

Table 2-1-1 Wholesale Market Members  
全国電気卸売事業会の構成員リスト

Generators

	Member
1	Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA)
2	Tampa Centroamericana de Electricidad Ltda. (TCAE)
3	Puerto Quetzal Power LLC (PQP LLC)
4	Grupo Generador de Guatemala y Cía. S. C. A. (GGG)
5	Empresa de Generación de Energía Eléctrica del INDE (EGEE)
6	Generadora Eléctrica del Norte S. A. (GENOR)
7	Hidroeléctrica Secacao S.A.
8	Lagotex S. A.
9	Fabrigas S.A.
10	Central Generadora Eléctrica San José Ltda
11	Orzunil 1 de Electricidad Ltda.
12	Central Agro Industrial Guatemalteca S. A. (Madre Tierra)
13	Inversiones Pasabien S. A.
14	Concepción S.A.
15	Cía. Agrícola Industrial Santa Ana S. A.
16	Pantaleón S.A.
17	Ingenio Magdalena S.A.
18	Ingenio La Unión S.A.

Transporters

	Member
1	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE

Distributors

	Member
1	Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. (EEGSA)
2	Distribuidora de Electricidad de Occidente S. A. (DEOCSA)
3	Distribuidora de Electricidad de Oriente S. A. (DEORSA)

Commercial Members

No.	Member
1	Comercializadora Eléctrica de Guatemala S. A. (COMEGSA)
2	Comercializadora de Electricidad Centroamericana S. A. (CECSA)
3	Empresa Eléctrica de Nororiente S. A. (ELECNO)
4	Inversiones JACSA, S. A.
5	Mayoristas de Electricidad (MEL)
6	Poliwatt Limitada
7	Conexión Energética Centroamericana, S. A.
8	Comercializadora de Electricidad Internacional, S. A. (CEI)

Major Users

No.	Member
1	Maderas El Alto S. A.
2	Industrias del Atlántico
3	Bandegua Fincas
4	Bandegua Cuartos Fríos
5	Cementos Progreso S. A.
6	Consultora Integral Atlanta
7	Compañía Agrícola Diversificada (COAGRO)
8	Corrugadora Guatemalteca S. A.
9	Embotelladora del Atlántico S.A.
10	J & R Ropa Deportiva de C.A. S. A. (JR Sports)
11	Empresa Portuaria Nacional Sto. Tomás de Castilla
12	Productos de la Tierra S. A. (PROTISA)
13	Amatique Bay Resort & Marina
14	Cía. Bananera Guatemalteca Independiente (COBIGUA)
15	Standard Fruit of Guatemala (DOLE)
16	Pichilingo Resort & Marina S. A.
17	Telefónica Sam de Guatemala S. A.

Municipal Companies (Distributors)

No.	Member
1	EEM de Huehuetenango
2	EEM de Zacapa
3	EEM de Gualán
4	EEM de Jalapa
5	EEM de Puerto Barrios
6	EEM de Guastatoya
7	EEM de Retalhuleu
8	EEM de Quetzaltenango
9	EEM de San Pedro Sac., San Marcos
10	EEM de San Marcos
11	EEM de Santa Eulalia
12	EEM de Joyabaj
13	EEM de San Pedro Pinula, Jalapa



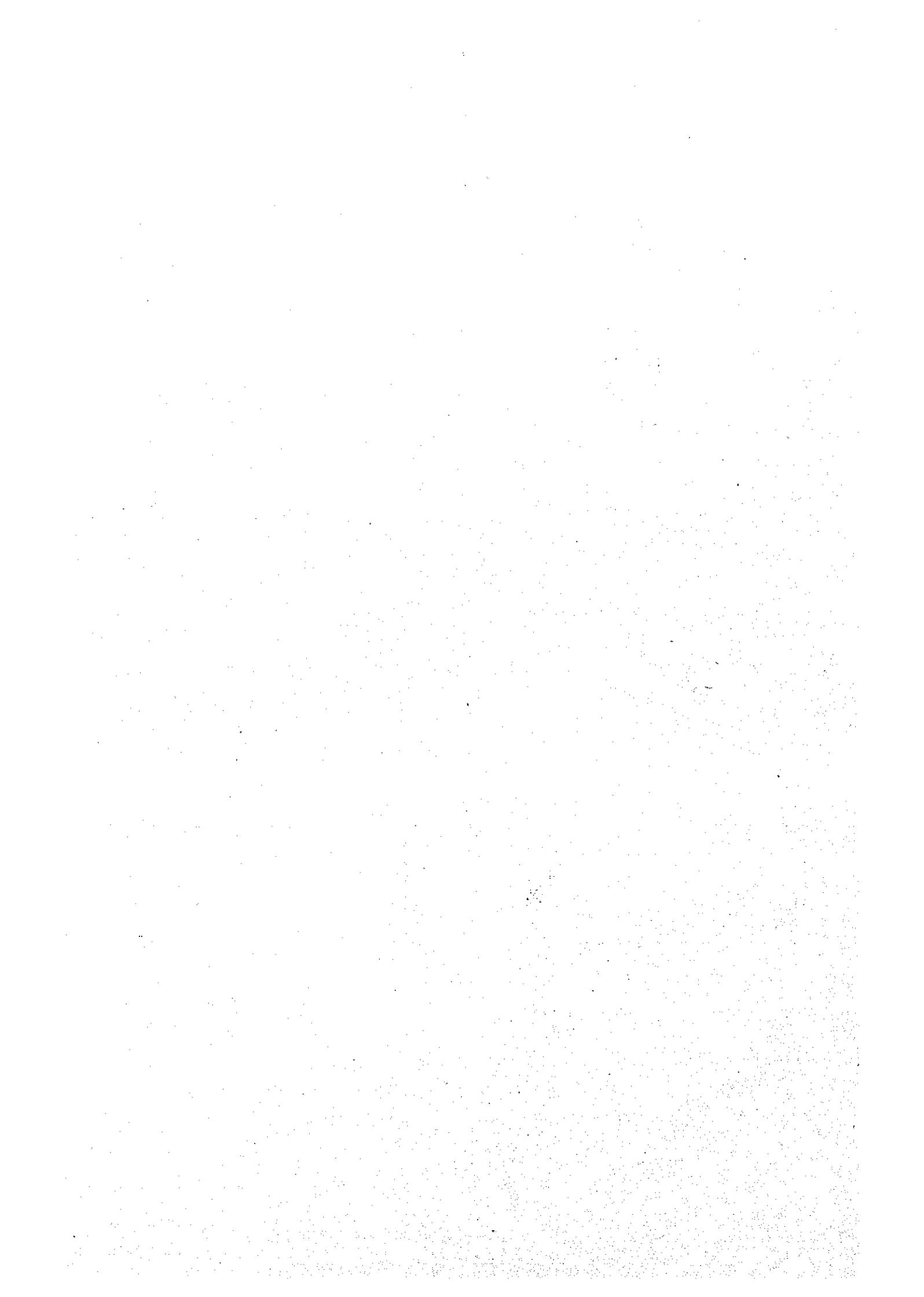




Table 2-1-4 Interconnected National Grid (SNI): Installed Capacity (as December 2000)

国内電力供給網(SNI)傘下の設備容量

No.	PLANTS	UNITS	CAPACITY		COMMISSION DATE	LOCATION		OWNER
			INSTALLED MW	FIRM MW		MUNICIPALITY	DEPARTMENT	
<b>NATIONAL GRID</b>			<b>1666.3</b>	<b>1420.0</b>				
<b>HYDROELECTRIC</b>			<b>528.90</b>	<b>477.00</b>				
1	CHIXOY	5	300.00	275.0	1983/11/27	San Cristobal	Alta Verapaz	INDE
2	AGUACAPA	3	90.0	75.0	1981/2/22	Pueblo Nuevo	Santa Rosa	INDE
3	JURUN MARINALA	3	60.0	60.0	1970/2/12	Palin	Escuintla	INDE
11	SECACAO	1	15.5	13.5	1988/7/3	Senaha	Alta Verapaz	PRIVATE
4	ESCLAVOS	2	14.0	13.5	1986/8/17	Cuilapa	Santa Rosa	INDE
15	PASABIEN	2	12.0	12.0	2000/6/6	Rio Hondo	Zacapa	PRIVATE
10	RIO BOBOS	1	10.0	10.0	1995/8/10	Quebradas, Mo	Izabal	PRIVATE
16	POZA VERDE	2	8.1	8.0	2000/11/8	Pueblo Nuevo	Santa Rosa	PRIVATE
	<b>MICHATOYAS</b>	<b>5</b>	<b>6.7</b>	<b>1.5</b>	<b>2027/10/15</b>	<b>Escuintla</b>	<b>Escuintla</b>	<b>INDE</b>
5	SANTA MARIA	3	6.0	6.0	1966/6/25	Zunil	Quetzaltenango	INDE
	EL JOCOTE (Cogenerador)	1	4.0	0.0	1991/2/4	Siquinala	Escuintla	PRIVATE
6	EL PORVENIR	1	2.0	2.0	1968/9/1	San Pablo	San Marcos	INDE
	CHICHAIC	2	0.6	0.5	1979/7/26	Coban	Alta Verapaz	INDE
<b>THERMAL</b>			<b>1137.4</b>	<b>943.0</b>				
<b>STEAM TURBINES</b>			<b>221.0</b>	<b>177.0</b>				
18	SAN JOSE	1	142.0	120.0	2000/1/1	Masagua	Escuintla	PRIVATE
7	ESCUINTLA VAPOR 2	1	53.0	35.0	1977/4/22	Escuintla	Escuintla	INDE
7	GGG VAPOR 3	1	13.0	11.0	1959/12/3	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
7	GGG VAPOR 4	1	13.0	11.0	1961/4/5	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
<b>GAS TURBINES</b>			<b>301.5</b>	<b>203</b>				
19	TAMPA	2	80.0	78.0	1995/12/1	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
7	GGG STEWART & STEVENSON	1	51.0	24.0	1994/12/24	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
7	ESC. GAS 5	1	41.0	30.0	1985/11/1	Escuintla	Escuintla	INDE
7	GGG GAS 4	1	33.0	27.0	1963/6/11	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
7	ESC. GAS 3	1	25.0	21.0	1976/8/9	Escuintla	Escuintla	INDE
7	ESC. GAS 4	1	25.0	*	1976/8/9	Escuintla	Escuintla	INDE
7	GGG GAS 2	1	23.0	17.0	1978/6/19	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
7	ESC. GAS 2	2	12.5	*	1968/5/7	Escuintla	Escuintla	INDE
7	GGG. GAS 1	1	11.0	6.0	1964/6/6	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
<b>INTERNAL COMUSTION ENGINES</b>			<b>422.2</b>	<b>375.8</b>				
17	LA ESPERANZA(ENRON POWER 3)	7	126.0	124.0	2000/5/1	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
17	PQPC (ENRON POWER)	20	110.0	102.5	1993/2/5	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
7	GGG LAS PALMAS	5	66.8	65.0	1998/9/1	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
20	SIDEGUA	10	44.0	36.0	1995/4/3	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
14	GENOR	2	42.4	40.0	1998/10/1	Puerto Barrios	Izabal	PRIVATE
	CEMENTOS PROGRESO (Autoproductor)	1	18.0	3.3	1995/11/16	Sanarate	El Progreso	PRIVATE
13	LAGOTEX	3	15.0	5.0	1996/11/15	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
17	PQPC (ENRON POWER)	20	120.0	102.5	2000/2/5	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
<b>SUGGAR MILLS (Cogenerators)</b>			<b>163.7</b>	<b>163.7</b>	<b>1996/12/31</b>	<b>Varios</b>	<b>Escuintla</b>	<b>PRIVATE</b>
25	PANTALEON		38.5	38.5	1995/11/16		Escuintla	PRIVATE
23	SANTA ANA		33.8	33.8	1996/11/16		Escuintla	PRIVATE
27	LA UNION		28.5	29.5	1997/11/16		Escuintla	PRIVATE
22	CONCEPCION	1	27.5	27.5	1998/11/16		Escuintla	PRIVATE
26	MADRE TIERRA		19	19	1999/11/16		Escuintla	PRIVATE
24	MAGDALENA		15.4	15.4	2000/11/16		Escuintla	PRIVATE
<b>GEOTHERMAL</b>			<b>29</b>	<b>23.5</b>				
9	ZUNIL	1	24	19	1999/6/4	Zunil	Quetzaltenango	PRIVATE
8	CALDERAS	1	5	4.5	1998/11/1	San Vicente Pa	Escuintla	PRIVATE

Source: Genetec

**Table 2-1-5 Present coverage and growth rate of electrification  
per Department (県別電気利用者数とその上昇率)**

Department	Customers	Coverage	1991-2000
			Increment
Guatemala	514,463	94.8	6.3
Solola	48,914	93.9	51.1
Sacatepequez	42,640	91.3	18.0
Quetzaltenango	101,762	91.2	42.2
Totonicapan	57,882	90.8	44.5
Santa Rosa	54,986	90.5	45.9
Chimaltenango	66,987	89.7	44.6
El progreso	24,507	86.5	34.3
Zacapa	33,853	85.9	32.7
Retalhuleu	36,411	83.3	56.8
Escuintla	73,853	79.5	33.8
Suchitepequez	50,035	70.8	33.4
San Marcos	94,488	66.4	46.5
Jutiapa	48,838	65.8	27.1
Izabal	36,776	62.0	34.9
Baja Verapaz	23,655	61.3	38.6
Huehuetenango	88,501	60.9	45.6
Jalapa	25,534	59.1	28.6
Chiquimula	31,937	58.4	20.4
Quiche	60,656	54.8	40.9
Peten	25,108	47.3	30.6
Alta Verapaz	33,337	29.3	18.5
<b>Total</b>	<b>1,575,123</b>	<b>76.4</b>	<b>32.0</b>

