)	
940	523.5	1391.0	telica	hervid		g	S.Jacinto loc.B		OLADE(1982b)	
948	523.5	1391.0	telica	hervid		g	S.Jacinto loc.A		OLADE(1982b)	
951	523.5	1391.0	telica	hervid		g	S.Jacinto loc.C		OLADE(1982b)	
602	523.8	1390.8	telica 190	solfat	00.0		San Jacinto		TEXAS(1970)Tabla3	Area de alteración 0.02 km2. Fumarolas activas con vapor moderado - abundante, olor de azufre, eflorescencia blanca escasa, alguna piritización, hervideros de barro.
2741	523.8	1390.8	telica	hervid	99.0 3	w	San Jacinto, Red Pool	31-Mar-70	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-60	
2742	523.8	1390.8	telica	hervid	00.0 0	w	San Jacinto, Mud Pot	01-Abr-70	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-75 (fecha 4-70)	
779	523.9	1390.8	telica 115	fumaro	92.0 3	w	S.Jacinto LosHe	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3203	Fumarola, S. Jacinto Los Hivideros
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro SJ</b>										
682	524.4	1391.1	telica	manant	33.0 32	w	S Casita Bomba		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#75	Manantial al S de casita con bomba; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#75. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
684	524.4	1391.1	telica	manant	36.0 27	w	Casita Bomba		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#77	Manantial cerca de casita con bomba; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#77. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
680	524.4	1391.2	telica	manant	43.5 27	w	Caída de Agua		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#73	Manatial a caída de agua; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#73. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
681	524.4	1391.2	telica	manant	41.0 30	w	Caída de Agua		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#74	Manatial a caída de agua; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#73. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.

Martes, 05 de Junio de 2001

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

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

San Jacinto - Tizate

Pág 4 de 10

(1) N/m	Coordenadas		Cuad.(2) Elev.(m)	Tipo(3) NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos w	Nombre	(5) Fecha	Referencia	Notas
	utm-E	utm-N								
761	524.4	1391.2	telica 175	manant	36.0 3	w	El Chorro SJ	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3103	El Chorro, S. Jacinto
1083	524.4	1391.2	telica 175	manant	36.0 6	w	El Chorro SJ	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3103	
683	524.5	1391.1	telica	manant	34.0 27	w	S gr Casita Bo		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#76	Manantial grande al S de casita con bomba; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#76. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
685	524.5	1391.1	telica	manant	30.0 27	w	donde Presa		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#78	Manantial donde presa; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#78. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
760	524.5	1391.1	telica 180	manant	39.0 5	w	El Chorro SJ	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3102	OLADE(1982): Indicación de flujo entre 2 y 3 l/s; El Chorro, S. Jacinto.
1082	524.5	1391.1	telica 180	manant	39.0 8	w	El Chorro SJ	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3102	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 1</b>										
425	524.3	1391.4	telica 160	manant	43.5		Nde San Jacinto		TEXAS(1970)SNS17	Sale de fracturas y entre flujos de lava Cuaternarios donde hay caída de agua ('waterfall'), manantiales varios 33°-43.5°C.
692	524.5	1391.4	telica	manant	32.0 27	w	Entre SJ y Tisa		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#85	Manantial entre San Jacinto y Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#85. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
2171	524.5	1391.4	telica			w	El Chorro, pila	07-Ago-92	ENEL(2000)	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 2</b>										
2168	524.62	1391.55	telica	manant	35.0 7	wi	El Chorro	12-May-89	ENEL(2000); ENEL(1998b)	
2169	524.62	1391.55	telica	manant	38.0 6	w	El Chorro, fuente	30-Jul-92	ENEL(2000)	
2170	524.62	1391.55	telica		6	w	El Chorro	30-Jul-92	ENEL(2000)	Mismos datos químicos que el N/m 2169
2174	524.62	1391.55	telica		32.0 5	w	Agua a la Fuente	30-Jul-92	ENEL(2000)	
2172	524.62	1391.55	telica	rió		w	Río El Chorro, vert. pto 1	21-Sep-92	ENEL(2000)	
2173	524.62	1391.55	telica	rió		w	Río El Chorro, vert. pto 1A	21-Sep-92	ENEL(2000)	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 3</b>										
762	524.3	1391.8	telica 165	manant	28.0 3	w	El Chorro	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3104	OLADE(1982): Igual a TEXAS #17A. Indicación de flujo entre 2 y 3 l/s.

Martes, 05 de Junio de 2001

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

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

San Jacinto - Tizate

Pág 5 de 10

N/m	(1) Coordenadas		Cuad.(2) Elev.(m)	Tipo (3) NA(m) FT(m)	T°C	Datos Cl(mg/l)	(4) Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
1084	524.3	1391.8	telica 165	manant	28.0 7	w	El Chorro	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3104	
426	524.4	1391.8	telica 160	manant	34.0		Nde San Jacinto		TEXAS(1970)SNS17A	De breccia de flujo de lava; 3 manantiales asociados, el de mas al N se usa para abastecer el pueblo. OLADE(1982): equivalente a OLADE# 3104
764	524.4	1392.0	telica 160	manant	27.0 5	w	El Chorro	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3106	OLADE(1982): Igual a TEXAS #16A.
1086	524.4	1392.0	telica 160	manant	27.0 7	w	El Chorro	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3106	
686	524.5	1392.0	telica	manant	30.0 21	w	Entre SJ y Tisa		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#79	Manantial entre San Jacinto y Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#79. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
687	524.5	1392.0	telica	manant	31.0 25	w	Entre SJ y Tisa		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#80	Manantial entre San Jacinto y Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#80. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
2199	524.8	1392	telica			w	Santa Isabel punto 21	24-Nov-92	ENEL(2000)	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate N de El Chorro</b>										
424	524.1	1392.1	telica 180	manant	32.0		S de Tisate		TEXAS(1970)SNS16B	Manantiales por cabeza de arroyo, probablemente al contacto de una lava.
423	524.4	1392.1	telica 160	manant	32.0		S de Tisate		TEXAS(1970)SNS16A	Manantiales por ladera de cerro , probablemente al contacto de una lava. OLADE(1982): equivalente a OLADE #3106
688	524.5	1392.1	telica	manant	32.0 20	w	Entre SJ y Tisa		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#81	Manantial entre San Jacinto y Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#81. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
689	524.5	1392.2	telica	manant	28.0 38	w	Llorad.S de Tisate		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#82	Pequeña laguna de lloradero (manantial muy pequeño) al S de Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#82. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
690	524.5	1392.2	telica	manant	30.0 30	w	Llorad.S de Tisate		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#83	Pequeña laguna de lloradero (manantial muy pequeño) al S de Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#83. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
691	524.9	1392.2	telica	manant	66.5 1200	w	Arroyo S de Tisate		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#84	Manantial en arroyo al S de Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#84. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Tizate</b>										
946	524.3	1392.6	telica			g	Tizate A		OLADE(1982b)	

Martes, 05 de Junio de 2001

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

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

San Jacinto - Tizate

Pág 6 de 10

N/m	(1) Coordenadas		Cuad.(2) Elev.(m)	Tipo(3) NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos (4)	Nombre	(5)		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
947	524.3	1392.6	telica		95.0	g	Tizate B		OLADE(1982b)	
585	524.3	1392.8	telica 160	pozo 3.3 11	38.0		Finca Tisate		TEXAS(1970)SNW81	Volcánicos Cuaternarios.
763	524.5	1392.5	telica 160	manant	32.0 4	w	El Tirote	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3105	OLADE(1982): Indicación de flujo entre 0.5 y 1 l/s.
1085	524.5	1392.5	telica 160	manant	32.0 8	w	El Tirote	09-Nov-80	OLADE(1982)SN3105	
2156	524.54	1392.6	telica	pozo		w	Pozo Tizate	12-Ago-92	ENEL(2000)	
422	524.6	1392.6	telica 150	manant	66.5		S de Tisate		TEXAS(1970)SNS16	Altamente mineralizado, de fracturas en volcánicos Cuaternarios.
2743	524.6	1392.6	telica	hervid	66.5 1202	w	San Jacinto, Mud Pot	13-Mar-70	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-41	
2157	524.6	1392.6	telica	pozo		w	Pozo el Tizate punto 5	21-Sep-92	ENEL(2000)	
2158	524.6	1392.6	telica	pozo		w	Pozo el Tizate punto 5A	21-Sep-92	ENEL(2000)	
694	524.6	1392.8	telica	pozope	85.0 14	w	Pozo McBirney		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#87	Pozo perforado de McBirney a Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#87. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
693	524.8	1392.6	telica	pozo	38.0 40	w	Hda. Tisate		TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#86	Pozo a Hacienda Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#86. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarola Tizate</b>										
2155			telica	fumaro	75.0 0	wi	El Tizate, Fumarola	12-May-89	ENEL(2000); ENEL(1998b)	
601	524.3	1393.2	telica 160	solfat	00.0		Tisate		TEXAS(1970)Tabla3	Area de alteración 0.02 km2 (activa), 0.06 (alterada). Mucha de la área alterada es actualmente prácticamente inactiva, fumarolas dispersas, pequeñas, sublimados muy escasos de azufre, efluencia blanca escasa, argilización considerable.
2744	524.3	1393.2	telica	hervid	99.5 14	w	San Jacinto, Mud Pot	31-Mar-70	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-61	
<b>Zona o Región: SJ-T al E de UTM 525E</b>										
789	525.0	1390.9?	telica 215	pozoex 26 36	28.0 5	w	Casa Blanca	15-Nov-80	OLADE(1982)SN3213	OLADE(1982): utm-n = '130.9'. Según su posición en la tabla, es probablemente cerca de 1382N a 1385N.

Martes, 05 de Junio de 2001

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

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

San Jacinto - Tizate

Pág 7 de 10

N/m	Coordenadas		Cuad. <sup>(2)</sup> Elev. (m)	Tipo <sup>(3)</sup> NA(m) PT(m)	T°C Cl(mg/l)	Datos <sup>(4)</sup>	Nombre	Fecha Referencia <sup>(5)</sup>		Notas
	utm-E	utm-N						Fecha	Referencia	
1107	525.0	1390.97	telica 215	pozoex 26 36	28.0 5	w	Casa Blanca	15-Nov-80	OLADE(1982)SN3213	OLADE(1982): utm-n = '130.9'. Según su posición en la tabla, es probablemente cerca de 1382N a 1385N.
1048	525.066	1390.83	telica	pozope	29.0 -10	wi	IntergeoterCamp	04-Jun-98	UNOCAL(1998); por UNOCAL '98	Intergeotherm Camp
2177	525.48	1392.34	telica		30	w	La Bolsa	06-Ago-92	ENEL(2000)	
2178	525.48	1392.34	telica		5	w	La Bolsa	07-Ago-92	ENEL(2000)	
767	525.9	1394.6	telica 80	pozoex 24	30.5 50	w	Las Catenas	16-Nov-80	OLADE(1982)SN3110	
1090	525.9	1394.6	telica 80	pozoex 24	30.5 53	w	Las Catenas	16-Nov-80	OLADE(1982)SN3110	

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

### Códigos de Tipos de Fuente

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

### Referencias

6	ENEL(1998)	Informe de actividades, 1997. Campo San Jacinto - Tizate, Historial geoquímico. Por: ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Feb. 1998.
9	ENEL(2000)	Base de datos de reconocimientos químicos de sistemas geotérmicos y regiones aledañas en Nicaragua, de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Laboratorio Químico. Versión original en archivo Datos.xls de MS-Excel, versión redactada a fines del año 1999. Autor: Domingo Mora Z.. Nota: según lo reportado, este archivo contiene todos los análisis químicos hechos por el laboratorio de ENALUF, luego del INE y luego de ENEL. Se reporta también que los análisis con fecha anterior al 1970 fueron realizados por el laboratorio de IRENA (ahora MARENA), por cuenta de ENALUF.
11	IECO(1978)	INE - Instituto Nicaragüense de Energía, Plan Maestro de Desarrollo Eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua, Volumen 5.1, Geothermal Resources, Geochemistry Investigations (Geothermal interpretation of groundwater geochemistry in the areas of Masaya, Managua, Northern Marabios Range, Juigalpa and Rama, Nicaragua, February 1979); preparado por GeothermEx, Inc., Dr. Christopher W. Klein, James B. Koenig and Walter Wilde, Richmond, CA USA, October 1978; para Consorcio IECO - Lahmeyer, Managua, Nicaragua, 1980. Nota: en el documento original las concentraciones de iones y boro son en unidades de meq/l y mm/l, con dos cifras significantes (p.e. $45 \cdot 10^{-4}$ ). Han sido convertidos en mg/l. En el documento original los datos de SiO <sub>2</sub> son en mg/l.

N/m	(1) Coordenadas		Cuad.(2)	Tipo(3)	T°C	Datos	Nombre	Fecha	Referencia	Notas
	utm-E	utm-N								
17	OLADE(1982)									Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto: a) Anexo 10, Fichas de los Puntos de Agua Termales, y, c) Anexo 21. Tabulación de Puntos de Muestreo y Datos Hidroquímicos; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982.
18	OLADE(1982b)									Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto, Informe Geoquímico, Geoquímica de los Gases; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982. Análisis de laboratorio hechos por la American Technical Laboratories (AMTECH), San Diego, CA, E.U.A. Nota: las coordenadas UTM de los puntos de muestreo han sido determinadas por su posición en la figura 3, Mapa de la Ubicación de las Muestras de Gas, 1:250,000.
20	Texas(1970)									Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.
24	Sabarniy y otros (1992)									Primer informe sobre el estudio y organización hidrogeológica en la zona geotérmica San Jacinto - Tizate, por Sabarniy, G.N., Pérez, M., López, L., y Downs, M., Intergeoterm, S.A., Managua, Nicaragua, 1992. Nota Nov. de 2000: por falta de información adecuada de las coordenadas UTM de los sitios de muestreo, los datos geoquímicos de aguas en este informe no se han incluido en el base de datos de Access.
25	DAL(1995)									Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate, Informe de factibilidad, Volumen 1, Evaluación del recurso e ingeniería, DAL Spa, Managua, Agosto de 1995, ENEL, Managua, Nicaragua. Tabla 4.2 - Características químicas de fluido de El Tizate, Tabla 4.3 - Análisis químicos de los pozos de El Tizate, Tabla 4.4 - Análisis de los gases no condensables en los pozos de El Tizate.
26	Parsons(1972)									Final Technical Report, Volume IV, The Geology of Western Nicaragua. Tax Improvement and National Resources Inventory Project, Nicaragua. Prepared under the supervision of Parsons Corporation in Joint Venture with Marshall & Stevens Incorporated and International Aero Service Corporation, Operations Consultant. Managua, Nicaragua, March 1972. Datos geoquímicos en Chapter V, Thermal Spring and Lake Water, con tablas asociadas.
28	Griaznov y otros (1993)									Tema: 876-92d, Investigación del contenido natural de isótopos en las aguas termales del yacimiento San Jacinto a fin de estudiar su génesis y dinámica, por: Griaznov, T.A., Poliakov, V.A., Celetskiy, Y.B. y Postnikov, G.I., Instituto de Investigación Científica de Hidrología y Geología Ingeniería (VSEGUINGUEO) y Comité de Geología y Utilización de las riquezas del subsuelo adjunto al Gobierno de a Federación Rusa (ROSKOMNEDRA), C. Zeleniy, 1993. Nota Nov. de 2000: por falta de información adecuada de las coordenadas UTM de los sitios de muestreo, los datos isotópicos de aguas en este informe no se han incluido en el base de datos de Access.