Source: MEM

全国電気卸売事業会による電力需要予測

Year	Generation	% Growth	Capacity	% Growth	Load Factor
	GWH		MW		p.u.
1999	4885.1	8.98%	962	9.77%	0.580
2000	5348.2	9.48%	1048	8.88%	0.583
2001	5805.9	8.56%	1133	8.20%	0.585
2002	6294.4	8.41%	1229	8.41%	0.585
2003	6809.1	8.18%	1317	7.20%	0.590
2004	7347.2	7.90%	1403	6.50%	0.598
2005	7929.1	7.92%	1494	6.50%	0.606
2006	8492.6	7.11%	1578	5.60%	0.615
2007	8978.9	5.73%	1666	5.60%	0.615
2008	9485.1	5.64%	1759	5.60%	0.615
2009	9995.8	5.38%	1859	5.64%	0.614
2010	10495.6	5.00%	1957	5.30%	0.612
2011	11020.4	5.00%	2051	4.80%	0.613
2012	11571.4	5.00%	2149	4.80%	0.615
2013	12150.0	5.00%	2253	4.80%	0.616
2014	12757.5	5.00%	2361	4.80%	0.607
2015	13395.3	5.00%	2474	4.80%	0.618

Source [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)

鉾山エネルギー省による電力需要予測  
**Table 2-1-7 Interconnected Grid (SNI): Scenarios for Energy Demand Forecast**

Year	Medium				High				Low			
	Capacity (MW)	Energy (GWh)	Annual Growth (%)		Capacity (MW)	Energy (GWh)	Annual Growth (%)		Capacity (MW)	Energy (GWh)	Annual Growth (%)	
			Capacity	Energy			Capacity	Energy			Capacity	Energy
2000	1,049	5,348			1,049	5,348			1,049	5,348		
2001	1,137	5,819	8.4	8.8	1,160	6,035	10.6	12.9	1,123	5,760	7.1	7.7
2002	1,231	6,319	8.3	8.6	1,270	6,620	9.5	9.7	1,199	6,189	6.8	7.5
2003	1,322	6,812	7.4	7.8	1,379	7,207	8.6	8.9	1,275	6,672	6.3	7.8
2004	1,414	7,309	7.0	7.3	1,490	7,809	8.1	8.4	1,350	7,159	5.9	7.3
2005	1,505	7,806	6.4	6.8	1,603	8,425	7.6	7.9	1,423	7,574	5.4	5.8
2006	1,596	8,306	6.1	6.4	1,717	9,051	7.1	7.4	1,495	7,982	5.1	5.4
2007	1,689	8,821	5.8	6.2	1,836	9,704	6.9	7.2	1,567	8,387	4.8	5.1
2008	1,779	9,350	5.3	6.0	1,954	11,382	6.4	7.0	1,636	8,807	4.4	5.0
2009	1,874	9,883	5.3	5.7	2,079	11,077	6.4	6.7	1,705	9,243	4.2	5.0
2010	1,967	10,407	5.0	5.3	2,206	11,774	6.1	6.3	1,775	9,674	4.1	4.7

Source MEM

Table 2-1-8 Country Over view  
 グアテマラ国の一般概況

Item	Fact
President:	Alfonso Portillo (since January 2000)
Independence:	September 15, 1821 (from Spain)
Population (2000E):	12.6 million
Location/Size:	Central America, bordering the Pacific Ocean between Belize, El Salvador, Honduras, and Mexico/42,042 square miles
Capital:	Guatemala City
Languages:	Spanish (official), Mayan languages
Ethnic Groups:	Mestizo 56%, Amerindian 44%
Religion:	Roman Catholic, Protestant, Mayan
Defense:	(8/98) 31,400 (29,200 Army, 1,500 Navy, 700 Air Force)

Source: Energy International association, DOE

**Table 2-1-9 Economic Overview**  
**グアテマラ国の経済指標**

Item	Fact
Minister of Economy:	Raul Edmindo Archilla Serrano
Currency:	Quetzal
Market Exchange Rate (3/23/01):	1 US Dollar = 7.68 Quetzals
Gross Domestic Product (GDP, nominal, 1999E):	\$17.8 billion (2000E): 19.0 billion
Real GDP Growth Rate (2000E):	3% (2001F): 2.7%
Inflation Rate (consumer prices, 2000):	6% (2001F): 5%-10%
Trade Deficit (2000E):	\$2.1 billion
Current Account Deficit (2000E):	\$1 billion
External Debt (2000E):	\$2.5 billion
Major Trading Partners:	United States, El Salvador, Mexico, Germany, Japan
Major Export Products:	coffee, sugar, bananas
Major Import Products:	Non-durable goods, industrial raw materials and intermediate goods, capital goods

Source: Energy International association, DOE

**Table 2-1-10 Environmental Overview**  
**グアテマラ国の環境的指標**

<b>Item</b>	<b>Fact</b>
Total Energy Consumption (1999E):	0.15 quadrillion Btu*(<0.1% of world total energy consumption)
Energy-Related Carbon Emissions (1999E):	2.4 million metric tons of carbon(<0.1% of world carbon emissions)
Per Capita Energy Consumption (1999E):	12.3 million Btu (vs. U.S. value of 355.8 million Btu)
Per Capita Carbon Emissions (1999E):	0.2 metric tons of carbon (vs. U.S. value of 5.5 metric tons of carbon)
Energy Intensity (1999E):	13,181 Btu/\$1990 (vs. U.S. value of 12,638 Btu/\$1990)**
Carbon Intensity (1999E):	0.22 metric tons of carbon/thousand \$1990 (vs. U.S. value of 0.19 metric tons/thousand \$1990)
Sectoral Share of Energy Consumption (1998E):	Residential (49.1%), Industrial (22.6%), Transportation (21.1%), Commercial (7.2%)
Sectoral Share of Carbon Emissions (1998E):	Transportation (48.3%), Industrial (35.3%), Residential (9.8%), Commercial (6.6%)
Fuel Share of Energy Consumption (1999E):	Oil (84.9%), Natural Gas (0.0%), Coal (0.0%)
Fuel Share of Carbon Emissions (1999E):	Oil (100.0%), Natural Gas (0.0%), Coal (0.0%)
Renewable Energy Consumption (1998E):	160 trillion Btu* (2% decrease from 1997)
Number of People per Motor Vehicle (1998):	58.8 (vs. U.S. value of 1.3)
Status in Climate Change Negotiations:	Non-Annex I country under the United Nations Framework Convention on Climate Change (ratified December 15th, 1995).
Major Environmental Issues:	Guatemala has ratified the Kyoto Protocol (October 5th, 1999). Deforestation; soil erosion; water pollution; Hurricane Mitch damage. Major International Environmental Agreements: A party to the Antarctic Treaty, Biodiversity, Climate Change, Desertification, Endangered Species, Environmental Modification, Hazardous Wastes, Law of the Sea, Marine Dumping, Nuclear Test Ban, Ozone Layer Protection, Ship Pollution and Wetlands. Has signed, but not ratified, the Antarctic-Environmental Protocol.

Source: Energy International association, DOE

\* The total energy consumption statistic includes petroleum, dry natural gas, coal, net hydro, nuclear, geothermal, solar and wind electric power. The renewable energy consumption statistic is based on International Energy Agency (IEA) data and includes hydropower, solar, wind, wood, waste electrical power, tide, geothermal, solid biomass and animal products, biomass gas and liquids, industrial and municipal wastes. Sectoral shares of energy consumption and carbon emissions are also based on IEA data.

\*\*GDP based on EIA International Energy Annual 1999

## 2.2 Estudios Geocientíficos

2.2.1 Investigación Geológica

2.2.2 Investigación Geoquímica

2.2.3 Estudios Gravimétricos y Magnéticos

2.2.4 Estudio Magnetotelúrico



## 2.2 ESTUDIOS GEOCIENTÍFICOS

### 2.2.1 Investigación geológica

El objetivo de la investigación geológica fue el de tomar en cuenta la geología y las estructuras que controlan la actividad geotérmica en el campo geotérmico de Amatitlán, para el efecto se hizo un reconocimiento geológico, muestreo de rocas y revisión de los informes existentes. Los análisis fueron orientados a entender la distribución de los cuerpos volcánicos jóvenes, las zonas de alteración y sus características, fuentes de calor e hidrología del área estudiada y sus alrededores.

El trabajo de campo consistió en mapeo geológico, estudios estructurales y de fracturas y mapeo de zonas de alteración. Los análisis de laboratorio incluyeron observación microscópica (13 muestras), análisis de rayos X (25 muestras sólidas y 20 muestras de arcillas), morfología de cristales de (10 muestras), datación por huellas de fisión de zircón (FT) (5 muestras) y datación por termo luminiscencia (TL) (datación de 5 muestras volcánicas y datación de 5 muestras de alteración) en muestras recolectadas durante el trabajo de campo.

Con base en la interpretación de la transición volcánica y la alteración hidrotermal, la historia de la actividad geotérmica fue reconstruida y se estimó su relación con la estructura geotérmica.

#### 1. Geología Regional

Guatemala se localiza en la parte norte de Centroamérica, entre los continentes de Norteamérica y de Sudamérica, colinda con Méjico al norte y con Honduras-El Salvador al sur, con costa en el Océano Pacífico en el lado sudoeste y en el Mar Caribe en su lado nordeste. El área de Amatitlán, la cual es el objetivo del presente estudio, se localiza en el flanco norte del Volcán Pacaya, 25 km al sur de Ciudad Guatemala (Fig. 2-2-2).

La altitud de la zona varía entre 1,200-2,000 msnm y en ella se localizan varios volcanes que han estado activos en los últimos 100 años; Pacaya (al sur del área de estudio), Acatenango, Santa María, y Santiaguito, todos alineados en dirección NO-SE. La cadena de volcanes es llamada el Arco Volcánico Centroamericano la cual se inicia en el volcán Tacaná (en la frontera entre Méjico y Guatemala) hasta el volcán Irazú en el centro de Costa Rica.

Como se puede ver en la Fig. 2-2-1, la fosa Mesoamericana, con eje en dirección NO-SE, se localiza a 100km al sudoeste de la costa Guatemalteca. Esta fosa se considera que es el borde entre la Placa de Cocos (subduciendo desde el SO) y la placa del Caribe (Molnar and Sykes, 1969). La subducción de la Placa de Cocos es acompañada de un frente volcánico (Sugiyama, 1960), el cual forma el arco volcánico Centroamericano, paralelo a la Fosa Mesoamericana. La cadena volcánica con dirección NO-SE se ha formado por esfuerzos extensionales con orientación NE-SW provocada por un levantamiento activo a lo largo del margen sudoeste de la Placa del Caribe, el cual resulta de la subducción de la Placa de Cocos en una dirección N30°E.

#### 2. Geología del área de Amatitlán

La geología de esta área consiste en un basamento granodiorítico,

formaciones de roca volcánica pre-caldérica, syn-caldérica y post-caldérica, (incluyendo el complejo volcánico de Amatitlán, el cual consiste predominantemente de andesitas y dacitas subdominantes), el complejo volcánico de Pacaya y aluviones y coluviones (Fig. 2-2-3 y Fig. 2-2-4).

Los rasgos geológicos del área de Amatitlán están representados por fallas relacionadas con calderas, fallamiento con orientación N-S y NE-SO y el emplazamiento de domos dacíticos. A lo largo de la tendencia de estas estructuras, se localizan manantiales calientes, fumarolas y áreas de alteración superficial de forma alargada.

Sus estructuras y su relación con las manifestaciones geotérmicas se describen a continuación.

#### a. Estructura caldérica

Los resultados de la perforación de los pozos exploratorios profundos AMF-1, -3 y -4 (West JEC and Telectro, 1995) revelaron un sistema de fallas E-O cerca de la Laguna Calderas. Esta falla fue asociada con la orilla sur de la caldera. El fluido geotérmico podría encontrar un camino sencillo a través de este sistema de fallas. Sin embargo, la parte superficial de estas fallas parece ser un área de ingreso de agua superficial indicando la presencia de una zona de recarga en esta orilla de la caldera, densamente cubierta por vulcanitas del complejo volcánico de Amatitlán (Fig. 2-2-5).

Por otro lado, muchas fumarolas y zonas de alteración están presentes en la pared norte de la Laguna de Calderas. El arreglo de las zonas de alteración y fumarolas es paralelo a la dirección de la discontinuidad oeste interpretada a partir de los resultados de las investigaciones gravimétricas y magnetotélúricas.

En Los Humitos, se encuentran fumarolas localizadas aparentemente cerca de la falla de la orilla este. Puesto que esta caldera se supone que se formó a partir de una explosión de vapor, es muy posible que la orilla de la caldera es una subsidencia provocada por falla.

#### b. Sistema principal de fallas

El arreglo de fallas N-S se encuentra desarrollado en dirección paralela a ambos lados de la caldera de Los Humitos. Las vulcanitas postcaldéricas se encuentran alteradas en el lado oeste de las fallas occidentales que limitan este sistema de fallas N-S. Esto sugiere una actividad geotérmica joven. El lado oeste de la caldera de Los Humitos ha sido argilizada hasta cierta profundidad, formando una zona de sellamiento. Mientras que el lado este de la caldera muestra un pobre progreso de alteración, sugiriendo la presencia aun de una zona de fracturas todavía abiertas.

#### c. Domos dacíticos

Se supone que los manantiales calientes y las fumarolas del lago de Amatitlán se originan en la zona de fracturas desarrolladas alrededor de los domos dacíticos. Sin embargo, pocos manantiales calientes y fumarolas se pueden reconocer a lo largo de las fracturas asociadas al sistema de fallas N-S. Entonces, la zona de fracturas fue desarrollada en el límite entre el domo y los materiales a su alrededor cuando el magma dacítico ascendió para

formar el domo. Es muy posible que esta fractura represente un camino para el paso de fluidos geotérmicos. Aún más, es probable que este domo dacítico por si mismo sea uno de las fuentes de calor dentro del área, considerando la geoquímica de los fluidos y la fecha de formación del domo.

### 3. Fuentes de calor

Es claro, a partir de la distribución de las rocas volcánicas y los resultados de la datación, que el centro de la actividad volcánica ha migrado de norte a sur durante la historia geológica del área de Amatitlán. La actividad hidrotermal se considera que también ha migrado en la misma dirección. La fuente de calor para los procesos geotérmicos en Amatitlán está asociada con el magmatismo dacítico, incluyendo además el magmatismo del volcán de Pacaya todavía activo o a la intrusión de gases magmáticos. Esta actividad se prolonga desde el Pleistoceno tardío, aproximadamente desde 0.7Ma hasta el presente. El reservorio geotérmico debajo de la Laguna de Calderas se considera asociado a una intrusión de fluidos magmáticos provenientes del volcán de Pacaya. Sin embargo, no se tiene un conocimiento preciso de la ubicación del reservorio.

West JEC-Telectro (1995) investigó en relación con la fuente de calor utilizando valores de los datos existentes. A continuación se presenta una descripción de los resultados obtenidos.

- a. Dentro de los anteriores pozos exploratorios, el sitio del AMF-2 muestra las temperaturas más altas. Dentro del área, una temperatura arriba de los 300° C se ha estimado en la parte alta del basamento, el cual consiste en granito porfídico.
- b. A partir de la observación de los recortes de perforación y sus cristales de circón en el pozo AMF-2, se encontró un domo dacítico similar a un volcán a una profundidad de 560-870 m. Las determinaciones radiométricas muestran casi la misma edad de unos 6,000 años.
- c. La temperatura de homogenización de las inclusiones fluidas del pozo AMF-2 presentan una distribución bimodal, en la cual el pico más alto coincide con la temperatura medida en el pozo. Esto podría indicar que el sistema geotérmico preexistente incrementó su temperatura unos 50° C más debido a una nueva intrusión dacítica. El fenómeno de la distribución bimodal no se encontró en los pozos AMF-1, AMF-3 y AMF-4 alejados de la intrusión dacítica. Entonces, el área a los alrededores del pozo AMF-2 podría estar siendo calentada todavía por la intrusión dacítica.
- d. En conclusión, la intrusión de magma dacítico cerca del pozo AMF-2 sucedió hace unos 6,000 años y podría delinear el domo dacítico conocido como Cerro Limón y El Durazno actuando como fuentes locales de calor.

### 4. Hidrogeología

El patrón de flujo del sistema hidrológico regional que controla el sistema del área de Amatitlán muestra un movimiento hacia el sur a través del graben de

Guatemala hasta que este alcanza la Caldera de Amatitlán. El sistema drena hacia el Océano Pacífico a través del cañón Palín-Michatoya al oeste y nordeste del área de estudio. Dentro del área de estudio, el patrón de flujo hidráulico es desde el sur, desde el volcán de Pacaya y Cerro Grande, hacia el lago de Amatitlán.

El flujo de agua superficial, aparentemente viaja a través de zonas dominadas por flujos de lava volcánica fracturados. Puesto que la mayoría de piroclastos encontrados en el área están sueltos y son altamente permeables, el contacto de estos estratos con el material subyacente puede servir también como un buen camino para el flujo de esta agua bajo la superficie. Estos sedimentos piroclásticos porosos pueden convertirse en zona de flujo y reservorio de fluidos geotérmicos pero en la mayoría de los casos parecen ser afectados por procesos de argilización y silicificación haciéndolos impermeables para el paso de los fluidos. En general, zonas fracturadas están relacionadas con fallas profundas de alta permeabilidad. Rocas tales como lava volcánica, rocas intrusivas, rocas del basamento, etc., son especialmente frágiles, haciéndolas susceptibles a fracturarse, formando entonces un camino preferencial para el flujo de los fluidos. De acuerdo con esto, el objetivo de la exploración superficial fue detectar zonas de falla en el área de estudio. Sin embargo, las fallas por si mismas parecen tender a la argilización y a convertirse en una barrera impermeable en dirección ortogonal al plano de falla. Esto explica el hecho común de encontrar altas presiones estáticas durante la perforación antes de encontrar fallas relacionadas con fluidos geotérmicos.

El agua superficial en el área de estudio fluye desde una zona relativamente de gran altitud en la parte norte al pie del volcán de Pacaya hacia el lago de Amatitlán. El agua bajo la superficie se infiltra a través del contacto entre las lavas del volcán de Pacaya y las de la caldera de Amatitlán y las rocas piroclásticas derivadas propiamente de la Caldera de Amatitlán.

La orilla de la caldera, con centro en el lago de Amatitlán, está formada por fallas normales. Estas fallas están cubiertas por capas delgadas de rocas volcánicas provenientes de la actividad combinada del volcán de Pacaya y la caldera de Amatitlán. Estas fallas no son inherentes al flujo de agua superficial, pero podrían posiblemente servir de paso para que el agua penetre a zonas más profundas. Mientras que en las partes más profundas del sistema, el fluido geotérmico en los alrededores de las fallas puede fácilmente encausarse en la dirección E-O, pero considerando la reducida permeabilidad ortogonal al plano de falla, el flujo puede ser restringido en la dirección N-S. En los alrededores del área entre la caldera de Los Humitos y la Laguna de Calderas, se detectaron pequeñas fallas con orientación N-S. Se considera que los fluidos geotérmicos fluyen a lo largo de estas fallas. Estas fallas son claramente reconocidas a partir de los rasgos topográficos y parece muy probable que restringido únicamente a esta área, ambas, el agua superficial y los fluidos geotérmicos profundos utilicen la misma ruta de flujo con dirección N-S. Este flujo lateral N-S fue identificado cuando se interpretaron los perfiles de temperatura obtenidos en el pozo AMF-3.

## 2.2.2 Investigación geoquímica

La investigación geoquímica es una ayuda para obtener información acerca del sistema hidrotermal en el área de estudio con el objeto de seleccionar los sitios de perforación de pozos exploratorios y para planificar el desarrollo geotérmico futuro. Para poder actualizar el modelo geoquímico desarrollado sobre la base de los resultados de los estudios geoquímicos efectuados con anterioridad, se realizó un muestreo y análisis complementarios de aguas de manantiales calientes y gases de fumarolas así como una revisión de la información geoquímica existente. Para obtener información acerca de la distribución de los fluidos geotérmicos en el área sin manifestaciones superficiales ni pozos, se llevó a cabo un estudio de Mercurio y Radón en los gases del suelo.

### 1. Investigación Hidrogeoquímica

#### a. Método de investigación

Para evaluar los datos químicos existentes y para obtener valores isotópicos adicionales, se realizó un muestreo y análisis complementarios de isótopos de azufre y carbono en aguas de manantiales calientes (6 muestras), aguas superficiales (6 muestras), y fumarolas y/o gases (3 muestras) dentro y en los alrededores del área de estudio. Los análisis químicos e isotópicos se efectuaron en Japón. La ubicación de las manifestaciones superficiales y de los pozos donde se tomaron las muestras durante el trabajo de campo, se muestran en la Fig. 2-2-6.

A las muestras recolectadas en el campo se les efectuaron los siguientes análisis.

① Agua caliente: Na, K, Li, Ca, Mg, Fe, Al, Cl, SO<sub>4</sub>, T-CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, F, B, Br, I, As, T-SiO<sub>2</sub>, Sr, H<sub>2</sub>S, Hg,  $\delta$  D(H<sub>2</sub>O),  $\delta$  <sup>18</sup>O(H<sub>2</sub>O),  $\delta$  <sup>18</sup>O(SO<sub>4</sub>),  $\delta$  <sup>34</sup>S(SO<sub>4</sub>),  $\delta$  <sup>13</sup>C(HCO<sub>3</sub>), Tr, TSD

② Agua superficial: TSD,  $\delta$  D(H<sub>2</sub>O),  $\delta$  <sup>18</sup>O(H<sub>2</sub>O), Tr

③ Gases: N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, O<sub>2</sub>, Ar, He, Ne, <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He, <sup>4</sup>He/<sup>20</sup>Ne,  $\delta$  <sup>13</sup>C(CO<sub>2</sub>),  $\delta$  <sup>13</sup>C(CH<sub>4</sub>),  $\delta$  D(H<sub>2</sub>),  $\delta$  D(CH<sub>4</sub>),  $\delta$  <sup>34</sup>S(H<sub>2</sub>S)

#### b. Resultados de la interpretación

Las características y el comportamiento de los sistemas hidrotermales dentro y alrededor del área de estudio, basadas en la interpretación de los resultados geoquímicos de este estudio se resumen a continuación. El modelo geoquímico del sistema hidrotermal basado en esta interpretación se muestra en la Fig. 2-2-7.

- El agua caliente de los reservorios confirmada con los pozos exploratorios profundos AMF-1 y AMF-2 en el área de Calderas se considera derivada de un fluido original caliente de 300-340°C originado a partir de agua meteórica con algo de fluido magmático, el cual se almacena al sur del pozo AMF-2. El agua caliente en este sector fluye principalmente con dirección nordeste, con separación de vapor y asciende parcialmente a niveles superficiales produciendo fluidos fumarólicos.

- El agua caliente fluye lateralmente con direcciones norte y nordeste, diluyéndose con agua fría superficial y finalmente alcanza la orilla sur del Lago de Amatitlán, produciendo los acuíferos calientes del tipo Cl o Cl-HCO<sub>3</sub>. El agua caliente que alcanza la rivera sur del lago al noroeste del pozo exploratorio de diámetro reducido AM-1 es probablemente recalentada en el área cercana a la rivera del lago. Las temperaturas máximas del agua caliente cerca de la rivera del lago se estiman en 250°C al nivel más profundo y en 200°C en los niveles someros respectivamente.
- El agua caliente de Calderas también alcanza la orilla este del valle del Río Michatoya. El flujo de agua caliente se considera relativamente alto y bastante diluido. El agua caliente se expande en los alrededores del área S y NE del Río Michatoya y se mezcla con agua subterránea somera, produciendo acuíferos calientes del tipo Cl-HCO<sub>3</sub> o HCO<sub>3</sub> con una temperatura máxima de aproximadamente 140°C.
- Otro sistema de fluidos calientes, además del de Calderas, se presenta en un área alrededor del pozo AM-5. El agua caliente en este sistema se origina a partir de aguas meteóricas principalmente desde el lado noroeste, y es relativamente pobre en Cl. La temperatura de esta agua a niveles profundos se estima en aproximadamente 210°C. El agua caliente se esparce superficialmente en el área NO del Río Michatoya.
- El reservorio de agua caliente en Calderas se considera que tiene alguna extensión en su escala, puesto que el agua parece estar en equilibrio químico dentro del reservorio. Si existieran zonas permeables en los alrededores del pozo AMF-2 hacia el oeste, dentro del área de estudio, el reservorio de agua caliente podría extenderse a lo largo de estas zonas.

## 2. Estudio de gases en suelo

### a. Método de estudio

La concentración de gases de Mercurio y Radón en los gases del suelo se midió en el campo dentro y en los alrededores del área de estudio. La distribución de zonas de anomalía fue afinada por medio de análisis estadístico y se elaboraron mapas de contornos. Los resultados del estudio de gases en el suelo fueron interpretados considerando la información obtenida en el estudio geoquímico de los fluidos.

Para medir la concentración de Hg y Rn en los gases del suelo, se perforaron dos agujeros para muestreo (5cm de diámetro, 60cm de profundidad), uno para cada elemento, en cada estación de muestreo. El Mercurio se midió por medio de un detector portátil de Hg (PM-1A; Nippon Instruments Co.), y el Radón se midió con un detector portátil de Rn (RD-200; EDA Instruments Inc.).

### b. Resultados de la interpretación

A partir de la distribución de las concentraciones de Hg y Rn total en los gases del suelo, el área de ascenso de los fluidos calientes y la estructura bajo la superficie que controla los fluidos calientes en el área de estudio

inferida se describe a continuación. El mapa de las zonas permeables sobre la base del estudio de gases en el suelo se muestra en la Fig. 2-2-8.

- A lo largo de la pared norte de la caldera de Calderas, existe una zona permeable acompañada de actividad hidrotermal; fluidos calientes ascienden a niveles someros al oeste de Calderas y alrededor del Cerro Hoja de Queso. La zona permeable en la zona oeste de Calderas se alarga en dirección NE-SO, alcanzando el sur de El Cedro y sugiriendo que el reservorio geotérmico confirmado por los pozos AMF-1 y AMF-2 se extiende hacia el sudoeste.
- El área alrededor de El Cedro, moderadamente alta en Hg, que se alarga hacia el noroeste parece tener una relación con el flujo de agua caliente desde Calderas hacia el valle del Río Michatoya, inferido a partir de estudio de geoquímica de los fluidos.
- Zonas permeables existen desde los alrededores del Cerro Hoja de Queso hacia el noroeste y hacia el norte, donde los fluidos calientes migran lateralmente a niveles someros. En esta área, la actividad hidrotermal declina en las áreas hacia el norte y noroeste, y no se considera que exista un ascenso directo de fluidos calientes desde niveles profundos.
- Desde el norte del Cerro Hoja de Queso hacia el oeste del Cerro Grande, existe una zona permeable la cual muestra una tendencia N-S y NE-SO. A pesar de que la actividad hidrotermal a lo largo de esta zona no está confirmada, existe la posibilidad de que fluidos calientes profundos, calentados en los alrededores del Cerro Grande y/o Volcán de Pacaya fluyan hacia el norte.