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

(1) N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	(3) Tipo	(4) Nombre	Fecha	Temp. <sup>(5)</sup> °C	Flujo lpm	Ce <sup>(6)</sup> pH µ-S	Concentraciones- mg/l <sup>(7)</sup>						Alc.T HCO3	Balance Iónico % de Total	
	utm-E	utm-N								Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4			
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-01</b>																		
2574	523.824	1390.82	196.6	pozogt-cw	SJ-01	15-Nov-93			4.96		3.79	62.250	3800.00	437.00	6105.0	171.00	132.00	1.07
2575	523.824	1390.82	196.6	pozogt-cw	SJ-01	28-Ene-94			7.54		178.00	3.870	3200.00	368.00	4548.0	63.45	83.30	9.29
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-03</b>																		
2576	524.143	1393.52	186.3	pozogt-cw	SJ-03	02-Ago-94			8.28		51.05	4.110	1825.00	244.00	2607.4	49.22	70.32	7.78
2577	524.143	1393.52	186.3	pozogt-cw	SJ-03	23-Jul-97			7.76		51.60	0.030	1792.45	257.40	2774.4	32.93	19.45	4.72
2578	524.143	1393.52	186.3	pozogt-cw	SJ-03	08-Ene-98			7.68		36.78	0.020	1836.50	288.10	2697.3	29.50	10.55	7.36
2690	524.143	1393.52		pozogt-cw	SJ-03				7.50		51.00	4.000	1550.00	244.00	2607.0	49.00	10.00	1.09
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-04</b>																		
2581	524.340	1392.93	161.0	pozogt-cw	SJ-04	03-Sep-94			7.74		47.30	11.090	3375.00	530.00	4434.0	4.82	60.00	12.93
2582	524.340	1392.93	161.0	pozogt-cw	SJ-04	22-Mar-94			7.30		37.10	8.610	2825.00	476.00	3713.0	22.06	53.28	12.94
2583	524.340	1392.93	161.0	pozogt-cw	SJ-04	26-Abr-94			8.11		45.23	7.210	2450.00	500.00	4750.0	19.50	52.89	-5.07
2584	524.340	1392.93	161.0	pozogt-cw	SJ-04	18-May-94			7.97		47.22	3.490	3075.00	540.00	4190.0	20.91	53.23	11.38
2585	524.340	1392.93	161.0	pozogt-cw	SJ-04	26-Abr-94			8.11		45.23	7.210	2450.00	500.00	4750.0	19.52	52.89	-5.07
2586	524.340	1392.93	161.0	pozogt-cw	SJ-04	23-Jul-97			7.79		49.18	0.030	2128.00	466.84	3467.9	60.57	16.77	3.68
2587	524.340	1392.93	161.0	pozogt-cw	SJ-04	08-Ene-98			7.97		33.65	0.030	2240.00	484.70	3452.5	26.13	11.86	6.38
2588	524.340	1392.93	161.0	pozogt-cw	SJ-04	08-Ene-98			7.93		38.05	0.030	2339.00	518.90	3652.9	25.46	17.94	5.91
2689	524.340	1392.93		pozogt-cw	SJ-04				8.10		37.00	0.100	2038.00	510.00	3639.0	18.00	59.00	0.27
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-05</b>																		
2591	524.466	1393.39	167.3	pozogt-cw	SJ-05	23-Jul-97			7.82		19.46	0.030	1761.65	383.40	2851.4	55.89	9.83	3.34
2592	524.466	1393.39	167.3	pozogt-cw	SJ-05	08-Ene-98			7.82		17.15	0.100	1958.00	456.90	2959.3	32.42	27.75	7.19
2691	524.466	1393.39		pozogt-cw	SJ-05				7.90		14.00	0.200	1499.00	365.00	2638.0	25.00	81.00	-0.21
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-06</b>																		
2595	524.07	1393.30	178.4	pozogt-cw	SJ-06	23-Jul-97			7.39		45.38	0.030	1691.25	248.22	2697.3	21.88	16.72	3.37
2596	524.07	1393.30	178.4	pozogt-cw	SJ-06	08-Ene-98			7.85		40.44	0.020	1683.00	268.50	2574.0	38.70	13.00	5.44
2692	524.07	1393.30		pozogt-cw	SJ-06				7.50		49.00	0.200	1724.00	271.00	2984.0	34.00	30.00	-0.38
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate C.26 al SO de San Jacinto</b>																		
2187	522.6	1389.58			Desmot.Gurdián punto 6	21-Sep-92			6.92	600	73.00	22.610	32.00	10.03	7.1	25.58	387.70	0.18
2189	522.6	1389.58			Desmotadora Gurdián	17-Nov-92	50		8.27	560	69.96	20.600	30.00	8.00	12.9	20.70	374.92	-1.90

(1) Número de Muestra. (2) Elevación, metros sobre nivel del mar. (3) Ver codigos de tipos de fuentes a fines de la tabla. (4) Ver nombres completos en la Parte 3.

(5) Temperatura, grados C. (6) Conductividad Eléctrica, µ-S. (7) un valor -X indica <X (límite de detección).

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

San Jacinto - Tizate

Pág. 1 de 4

N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	(3) Tipo	(4) Nombre	Fecha	Temp. <sup>(5)</sup> °C	Flujo lpm	Ce <sup>(6)</sup> µ-S	Concentraciones- mg/l <sup>(7)</sup>					Alc.T HCO <sub>3</sub>	Balance Iónico % de Total			
	utm-E	utm-N								Ca	Mg	Na	K	Cl			SO <sub>4</sub>		
2190	522.6	1389.58			Desmotadora Gurdíán #7	18-Nov-92	50		8.06	580	71.80	20.900	30.00	8.00	11.3	22.40	380.81	-1.69	
2188	522.78	1389.53			Desmot.Gurdíán punto 6	21-Sep-92			6.85	610	74.60	21.700	33.00	9.91	5.3	25.36	390.80	0.17	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate en San Jacinto</b>																			
2179					Desmotadora San Jacinto	07-Ago-92	42		7.74	610	62.16	19.750	32.90	7.00	4.8	19.23	375.93	-3.18	
677	523.9	1390.8		pozo	Pozo c.SJ-1		36		7.90	460	75.15	28.941	29.89	8.99	9.9	20.17	339.88	9.98	
2292	524.6	1390.83			Gasolinera Texaco punto 34	23-Nov-92			7.80	400	34.71	15.000	32.00	7.00	9.7	32.20	188.70	5.41	
2293	524.6	1390.83			Gasolinera Texaco punto 34	23-Nov-92			7.86	400	33.89	14.000	30.00	7.00	9.7	34.70	182.40	3.64	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarolas de SJ</b>																			
2159				manant	San Jacinto, Hervidero	06-May-88				3.23	6000	438.00	86.000	130.00	8.00	0.0	3000.00	0.00	-2.51
2160				manant	San Jacinto, Hervidero	06-May-88				2.95	6000	386.00	66.000	122.00	8.00	0.0	3000.00	0.00	-6.56
2161				manant	San Jacinto, Hervidero	12-May-89	93			3.47	980	58.00	1.970	25.00	7.80	37.0	53.00	0.00	33.82
2162	523	1390		fumaro	San Jacinto, Fumarola	06-Oct-92				6.25	13	1.24	0.000	0.01	0.02	1.7	1.20	3.05	-32.53
2741	523.8	1390.8		hervid	San Jacinto, Red Pool	31-Mar-70	99			4.90	450	40.00	18.000	10.00	15.00	3.0	200.00	6.00	-0.86
2742	523.8	1390.8		hervid	San Jacinto, Mud Pot	01-Abr-70	100			3.30	3420	80.00	26.000	70.00	18.00	0.0	18.00	0.00	95.79
779	523.9	1390.8	115	fumaro	S.Jacinto LosHe	09-Nov-80	92			2.50	314	18.84	74.263	36.96	13.69	3.0	1152.74		-45.58
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro SJ</b>																			
682	524.4	1391.1		manant	S Casita Bomba		33			7.00	350	28.06	12.160	17.01	10.17	31.9	10.09	140.35	3.50
684	524.4	1391.1		manant	Casita Bomba		36			6.80	320	34.07	4.864	16.09	10.17	26.6	24.02	97.63	7.26
680	524.4	1391.2		manant	Caída de Agua		43.5			6.80	340	38.08	8.512	11.95	12.90	26.9	21.13	128.14	6.49
681	524.4	1391.2		manant	Caída de Agua		41			6.90	350	32.06	10.944	11.95	12.90	30.1	15.85	128.14	4.78
761	524.4	1391.2	175	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	36	30		7.40	295	28.06	8.522	17.56	7.04	3.3	11.53	146.43	5.40
1083	524.4	1391.2	175	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	36	30		8.20	255	30.06	8.157	15.02	4.69	6.0	14.41	146.43	1.27
683	524.5	1391.1		manant	S gr Casita Bo		34			7.00	320	28.06	10.944	14.02	10.17	26.6	20.17	109.84	7.28
685	524.5	1391.1		manant	donde Presa		30			7.20	390	26.05	20.672	14.94	7.82	26.6	6.24	176.96	0.78
760	524.5	1391.1	180	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	39	150		7.50	335	34.07	9.618	18.02	7.43	5.0	21.61	134.23	10.79
1082	524.5	1391.1	180	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	39	150		8.10	295	38.08	9.009	15.71	5.08	8.2	23.06	134.23	8.55
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 1</b>																			
692	524.5	1391.4		manant	Entre SJ y Tisa		32			7.10	320	30.06	9.728	13.10	8.21	26.6	-4.80	134.24	1.98
2171	524.5	1391.4			El Chorro, pila	07-Ago-92				8.10	270	22.73	7.350	15.00	3.00	4.8	11.10	132.70	-2.70
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 2</b>																			
2168	524.62	1391.55		manant	El Chorro	12-May-89	35			6.57	270	24.00	9.350	19.00	5.30	7.1	10.00	140.00	4.01
2169	524.62	1391.55		manant	El Chorro, fuente	30-Jul-92	38			8.10	280	26.00	8.270	15.00	3.00	6.4	12.52	145.00	-3.02
2170	524.62	1391.55			El Chorro	30-Jul-92				7.72	280	25.76	8.270	15.00	3.00	6.4	12.52	145.30	-3.32

Martes, 05 de Junio de 2001

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

TablaV-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 1  
San Jacinto - Tizate

Pág. 2 de 4

N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Tipo <sup>(3)</sup>	Nombre <sup>(4)</sup>	Fecha	Temp. <sup>(5)</sup> °C	Flujo lpm	pH	Ce <sup>(6)</sup> µ-S	Concentraciones- mg/l <sup>(7)</sup>					Alc.T HCO3	Balance Iónico % de Total	
	utm-E	utm-N									Ca	Mg	Na	K	Cl			SO4
2172	524.62	1391.55		rio	Río El Chorro, vert. pto 1	21-Sep-92			6.95	290	32.63	8.950	14.00	7.16	8.9	19.70	158.80	-2.08
2173	524.62	1391.55		rio	Río El Chorro, vert. pto 1A	21-Sep-92			6.93	300	31.08	9.890	14.00	7.17	8.9	19.70	162.00	-3.13
2174	524.62	1391.55			Agua a la Fuente	30-Jul-92	32		7.97	270	23.00	9.190	15.00	3.00	4.8	16.40	136.00	-2.54
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 3</b>																		
762	524.3	1391.8	165	manant	El Chorro	09-Nov-80	28	150	7.50	265	24.04	8.157	18.71	6.65	3.3	7.21	140.33	5.77
1084	524.3	1391.8	165	manant	El Chorro	09-Nov-80	28	150	8.30	235	24.04	8.157	16.40	3.91	6.7	11.05	140.33	-0.67
764	524.4	1392.0	160	manant	El Chorro	09-Nov-80	27	90	7.10	275	22.04	8.035	16.40	5.87	4.6	6.72	146.43	-0.87
1086	524.4	1392.0	160	manant	El Chorro	09-Nov-80	27	90	7.90	225	22.04	8.016	13.86	3.48	7.4	10.09	128.13	-1.39
686	524.5	1392.0		manant	Entre SJ y Tisa		30		7.20	350	34.07	9.728	13.10	8.60	20.9	-4.80	158.65	1.38
687	524.5	1392.0		manant	Entre SJ y Tisa		31		7.30	320	32.06	8.512	13.10	9.38	24.8	-4.80	134.24	3.79
2199	524.8	1392			Santa Isabel punto 21	24-Nov-92			8.40	740	64.40	37.000	46.00	10.30	22.6	21.26	484.66	-3.06
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate N de El Chorro</b>																		
688	524.5	1392.1		manant	Entre SJ y Tisa		32		7.20	320	30.06	8.512	13.10	9.38	19.5	-4.80	140.35	2.55
689	524.5	1392.2		manant	Llorad.S de Tisate		28		7.00	620	58.12	20.672	29.89	8.21	38.3	10.09	292.90	2.32
690	524.5	1392.2		manant	Llorad.S de Tisate		30		7.10	490	42.08	21.888	14.02	9.78	30.1	10.09	213.57	4.98
691	524.9	1392.2		manant	Arroyo S de Tisate		66.5		6.40	4000	260.52	87.552	431.75	55.13	1200.0	20.17	372.22	0.77
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Tizate</b>																		
763	524.5	1392.5	160	manant	El Tirote	09-Nov-80	32	45	7.70	345	36.07	12.174	18.48	5.48	4.3	8.65	183.04	6.32
1085	524.5	1392.5	160	manant	El Tirote	09-Nov-80	32	45	8.30	305	38.08	12.053	16.40	2.89	8.2	12.01	183.04	2.78
2156	524.54	1392.6		pozo	Pozo Tizate	12-Ago-92			7.50	420	39.39	13.780	19.50	6.00	6.4	101.44	107.40	0.04
2157	524.6	1392.6		pozo	Pozo el Tizate punto 5	21-Sep-92			7.12	515	58.27	16.960	23.00	12.17	8.9	167.50	117.50	-0.97
2158	524.6	1392.6		pozo	Pozo el Tizate punto 5A	21-Sep-92			7.10	510	57.50	16.960	24.00	12.17	8.9	166.63	117.50	-0.93
2743	524.6	1392.6		hervid	San Jacinto, Mud Pot	13-Mar-70	66.5		5.40	4000	260.00	86.000	432.00	55.00	1202.0	20.00	372.00	0.53
694	524.6	1392.8		pozope	Pozo McBirney		85		6.10	530	40.08	14.592	37.01	16.03	13.8	180.59	61.02	1.03
693	524.8	1392.6		pozo	Hda. Tisate		38		7.00	390	32.06	17.024	14.02	8.21	39.7	-4.80	140.35	5.23
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarola Tizate</b>																		
2155				fumaro	El Tizate, Fumarola	12-May-89	75		2.89	3500	334.00	15.000	68.00	15.00	0.0	2500.00	0.00	1.94
2744	524.3	1393.2		hervid	San Jacinto, Mud Pot	31-Mar-70	99.5		6.10	530	40.00	14.000	37.00	16.00	14.0	180.00	62.00	0.49
<b>Zona o Región: SJ-T al E de UTM 525E</b>																		
789	525.0	1390.97	215	pozoex	Casa Blanca	15-Nov-80	28		7.50	235	22.04	7.548	13.63	3.91	4.6	8.17	85.42	17.37
1107	525.0	1390.97	215	pozoex	Casa Blanca	15-Nov-80	28		7.80	215	22.04	6.939	9.93	1.92	5.3	11.05	85.42	9.47
1048	525.066	1390.83		pozope	IntergeoterCamp	04-Jun-98	29		6.10						-10.0			
2177	525.48	1392.34			La Bolsa	06-Ago-92			7.66	560	32.60	26.180	27.00	8.00	30.3	20.66	211.70	2.36

Martes; 05 de Junio de 2001

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

TablaV-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 1  
San Jacinto - Tizate Pág. 3 de 4

N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Tipo <sup>(3)</sup>	Nombre <sup>(4)</sup>	Fecha	Temp. <sup>(5)</sup> °C	Flujo lpm	pH	Ce <sup>(6)</sup> µ-S	Concentraciones- mg/l <sup>(7)</sup>					Alc.T HCO3	Balance Iónico % de Total	
	utm-E	utm-N									Ca	Mg	Na	K	Cl			SO4
2178	525.48	1392.34			La Bolsa	07-Ago-92			7.98	370	36.40	13.320	13.00	4.00	4.8	13.94	208.56	-4.24
767	525.9	1394.6	80	pozoex	Las Catenas	16-Nov-80	30.5		7.30	765	58.12	24.349	53.13	10.95	49.6	14.41	335.57	2.00
1090	525.9	1394.6	80	pozoex	Las Catenas	16-Nov-80	30.5		8.20	615	56.11	23.131	50.82	9.39	53.2	19.21	335.57	-1.69

### Códigos de Tipos de Fuente

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

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

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre <sup>(3)</sup>	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Concentraciones - mg/l <sup>(5)</sup>										pH	
						SDT <sup>(4)</sup>	SiO2	B	Li	Fe	Sr	NH4	Cl	F	NO3	Campo	Lab.
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-01</b>																	
2574	pozogt-cw	SJ-01	15-Nov-93			11363	302	77.20						6105.0			
2575	pozogt-cw	SJ-01	28-Ene-94			8691	114	32.32						4548.0			
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-03</b>																	
2576	pozogt-cw	SJ-03	02-Ago-94			5202	162	41.47						2607.4			
2577	pozogt-cw	SJ-03	23-Jul-97			5785	649	40.13						2774.4			
2578	pozogt-cw	SJ-03	08-Ene-98			5875	750	43.06						2697.3			
2690	pozogt-cw	SJ-03				4680		31.00						2607.0	3.00		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-04</b>																	
2581	pozogt-cw	SJ-04	03-Sep-94			8829	140	47.59						4434.0			
2582	pozogt-cw	SJ-04	22-Mar-94			7388	149	24.30						3713.0			
2583	pozogt-cw	SJ-04	26-Abr-94			8689	728	30.20						4750.0			
2584	pozogt-cw	SJ-04	18-May-94			8265	166	36.33						4190.0			
2585	pozogt-cw	SJ-04	26-Abr-94			8086	125	30.20						4750.0			
2586	pozogt-cw	SJ-04	23-Jul-97			7161	765	39.74						3467.9			
2587	pozogt-cw	SJ-04	08-Ene-98			7269	782	45.19						3452.5			
2588	pozogt-cw	SJ-04	08-Ene-98			7527	686	47.75						3652.9			
2689	pozogt-cw	SJ-04				7256	809	31.00	7.200			0.50	3639.0	1.00			
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-05</b>																	
2591	pozogt-cw	SJ-05	23-Jul-97			6069	775	40.13						2851.4			
2592	pozogt-cw	SJ-05	08-Ene-98			6593	943	39.22						2959.3			
2691	pozogt-cw	SJ-05				5470	732	28.00	5.000					2638.0	0.40		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-06</b>																	
2595	pozogt-cw	SJ-06	23-Jul-97			5527	622	35.80						2697.3			
2596	pozogt-cw	SJ-06	08-Ene-98			5498	666	40.93						2574.0			
2692	pozogt-cw	SJ-06				5936	698	29.00	3.000					2984.0	1.70		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate C.26 al SO de San Jacinto</b>																	
2187		Desmot.Gurdián punto 6	21-Sep-92			383	20	0.11					7.1	0.73	1.84	6.92	
2189		Desmotadora Gurdián	17-Nov-92	50		451	103	0.17					12.9	0.27	4.70	8.27	