### **2.2.3 Estudios Gravimétricos y Magnéticos**

Los estudios gravimétricos y magnéticos son métodos de prospección geofísica muy utilizados para determinar la forma y profundidad de las estructuras geológicas bajo la superficie terrestre. Dichos métodos se aplican respectivamente para interpretar las anomalías gravimétricas provocadas por las variaciones en la densidad bajo la superficie y para interpretar las anomalías magnéticas causadas por la variación de las propiedades magnéticas de los materiales (rocas) bajo la superficie.

#### **1. Contenido del estudio**

204 estaciones fueron medidas para el estudio magnético y gravimétrico. Para las medidas gravimétricas se utilizó un gravímetro LaCoste G-579 de fabricación Americana, fabricado por LaCoste & Romberg. Los valores gravimétricos se generaron después de aplicar, a las lecturas convertidas a miligals, las correcciones por marea, por altura del instrumento y por deriva. Para el estudio magnético se utilizó un magnetómetro de protones A G-866y un magnetómetro de protones portátil G-856 de fabricación Americana, fabricado por EG&G Geometrics. La ubicación y elevación de las estaciones se determinaron por medio de un GPS fijo. Un medidor GPS 4000ST y uno

4600LS GPS de fabricación Americana, fabricados por Trimble, fueron utilizados.

Para el método gravimétrico, las anomalías de Bouguer se calcularon restándoles la corrección por aire libre, corrección por el terreno, corrección de Bouguer y corrección atmosférica a los datos gravimétricos medidos. Para el método magnético l

os valores residuales IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) se calcularon restando las variaciones diurnas y las correcciones magnéticas estándar de campo. Mapas filtrados y modelos bidimensionales se desarrollaron a partir de las anomalías de Bouguer y los residuales IGRF.

## 2. Resultados de la interpretación

### a. Método gravimétrico

La Fig. 2-2-9 muestra los resultados de gravedad. La anomalía de Bouguer decrece de sur a norte. Muchos lineamientos, los cuales parecen reflejar las estructuras bajo la superficie, se reconocen a partir del mapa de anomalías de Bouguer, el mapa de gravedad residual, el mapa de la segunda derivada (anomalía residual) y el mapa de gradiente de gravedad. Estos elementos serán denominados “lineamientos gravimétricos” de aquí en adelante.

Las anomalías de Bouguer varían desde  $-48.2$  mgal al norte hasta  $-10.4$  mgal al sur del área de estudio. El área de estudio está formada de dos partes: la parte norte, la cual corresponde a las anomalías de baja gravedad del área de Amatitlan y la parte sur correspondiente al área del Volcan de Pacaya con anomalías de alta gravedad. El área de Amatitlán con anomalías de baja gravedad se considera que refleja la estructura de la caldera. El contorno de la anomalía de Bouguer de  $-35$  mgal corresponde a la parte sur de la orilla de la caldera. De acuerdo con los resultados del modelado de secciones de gravedad, el basamento gravimétrico se hunde más de 500 m al norte de la orilla de la caldera. Aquí se encontró que sedimentos de baja densidad sobreyacen el fondo de la caldera. En el borde sur de la caldera, la anomalía de alta gravedad del Volcán de Pacaya refleja levantamiento del basamento (denominado “levantamiento del basamento del Volcán de Pacaya” en este informe) el cual se extiende en dirección N-S. En el pozo AMF-1 localizado sobre este levantamiento del basamento se encontró basamento granítico a una elevación de aproximadamente 300 m, mostrando la evidencia del basamento superficial. El basamento gravimétrico en esta área se inclina hacia el norte. Una cuenca se estima al sur de la Laguna de Calderas dentro de este levantamiento del basamento.

A ambos lados, este y oeste, de la extensión del levantamiento del basamento del Volcán de Pacaya, las anomalías de Bouguer cambian rápidamente y es aquí donde aparece el lineamiento gravimétrico. El lineamiento gravimétrico al oeste del levantamiento del basamento se extiende en dirección N-S en la parte norte al final y en dirección NE-SO desde El Pepinal hacia el sudoeste del pozo AMF-2. Este lineamiento gravimétrico se divide en dos ramas desde el sudoeste del pozo AMF-2

hacia el sudoeste y hacia el sur. En la dirección sur es más claro que en la dirección sudoeste. El lineamiento gravimétrico al este del levantamiento del basamento se extiende en dirección N-S al norte del lineamiento, y en dirección NE-SW al este de la Laguna de Calderas, en dirección NW-SE a 1.5 km al norte de Cerro Grande y en dirección N-S al sur de este lineamiento.

Una cuenca a 1 – km de distancia se reconoce en el lado oeste de El Cedro. Esta, se encuentra rodeada por un levantamiento del basamento por lo que se estima que es un cráter enterrado.

El lineamiento gravimétrico al oeste del levantamiento del basamento del Volcán de Pacaya se considera que refleja una zona permeable y que es una zona muy promisoría para perforaciones durante el desarrollo geotérmico. El hecho de que los pozos AMF-1, AMF-2 y AMF-3 se localicen a lo largo de este lineamiento gravimétrico, es la razón para que los pozos AMF-1 y AMF-2 resultaran productores de fluidos geotérmicos y que el pozo AMF-3 muestre una pérdida de circulación a gran escala en profundidad.

#### b. Método magnético

El mapa de la interpretación magnética se muestra en la Fig. 2-2-10. Este mapa muestra discontinuidades magnéticas, las cuales se obtuvieron a partir del análisis de los resultados magnéticos. Los cuerpos con anomalía magnética se obtuvieron a partir de un análisis del modelo magnético bidimensional. A continuación se describe la estructura magnética, considerando la estructura gravimétrica.

En esta área de estudio la intensidad total del campo magnético varía desde 39,600 nT entre la cima y el flanco sudeste del Cerro Grande a 37,800 nT, 1 km al este de la Laguna de Calderas. La mayoría de las discontinuidades magnéticas corren en dirección NE-SO. En la parte central del área de estudio, una anomalía magnética baja se extiende en dirección N-S, la cual corresponde con el levantamiento del basamento gravimétrico. Esta anomalía magnética baja se considera que resulta del hecho de que la susceptibilidad de los granitos es relativamente más baja que otras rocas en esta área, y que el límite superior del granito se encuentra relativamente somero. Particularmente, una anomalía magnética baja indica valores bajos en San Francisco de Sales y Laguna de Calderas, donde se estima existe una cuenca gravimétrica y la cual se considera que está en conexión con una capa de baja densidad cerca de la superficie. Una alteración hidrotermal se observa cerca del pozo AMF-1. Se considera que una anomalía magnética baja refleja el decaimiento de la intensidad magnética en la capa de baja densidad debido a la alteración hidrotermal.

La discontinuidad magnética, localizada al oeste de la anomalía magnética baja de Laguna de Calderas, corresponde con los lineamientos gravimétricos. Esta discontinuidad magnética se considera que refleja una zona de alta permeabilidad y es una zona muy promisoría para perforar durante el desarrollo geotérmico. Debido a que los pozos AMF-1, AMF-2 y AMF-3 se localizan a lo largo de este lineamiento magnético, es la razón para que los pozos AMF-1 y AMF-2 resultaran productores de fluidos

geotérmicos y que el pozo AMF-3 muestre una pérdida de circulación a gran escala en profundidad.

Una anomalía magnética alta se extiende desde el norte de Cerro Grande hacia el nordeste y corresponde con la distribución superficial de las rocas volcánicas del Pacaya. Una anomalía magnética baja, 1 km al sudoeste de El Cedro se correlaciona con la cuenca gravimétrica donde una distribución de baja densidad y baja susceptibilidad magnética fue encontrada.

#### **2.2.4 Estudio Magnetotelúrico**

El objetivo del estudio magnetotelúrico (MT) con una configuración densa de estaciones, es el de delinear áreas promisorias para el desarrollo geotérmico estudiando detalladamente la distribución de la resistividad bajo la superficie derivada de los resultados del estudio magnetotelúrico. En particular, delinear la ubicación de sistemas de fracturas, las cuales normalmente indican discontinuidades resistivas, alrededor de los pozos AMF-1, AMF-2 y la pared de la caldera y delinear las zonas de capa sello, las cuales normalmente presentan zonas de baja resistividad, son importantes en la selección de futuros blancos de perforación.

##### **1. Contenido del estudio**

Método de estudio: Estudio magnetotelúrico de referencia remota

Área de estudio: Aproximadamente 21km<sup>2</sup>

Numero de estaciones: 61 estaciones

Adquisición de señales electromagnéticas:

3 componentes de señales magnéticas (Hx, Hy, Hz)

2 componentes de señales eléctricas (Ex, Ey)

Frecuencias : 384Hz ~ 0.00055Hz

( Valores de resistividad aparente y valores de fase a 40 frecuencias las cuales varía desde 384Hz hasta 0.00055Hz fueron calculados. )

##### **2. Discontinuidades resistivas**

La discontinuidad resistiva es una estructura, la cual muestra un gran cambio en resistividad y/o resistividad aparente lateralmente. Si cada una de las estructuras se encuentran distribuidas a lo largo de una línea continua, un sistema de fallas y/o sistema de fracturas se espera se localice a lo largo de estas estructuras de discontinuidad. En general, los fluidos geotérmicos se encuentran atrapados dentro y en los alrededores de un sistema de fallas / fracturas, entonces, determinar las discontinuidades resistivas es importante en el estudio de la estructura geotérmica en el área de estudio. En el área de estudio de Amatitlán, las discontinuidades resistivas F1, F2, F3, F4, y F5 se reconocen con base en los resultados del estudio.

El mapa de localización de las discontinuidades resistivas se muestra en la Fig.2-2-11.

a. Discontinuidad resistiva F1

La discontinuidad resistiva F1 se extiende desde el área de la estación 40 hasta el área de la estación 7 pasando a lo largo del extremo sur de la Laguna de Calderas aproximadamente en una dirección ENE-OSO.

La porción nordeste de la discontinuidad F1 se reconoce únicamente en la profundidad del mapa de la cima del basamento resistivo y en el mapa de resistividad a una profundidad de 500m, sin embargo, la discontinuidad no se reconoce en el mapa a una profundidad de 1500m ni en el de 3000m el cual muestra la estructura resistiva profunda. Entonces, la porción nordeste de F1 probablemente existe únicamente en profundidades someras, no así a grandes profundidades.

Por otro lado, puesto que la porción sudoeste de la discontinuidad resistiva F1 se reconoce en el mapa de resistividad a una profundidad de 1500m y 3000m y los mapas de secciones de resistividad (secciones ①~⑥), la parte sudoeste de F1 probablemente refleja un sistema de fracturas desarrollado en la zona profunda.

La estructura levantada de la zona de resistividad en profundidad se reconoce claramente a lo largo y al norte de la discontinuidad F1. Y la zona de baja resistividad, la cual probablemente refleja una zona alterada hidrotermalmente, se reconoce claramente en la zona de resistividad en profundidad. Por lo tanto, F1 se considera que es un sistema de fracturas el cual controla los fluidos geotérmicos en profundidad.

b. Discontinuidad Resistiva F2

La discontinuidad Resistiva F2 corre desde el norte del Cerro Chino hasta el área entre las estaciones 9 y 10 aproximadamente en una dirección NNO-SSE.

La discontinuidad F2 se reconoce en el mapa de resistividad aparente (1.125Hz), en el mapa de resistividad de capas de baja resistividad, en el mapa a la profundidad de lo alto del basamento resistivo y en el mapa de resistividad a una profundidad de 500m, pero no se reconoce en los mapas de resistividad mostrando estructuras resistivas en la zona profunda. Por lo tanto, la discontinuidad F2 parece haberse desarrollado únicamente en la zona somera.

La zona de baja resistividad que muestra menos de 5ohm-m no se reconoce en el área al oeste de la discontinuidad F2.

c. Discontinuidad Resistiva F3

La discontinuidad Resistiva F3 corre desde el área entre las estaciones 2 y 6 hasta el área sobre la estación 5 aproximadamente con una dirección E-O.

La discontinuidad F3 se reconoce en el mapa de capas de baja resistividad y en el mapa a la profundidad del basamento resistivo, pero no se reconoce a partir de los resultados del modelo en dos dimensiones (mapas de resistividad y secciones de resistividad). Entonces, se requiere un estudio

más detallado para determinar si existe o no un sistema de fracturas a lo largo de esta discontinuidad.

d. Discontinuidad Resistiva F4

La discontinuidad resistiva F4 corre desde el oeste de El Cedro hasta el área de la estación 6, aproximadamente en una dirección ENE-OSO.

Puesto que la discontinuidad resistiva F4 se reconoce claramente en el mapa de resistividad a una profundidad de 1500m, en el de 3000m de profundidad, el cual muestra una estructura resistiva en la zona profunda y en las secciones resistivas (④ ~ ⑥), la discontinuidad resistiva F4 probablemente refleja un sistema de fracturas desarrollado en la zona profunda. Esta discontinuidad corre casi paralela a la discontinuidad F1 y la estructura levantada de la zona resistiva en profundidad se reconoce claramente entre las discontinuidades F1 y F4. Además, la zona de baja resistividad se distribuye en y sobre esta estructura levantada. Por lo tanto, la discontinuidad F4 probablemente refleja un sistema de fracturas, el cual controla los fluidos geotérmicos en profundidad tal como se asume para la F1.

e. Discontinuidad Resistiva F5

La discontinuidad resistiva F5 corre desde el área de la estación 5 hasta el área de la estación 48, pasando a través del límite este de la Laguna de Calderas aproximadamente en una dirección ESE-ONO.

Puesto que la discontinuidad resistiva F5 se reconoce claramente en el mapa de resistividad a una profundidad de 1500m y en el de 3000m el cual muestra una estructura resistiva en la zona profunda y en las secciones resistivas (⑨ ~ ⑩), esta discontinuidad resistiva (F5) se supone que refleja un sistema de fracturas desarrollado en la zona profunda. Sin embargo, las zonas de baja resistividad no se encuentran distribuidas y las manifestaciones geotérmicas no se reconocen en los alrededores de la discontinuidad F5 en el este del área de estudio. Por lo tanto, parece que no hay actividad geotérmica en los alrededores de la discontinuidad F5 en el este del área de estudio.

### 3. Consideraciones sobre los resultados del Estudio Magnetotelúrico

a. Estructura Resistiva a Niveles Someros en el Área de Estudio

La Fig.2-2-12 muestra las discontinuidades resistivas (F1~F5) junto con zonas de baja resistividad, menores de 6 ohm-m obtenidas a partir del mapa de capas de baja resistividad. Las zonas de baja resistividad en este mapa muestran una estructura resistiva relativamente somera en un rango aproximado entre los 200m y los 700m de profundidad.

En este mapa, una zona de baja resistividad con menos de 6 ohm-m se distribuye aproximadamente a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4 excluyendo el área alrededor de la Laguna de Calderas. Puesto que algunas manifestaciones termales tales como fumarolas y zonas de alteración se reconocen en superficie en la zona de baja resistividad, incluyendo la localización del pozo AMF-2 y El Cedro, esta zona de baja

resistividad se considera que refleja una zona de alteración hidrotermal relativamente somera. Específicamente, se considera que los fluidos geotérmicos vienen desde un área en profundidad a lo largo de zonas de fractura alrededor o debajo de la zona de baja resistividad formada en la zona relativamente somera alterada hidrotermalmente. El área alrededor de Laguna de Calderas parece estar afectada por agua fría que penetra en la estructura de la caldera, entonces el área es una zona de alta resistividad.

Puesto que no hay zonas de baja resistividad distribuidas en el este del área de estudio, pareciera no haber ningún sistema geotérmico que contenga grandes cantidades de fluidos de alta temperatura en el este del área de estudio.

#### b. Estructura resistiva a grandes profundidades en el Área de Estudio

La Fig.2-2-13 muestra las discontinuidades resistivas (F1~F5) junto con zonas de baja resistividad, mayores de 20 ohm-m obtenidas a partir del mapa de resistividades a 1500m de profundidad. Considerando las distribuciones de resistividad en cada sección, las zonas resistivas en este mapa parecen reflejar una estructura levantada de la zona resistiva en profundidad.

En este mapa, una zona resistiva está claramente distribuida en la parte central, en la parte nordeste y en la parte este del área de estudio. Y la estructura levantada de la zona resistiva en profundidad pareciera estar distribuida y rodeada por las discontinuidades F1, F4 y F5. En particular, una zona de alta resistividad se reconoce claramente en el área entre la parte sudoeste de la discontinuidad F1 (al sur de la Laguna de Calderas) y la discontinuidad F4. Por lo tanto, una estructura levantada de la zona resistiva en profundidad se considera que existe entre F1 y F4.

Aun más, la estructura resistiva en la zona somera descrita anteriormente, indica una zona muy marcada de baja resistividad, que probablemente refleje una zona de alteración hidrotermal y la cual se distribuye en o sobre la estructura levantada entre F1 y F4. Además, los pozos AMF-1 y AMF-2 los cuales fueron perforados con éxito para producir fluidos geotérmicos se localizan entre las discontinuidades F1 y F4. Entonces, es altamente probable que el sistema de fracturas se encuentre bien desarrollado a lo largo de y entre las discontinuidades F1 y F4 y que los fluidos geotérmicos en la zona profunda fluyan a lo largo de estos sistemas de fracturas.

#### c. Resumen de los resultados del estudio

Cinco discontinuidades resistivas (F1~F5) se obtuvieron a partir de los resultados del estudio magnetotelúrico. En particular, una zona muy marcada de baja resistividad, la cual puede reflejar una zona hidrotermalmente alterada se distribuye a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4. Y los pozos (AMF-1, AMF-2) que fueron perforados con éxito para producir fluidos geotérmicos se localizan entre las discontinuidades F1 y F4. Entonces, sistemas de fracturas en la parte profunda están probablemente desarrollados a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4.

Con base en estos resultados, consideramos que el fluido geotérmico en

profundidad fluye a lo largo de sistemas de fractura los cuales se localizan a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4, y algunos de los fluidos geotérmicos atrapados en la zona relativamente somera parecen formar una zona alterada hidrotermalmente a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4.

En conclusión, el área a lo largo de la parte sudoeste de la discontinuidad F1 (al sudoeste de la Laguna de Calderas) y el área a lo largo de la discontinuidad F4 pueden recomendarse como zonas promisorias para futuros blancos de perforación.

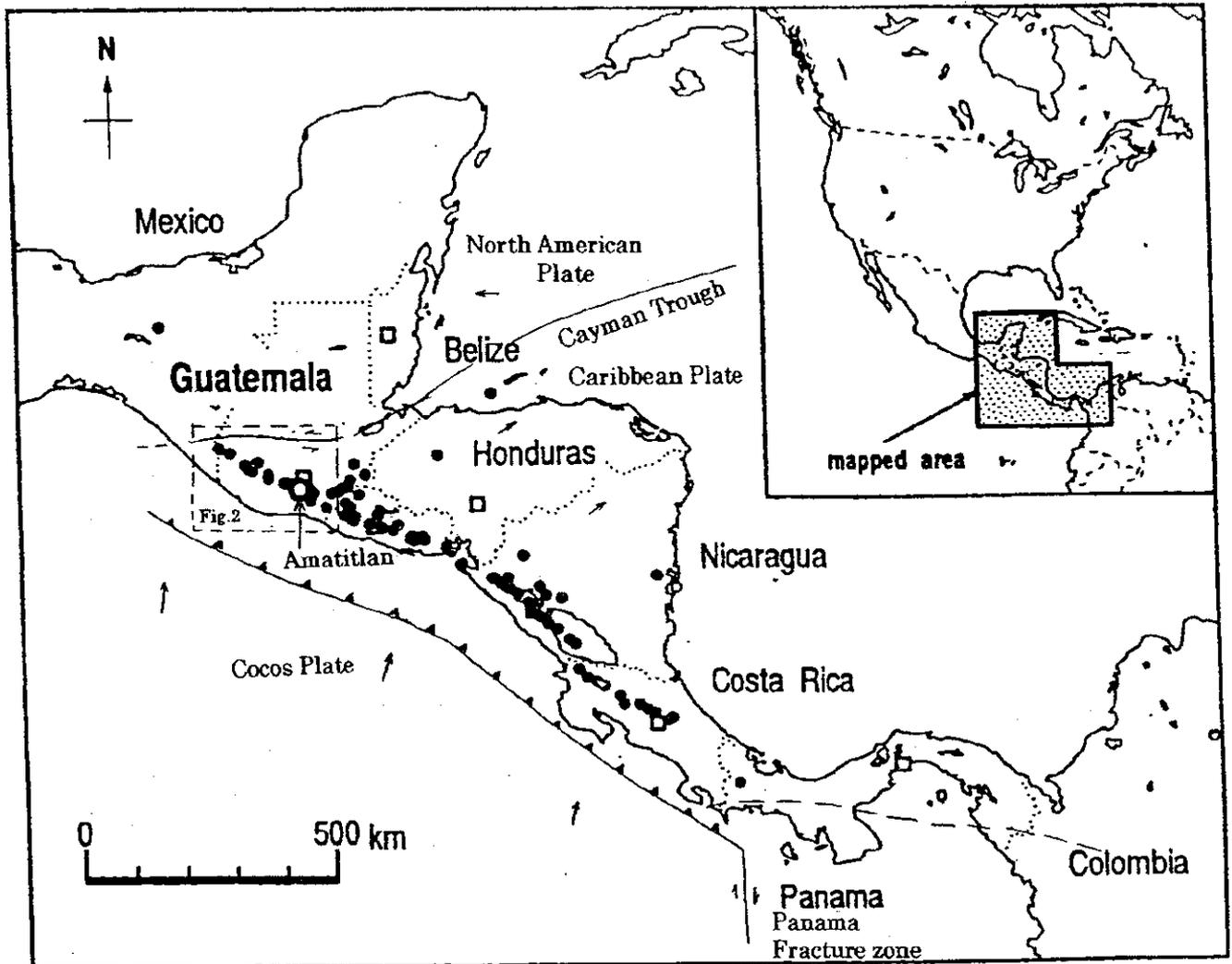


Fig. 2-2-1 中央アメリカの火山列

Volcanic chain in Central America

Solid circle shows volcano active in Holocene (Simkin et al, 1981), and open square show capital. Pacaya Volcano, show in open circle, is located in the north of the volcanic chain. (Modified with S. Kitamura and O. Matis, 1995 and Molnar and Lynn R, 1969)

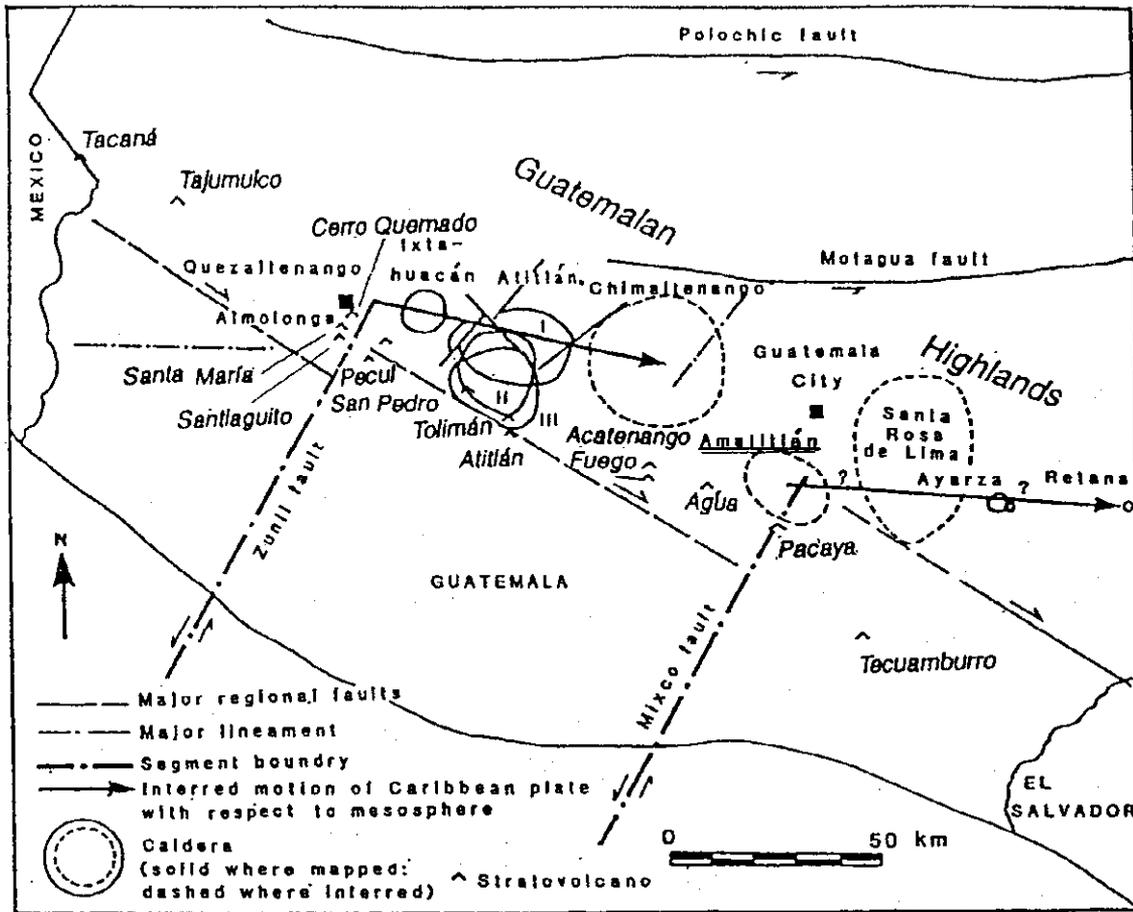


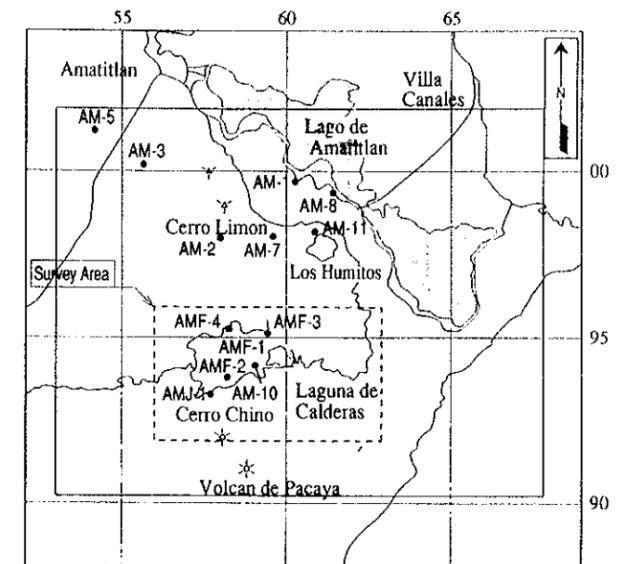
Fig. 2-2-2 広域地質構造図

### Regional tectonic map

Apparent migration of loci of caldera formation toward the WNW and SSW. Apparent WNW trend is interpreted as a track of calderas formed above present location of V. Almolonga, astride the Zunil fault. Apparent SSW trend is interpreted as generation of successive calderas at intersection of a proto-Zunil fault (now beneath the Atitlán complex) and the volcanic front, as the volcanic front "migrated" trenchward. All migration is interpreted as a consequence of ESE movement of the Caribbean plate relative to the subduction zone and mesosphere at a rate of 0.4cm/yr.