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre <sup>(3)</sup>	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Concentraciones - mg/l <sup>(5)</sup>										pH		
						SDT <sup>(4)</sup>	SiO2	B	Li	Fe	Sr	NH4	Cl	F	NO3	Campo	Lab.	
2190		Desmotadora Gurdían #7	18-Nov-92	50		454	100	0.22						11.3	0.35	4.48		8.06
2188		Desmot.Gurdían punto 6	21-Sep-92			385	20	0.13					5.3	1.67	1.92		6.85	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate en San Jacinto</b>																		
2179		Desmotadora San Jacinto	07-Ago-92	42		411	78	0.09					4.8	1.04	3.03		7.74	
677	pozo	Pozo c.SJ-1		36		476	135	0.03	-0.069				9.9				7.90	
2292		Gasolinera Texaco punto	23-Nov-92			296	72	0.08					9.7	0.67	7.80		7.80	
2293		Gasolinera Texaco punto	23-Nov-92			287	67	0.08					9.7	0.72	7.42		7.86	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarolas de SJ</b>																		
2159	manant	San Jacinto, Hervidero	06-May-88			3965		0.35					0.0	0.65	0.70		3.23	
2160	manant	San Jacinto, Hervidero	06-May-88			3886		0.35					0.0	1.80	6.00		2.95	
2161	manant	San Jacinto, Hervidero	12-May-89	93		248	60	1.00				37.0	0.00	0.35		3.63	3.47	
2162	fumarol	San Jacinto, Fumarola	06-Oct-92			6	0	0.09				1.7	0.03	0.00			6.25	
2741	hervid	San Jacinto, Red Pool	31-Mar-70	99		464	175	0.00	0.000			3.0	0.40	2.40				
2742	hervid	San Jacinto, Mud Pot	01-Abr-70	100		618	300	0.40	3.700			0.0	0.40	8.00				
779	fumarol	S.Jacinto LosHe	09-Nov-80	92		1579	198	15.13				3.0		0.24		2.80	2.50	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro SJ</b>																		
682	manant	S Casita Bomba		33		291	110	-0.10	2.012			31.9	0.57	-0.62			7.00	
684	manant	Casita Bomba		36		276	110	-0.10	1.804			26.6	0.38	13.02			6.80	
680	manant	Caída de Agua		43.5		300	115	-0.10	2.220			26.9	0.19	10.54			6.80	
681	manant	Caída de Agua		41		299	120	-0.10	1.804			30.1	-0.19	7.44			6.90	
761	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	36	30	299	150	0.09				3.3		9.30		6.70	7.40	
1083	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	36	30	247	96					6.0				6.70	8.20	
683	manant	S gr Casita Bo		34		276	110	-0.10	2.012			26.6	0.38	14.26			7.00	
685	manant	donde Presa		30		306	115	0.20	-0.069			26.6	0.19	6.20			7.20	
760	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	39	150	343	180	0.11				5.0		11.78		6.70	7.50	
1082	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	39	150	261	96					8.2				6.70	8.10	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 1</b>																		
692	manant	Entre SJ y Tisa		32		259	105	-0.10	-0.069			26.6	0.19	9.92			7.10	
2171		El Chorro, pila	07-Ago-92			190	58	0.09				4.8	1.21	1.15			8.10	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 2</b>																		
2168	manant	El Chorro	12-May-89	35		210	66	0.00				7.1	0.00	4.60		6.74	6.57	
2169	manant	El Chorro, fuente	30-Jul-92	38		202	58	0.09				6.4	1.10	1.35			8.10	
2170		El Chorro	30-Jul-92			203	58	0.09				6.4	1.10	1.35			7.72	

Martes, 05 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Ver codigos de tipos de fuentes al final de la tabla.  
(3) Ver nombres completos en la Parte 3. (4) Solidos Disueltos Totales por suma, mg/l. (5) un valor -X indica <X (limite de detección).

TablaV-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 2  
San Jacinto - Tizate

Pág. 2 de 4

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre <sup>(3)</sup>	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Concentraciones - mg/l <sup>(5)</sup>										pH	
						SDT <sup>(4)</sup>	SiO2	B	Li	Fe	Sr	NH4	Cl	F	NO3	Campo	Lab.
2172	rio	Río El Chorro, vert. pto 1	21-Sep-92			186	16	0.07					8.9	0.53	0.83		6.95
2173	rio	Río El Chorro, vert. pto 1	21-Sep-92			188	16	0.07				8.9	0.86	0.88		6.93	
2174		Agua a la Fuente	30-Jul-92	32		202	62	0.09				4.8	1.22	5.82		7.97	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 3</b>																	
762	manant	El Chorro	09-Nov-80	28	150	138		0.09				3.3		1.49		8.10	7.50
1084	manant	El Chorro	09-Nov-80	28	150	230	90					6.7				8.10	8.30
764	manant	El Chorro	09-Nov-80	27	90	136		0.06				4.6		3.22		7.90	7.10
1086	manant	El Chorro	09-Nov-80	27	90	218	90					7.4				7.90	7.90
686	manant	Entre SJ y Tisa		30		275	110	-0.10	-0.069			20.9	0.19	6.82		7.20	
687	manant	Entre SJ y Tisa		31		269	115	-0.10	0.208			24.8	0.19	14.26		7.30	
2199		Santa Isabel punto 21	24-Nov-92			506	63	0.28				22.6	0.67	1.39		8.40	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate N de El Chorro</b>																	
688	manant	Entre SJ y Tisa		32		250	100	0.10	-0.069			19.5	0.19	11.78		7.20	
689	manant	Llorad.S de Tisate		28		447	135	-0.10	2.012			38.3	0.38	1.86		7.00	
690	manant	Llorad.S de Tisate		30		345	110	-0.10	2.012			30.1	0.19	14.88		7.10	
691	manant	Arroyo S de Tisate		66.5		2400	140	3.10	4.233			1200.0	-0.19	3.72		6.40	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Tizate</b>																	
763	manant	El Tirote	09-Nov-80	32	45	176		0.06				4.3		7.44		7.10	7.70
1085	manant	El Tirote	09-Nov-80	32	45	282	102					8.2				7.10	8.30
2156	pozo	Pozo Tizate	12-Ago-92			323	82	0.17				6.4	0.84	0.70		7.50	
2157	pozo	Pozo el Tizate punto 5	21-Sep-92			368	22	0.11				8.9	1.14	0.82		7.12	
2158	pozo	Pozo el Tizate punto 5A	21-Sep-92			370	24	0.15				8.9	1.49	0.87		7.10	
2743	hervid	San Jacinto, Mud Pot	13-Mar-70	66.5		2399	140	3.10	4.200			1202.0	0.00	4.00			
694	pozope	Pozo McBirney		85		488	155	-0.10	0.486			13.8	0.57	3.10		6.10	
693	pozo	Hda. Tisate		38		296	115	-0.10	-0.069			39.7	0.38	24.80		7.00	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarola Tizate</b>																	
2155	fumaro	El Tizate, Fumarola	12-May-89	75		3422	90	0.00				0.0	0.10	28.00		4.32	2.89
2744	hervid	San Jacinto, Mud Pot	31-Mar-70	99.5		488	155	0.00	0.500			14.0	0.50	3.00			
<b>Zona o Región: SJ-T al E de UTM 525E</b>																	
789	pozoez	Casa Blanca	15-Nov-80	28		102		0.04				0.02	4.6	18.60		7.42	7.50
1107	pozoez	Casa Blanca	15-Nov-80	28		203	102	0.26				0.02	5.3			7.42	7.80
1048	pozope	IntergeoterCamp	04-Jun-98	29								-10.0					
2177		La Bolsa	06-Ago-92			300	47	0.17				30.3	3.16	3.25		7.66	

(1) Número de Muestra. (2) Ver códigos de tipos de fuentes al final de la tabla.  
(3) Ver nombres completos en la Parte 3. (4) Sólidos Disueltos Totales por suma, mg/l. (5) un valor -X indica <X (límite de detección).

Tabla V-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos. Parte 2  
San Jacinto - Tizate Pág. 3 de 4

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre <sup>(3)</sup>	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Concentraciones - mg/l <sup>(5)</sup>										pH	
						SDT <sup>(4)</sup>	SiO2	B	Li	Fe	Sr	NH4	Cl	F	NO3	Campo	Lab.
2178		La Bolsa	07-Ago-92			251	61	0.09					4.8	1.00	0.83		7.98
767	pozoex	Las Catenas	16-Nov-80	30.5		540	162	0.36				0.01	49.6		7.44		6.99 7.30
1090	pozoex	Las Catenas	16-Nov-80	30.5		477	96	0.59				0.01	53.2				6.99 8.20

### Códigos de Tipos de Fuente

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

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

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-01</b>									
2574	pozogt-cw	SJ-01	15-Nov-93			6105.0	ENEL(1998)	Perforación: 13 ene 93 - 12 sep 93 Observaciones: Tapón de cemento (3.60 m3) a los 1216 m. Resultados: Zonas permeables en el tramo de 465 - 1100 m, con temperaturas del orden de 185 - 190°C. Temperatura estimada del fondo de pozo: 200 - 205°C. Notas: pozo no-comercial, sin flujo; muestras tomadas durante descarga artificial breve.	
2575	pozogt-cw	SJ-01	28-Ene-94			4548.0	ENEL(1998)	Notas: pozo no-comercial, sin flujo; muestras tomadas durante descarga artificial breve.	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-03</b>									
2576	pozogt-cw	SJ-03	02-Ago-94			2607.4	ENEL(1998)	Perforación: 30 sep 93 - 14 dic 93 Liner: 6 5/8" desde 990.5 - 1030.9, 1290.3 - 1363.3, 1513.9 - 1574.1, 1701.9 - 1864.5 Resultados: Zona permeable principal debajo de los 1730 m; zonas permeables menores alrededor de los 1000, 1350 y 1550 m. Temperaturas en el rango de 260 - 270°C medidas.	
2577	pozogt-cw	SJ-03	23-Jul-97			2774.4	ENEL(1998)		
2578	pozogt-cw	SJ-03	08-Ene-98			2697.3	ENEL(1998)		
2690	pozogt-cw	SJ-03				2607.0	DAL(1995)	Sin fecha. Probablemente de la caja de weir.	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-04</b>									
2581	pozogt-cw	SJ-04	03-Sep-94			4434.0	ENEL(1998)	Perforación: 30 dic 93 - 14 feb 94. Liner: 8 5/8" desde 504.50 hasta 724.5 m. Resultados: Zona productiva con elevada permeabilidad debajo de los 560 m. Temperaturas en el rango de 260 - 270°C medidas.	
2582	pozogt-cw	SJ-04	22-Mar-94			3713.0	ENEL(1998)		
2583	pozogt-cw	SJ-04	26-Abr-94			4750.0	ENEL(1998)		
2584	pozogt-cw	SJ-04	18-May-94			4190.0	ENEL(1998)		
2585	pozogt-cw	SJ-04	26-Abr-94			4750.0	ENEL(1998)		
2586	pozogt-cw	SJ-04	23-Jul-97			3467.9	ENEL(1998)		
2587	pozogt-cw	SJ-04	08-Ene-98			3452.5	ENEL(1998)		
2588	pozogt-cw	SJ-04	08-Ene-98			3652.9	ENEL(1998)		
2689	pozogt-cw	SJ-04				3639.0	DAL(1995)	Sin fecha. Aguas es probablemente de la caja de weir.	

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-05</b>									
2591	pozogt-cw	SJ-05	23-Jul-97			2851.4	ENEL(1998)	ENEL(1998): Perforación: 5 may 94 - 24 jul 94. Liner: 6 5/8" desde 1710 hasta 2277.85 m Resultados: Zonas de pérdidas 1601 - 1675, 1715 - 1795, 1895 - 2035, 2135 - 2275 m. Temperatura del fondo 285 - 290°C medida. Zonas de producción probablemente c.280°C.	
2592	pozogt-cw	SJ-05	08-Ene-98			2959.3	ENEL(1998)		
2691	pozogt-cw	SJ-05				2638.0	DAL(1995)	Sin fecha. Probablemente de la caja de weir. Presión de muestra gas es desconocida.	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-06</b>									
2595	pozogt-cw	SJ-06	23-Jul-97			2697.3	ENEL(1998)	Perforación: 12 ago 94 - 15 dic 94. Liner: 6 5/8" desde 1294 hasta 1865 m Resultados: Zona permeable principal entre 1750 - 1840 m. Temperatura máxima 265°C medida.	
2596	pozogt-cw	SJ-06	08-Ene-98			2574.0	ENEL(1998)		
2692	pozogt-cw	SJ-06				2984.0	DAL(1995)	Sin fecha. Probablemente de la caja de weir.	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate C.26 al SO de San Jacinto</b>									
2187		Desmot.Gurdián punto 6	21-Sep-92			7.1	ENEL(2000)		
2189		Desmotadora Gurdián	17-Nov-92	50		12.9	ENEL(2000)		
2190		Desmotadora Gurdián #7	18-Nov-92	50		11.3	ENEL(2000)		
2188		Desmot.Gurdián punto 6	21-Sep-92			5.3	ENEL(2000)		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate en San Jacinto</b>									
2179		Desmotadora San Jacinto	07-Ago-92	42		4.8	ENEL(2000)		
677	pozo	Pozo c.SJ-1		36		9.9	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#70	Pozo cerca del pozo SJ-1; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#70. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
2292		Gasolinera Texaco punto 34	23-Nov-92			9.7	ENEL(2000)		
2293		Gasolinera Texaco punto 34	23-Nov-92			9.7	ENEL(2000)		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarolas de SJ</b>									
2159	manant	San Jacinto, Hervidero	06-May-88			0.0	ENEL(2000)		

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
2160	manant	San Jacinto, Hervidero	06-May-88			0.0	ENEL(2000)		
2161	manant	San Jacinto, Hervidero	12-May-89	93		37.0	ENEL(2000); ENEL(1998b)		
2162	fumaro	San Jacinto, Fumarola	06-Oct-92			1.7	ENEL(2000)		
2741	hervid	San Jacinto, Red Pool	31-Mar-70	99		3.0	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-60		
2742	hervid	San Jacinto, Mud Pot	01-Abr-70	100		0.0	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-75 (fecha 4-70)		
779	fumaro	S.Jacinto LosHe	09-Nov-80	92		3.0	OLADE(1982)SN3203	Fumarola, S. Jacinto Los Hivideros	American Technical Laboratories; mediciones del campo (pHf, pHtemp, SiO2)
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro SJ</b>									
682	manant	S Casita Bomba		33		31.9	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#75	Manantial al S de casita con bomba; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#75. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
684	manant	Casita Bomba		36		26.6	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#77	Manantial cerca de casita con bomba; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#77. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
680	manant	Caída de Agua		43.5		26.9	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#73	Manantial a caída de agua; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#73. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
681	manant	Caída de Agua		41		30.1	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#74	Manantial a caída de agua; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#73. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
761	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	36	30	3.3	OLADE(1982)SN3103	El Chorro, S. Jacinto	American Technical Laboratories; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3, SiO2(?))
1083	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	36	30	6.0	OLADE(1982)SN3103		Servicios Geologicos; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3,)
683	manant	S gr Casita Bo		34		26.6	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#76	Manantial grande al S de casita con bomba; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#76. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
685	manant	donde Presa		30		26.6	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#78	Manantial donde presa; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#78. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
760	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	39	150	5.0	OLADE(1982)SN3102	OLADE(1982): Indicación de flujo entre 2 y 3 l/s; El Chorro, S. Jacinto.	American Technical Laboratories; mediciones del campo (pHf, pHtemp, SiO2(?), HCO3) (error tipográfico de SiO2 y/o B?)