(Modified with C.G Newhall, 1987 and Vallance et al, 1995)

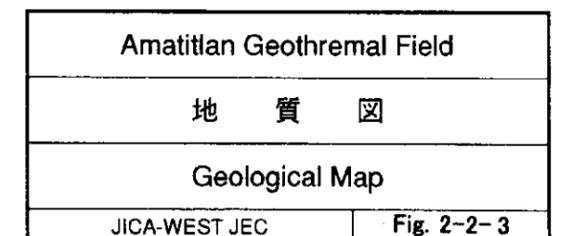


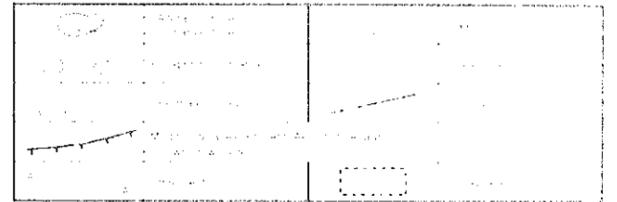
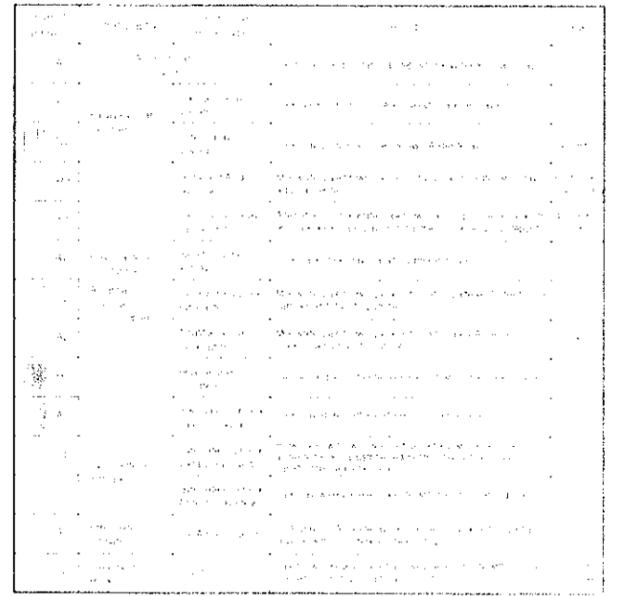
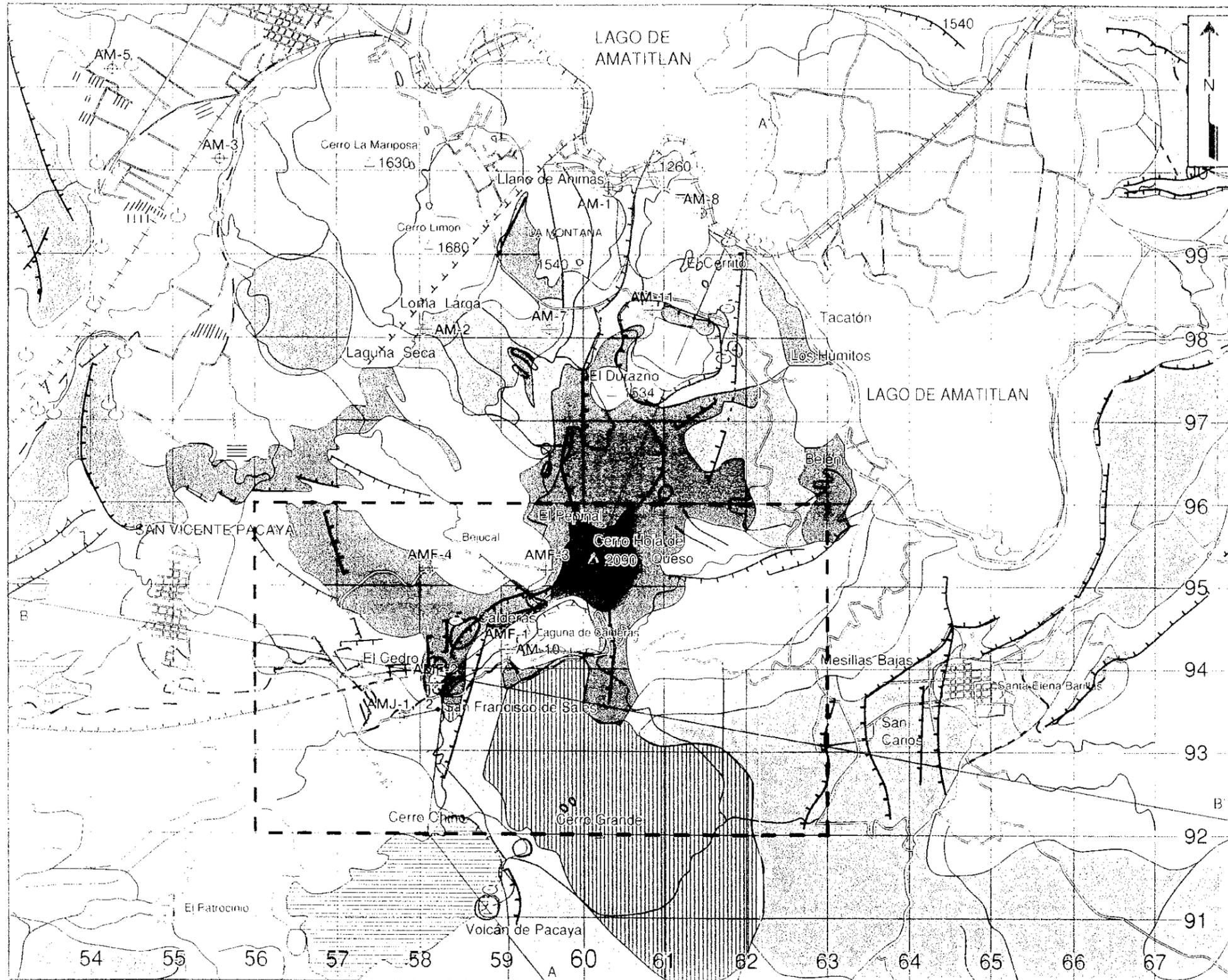


Legend abbrev.	Stratigraphy	Formation and Rock Type	Description	Age
AC	Alluvium and Colluvium	Alluvium and Colluvium	Sand, gravel and Volcanic fall deposit, mainly black volcanic Lapil	
Pv	Pacaya Volcanic Complex	Younger Pacaya Volcanics	Dark Black, porous, spongy basaltic Lapil and lava	
Op	Pacaya Volcanic Complex	Older Pacaya Volcanics	Dark gray, porous, spongy basic Andesite lava	4-8Ka
Rd		Dome and Acidic lava flow	Mil-white-pale brown, porous, Ptholite and Dactil, with gray, acidic andesite	61±0.8Ka 0.08-0.11Ma
Sl		San Vicente Pacaya Fall deposits	Alternations of mil-white-pale brown, porous pumice fall deposits and dark black-dark gray, m-h hardness, spongy fall deposits	40-90Ka 0.15Ma
Bt	Post-Caldera formation	Basaltic scoria and lava	Dark black-dark gray, basaltic scoria and lava	
Lp	Amatitlan Volcanic Complex	Los Humitos Volcanic Pyroclastics	Mil-white-pale brown, pyroclastics, strong altered Andesite rock particles and rhyolitic pumice	
Ap	Amatitlan Volcanic Complex	Amatitlan Volcanic Pyroclastics	Mil-white-pale brown, pyroclastics with, rarely Andesite blocks, mainly rhyolitic pumice	55Ma
Hv		Hoja de Ouseo Volcanics	Reddish purple, andesite lava, Pz sch with small dark, minerals	
Av		(Post Caldera Formation) Ancestral Volcanics	Dark gray-grey, partially altered Pz andesite lava	1.06Ma
Cp	Syn-Caldera formation	(Syn-Caldera Formation) Volcanic Pyroclastics	Brown-yellow-brown, pyroclastics partially with weathered andesite block, Lacustrine sediments (clay-silt) and rarely basaltic spongy fall deposits	
Cl		(Syn-Caldera Formation) Andesite Lava flow	Dark gray, weakly altered Andesite, with medium-course grained Pz	
Ag	Pre-Caldera formation	Pre-Agua Volcanics	Dark gray, Pz Andesite lava and Andesite Pyroclastics, partially covered with silica deposits near hot spring	
Gr	Basement Rocks	Granites	Pale brown, weakly altered and weathered Granite with, coarse grained Pz and Cr (partially Pegmatite)	14.1±0.8Ma 15.2±0.8Ma

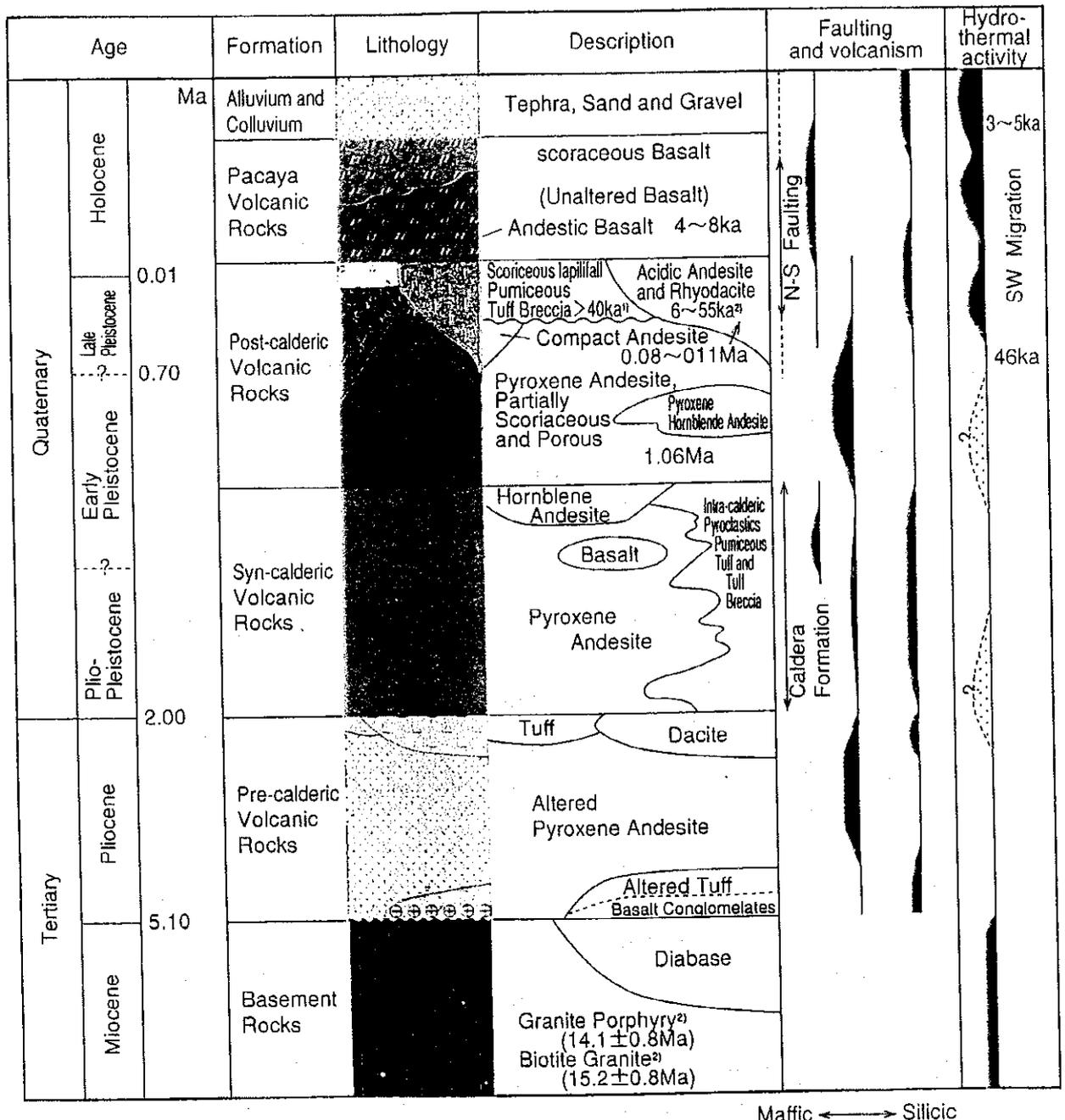
Pz : Plagioclase Cr : Quartz Px : Pyroxene