Martes, 05 de Junio de 2001

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

TablaV-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 3  
San Jacinto - Tizate  
Pág. 3 de 8

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
1082	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	39	150	8.2	OLADE(1982)SN3102		Servicios Geologicos; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3)
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 1</b>									
692	manant	Entre SJ y Tisa		32		26.6	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#85	Manantial entre San Jacinto y Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#85. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
2171		El Chorro, pila	07-Ago-92			4.8	ENEL(2000)		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 2</b>									
2168	manant	El Chorro	12-May-89	35		7.1	ENEL(2000); ENEL(1998b)		
2169	manant	El Chorro, fuente	30-Jul-92	38		6.4	ENEL(2000)		
2170		El Chorro	30-Jul-92			6.4	ENEL(2000)	Mismos datos químicos que el N/m 2169	
2172	rio	Río El Chorro, vert. pto 1	21-Sep-92			8.9	ENEL(2000)		
2173	rio	Río El Chorro, vert. pto 1A	21-Sep-92			8.9	ENEL(2000)		
2174		Agua a la Fuente	30-Jul-92	32		4.8	ENEL(2000)		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 3</b>									
762	manant	El Chorro	09-Nov-80	28	150	3.3	OLADE(1982)SN3104	OLADE(1982): Igual a TEXAS #17A. Indicación de flujo entre 2 y 3 l/s.	American Technical Laboratories; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3(?))
1084	manant	El Chorro	09-Nov-80	28	150	6.7	OLADE(1982)SN3104		Servicios Geologicos; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3(?))
764	manant	El Chorro	09-Nov-80	27	90	4.6	OLADE(1982)SN3106	OLADE(1982): Igual a TEXAS #16A.	American Technical Laboratories; mediciones del campo (pHf, pHtemp)
1086	manant	El Chorro	09-Nov-80	27	90	7.4	OLADE(1982)SN3106		Servicios Geologicos; mediciones del campo (pHf, pHtemp)
686	manant	Entre SJ y Tisa		30		20.9	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#79	Manantial entre San Jacinto y Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#79. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
687	manant	Entre SJ y Tisa		31		24.8	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#80	Manantial entre San Jacinto y Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#80. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
2199		Santa Isabel punto 21	24-Nov-92			22.6	ENEL(2000)		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate N de El Chorro</b>									

Martes, 05 de Junio de 2001

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

TablaV-A.2: Base de Datos Químicos - Líquidos.Parte 3  
San Jacinto - Tizate  
Pág. 4 de 8

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl mg/l <sup>(3)</sup>	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
688	manant	Entre SJ y Tisa		32		19.5	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#81	Manantial entre San Jacinto y Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#81. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
689	manant	Llorad.S de Tisate		28		38.3	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#82	Pequeña laguna de lloradero (manantial muy pequeño) al S de Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#82. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
690	manant	Llorad.S de Tisate		30		30.1	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#83	Pequeña laguna de lloradero (manantial muy pequeño) al S de Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#83. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
691	manant	Arroyo S de Tisate		66.5		1200.0	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#84	Manantial en arroyo al S de Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#84. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Tizate</b>									
763	manant	El Tirote	09-Nov-80	32	45	4.3	OLADE(1982)SN3105	OLADE(1982): Indicación de flujo entre 0.5 y 1 l/s.	American Technical Laboratories; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3(?))
1085	manant	El Tirote	09-Nov-80	32	45	8.2	OLADE(1982)SN3105		Servicios Geologicos; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3(?))
2156	pozo	Pozo Tizate	12-Ago-92			6.4	ENEL(2000)		
2157	pozo	Pozo el Tizate punto 5	21-Sep-92			8.9	ENEL(2000)		
2158	pozo	Pozo el Tizate punto 5A	21-Sep-92			8.9	ENEL(2000)		
2743	hervid	San Jacinto, Mud Pot	13-Mar-70	66.5		1202.0	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-41		
694	pozope	Pozo McBirney		85		13.8	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#87	Pozo perforado de McBirney a Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#87. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
693	pozo	Hda. Tisate		38		39.7	TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#86	Pozo a Hacienda Tizate; TEXAS(1970)Parte7,Tabla1#86. Las coordenadas del punto son de una anotación escrita a mano en la referencia citada.	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarola Tizate</b>									
2155	fumaro	El Tizate, Fumarola	12-May-89	75		0.0	ENEL(2000); ENEL(1998b)		
2744	hervid	San Jacinto, Mud Pot	31-Mar-70	99.5		14.0	Parsons(1972), Proyecto de Recursos Geotérmicos, PG-61		
<b>Zona o Región: SJ-T al E de UTM 525E</b>									
789	pozoex	Casa Blanca	15-Nov-80	28		4.6	OLADE(1982)SN3213	OLADE(1982): utm-n = '130.9'. Según su posición en la tabla, es probablemente cerca de 1382N a 1385N.	American Technical Laboratories; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3, NH4)

<sup>(1)</sup> N/m	<sup>(2)</sup> Tipo	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
1107	pozoex	Casa Blanca	15-Nov-80	28		5.3	OLADE(1982)SN3213	OLADE(1982): utm-n = '130.9'. Según su posición en la tabla, es probablemente cerca de 1382N a 1385N.	Servicios Geológicos; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3, NH4)
1048	pozope	IntergeoterCamp	04-Jun-98	29		-10.0	UNOCAL(1998); por UNOCAL '98	Intergeotherm Camp	
2177		La Bolsa	06-Ago-92			30.3	ENEL(2000)		
2178		La Bolsa	07-Ago-92			4.8	ENEL(2000)		
767	pozoex	Las Catenas	16-Nov-80	30.5		49.6	OLADE(1982)SN3110		American Technical Laboratories; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3, SiO2, NH4)
1090	pozoex	Las Catenas	16-Nov-80	30.5		53.2	OLADE(1982)SN3110		Servicios Geológicos; mediciones del campo (pHf, pHtemp, HCO3, NH4)

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

### Códigos de Tipos de Fuente

	(en blanco) = Desconocido
fumaro	Fumarola
hervid	Hervidero
hoyo	Hoyo
lago/na	Lago o laguna
manant	Manantial, fuente, ojo de agua
mina	Mina
pozo	Pozo (sin especificarse)
pozoex	Pozo excavado
pozogr	Pozo de gradiente de temperatura
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

6	ENEL(1998)	Informe de actividades, 1997. Campo San Jacinto - Tizate, Historial geoquímico. Por: ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Feb. 1998.
9	ENEL(2000)	Base de datos de reconocimientos químicos de sistemas geotérmicos y regiones aledañas en Nicaragua, de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Laboratorio Químico. Versión original en archivo Datos.xls de MS-Excel, versión redactada a fines del año 1999. Autor: Domingo Mora Z.. Nota: según lo reportado, este archivo contiene todos los análisis químicos hechos por el laboratorio de ENALUF, luego del INE y luego de ENEL. Se reporta también que los análisis con fecha anterior al 1970 fueron realizados por el laboratorio de IRENA (ahora MARENA), por cuenta de ENALUF.
11	IECO(1978)	INE - Instituto Nicaragüense de Energía, Plan Maestro de Desarrollo Eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua, Volumen 5.1, Geothermal Resources, Geochemistry Investigations (Geothermal interpretation of groundwater geochemistry in the areas of Masaya, Managua, Northern Marabios Range, Juigalpa and Rama, Nicaragua, February 1979); preparado por GeothermEx, Inc., Dr. Christopher W. Klein, James B. Koenig and Walter Wilde, Richmond, CA USA, October 1978; para Consorcio IECO - Lahmeyer, Managua, Nicaragua, 1980. Nota: en el documento original las concentraciones de iones y boro son en unidades de meq/l y mm/l, con dos cifras significantes (p.e. 45*10 <sup>-4</sup> ). Han sido convertidos en mg/l. En el documento original los datos de SiO <sub>2</sub> son en mg/l.
17	OLADE(1982)	Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Área El Hoyo - San Jacinto: a) Anexo 10, Fichas de los Puntos de Agua Termales, y, c) Anexo 21. Tabulación de Puntos de Muestreo y Datos Hidroquímicos; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982.

N/m <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	Referencia <sup>(4)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
18	OLADE(1982b)							Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto, Informe Geoquímico, Geoquímica de los Gases; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982. Análisis de laboratorio hechos por la American Technical Laboratories (AMTECH), San Diego, CA, E.U.A.. Nota: las coordenadas UTM de los puntos de muestreo han sido determinadas por su posición en la figura 3, Mapa de la Ubicación de las Muestras de Gas, 1:250,000.	
20	Texas(1970)							Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.	
24	Sabarniy y otros (1992)							Primer informe sobre el estudio y organización hidrogeológica en la zona geotérmica San Jacinto - Tizate, por Sabarniy, G.N., Pérez, M., López, L., y Downs, M., Intergeoterm, S.A., Managua, Nicaragua, 1992. Nota Nov. de 2000: por falta de información adecuada de las coordenadas UTM de los sitios de muestreo, los datos geoquímicos de aguas en este informe no se han incluido en el base de datos de Access.	
25	DAL(1995)							Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate, Informe de factibilidad, Volumen I, Evaluación del recurso e ingeniería, DAL Spa, Managua, Agosto de 1995, ENEL, Managua, Nicaragua. Tabla 4.2 - Características químicas de fluido de El Tizate, Tabla 4.3 - Análisis químicos de los pozos de El Tizate, Tabla 4.4 - Análisis de los gases no condensables en los pozos de El Tizate.	
26	Parsons(1972)							Final Technical Report, Volume IV, The Geology of Western Nicaragua. Tax Improvement and National Resources Inventory Project, Nicaragua. Prepared under the supervision of Parsons Corporation in Joint Venture with Marshall & Stevens Incorporated and International Aero Service Corporation, Operations Consultant. Managua, Nicaragua, March 1972. Datos geoquímicos en Chapter V, Thermal Spring and Lake Water, con tablas asociadas.	
28	Griaznov y otros (1993)							Tema: 876-92d, Investigación del contenido natural de isótopos en las aguas termales del yacimiento San Jacinto a fin de estudiar su génesis y dinámica, por: Griaznov, T.A., Poliakov, V.A., Celetskiy, Y.B. y Postnikov, G.I., Instituto de Investigación Científica de Hidrología y Geología Ingeniería (VSEGUINGUEO) y Comité de Geología y Utilización de las riquezas del subsuelo adjunto al Gobierno de a Federación Rusa (ROSKOMNEDRA), C. Zeleniy, 1993. Nota Nov. de 2000: por falta de información adecuada de las coordenadas UTM de los sitios de muestreo, los datos isotópicos de aguas en este informe no se han incluido en el base de datos de Access.	

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

N/m	Coordenadas		Nombre	Fecha	Temp °C	Total de Gases/Vapor			% vol. de gas seco							Suma	%aire		
	utm-E	utm-N				m/1000m	ppm-w	% v.	CO2	H2S	NH3	Ar	N2	CH4	H2			He	O2
<b>Tipo: (5)</b>																			
946	524.3	1392.6	Tizate A						75.00	1.300				19.8000	0.1400	0.92000	-0.000400	2.9000	100.06
947	524.3	1392.6	Tizate B		95				75.00	0.800				19.6000	0.1600	0.90000	-0.000400	3.5000	99.96
<b>Tipo: (5) hervid</b>																			
951	523.5	1391.0	S.Jacinto loc.C						95.00	1.350				3.4000	0.0270	0.11000	-0.000300	0.1500	100.04
940	523.5	1391.0	S.Jacinto loc.B						75.00	1.100				17.0000	-0.0090	2.75000	-0.000300	4.3000	100.15
948	523.5	1391.0	S.Jacinto loc.A						94.60	0.950				4.4000	0.0100	0.07000	-0.000500	0.9000	100.93
<b>Tipo: (5) pozogt-sp</b>																			
2579	524.143	1393.52	SJ-03	23-Jul-97		2.366	5566	0.24	86.25	13.632	0.1150								100.00
2580	524.143	1393.52	SJ-03	08-Ene-98		3.174	7600	0.31	94.78	5.100	0.1160								100.00
2695	524.340	1392.93	SJ-04			1.758	4200	0.18	94.66	2.170				2.8900	0.0450	0.14000	0.000022	0.0070	99.91
2589	524.340	1392.93	SJ-04	23-Jul-97		1.402	3238	0.14	77.54	22.262	0.1920								100.00
2590	524.340	1392.93	SJ-04	09-Ene-98		3.770	9000	0.14	94.03	5.874	0.0960								100.00
2694	524.466	1393.39	SJ-05			1.237	3000	0.12	98.62	0.390				0.9400	0.0080	0.01600	0.000018	0.0140	99.99
2593	524.466	1393.39	SJ-05	23-Jul-97		3.210	7582	0.32	88.74	11.141	0.1170								100.00
2594	524.466	1393.39	SJ-05	08-Ene-98		6.482	15480	0.64	96.99	2.950	0.0640								100.00
2693	524.07	1393.30	SJ-06			1.259	3000	0.13	93.86	0.380				5.0200	0.0590	0.03500	0.000067	0.6400	99.99
2597	524.07	1393.30	SJ-06	23-Jul-97		1.653	3888	0.17	85.49	14.395	0.1100								100.00
2598	524.07	1393.30	SJ-06	08-Ene-98		1.971	4700	0.19	91.71	8.155	0.1360								100.00

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Nombre <sup>(2)</sup>	Fecha	Temp °C	Total de Gases/Vapor			% vol. de gas seco								Suma <sup>(3)</sup>	%aire <sup>(4)</sup>
	utm-E	utm-N				m/1000m	ppm-w	% v.	CO2	H2S	NH3	Ar	N2	CH4	H2	He		

### Códigos de Tipos de Fuente

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

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

(1) N/m	Nombre	Fecha	Temp °C	% vol. gas seco (2)		Referencia (3)	Notas	Otros Datos Analíticos
				CO	SO2			
<b>Tipo: (4)</b>								
946	Tizate A					OLADE(1982b)		G/V = 30+-3 lt/Kg (sin temperatura)
947	Tizate B		95			OLADE(1982b)		G/V = 20 lt/Kg (sin temperatura)
<b>Tipo: (4) hervid</b>								
951	S.Jacinto loc.C					OLADE(1982b)		
940	S.Jacinto loc.B					OLADE(1982b)		
948	S.Jacinto loc.A					OLADE(1982b)		G/V = 1.5 lt/Kg (sin temperatura)
<b>Tipo: (4) pozogt-sp</b>								
2579	SJ-03	23-Jul-97				ENEL(1998)		
2580	SJ-03	08-Ene-98				ENEL(1998)		
2695	SJ-04			0.00100		DAL(1995)	Sin fecha. Presión de muestra gas es desconocida.	
2589	SJ-04	23-Jul-97				ENEL(1998)	Presión en cabezal = "140.23 bar", unidades correctos?	
2590	SJ-04	09-Ene-98				ENEL(1998)	Presión en cabezal = "134.00 bar"	
2694	SJ-05					DAL(1995)	Sin fecha. Presión de muestra gas es desconocida.	
2593	SJ-05	23-Jul-97				ENEL(1998)		
2594	SJ-05	08-Ene-98				ENEL(1998)		
2693	SJ-06					DAL(1995)	Sin fecha. Presión de muestra gas es desconocida.	
2597	SJ-06	23-Jul-97				ENEL(1998)		
2598	SJ-06	08-Ene-98				ENEL(1998)		

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

### Códigos de Tipos de Fuente

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

### Referencias

6	ENEL(1998)	Informe de actividades, 1997. Campo San Jacinto - Tizate, Historial geoquímico. Por: ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Feb. 1998.
9	ENEL(2000)	Base de datos de reconocimientos químicos de sistemas geotérmicos y regiones aledañas en Nicaragua, de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Laboratorio Químico. Versión original en archivo Datos.xls de MS-Excel, versión redactada a fines del año 1999. Autor: Domingo Mora Z. Nota: según lo reportado, este archivo contiene todos los análisis químicos hechos por el laboratorio de ENALUF, luego del INE y luego de ENEL. Se reporta también que los análisis con fecha anterior al 1970 fueron realizados por el laboratorio de IRENA (ahora MARENA), por cuenta de ENALUF.
11	IECO(1978)	INE - Instituto Nicaragüense de Energía, Plan Maestro de Desarrollo Eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua, Volumen 5.1, Geothermal Resources, Geochemistry Investigations (Geothermal interpretation of groundwater geochemistry in the areas of Masaya, Managua, Northern Marabios Range, Juigalpa and Rama, Nicaragua, February 1979); preparado por GeothermEx, Inc., Dr. Christopher W. Klein, James B. Koenig and Walter Wilde, Richmond, CA USA, October 1978; para Consorcio IECO - Lahmeyer, Managua, Nicaragua, 1980. Nota: en el documento original las concentraciones de iones y boro son en unidades de meq/l y mm/l, con dos cifras significantes (p.e. 45*10^-4). Han sido convertidos en mg/l. En el documento original los datos de SiO2 son en mg/l.
17	OLADE(1982)	Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Área El Hoyo - San Jacinto: a) Anexo 10, Fichas de los Puntos de Agua Termales, y, c) Anexo 21. Tabulación de Puntos de Muestreo y Datos Hidroquímicos; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982.

Martes, 05 de Junio de 2001	(1) Número de Muestra. (2) un valor -X indica <X (límite de detección). (3) Ver referencias al final de la tabla. (4) Ver códigos de tipos de fuentes al final de la tabla.	Tabla V-A.3: Base de Datos Químicos - Gases. Parte 2	Pág. 2 de 3
-----------------------------	--	--	-------------

N/m	<sup>(1)</sup> Nombre	Fecha	Temp °C	% vol. gas seco <sup>(2)</sup>		Referencia <sup>(3)</sup>	Notas	Otros Datos Analíticos
				CO	SO2			
18	OLADE(1982b)						Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto, Informe Geoquímico, Geoquímica de los Gases; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982. Análisis de laboratorio hechos por la American Technical Laboratories (AMTECH), San Diego, CA, E.U.A. Nota: las coordenadas UTM de los puntos de muestreo han sido determinadas por su posición en la figura 3, Mapa de la Ubicación de las Muestras de Gas, 1:250,000.	
20	Texas(1970)						Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.	
24	Sabarniy y otros (1992)						Primer informe sobre el estudio y organización hidrogeológica en la zona geotérmica San Jacinto - Tizate, por Sabarniy, G.N., Pérez, M., López, L., y Downs, M., Intergeoterm, S.A., Managua, Nicaragua, 1992. Nota Nov. de 2000: por falta de información adecuada de las coordenadas UTM de los sitios de muestreo, los datos geoquímicos de aguas en este informe no se han incluido en el base de datos de Access.	
25	DAL(1995)						Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate, Informe de factibilidad, Volumen 1, Evaluación del recurso e ingeniería, DAL Spa, Managua, Agosto de 1995, ENEL, Managua, Nicaragua. Tabla 4.2 - Características químicas de fluido de El Tizate, Tabla 4.3 - Análisis químicos de los pozos de El Tizate, Tabla 4.4 - Análisis de los gases no condensables en los pozos de El Tizate.	
26	Parsons(1972)						Final Technical Report, Volume IV, The Geology of Western Nicaragua. Tax Improvement and National Resources Inventory Project, Nicaragua. Prepared under the supervision of Parsons Corporation in Joint Venture with Marshall & Stevens Incorporated and International Aero Service Corporation, Operations Consultant. Managua, Nicaragua, March 1972. Datos geoquímicos en Chapter V, Thermal Spring and Lake Water, con tablas asociadas.	
28	Griaznov y otros (1993)						Tema: 876-92d, Investigación del contenido natural de isótopos en las aguas termales del yacimiento San Jacinto a fin de estudiar su génesis y dinámica, por: Griaznov, T.A., Poliakov, V.A., Celetskiy, Y.B. y Postnikov, G.I., Instituto de Investigación Científica de Hidrología y Geología Ingeniería (VSEGUINGUEO) y Comité de Geología y Utilización de las riquezas del subsuelo adjunto al Gobierno de la Federación Rusa (ROSKOMNEDRA), C. Zeleniy, 1993. Nota Nov. de 2000: por falta de información adecuada de las coordenadas UTM de los sitios de muestreo, los datos isotópicos de aguas en este informe no se han incluido en el base de datos de Access.	

Martes, 05 de Junio de 2001

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

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

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

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD		d18O				
									Liq.	Vap.	Liq.	Vap.			
<b>Tipo: <sup>(1)</sup> fumaro</b>															
2155				El Tizate, Fumarola	12-May-89	75		0.0	-24.20		-0.47			Anal por OIEA, NIC-00-24 (en ENEL(1998b) la fecha de muestreo es de "11.05.1993", pero el código de muestra es de un grupo de muestras de Mayo de 1989)	ENEL(2000); ENEL(1998b)
<b>Tipo: <sup>(1)</sup> manant</b>															
2161				San Jacinto, Hervidero	12-May-89	93		37.0	-21.60		3.20			Anal por OIEA, NIC-00-15 (en ENEL(1998b) la fecha de muestreo es "11.05.1990" pero el código de muestra corresponde con un grupo de muestras de Mayo de 1989)	ENEL(2000); ENEL(1998b)
2168	524.62	1391.55		El Chorro	12-May-89	35		7.1	-47.80		-6.88			Analisis por OIEA, NIC-00-22 (en ENEL(1998b) la fecha de muestreo es "11.05.1991", pero el código de muestra es de un grupo de Mayo de 1989)	ENEL(2000); ENEL(1998b)
<b>Tipo: <sup>(1)</sup> pozope</b>															
1048	525.066	1390.83		IntergeoterCamp	04-Jun-98	29		-10.0	-47		-6.8				UNOCAL(1998); por UNOCAL '98

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

### Códigos de Tipos de Fuente

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

### Referencias

- 6 ENEL(1998) Informe de actividades, 1997. Campo San Jacinto - Tizate, Historial geoquímico. Por: ENEL Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Feb. 1998.
- 9 ENEL(2000) Base de datos de reconocimientos químicos de sistemas geotérmicos y regiones aledañas en Nicaragua, de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), Gerencia de Geotermia, Química y Ambiente, Laboratorio Químico. Versión original en archivo Datos.xls de MS-Excel, versión redactada a fines del año 1999. Autor: Domingo Mora Z. Nota: según lo reportado, este archivo contiene todos los análisis químicos hechos por el laboratorio de ENALUF, luego del INE y luego de ENEL. Se reporta también que los análisis con fecha anterior al 1970 fueron realizados por el laboratorio de IRENA (ahora MARENA), por cuenta de ENALUF.
- 11 IEEO(1978) INE - Instituto Nicaragüense de Energía, Plan Maestro de Desarrollo Eléctrico 1977 - 2000 Nicaragua, Volumen 5.1, Geothermal Resources, Geochemistry Investigations (Geothermal interpretation of groundwater geochemistry in the areas of Masaya, Managua, Northern Marabios Range, Juigalpa and Rama, Nicaragua, February 1979); preparado por GeothermEx, Inc., Dr. Christopher W. Klein, James B. Koenig and Walter Wilde, Richmond, CA USA, October 1978; para Consorcio IEEO - Lahmeyer, Managua, Nicaragua, 1980. Nota: en el documento original las concentraciones de iones y boro son en unidades de meq/l y mm/l, con dos cifras significantes (p.e.  $45 \times 10^{-4}$ ). Han sido convertidos en mg/l. En el documento original los datos de SiO<sub>2</sub> son en mg/l.

Martes, 05 de Junio de 2001

- (1) Número de Muestra.  
 (2) Elevación, metros sobre nivel del mar.  
 (3) un valor -X indica <X (límite de detección).  
 (4) Ver códigos de tipos de fuentes al final de la tabla.

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

Pág. 2 de 3

N/m	Coordenadas		Elev. <sup>(2)</sup> m.s.n.m.	Nombre	Fecha	Temp. °C	Flujo lpm	Cl <sup>(3)</sup> mg/l	o/oo (SMOW)				3H u.t.	Notas	Referencia
	utm-E	utm-N							dD		d18O				
<sup>(1)</sup>									Liq.	Vap.	Liq.	Vap.			
17	OLADE(1982)			Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto: a) Anexo 10, Fichas de los Puntos de Agua Termales, y, c) Anexo 21. Tabulación de Puntos de Muestreo y Datos Hidroquímicos; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982.											
18	OLADE(1982b)			Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Nicaragua, Estudio de Prefactibilidad del Area El Hoyo - San Jacinto, Informe Geoquímico, Geoquímica de los Gases; por la Organización Latinoamericana de Energía. Febrero, 1982. Análisis de laboratorio hechos por la American Technical Laboratories (AMTECH), San Diego, CA, E.U.A.. Nota: las coordenadas UTM de los puntos de muestreo han sido determinadas por su posición en la figura 3, Mapa de la Ubicación de las Muestras de Gas, 1:250,000.											
20	Texas(1970)			Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 2, Geología Regional, Manifestaciones Termales de Nicaragua Occidental; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por John B. Thigpen, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Agosto de 1970. - y - Reporte Final, Proyecto de Recursos Geotérmicos - Etapa Una, Parte 7, Geoquímica del Area del Proyecto Geotérmico Nicaragüense; para El Gobierno de Nicaragua, Ministerio de Economía, Industria y Comercio; por R.Bennett, Texas Instruments Incorporated, Services Group; Diciembre de 1970. Nota: en el documento original (Parte 7) los datos analíticos de las especies ionizadas son tabulados en unidades de miliequivalentes por millón con dos cifras significantes a la derecha del punto decimal; han sido convertidos en mg/l por GeothermEx. Los datos de SiO2 son tabulados en ppm y los datos de B en ppm con una cifra a la derecha del punto decimal.											
24	Sabarniy y otros (1992)			Primer informe sobre el estudio y organización hidrogeológica en la zona geotérmica San Jacinto - Tizate, por Sabarniy, G.N., Pérez, M., López, L., y Downs, M., Intergeoterm, S.A., Managua, Nicaragua, 1992. Nota Nov. de 2000: por falta de información adecuada de las coordenadas UTM de los sitios de muestreo, los datos geoquímicos de aguas en este informe no se han incluido en el base de datos de Access.											
25	DAL(1995)			Proyecto geotérmico San Jacinto - Tizate, Informe de factibilidad, Volumen 1, Evaluación del recurso e ingeniería, DAL Spa, Managua, Agosto de 1995, ENEL, Managua, Nicaragua. Tabla 4.2 - Características químicas de fluido de El Tizate, Tabla 4.3 - Análisis químicos de los pozos de El Tizate, Tabla 4.4 - Análisis de los gases no condensables en los pozos de El Tizate.											
26	Parsons(1972)			Final Technical Report, Volume IV, The Geology of Western Nicaragua. Tax Improvement and National Resources Inventory Project, Nicaragua. Prepared under the supervision of Parsons Corporation in Joint Venture with Marshall & Stevens Incorporated and International Aero Service Corporation, Operations Consultant. Managua, Nicaragua, March 1972. Datos geoquímicos en Chapter V, Thermal Spring and Lake Water, con tablas asociadas.											
28	Griaznov y otros (1993)			Tema: 876-92d, Investigación del contenido natural de isótopos en las aguas termales del yacimiento San Jacinto a fin de estudiar su génesis y dinámica, por: Griaznov, T.A., Poliakov, V.A., Celetskiy, Y.B. y Postnikov, G.L., Instituto de Investigación Científica de Hidrología y Geología Ingeniería (VSEGUINGUEO) y Comité de Geología y Utilización de las riquezas del subsuelo adjunto al Gobierno de a Federación Rusa (ROSKOMNEDRA), C. Zeleniy, 1993. Nota Nov. de 2000: por falta de información adecuada de las coordenadas UTM de los sitios de muestreo, los datos isotópicos de aguas en este informe no se han incluido en el base de datos de Access.											

**Tabla V-A.5**

No se encuentra esta tabla porque no hay datos nuevos en el área de San Jacinto-Tizate

Tabla V-A.6: Geotermómetros de Aguas

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	pH	Cl mg/l	Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>													
	utm-E	utm-N							Cuarzo 0° - 330°		Calcedonia 0° - 250°		Amór 0° - 250°	Na - K - Ca			4° - 340°		Na-K-Ca-Mg 4° - 340°		Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°
									Con.	Ad.	Con.	Ad.		RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R	Temp Final			
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-01</b>																						
2574	523.824	1390.82	pozogt-cw	SJ-01	15-Nov-93	4.96	6105	211	195	194	180	85	0.06	658	276	276	31	74	229	142		
2575	523.824	1390.82	pozogt-cw	SJ-01	28-Ene-94	7.54	4548	145	140	119	116	23	0.48	279	225	225	2	224	229	186		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-03</b>																						
2576	524.143	1393.52	pozogt-cw	SJ-03	02-Ago-94	8.28	2607	167	159	143	136	43	0.45	298	237	237	4	217	243	169		
2577	524.143	1393.52	pozogt-cw	SJ-03	23-Jul-97	7.76	2774	294	249	---	238	155	0.46	302	241	241	0	241	250	285		
2578	524.143	1393.52	pozogt-cw	SJ-03	08-Ene-98	7.68	2697	323	261	---	---	171	0.38	334	252	252	0	252	259	303		
2690	524.143	1393.52	pozogt-cw	SJ-03		7.50	2607	---	---	---	---	---	0.53	294	245	245	4	224	259	170		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-04</b>																						
2581	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04	03-Sep-94	7.74	4434	157	151	133	128	35	0.23	404	264	264	5	222	259	179		
2582	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04	22-Mar-94	7.30	3713	161	154	137	131	38	0.25	403	268	268	5	231	266	180		
2583	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04	26-Abr-94	8.11	4750	316	259	---	250	168	0.32	388	277	277	4	249	287	186		
2584	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04	18-May-94	7.97	4190	168	160	145	138	45	0.26	402	271	271	2	266	271	203		
2585	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04	26-Abr-94	8.11	4750	150	145	125	121	28	0.32	388	277	277	4	249	287	186		
2586	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04	23-Jul-97	7.79	3468	328	263	---	---	174	0.38	368	278	278	0	278	295	321		
2587	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04	08-Ene-98	7.97	3453	---	265	---	---	176	0.30	404	283	283	0	283	293	324		
2588	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04	08-Ene-98	7.93	3653	304	254	---	243	161	0.30	404	285	285	0	285	296	328		
2689	524.340	1392.93	pozogt-cw	SJ-04		8.10	3639	---	267	---	---	180	0.34	398	291	291	0	291	311	289		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-05</b>																						
2591	524.466	1393.39	pozogt-cw	SJ-05	23-Jul-97	7.82	2851	---	264	---	---	175	0.29	410	285	285	0	285	294	309		
2592	524.466	1393.39	pozogt-cw	SJ-05	08-Ene-98	7.82	2959	---	281	---	---	200	0.24	448	295	295	0	295	302	283		
2691	524.466	1393.39	pozogt-cw	SJ-05		7.90	2638	317	259	---	250	168	0.29	425	294	294	0	294	307	252		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate SJ-06</b>																						
2595	524.07	1393.30	pozogt-cw	SJ-06	23-Jul-97	7.39	2697	287	246	---	234	150	0.46	305	243	243	0	243	252	282		
2596	524.07	1393.30	pozogt-cw	SJ-06	08-Ene-98	7.85	2574	298	251	---	240	158	0.43	318	250	250	0	250	261	299		
2692	524.07	1393.30	pozogt-cw	SJ-06		7.50	2984	307	255	---	245	163	0.47	308	247	247	0	247	259	237		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate C.26 al SO de San Jacinto</b>																						

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

Tabla V-A.6: Geotermómetros de Aguas  
 San Jacinto - Tizate

N/m	Coordenadas utm-E utm-N		Tipo	Nombre	Fecha	Temp. °C	pH	Cl mg/l	Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>											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- Ca/Na	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R	Temp Final		
2187	522.6	1389.58		Desmot.Gurdián punto	21-Sep-92	6.92	7	64	64	31	---	---	30.66	59	201	59	32	---	339	17	
2189	522.6	1389.58		Desmotadora Gurdián	17-Nov-92	50	8.27	13	139	135	112	112	18	32.02	53	191	53	31	---	318	11
2190	522.6	1389.58		Desmotadora Gurdián #	18-Nov-92	50	8.06	11	138	134	111	110	17	32.44	52	191	52	31	---	318	11
2188	522.78	1389.53		Desmot.Gurdián punto	21-Sep-92	6.85	5	64	64	31	---	---	30.06	59	199	59	31	---	334	18	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate en San Jacinto</b>																					
2179				Desmotadora San Jacint	07-Ago-92	42	7.74	5	124	122	96	---	5	27.52	52	181	52	33	---	292	8
677	523.9	1390.8	pozo	Pozo c.SJ-1		36	7.90	10	155	149	130	125	33	33.31	55	197	55	37	---	334	10
2292	524.6	1390.83		Gasolinera Texaco punt	23-Nov-92	7.80	10	120	118	91	---	---	1	21.14	63	188	63	39	---	295	12
2293	524.6	1390.83		Gasolinera Texaco punt	23-Nov-92	7.86	10	116	115	87	---	---	---	22.28	63	191	63	38	---	302	13
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarolas de SJ</b>																					
2159			manant	San Jacinto, Hervidero	06-May-88	3.23	0	---	---	---	---	---	---	18.49	34	128	34	59	---	179	-29
2160			manant	San Jacinto, Hervidero	06-May-88	2.95	0	---	---	---	---	---	---	18.49	35	131	35	61	---	183	-29
2161			manant	San Jacinto, Hervidero	12-May-89	93	3.47	37	111	110	81	---	---	34.98	54	199	54	5	---	339	55
2162	523	1390	fumaro	San Jacinto, Fumarola	06-Oct-92	6.25	2	---	---	---	---	---	---	787.51	-58	192	-1	0	-1	756	---
2741	523.8	1390.8	hervid	San Jacinto, Red Pool	31-Mar-70	99	4.90	3	172	163	149	141	48	72.63	72	292	72	38	55	658	36
2742	523.8	1390.8	hervid	San Jacinto, Mud Pot	01-Abr-70	100	3.30	0	211	195	193	179	85	14.67	84	204	84	70	---	314	8
779	523.9	1390.8	fumaro	S.Jacinto LosHe	09-Nov-80	92	2.50	3	180	170	158	149	56	13.49	100	229	229	83	---	363	8
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro SJ</b>																					
682	524.4	1391.1	manant	S Casita Bomba		33	7.00	32	143	139	116	115	22	35.76	72	240	72	38	56	440	29
684	524.4	1391.1	manant	Casita Bomba		36	6.80	27	143	139	116	115	22	41.66	68	240	68	17	---	450	47
680	524.4	1391.2	manant	Caída de Agua		43.5	6.80	27	145	141	119	117	24	59.30	70	271	70	24	---	566	45
681	524.4	1391.2	manant	Caída de Agua		41	6.90	30	148	143	122	119	26	54.41	73	273	73	32	67	566	40
761	524.4	1391.2	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	36	7.40	3	162	155	137	132	39	34.64	62	214	62	31	---	374	22
1083	524.4	1391.2	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	36	8.20	6	135	132	108	109	15	41.92	47	195	47	29	---	339	9
683	524.5	1391.1	manant	S gr Casita Bo		34	7.00	27	143	139	116	115	22	43.39	70	249	70	35	62	477	31
685	524.5	1391.1	manant	donde Presa		30	7.20	27	145	141	119	117	24	39.23	65	229	65	53	---	417	11
760	524.5	1391.1	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	39	7.50	5	173	164	151	143	50	37.20	60	214	60	30	---	378	22
1082	524.5	1391.1	manant	El Chorro SJ	09-Nov-80	39	8.10	8	135	132	108	109	15	45.11	46	196	46	27	---	344	10
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 1</b>																					
692	524.5	1391.4	manant	Entre SJ y Tisa		32	7.10	27	140	136	114	113	19	48.06	62	236	62	32	---	449	25
2171	524.5	1391.4		El Chorro, pila	07-Ago-92	8.10	5	110	109	80	---	---	---	36.50	40	173	40	33	---	285	-3
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 2</b>																					