	Alteration zones, Fumarole zones		Crater
	Hot springs, Fumaroles		Phreatic Centre
	(Estimated) Fault		Lineament
	Morphological escarpment (Aerophoto Analysis)		Downthrown side
	Cross section		Survey area





Amatitlan Geothermal Field  
地質図  
Geological Map  
JICA WEST JEC Fig. 2-2-3



Reference

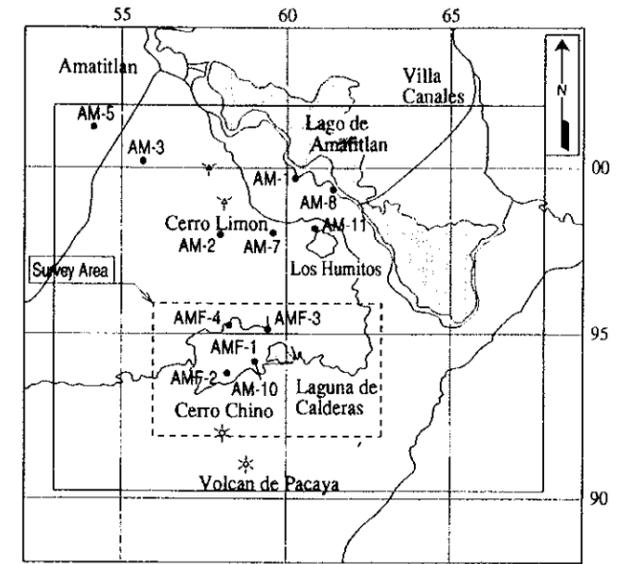
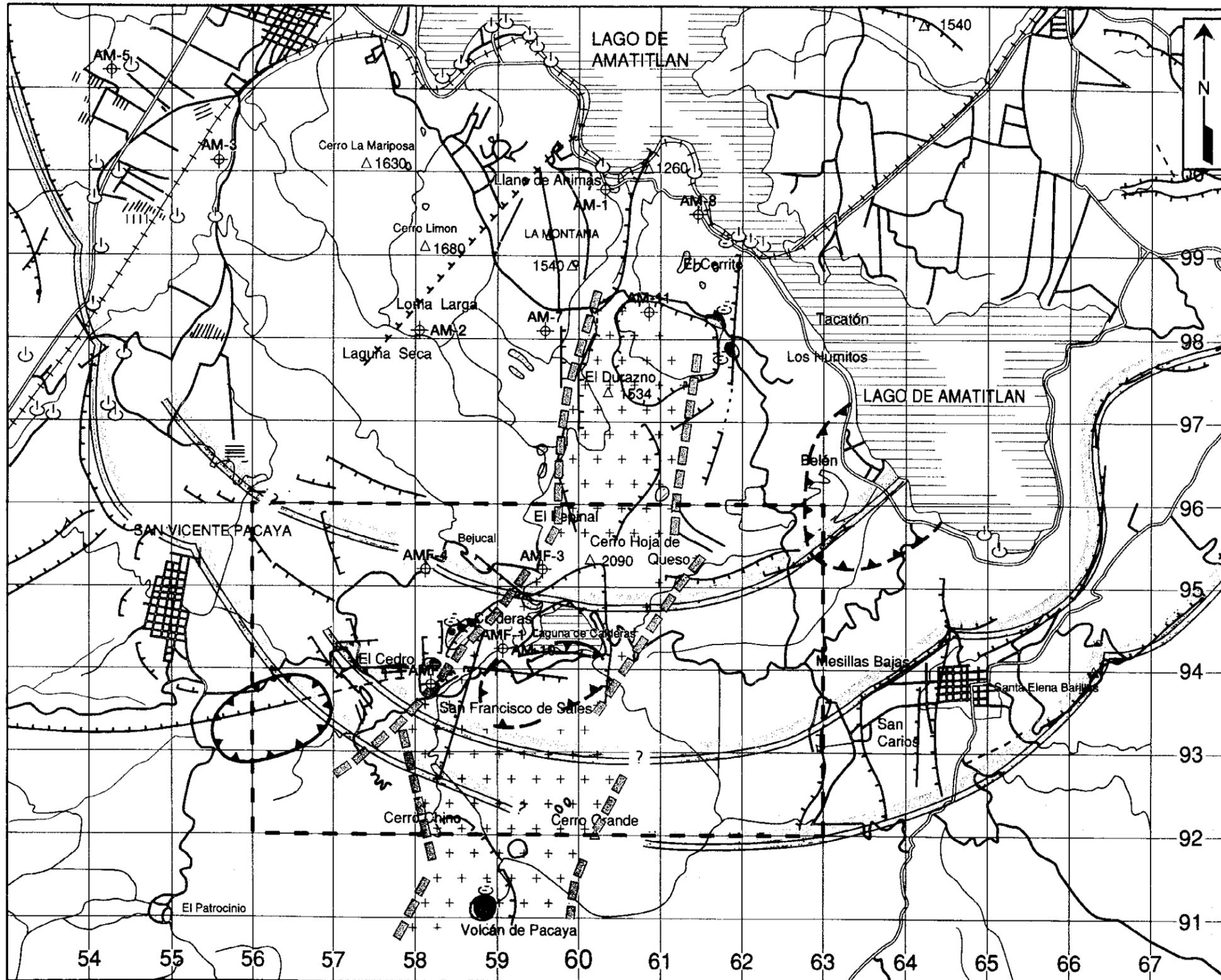
1) Koch and Mclean, 1975

2) West JEC and Telectro, 1994 and this report

Fig. 2-2-4 アマティラン地熱地域の地質層序

Stratigraphy of the Amatitlan geothermal field

[The page contains extremely faint and illegible text, likely due to low contrast or scanning quality. No specific content can be transcribed.]



**Legend**

- Estimated uplift obtained from gravity survey
- Estimated basin obtained from gravity survey
- Caldera Wall

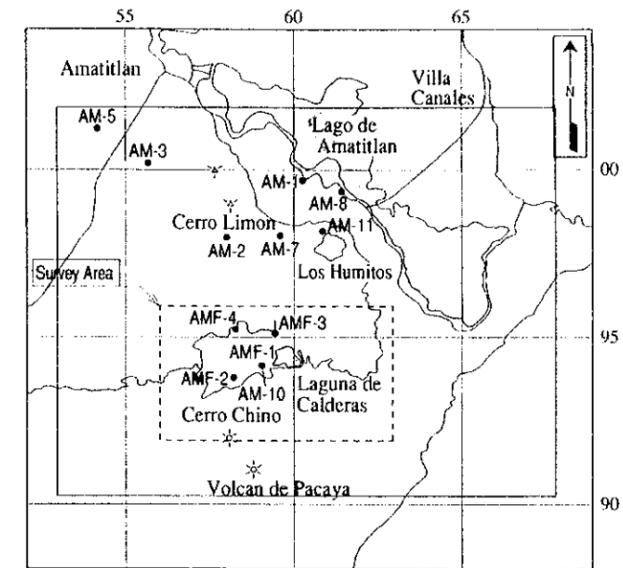
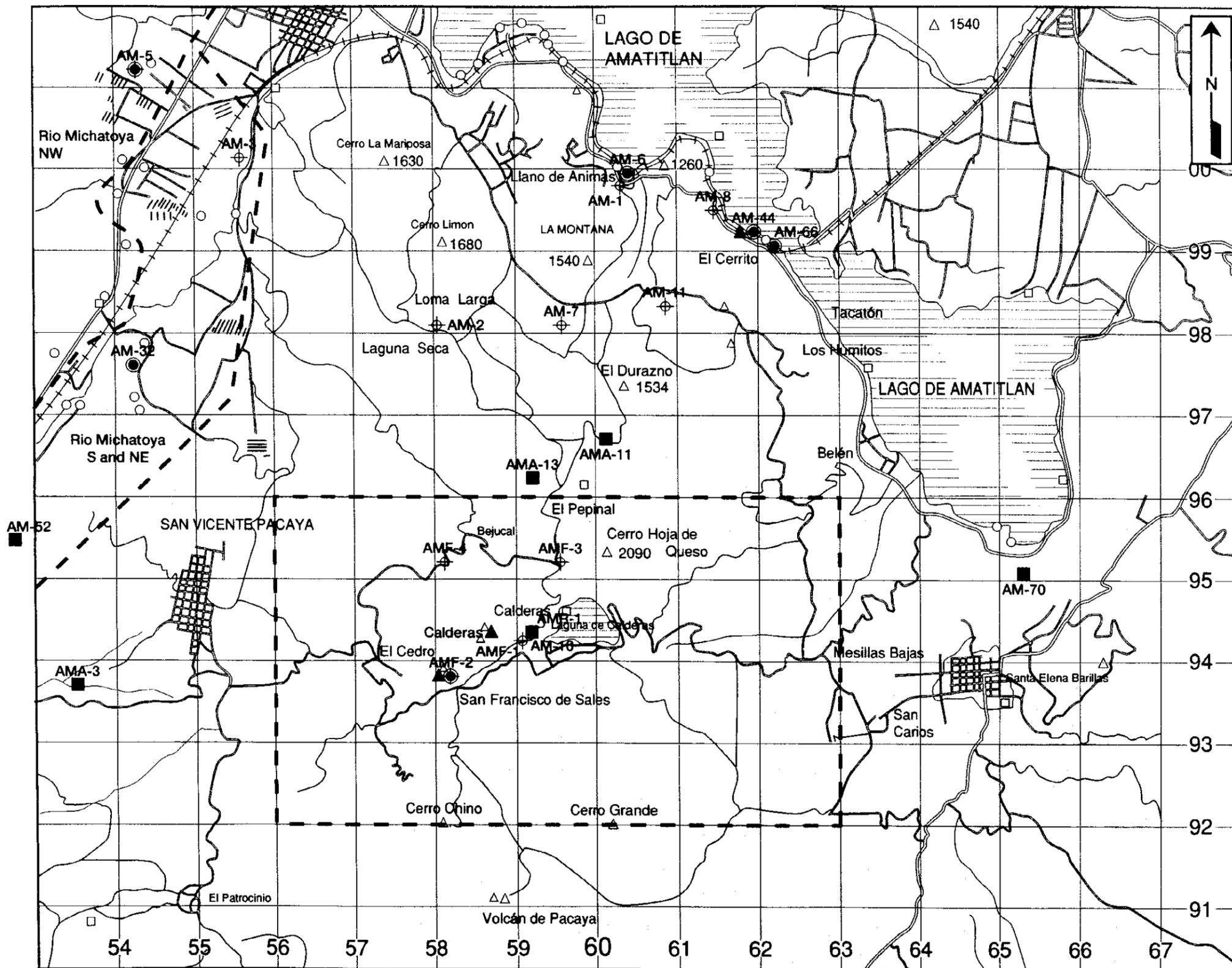
	Alteration zones, Fumarole zones		Crater
	Hot springs, Fumaroles		Phreatic Centre
	(Estimated) Fault		Lineament
	Cross section		Survey area