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp.			Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>						Na-K-Ca-Mg		Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°				
	utm-E	utm-N				°C	pH	Cl	Cuarzo 0° - 330°		Calcedonia 0° - 250°		Amór 0° - 250°	4° - 340°					4° - 340°			
							mg/l	Con.	Ad.	Con.	Ad.		RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final			Fact.R	Temp Final		
2168	524.62	1391.55	manant	El Chorro	12-May-89	35	6.57	7	115	115	86	---	---	29.61	57	195	57	37	---	324	11	
2169	524.62	1391.55	manant	El Chorro, fuente	30-Jul-92	38	8.10	6	109	109	79	---	---	39.04	38	172	38	33	---	285	-5	
2170	524.62	1391.55		El Chorro	30-Jul-92		7.72	6	110	109	80	---	---	38.86	38	172	38	33	---	285	-5	
2172	524.62	1391.55	rio	Río El Chorro, vert. pto	21-Sep-92		6.95	9	55	55	23	---	---	46.85	57	223	57	29	---	413	22	
2173	524.62	1391.55	rio	Río El Chorro, vert. pto	21-Sep-92		6.93	9	55	55	23	---	---	45.73	58	224	58	32	---	413	20	
2174	524.62	1391.55		Agua a la Fuente	30-Jul-92	32	7.97	5	112	112	83	---	---	36.72	40	173	40	38	---	285	-6	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate El Chorro 3</b>																						
762	524.3	1391.8	manant	El Chorro	09-Nov-80	28	7.50	3	---	---	---	---	---	30.09	64	209	64	33	---	357	21	
1084	524.3	1391.8	manant	El Chorro	09-Nov-80	28	8.30	7	132	129	104	106	12	34.33	47	184	47	34	---	305	3	
764	524.4	1392.0	manant	El Chorro	09-Nov-80	27	7.10	5	---	---	---	---	---	32.87	60	208	60	35	---	358	17	
1086	524.4	1392.0	manant	El Chorro	09-Nov-80	27	7.90	7	132	129	104	106	12	38.90	44	184	44	36	---	311	0	
686	524.5	1392.0	manant	Entre SJ y Tisa	30	7.20	21	143	139	116	115	22	51.17	61	238	61	29	---	457	27		
687	524.5	1392.0	manant	Entre SJ y Tisa	31	7.30	25	145	141	119	117	24	49.63	65	245	65	28	---	474	33		
2199	524.8	1392		Santa Isabel punto 21	24-Nov-92		8.40	23	114	113	84	---	---	20.03	66	190	66	47	---	297	10	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate N de El Chorro</b>																						
688	524.5	1392.1	manant	Entre SJ y Tisa	32	7.20	20	137	134	110	110	17	48.06	66	245	66	29	---	474	33		
689	524.5	1392.2	manant	Llorad.S de Tisate	28	7.00	38	155	149	130	125	33	29.29	57	195	57	35	---	322	12		
690	524.5	1392.2	manant	Llorad.S de Tisate	30	7.10	30	143	139	116	115	22	53.13	61	241	61	43	---	469	17		
691	524.9	1392.2	manant	Arroyo S de Tisate	66.5	6.40	1200	157	151	133	128	35	4.29	118	187	187	33	47	---	239	57	
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Tizate</b>																						
763	524.5	1392.5	manant	El Tirote	09-Nov-80	32	7.70	4	---	---	---	---	---	37.32	50	194	50	34	---	332	8	
1085	524.5	1392.5	manant	El Tirote	09-Nov-80	32	8.30	8	139	135	112	111	18	43.21	32	164	32	33	---	271	-11	
2156	524.54	1392.6	pozo	Pozo Tizate	12-Ago-92		7.50	6	126	124	98	102	7	36.96	52	197	52	35	---	337	9	
2157	524.6	1392.6	pozo	Pozo el Tizate punto 5	21-Sep-92		7.12	9	67	67	35	---	---	38.11	66	230	66	30	---	419	29	
2158	524.6	1392.6	pozo	Pozo el Tizate punto 5A	21-Sep-92		7.10	9	70	71	38	---	---	36.28	67	228	67	30	---	411	29	
2743	524.6	1392.6	hervid	San Jacinto, Mud Pot	13-Mar-70	66.5	5.40	1202	157	151	133	128	35	4.29	118	187	187	33	48	---	239	58
694	524.6	1392.8	pozope	Pozo McBirney	85	6.10	14	164	156	140	133	41	19.64	88	231	88	33	58	---	386	43	
693	524.8	1392.6	pozo	Hda. Tisate	38	7.00	40	145	141	119	117	24	46.38	61	232	61	44	---	436	16		
<b>Zona o Región: San Jacinto - Tizate Fumarola Tizate</b>																						
2155			fumaro	El Tizate, Fumarola	12-May-89	75	2.89	0	132	129	104	106	12	30.86	49	181	49	67	---	296	-14	
2744	524.3	1393.2	hervid	San Jacinto, Mud Pot	31-Mar-70	99.5	6.10	14	164	156	140	133	41	19.63	88	231	88	32	60	---	386	44
<b>Zona o Región: SJ-T al E de UTM 525E</b>																						

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

Tabla V-A.6: Geotermómetros de Aguas  
San Jacinto - Tizate Pág. 3 de 6

N/m <sup>(1)</sup>	Coordenadas		Tipo <sup>(2)</sup>	Nombre	Fecha	Temp. °C	pH	Cl mg/l	Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>												
	utm-E	utm-N							Cuarzo 0° - 330°		Calcedonia 0° - 250°		Amór 0° - 250°	Na - K - Ca 4° - 340°				Na-K-Ca-Mg 4° - 340°		Na/K (F) >150°	K-Mg (Fg) 30° - 350°
									Con.	Ad.	Con.	Ad.		RC- CaNa	B= 4/3	B= 1/3	Temp Final	Fact.R	Temp Final		
789	525.0	1390.9?	pozoex	Casa Blanca	15-Nov-80	28	7.50	5	---	---	---	---	---	39.55	47	191	47	34	---	328	5
1107	525.0	1390.9?	pozoex	Casa Blanca	15-Nov-80	28	7.80	5	139	135	112	111	18	54.29	26	164	26	33	---	281	-15
1048	525.066	1390.83	pozope	IntergeoterCamp	04-Jun-98	29	6.10	-10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2177	525.48	1392.34		La Bolsa	06-Ago-92		7.66	30	99	99	69	---	---	24.28	67	203	67	54	---	332	8
2178	525.48	1392.34		La Bolsa	07-Ago-92		7.98	5	111	111	82	---	---	53.29	38	190	38	36	---	337	-3
767	525.9	1394.6	pozoex	Las Catenas	16-Nov-80	30.5	7.30	50	167	159	143	136	43	16.48	71	189	71	39	55	288	19
1090	525.9	1394.6	pozoex	Las Catenas	16-Nov-80	30.5	8.20	53	135	132	108	109	15	16.93	67	183	67	38	---	276	15

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

### Códigos de Tipos de Fuente

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

N/m	(1) Coordenadas		(2) Tipo	Nombre	Fecha	Temp. °C	Cl pH	Cl mg/l	Geotermómetros, °C <sup>(3)</sup>							
	utm-E	utm-N							Cuarzo 0° - 330° Con. Ad.	Calcedonia 0° - 250° Con. Ad.	Amór 0° - 250°	Na - K - Ca 4° - 340°			Na-K-Ca-Mg 4° - 340°	
									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 Truesdell  
RC-CaNa = factor raíz cuadrado(Ca)/Na (a base de concentraciones de moles/litro o de moles/kg)  
B13 = temperatura de factor B = 4/3  
B43 = temperatura de factor B = 1/3  
Temperatura Final = B43 o B13, según las reglas del factor B en relación con RC-CaNa

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

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

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

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

Tabla V-A.7: Geotermómetros de Gases

(1) N/m	Nombre	Fecha	Temp. °C	Gas/ Vapor m/ 1000m	(2)				(3) %aire	Temperaturas, °C (4)																											
					% vol. de gas seco					Gas Seco			Gas / Vapor																								
					CO2	H2S	N2	O2		DAP	Giggenbach		Ch-Cio	Arnorsson - Gunnlaugsson																							
				CO2	H2	CH4	CO-CO2- -Ar	CO2	FT	CO2-H2		H2	H2S	H2S-H2																							
											Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo																			
<b>Tipo:</b>																																					
946	Tizate A				75.00	1.300	19.80000	2.90000	250	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---																		
947	Tizate B		95		75.00	0.800	19.60000	3.50000	242	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---																		
<b>Tipo: hervid</b>																																					
951	S.Jacinto loc.C				95.00	1.350	3.40000	0.15000	202	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---																		
940	S.Jacinto loc.B				75.00	1.100	17.00000	4.30000	340	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---																		
948	S.Jacinto loc.A				94.60	0.950	4.40000	0.90000	196	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---																		
<b>Tipo: pozogt-sp</b>																																					
2579	SJ-03	23-Jul-97		2.366	86.25	13.632			---	---	---	---	---	---	---	---	303	255	---	---																	
2580	SJ-03	08-Ene-98		3.174	94.78	5.100			---	---	---	---	---	---	---	---	289	235	---	---																	
2695	SJ-04			1.758	94.66	2.170	2.89000	0.00700	210	---	---	381	328	260	242	261	123	259	179	261	194	257	---														
2589	SJ-04	23-Jul-97		1.402	77.54	22.262			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	302	254	---	---														
2590	SJ-04	09-Ene-98		3.770	94.03	5.874			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	296	244	---	---														
2694	SJ-05			1.237	98.62	0.390	0.94000	0.01400	156	---	---	---	---	---	---	---	250	175	233	59	236	137	221	136	249	---											
2593	SJ-05	23-Jul-97		3.210	88.74	11.141			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	305	258	---	---											
2594	SJ-05	08-Ene-98		6.482	96.99	2.950			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	293	240	---	---											
2693	SJ-06			1.259	93.86	0.380	5.02000	0.64000	159	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	248	185	244	83	243	150	221	136	263	---					
2597	SJ-06	23-Jul-97		1.653	85.49	14.395			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	255	---	---	---	---	297	246	---	---		
2598	SJ-06	08-Ene-98		1.971	91.71	8.155			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	263	---	---	---	289	235	---	---

Martes, 05 de Junio de 2001

(1) Número de Muestra. (2) Ver análisis completos en la tabla -A.3. Un valor <X % vol. indica <X (límite de detección). (3) % de aire en la muestra a base de O2, antes de corregirse por sustracción del O2 y cantidades correspondientes de otros gases. (4) Ver referencias al final de la tabla. "----" es indicación que no hay datos suficientes para la calculación, o el análisis es fuera del rango del geotermómetro.

Tabla V-A.7: Geotermómetros de Gases

Pág. 1 de 2

(1) N/m	Nombre	Fecha	Temp. °C	Gas/ Vapor m/ 1000m	% vol. de gas seco (2)				(3) %aire	Temperaturas, °C (4)		Gas / Vapor				
					CO2	H2S	N2	O2		Gas Seco		Arnórsson - Gunnlaugsson				
										DAP	Ch-Cio	CO2	FT	CO2-H2 Alto Bajo	H2 Alto Bajo	H2S Alto Bajo
Ar	H2 Ar	CH4 CO2	CO-CO2- CH4													

Referencias:

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

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

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

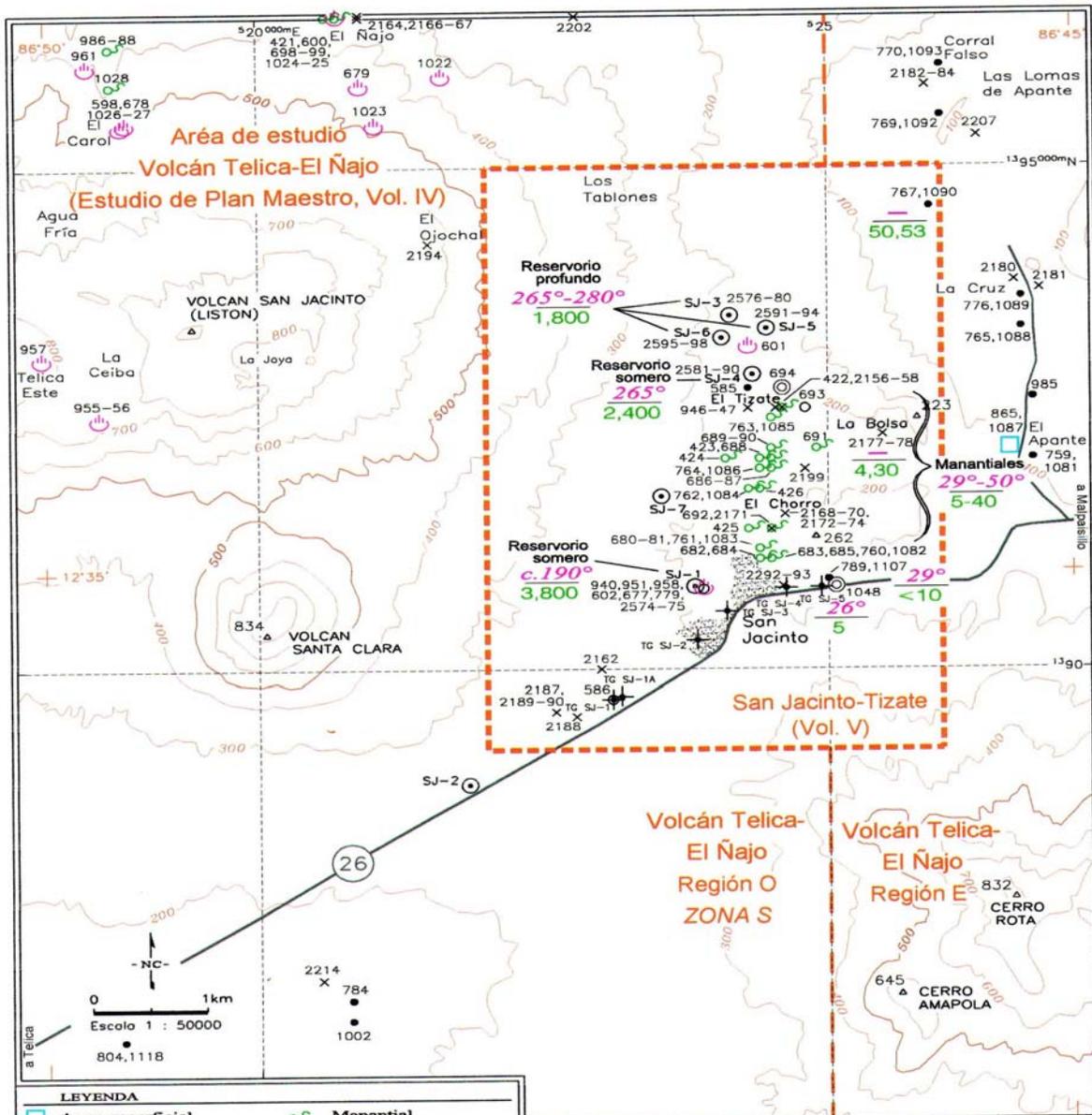
Arnórsson - Gunnlaugsson: Arnórsson, S. y Gunnlaugsson, E., 1985, New gas geothermometers for geothermal exploration --- calibration and application. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 49, p.1307-1325.

FT = CO2 - CH4 - H2

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

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

## **FIGURAS**



**Figura V-A.1: Mapa de ubicación de análisis químicos de fluidos y puntos de datos de campo, San Jacinto-Tizate, Nicaragua**

**LEYENDA**

□ Agua superficial	○ Pozo geotérmico profundo	○ Pozo sin especificarse	○ Pozo excavado	○ Pozo perforado	○ Pozo gradiente somero (aprox. 60m) de Texas Instruments (1970)	○ Manantial	○ Fumarola/solfataras	○ Tipo (pozo, manantial) desconocido	○ N/m de fila del archivo base de datos	○ 37° Temperatura, °C	○ 19 mg/l de Cl
--------------------	----------------------------	--------------------------	-----------------	------------------	--	-------------	-----------------------	--------------------------------------	---	-----------------------	-----------------

**GeothermEx, Inc.**  
 GEOTHERMAL EXPLORATION DEVELOPMENT AND OPERATIONS  
 5231 Central Ave., Suite 201, Richmond, CA 94804  
 TEL. (510) 527-9876 FAX (510) 527-8164 EMAIL MW@GEOTHERMEX.COM

FILE: V-A1.DWG	SCALE: 1 : 50000
PLTDATE: 26OCT2001	DRAWN: RRS
PAGE SETUP: VS/JTZ-1	APP: CMK

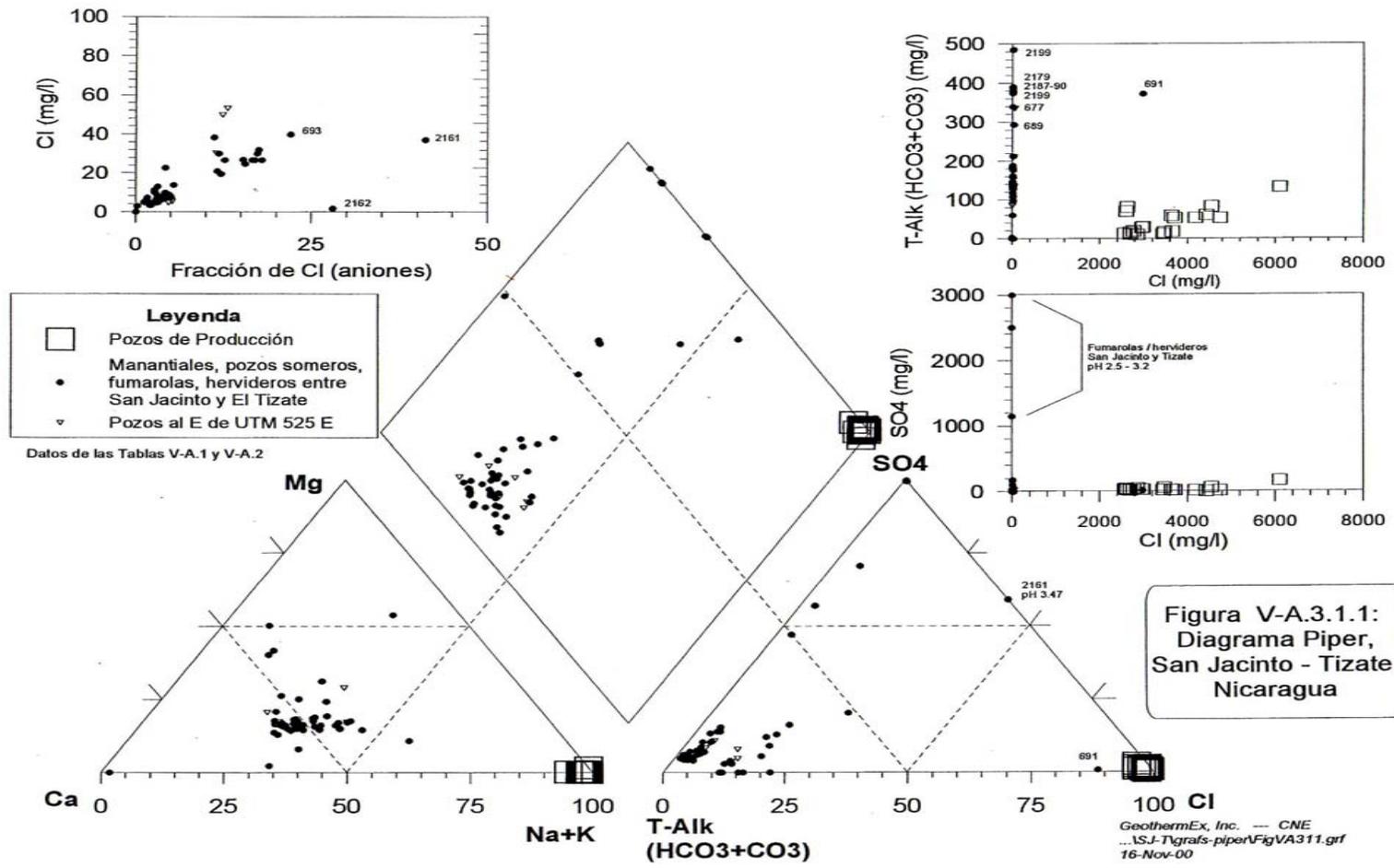


Figura V-A.3.1.1:  
 Diagrama Piper,  
 San Jacinto - Tizate,  
 Nicaragua

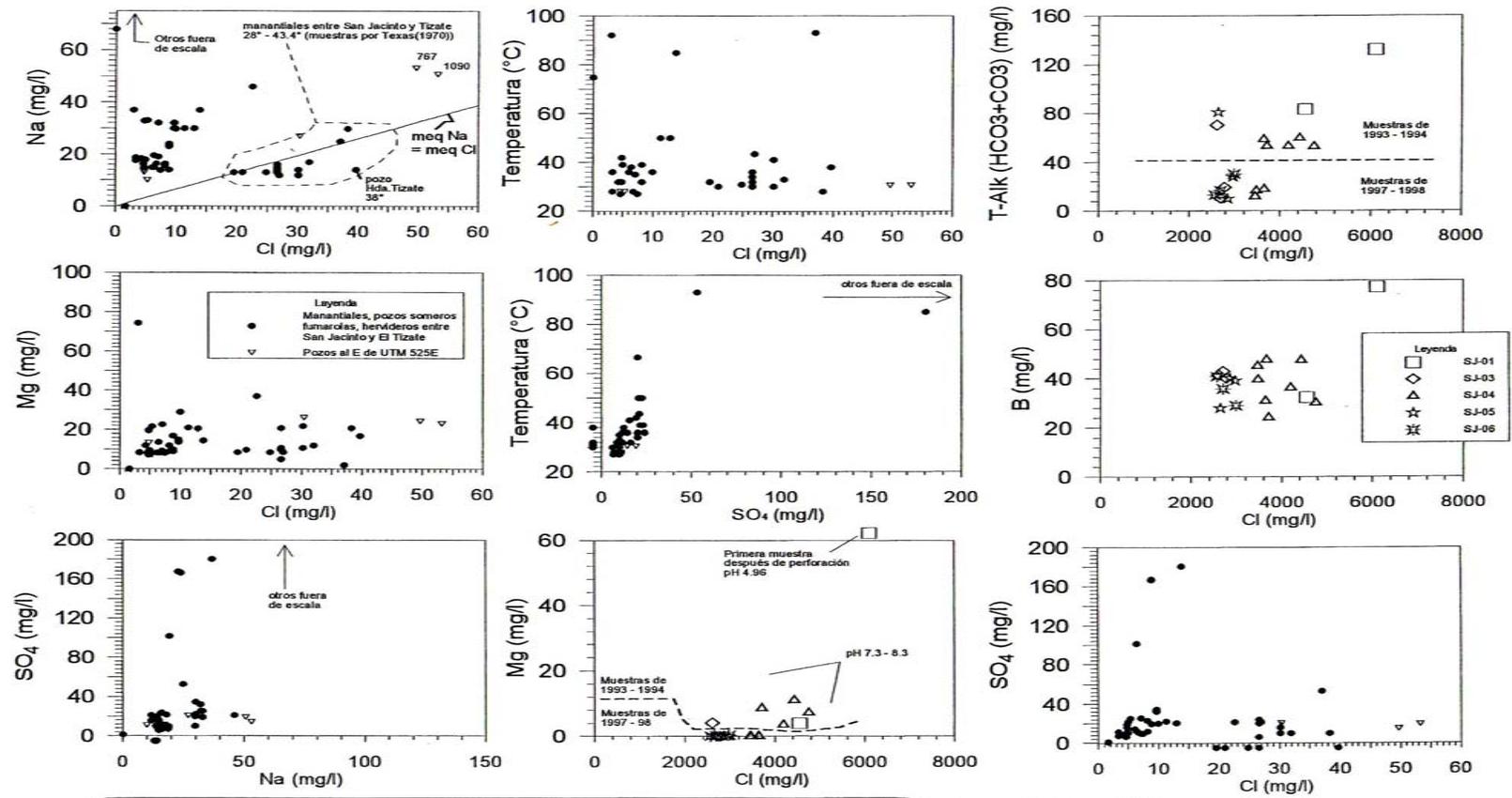
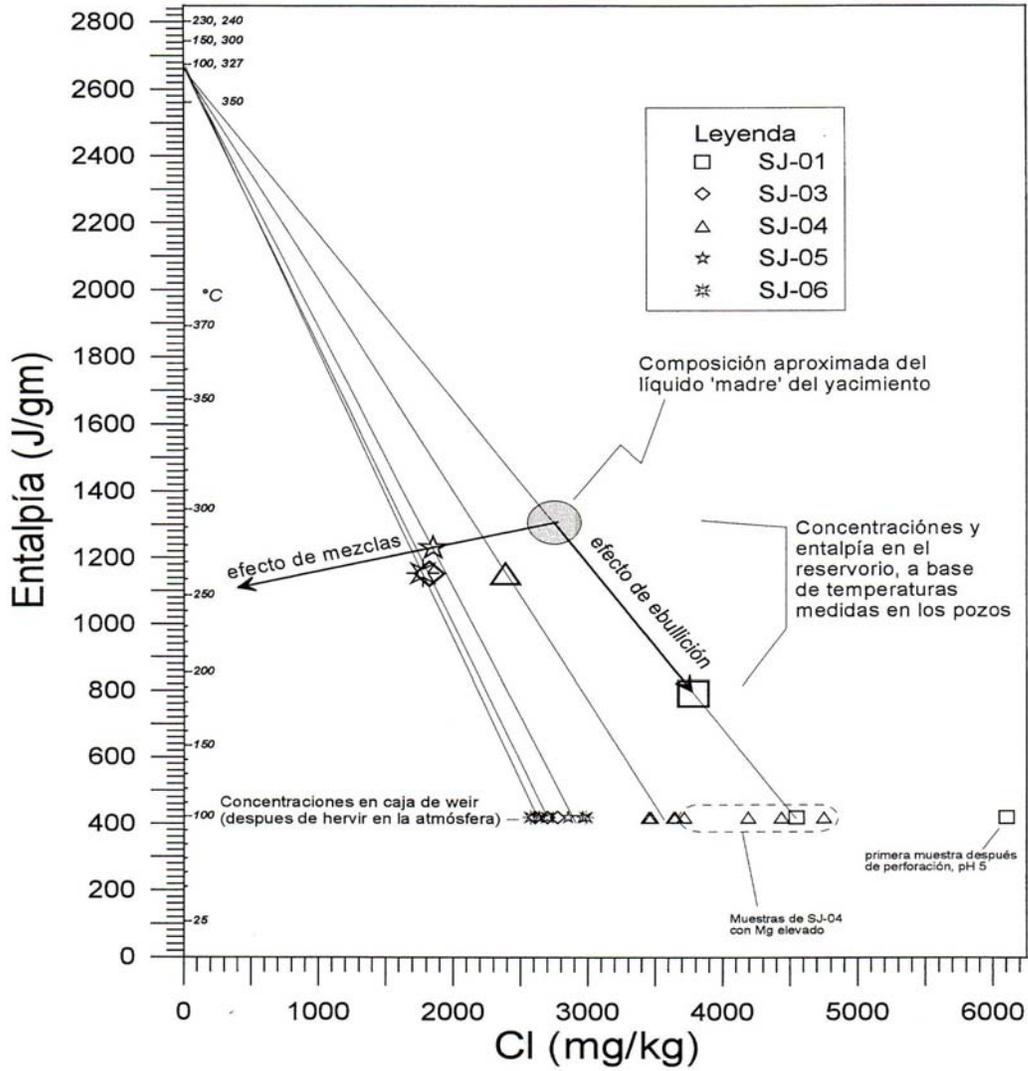


Figura V-A.3.1.2: Diagramas x-y, San Jacinto - Tizate, Nicaragua



**Figura V-A.3.1.3: Entalpía y Cl en el reservorio de San Jacinto - Tizate**



## ANEXO B: ANALISIS PETROGRAFICO DE ROCAS

### ILUSTRACIONES

#### Tablas

- |       |   |
|-------|---|
| V-B.1 | Muestras de roca recolectadas en el área de San Jacinto - Tizate        |
| V-B.2 | Resumen de análisis petrográfico de rocas, área de San Jacinto - Tizate |
| V-B.3 | Dataciones de rocas volcánicas, área de San Jacinto - Tizate FIGURAS    |
| V-B.1 | Muestra TE-1a - Microfotografía, ampliación 50X                         |
| V-B.2 | Muestra TE-7 - Microfotografía, ampliación 50X                          |
| V-B.3 | Muestra Ro-4b - Microfotografía, ampliación 50X                         |
| V-B.4 | Muestra Ro-8 - Microfotografía, ampliación 50X                          |
| V-B.5 | Muestra Ro-10 - Macrofotografía, ampliación SOX                         |



## B.1 Introducción

Se tomaron en el área de San Jacinto - Tizate un total de 20 muestras de rocas volcánicas, (ver la Tabla V-B.1 y los mapas **Figuras V-3.6 y V-3.7**) de las cuales 5 de las muestras fueron seleccionadas para realizarles un análisis petrográfico. De cada muestra se preparó una lámina delgada, la cual se analizó utilizando un microscopio petrográfico. La clasificación de la roca, su textura, los contenidos de los varios minerales, la intensidad de alteración, y la ocurrencia de los minerales secundarios fueron descritos por medio de este análisis (ver la Tabla V-B.2). Estos análisis petrográficos fueron hechos por especialistas en petrografía de West Japan Engineering Consultants, Inc., Fukuoka, Japan, bajo la dirección de GeothermEx.

## B.2 Descripción de Muestras

### **Muestra TE-1a (ver Figura V-B.1)**

Tipo de roca: Andesita

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

Plagioclasa: Longitud de 0.1 mm a 1.0 mm, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita, albita-carlsbad y carlsbad, parcialmente zonificada; algunos fenocristales glomeroporfíricos

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

Minerales opacos: Longitud máxima de 0.5 mm (aproximado), subhedral a euhedral, forma de perno a corroída



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

Pasta Microcristalina (dominante) a criptocristalina, textura pilotaxítica, con débiles texturas de flujo; contiene plagioclasa, sanidina y minerales opacos

**Muestra TE-7 (ver Figura V-B.2)**

Tipo de roca: Basalto con hornblenda y clinopiroxeno

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

Plagioclasa: Longitud de 0.1 a 1.0 mm, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita, albita-carlsbad y carlsbad, parcialmente zonificada

Clinopiroxeno: Longitud de 0.1 mm a 0.5 mm, subhedral a euhedral, estructura prismática

Hornblenda: Longitud máxima de 1.0 mm (aproximado), euhedral, estructura prismática

Minerales opacos: Longitud máxima de 0.5 mm (aproximado), subhedral a euhedral

Pasta: Microcristalina (dominante) a criptocristalina; textura intersertal a intergranular; contiene plagioclasa, vidrio alterado, clinopiroxeno y minerales opacos

**Muestra Ro-4b (ver Figura V-B.3)**

Tipo de roca: Microgabro



Fenocristales: Constituyen aproximadamente el 50% de la roca y se componen por: plagioclasa, clinopiroxeno, olivino y minerales opacos

Plagioclasa: Longitud de 0.1 a 2.0 mm, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita, albita-carlsbad y carlsbad, parcialmente zonificada

Clinopiroxeno: Longitud de 1 mm a 2.0 mm, subhedral a anhedral

Olivino: Longitud de 0.2 a 0.5 mm, subhedral a euhedral, forma de perno a corroída

Minerales opacos: Longitud máxima de 0.5 mm (aproximado), subhedral a euhedral

Pasta: Microcristalina (dominante), textura ofítica; contiene plagioclasa, clinopiroxeno y minerales opacos

#### **Muestra Ro-8 (ver Figura V-B.4)**

Tipo de roca: Basalto-andesita con clinopiroxeno

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

Plagioclasa: Longitud de 0.1 a 4.0 mm, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita, albita-carlsbad y carlsbad

Clinopiroxeno: Longitud generalmente de 0.2 a 1.5 mm, subhedral a euhedral, estructura prismática; algunos fenocristales con macla tipo carlsbad.



Minerales opacos: Longitud máxima de 0.3 mm (aproximado), subhedral a euhedral

Pasta: Microcristalina (dominante) a criptocristalina, textura pilotaxítica; contiene plagioclasa, clinopiroxeno y minerales opacos

### **Muestra Ro-10 (ver Figura V-B.5)**

Tipo de roca: Andesita con dos piroxenos

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

Plagioclasa: Longitud de 0.1 a 1.5 mm, euhedral, estructura prismática, macla tipo albita y carlsbad, parcialmente zonificada

Ortopiroxeno: Longitud de 0.2 a 1.0 mm, subhedral a euhedral, estructura prismática

Clinopiroxeno: Longitud de 0.1 a 1.0 mm, subhedral a euhedral, estructura prismática

Minerales opacos: Longitud máxima de 0.5 mm (aproximado), subhedral a euhedral

Pasta: Microcristalina (dominante) a criptocristalina, textura pilotaxítica; contiene plagioclasa, material criptocristalino y minerales opacos

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

Considerando el tipo, las condiciones y el rango de edad anticipado de las rocas volcánicas recolectadas en el área de San Jacinto-Tizate se seleccionó el método de datación basado sobre la termo-luminiscencia (TL). El método TL es corrientemente utilizado para datar



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

El mineral más adecuado para la datación de rocas volcánicas jóvenes con el método TL es el cuarzo (Aitken, 1985). El zircón, el feldespato y el piroxeno son también minerales aceptables para la datación, en el ámbito de los rangos de edades esperadas para las muestras de rocas recolectadas durante las investigaciones del Plan Maestro. En las muestras recolectadas en el área de San Jacinto-Tizate el cuarzo y el zircón han resultado prácticamente ausentes y el tipo de feldespatos ha resultado no ser adecuado para la aplicación del método TL, así que se decidió utilizar el piroxeno como mineral para la datación.

#### *Procedimiento de Laboratorio*

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

1. La muestra para la determinación de la ED fue quebrada con un martillo en piezas de diámetro inferior a los 3 cm.



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

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

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



Para las mediciones de termo-luminiscencia se utilizó un detector Kyokko TLD Reader 2500 (Kyokko Thermo-Luminescent Dosimetry System) producido por Kasei Optonics Co. Ltd. Este instrumento fue originalmente construido para monitoreo de radiaciones en el campo médico y ambiental. Sus principales especificaciones son:

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

#### *Resultados*

La datación con el método arriba descrito ha sido efectuada sobre una muestra procedente del área de San Jacinto-Tizate:

- TE-la -Muestra de andesita, procedente del domo septentrional de San Ignacio del Bosque.

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

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

**Tabla V-B.1: Muestras de Roca Recolectadas en el Area de San Jacinto-Tizate**

Muestra	Fecha de Muestreo	Localización (UTM)			Descripción de la Muestra	Comentarios
		Norte (m)	Este (m)	Descripción		
TE-1a	16 Jul 00	1394350	527950	San Ignacio del Bosque. Domo Septentrional	Lava dacítica. Dacita (ver la Tabla V-B.2)	Color crema. Porfírica grano medio. Xenolitos
TE-1b	16 Jul 00	1394350	527950	San Ignacio del Bosque. Domo Septentrional	Lava dacítica	Color crema. Porfírica grano medio-groeso. Xenolitos
TE-7	20 Jul 00	1397500	528600	S. María. Cauce a orilla carretera a El Limón	Lava basáltica. Basalto con hornblenda y clinopiroxeno (ver la Tabla V-B.2)	Masivo. Grano muy fino. Levemente vacuolar
TE-8	20 Jul 00	1396500	526250	El Lagartillo. A orillas del camino	Lava andesito-basáltica	Masiva. Oscura. Grano medio, heterogéneo
TE-9	20 Jul 00	1393200	525650	1.2 km a SSO de La Cruz	Lava andesito-basáltica	Masiva. Oscura. Grano medio-fino
RO-1	12 Jul 00	1384200	524100	1 km al N de El Despale, a lo largo del camino	Lava andesito-basáltica	Gris oscuro. Abund. fenocristales. Deb. Vacuolar
RO-2	12 Jul 00	1383500	524250	El Despale	Pómez	Fragmentos 2-3 cm máx., angulosos. Dep. De caída
RO-3	12 Jul 00	1384250	525700	1 km al NO de el Paraíso	Lava andesito-basáltica	Vacuolar, grano medio. Plag. Alterada. (Toba lítica)
RO-4a	12 Jul 00	1384750	528500	Ladera S V. Rota. Camino a Las Pilas	Lava dacítica(?)	Gris claro. Afanítica. Hidrotermalizada (Toba lítica)
RO-4b	12 Jul 00	1384750	528500	Ladera S V. Rota. Camino a Las Pilas	Diorita. Microgabro (ver la Tabla V-B.2)	Grano fino. Elemento de toba lítica
RO-4c	12 Jul 00	1384750	528500	Ladera S V. Rota. Camino a Las Pilas	Lava andesito-dacítica	Masiva, grano muy fino
RO-4d	12 Jul 00	1384750	528500	Ladera S V. Rota. Camino a Las Pilas	Lava andesítica	Masiva. Grandes xenolitos oscuros
RO-4e	12 Jul 00	1384750	528500	Ladera S V. Rota. Camino a Las Pilas	Lava andesito-dacítica	Grano fino. Textura laminada

**Tabla V-B.1: Muestras de Roca Recolectadas en el Area de San Jacinto-Tizate**

Muestra	Fecha de Muestreo	Localización (UTM)			Descripción de la Muestra	Comentarios
		Norte (m)	Este (m)	Descripción		
RO-5	12 Jul 00	1385750	528600	Ladera S V. Rota. Camino a Las Pilas	Lava andesítica	Masiva. Grano medio. Grandes fenocristales de pl.
RO-6	16 Jul 00	1389250	529750	Hacienda El Carmen. 300 m al Oeste	Lava basalto-andesítica	Masivo, oscuro. Grano medio-fino
RO-7	16 Jul 00	1390800	531850	San Martín. Loma	Lava andesítica	Gris-café. Laminada masiva/vacuolar. Grano medio
RO-8	16 Jul 00	1391600	531700	La Esperanza. Cantera	Lava andesítica. Basalto-andesita con clinopiroxeno (ver la Tabla V-B.2)	Gris-café. Ligeramente vacuolar. Grano medio
RO-9	16 Jul 00	1391000	526500	San José del Apante. Orilla carretera 26	Lava andesito-basáltica	Masiva, oscura. Grano medio
RO-10	16 Jul 00	1390750	524900	Casa Blanca. Cantera Intergeoterm	Lava dacítica(?). Andesita con dos piroxenos (ver la Tabla V-B.2)	Gris claro. Laminada. Abundantes xenolitos
RO-11	20 Jul 00	1388200	522850	Camino a S. Francisco.	Lava basalto-andesítica	Masivo, oscuro. Grano fino

**Tabla V-B.2. Resumen de Análisis Petrográfico de Rocas, Area de San Jacinto-Tizate**

Muestra	Tipo de Roca	Lavas y Rocas Intrusivas																			Textura	Textura del Groundmass (Pasta)
		Fenocristales									Groundmass (Pasta)											
		Qz	K	Pl	Bi	Ho	Ol	Cp	Op	Ox	Qz	K	Pl	Bi	Ho	Ol	Cp	Op	Ox	V		
TE-1a	Dacita			⊕				O		O		o	O						Δ		Por	Pilo
TE-7	Basalto con hornblenda y clinopiroxeno			⊕		o		O		O			⊕				O		O	o	Ves, Por	Ints-Intg
RO-4b	Microgabbro			⊕			o	O		O			⊕				O		O		Por	Ofi
RO-8	Basalto-andesita con clinopiroxeno			⊕				Δ		O			⊕				Δ		O		Por	Pilo
RO-10	Andesita con dos piroxenos			⊕				O	O	O			⊕						O		Por	Pilo

**Minerales**

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

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

**Abundancia**

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

**Texturas**

Hial = Hialopilitica  
 Intg = Intergranular  
 Ints = Intersertal  
 Ofi = Ofítica  
 Pilo = Pilotaxítica  
 Por = Porfírica  
 Pyr = Piroclástica  
 Ves = Vesicular



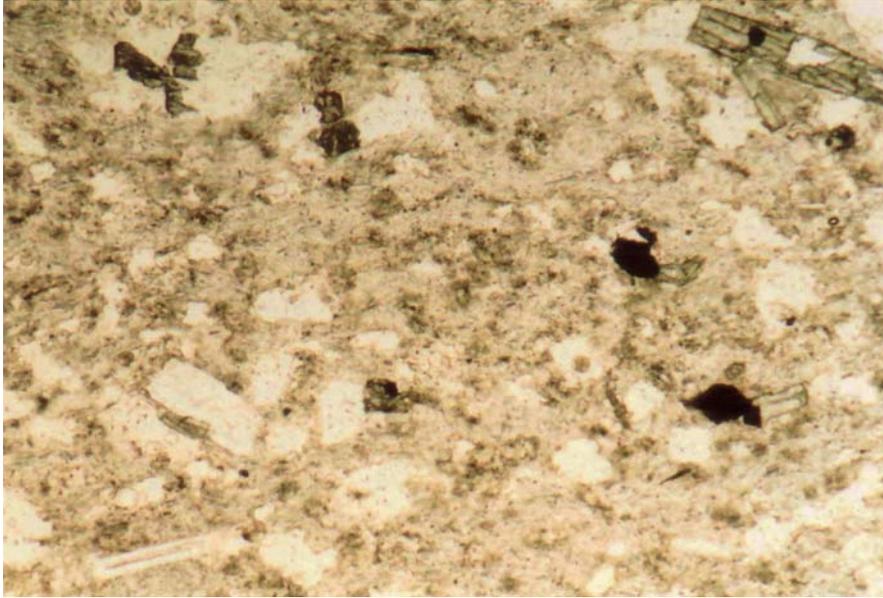
**Tabla V-B.3: Dataciones de Rocas Volcánicas,  
Area de San Jacinto-Tizate**

Muestra	ED (Gy)	U (ppm)	Th (ppm)	K <sub>2</sub> O (%)	AD (mGy/a)	Edad (ka)
TE-1a	550	2.9	4.6	3.42	3.65	150 ± 20

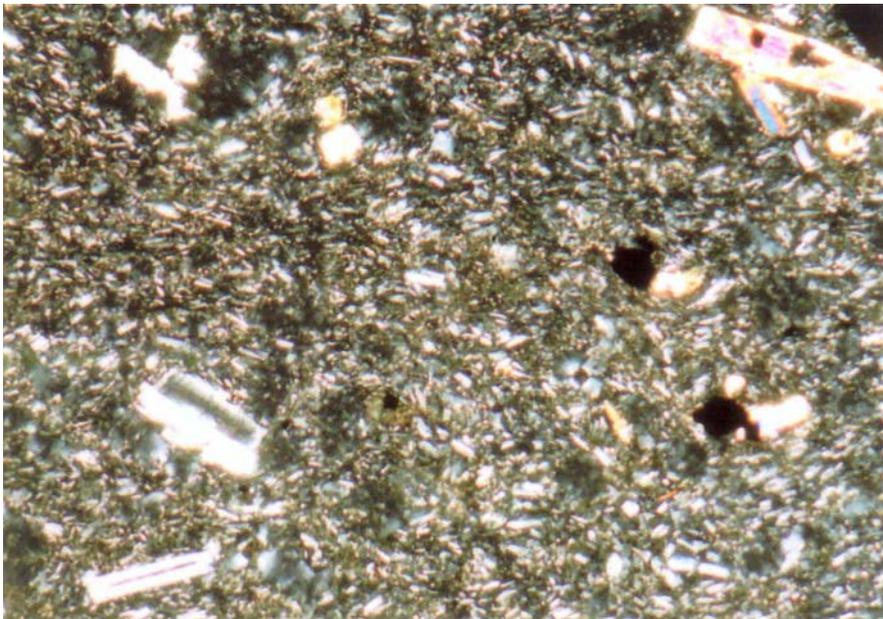
ED = Paleodosis equivalente

AD = Dosis anual

## **FIGURAS**

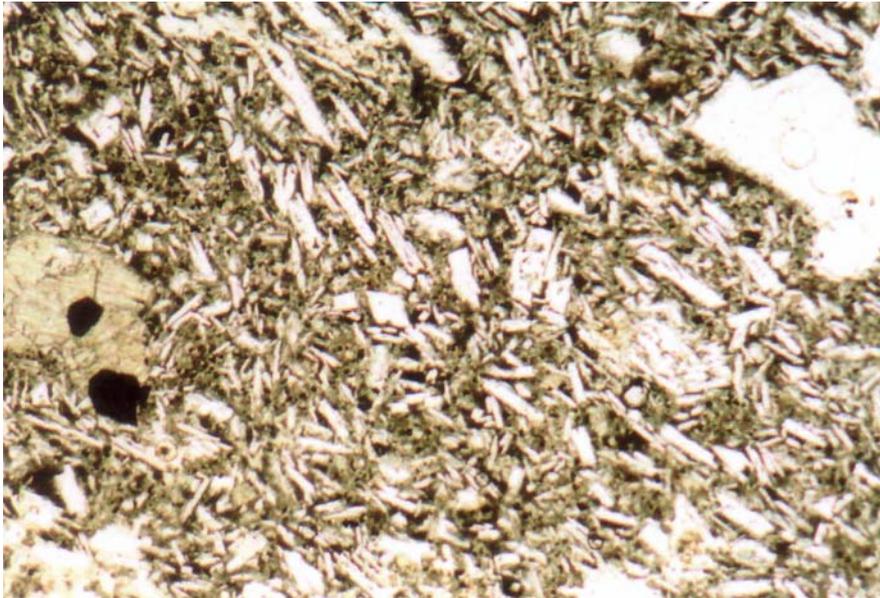


**Luz normal**



**Nicols cruzados**

**FIGURA V-B.1: Muestra TE-1a – Microfotografía, ampliación 50X**

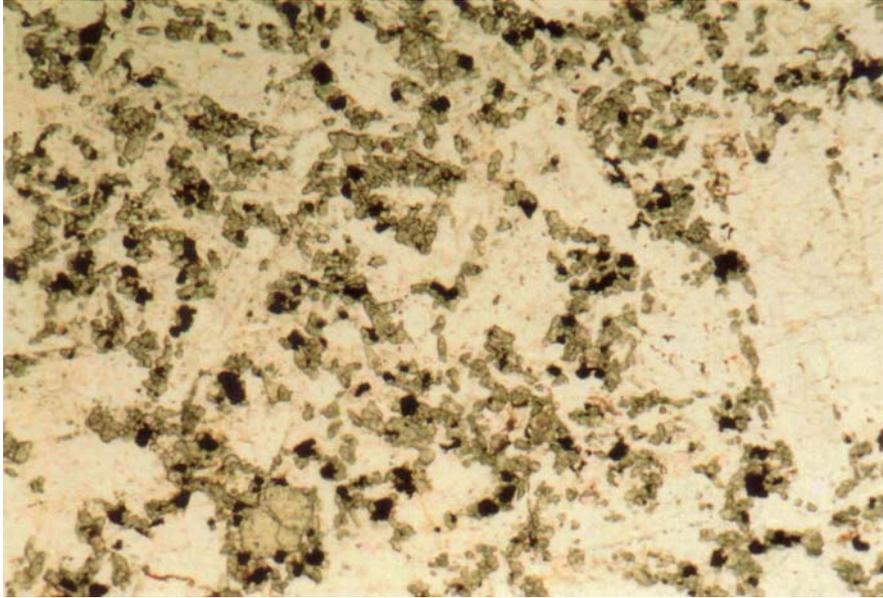


**Luz normal**



**Nicols cruzados**

**FIGURA V-B.2: Muestra TE-7 – Microfotografía, ampliación 50X**

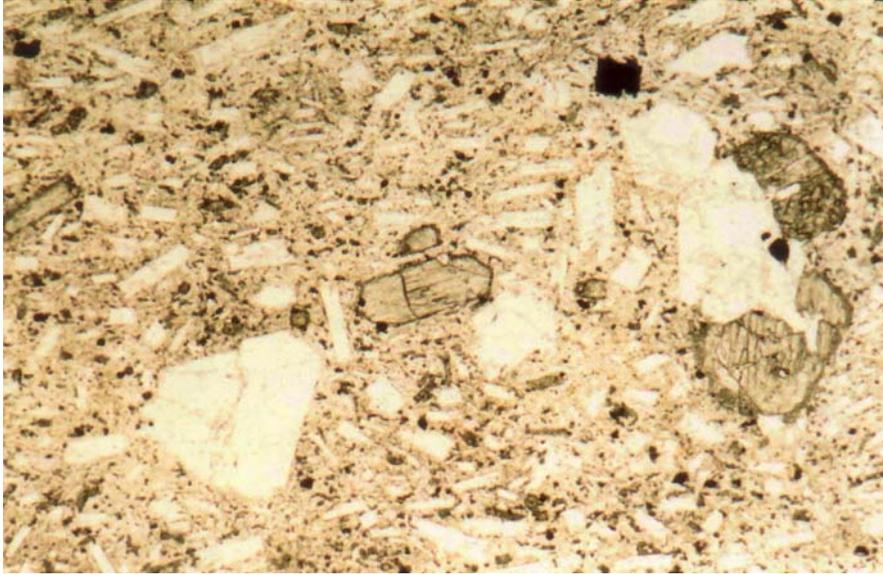


**Luz normal**

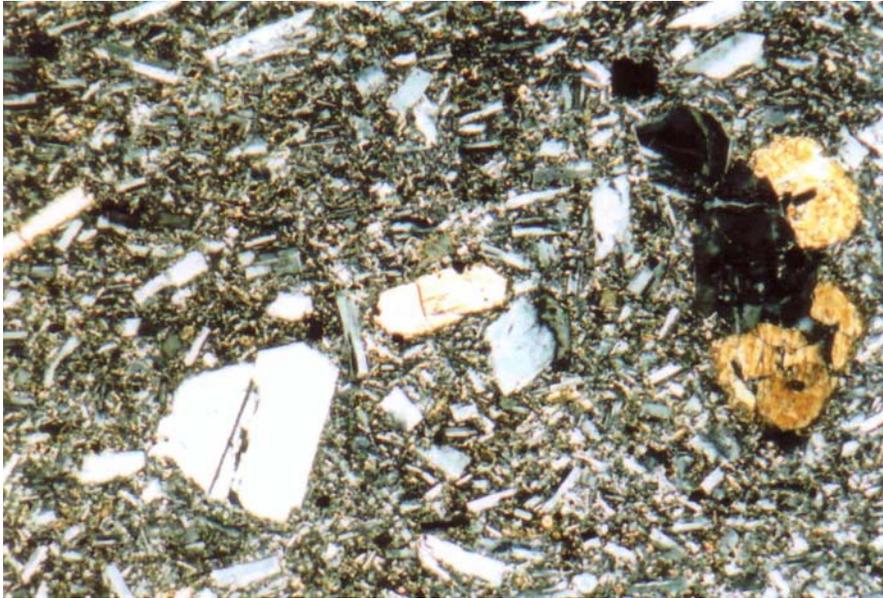


**Nicols cruzados**

**FIGURA V-B.3: Muestra Ro-4b – Microfotografía, ampliación 50X**



**Luz normal**

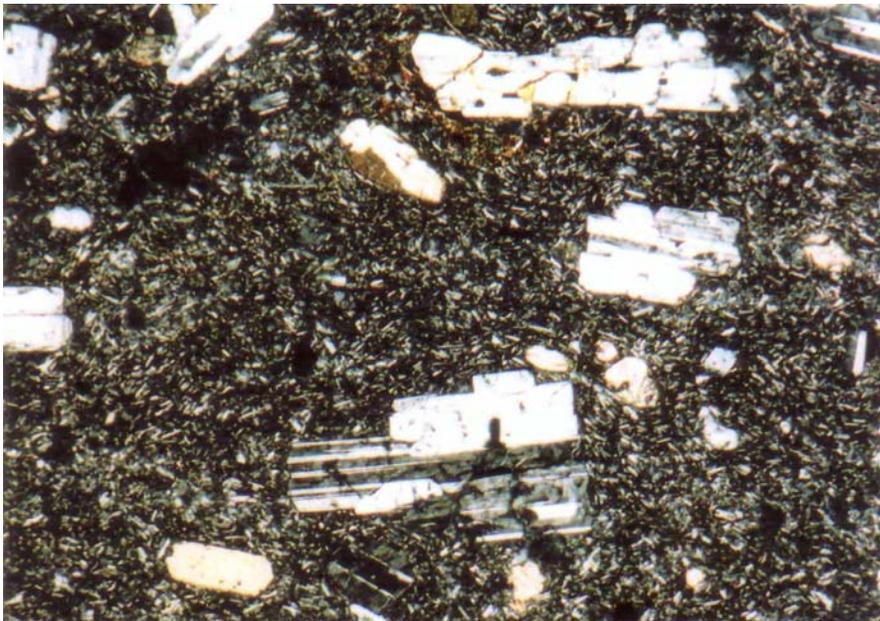


**Nicols cruzados**

**FIGURA V-B.4: Muestra Ro-8 – Microfotografía, ampliación 50X**



**Luz normal**



**Nicols cruzados**

**FIGURA V-B.5: Muestra Ro-10 – Microfotografía, ampliación 50X**