Amatitlan Geothermal Development Project

地質構造図

Geological Structure

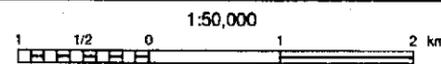
JICA-WEST JEC Fig. 2-2-5

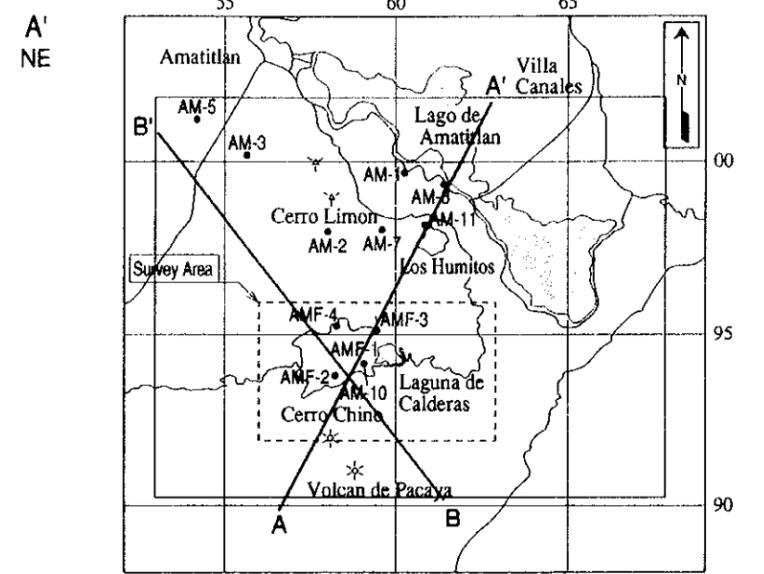
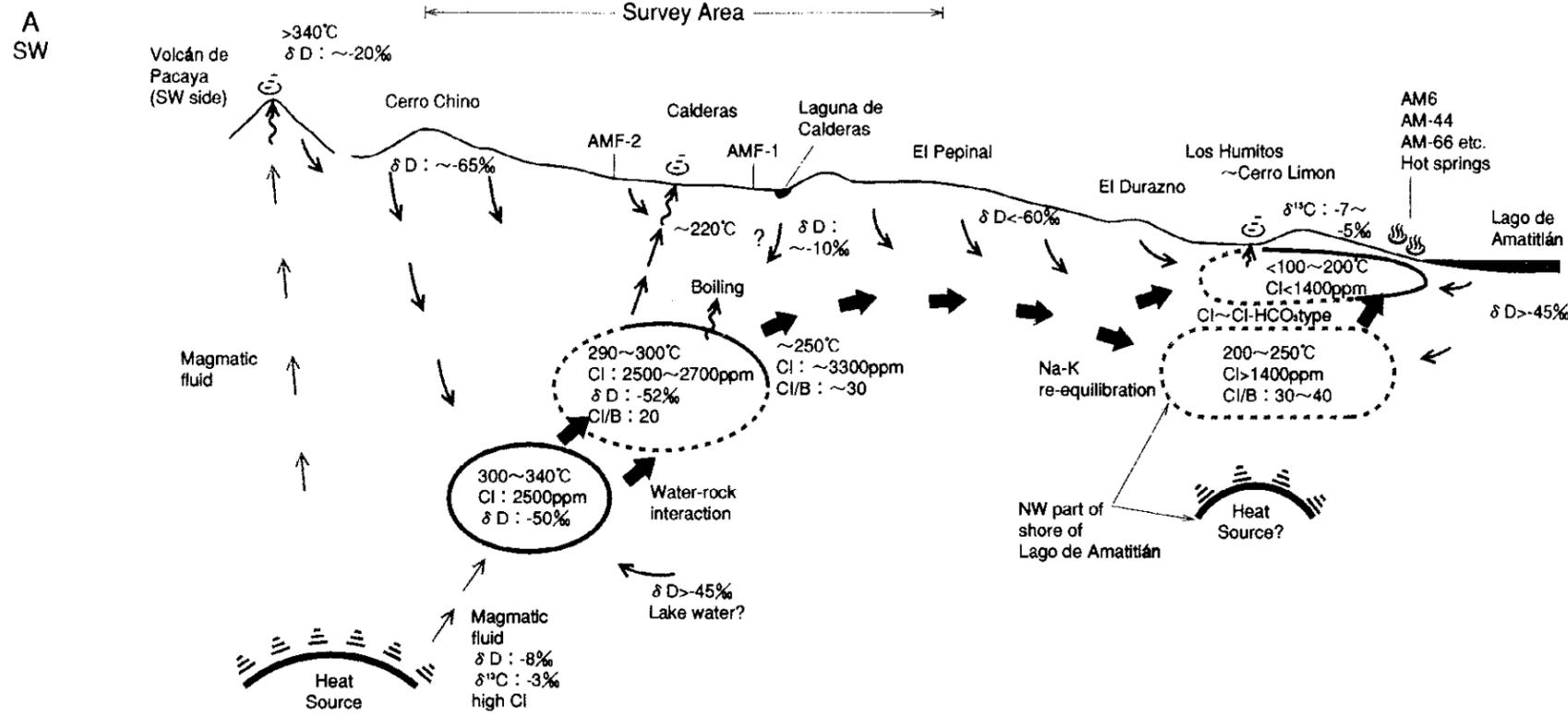


**LEGEND**

- Hot Spring Water, Well Hot Water (6points)
  - Surface Cold Water (6points)
  - ▲ Fumarolic and Bubble Gas (3points)
  - Survey Area
  - ⊕ Existing Well
- Existing Data
- Hot Spring water, Well Hot Water
  - Surface Cold Water
  - △ Fumarolic Gas

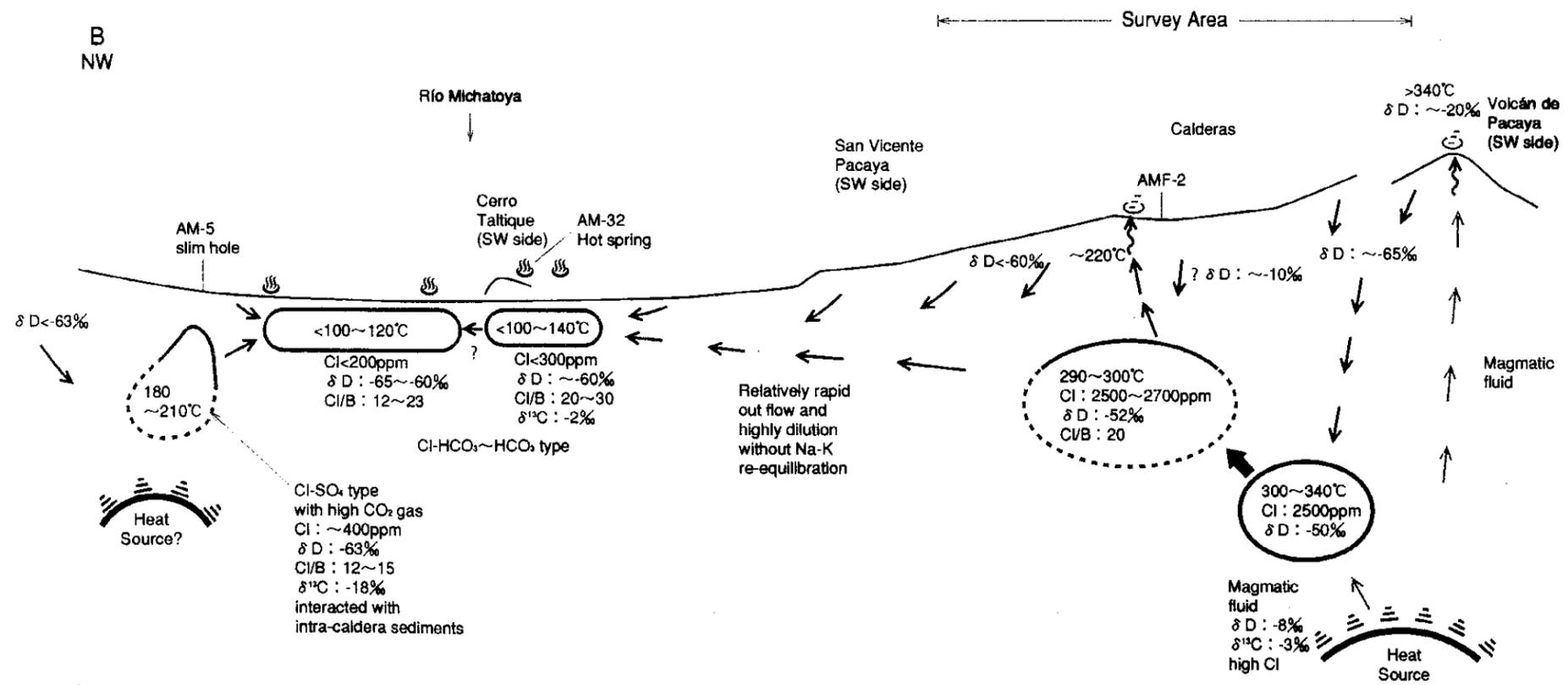
Amatitlan geothermal development project	
分析用流体試料採取位置図	
Location map of fluid samples for analysis	
JICA-WEST JEC	Fig. 2-2-6





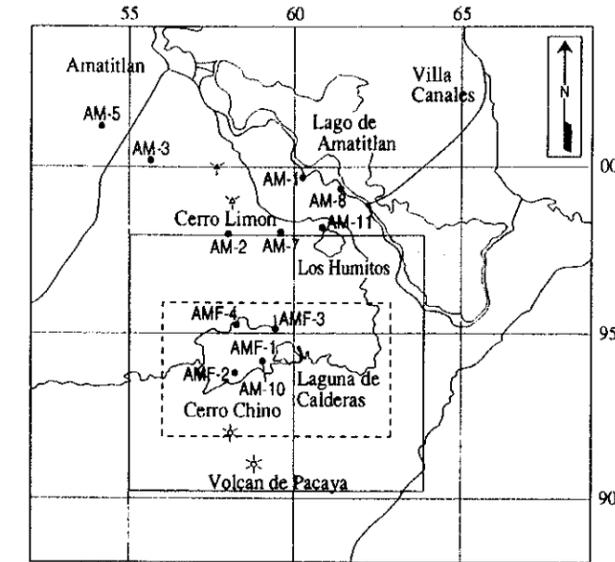
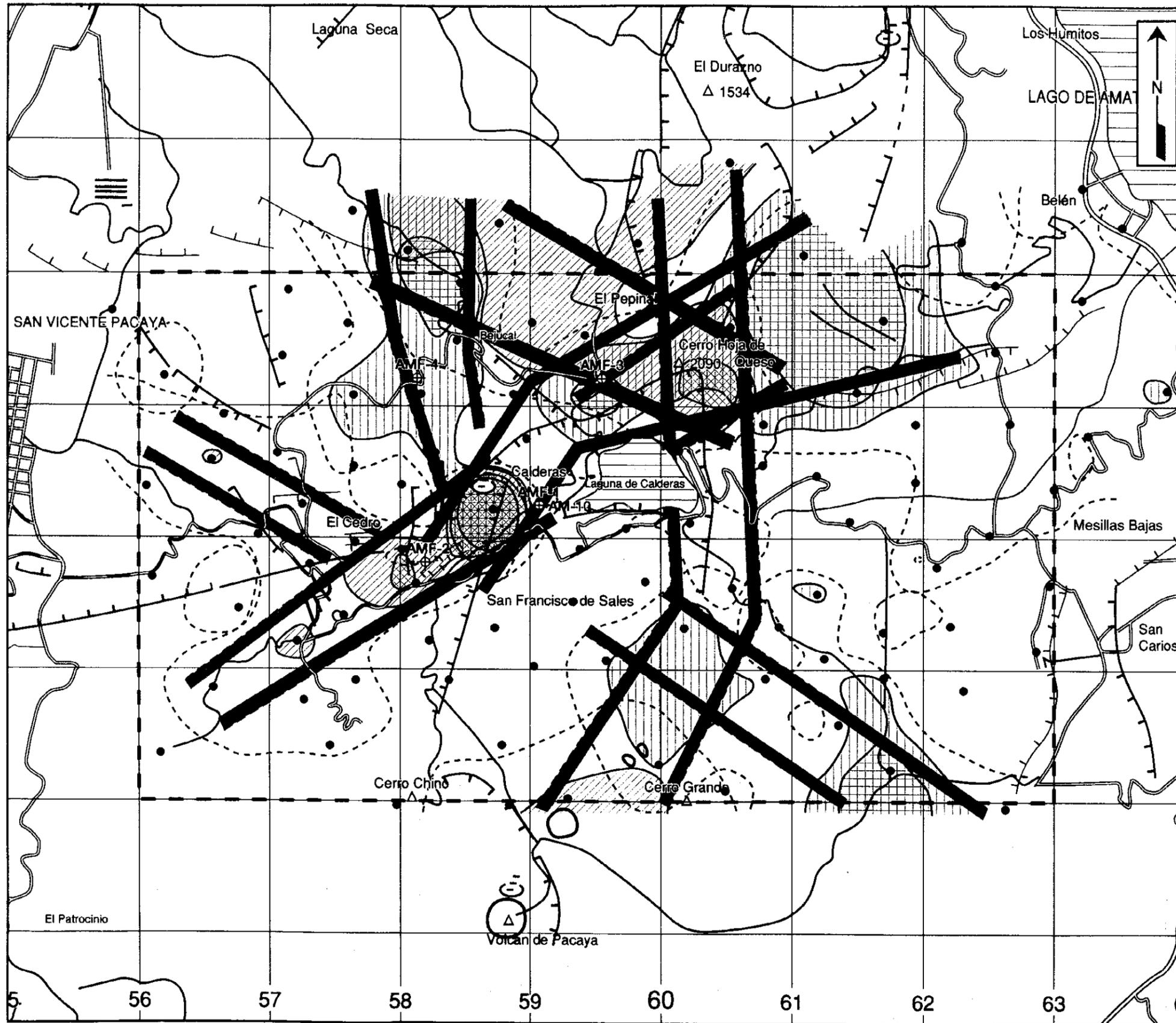
LEGEND

- High temperature reservoir
- Low temperature reservoir (Hot spring aquifer)
- Parental fluid of the Amatitlán geothermal system
- Thermal water flow
- Boiling and steam flow
- Meteoric cold water flow

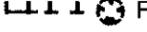
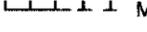


Amatitlán geothermal development project  
 熱水系地化学モデル図  
 Geochemical model of hydrothermal system  
 JICA-WEST JEC      Fig. 2-2-7

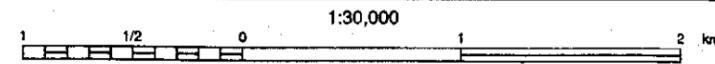
M98101-4C1A

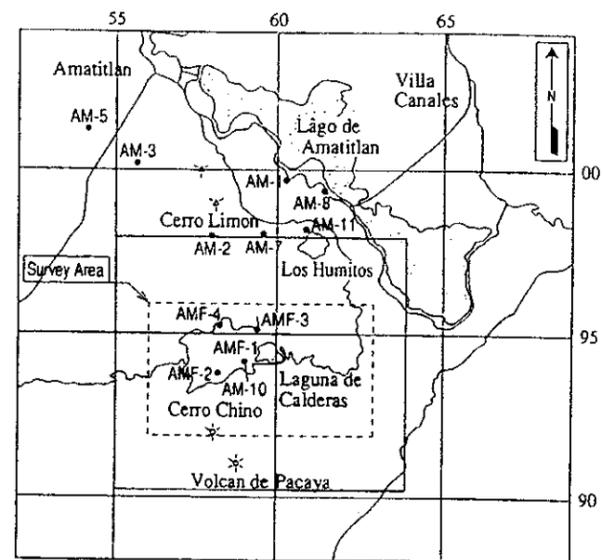
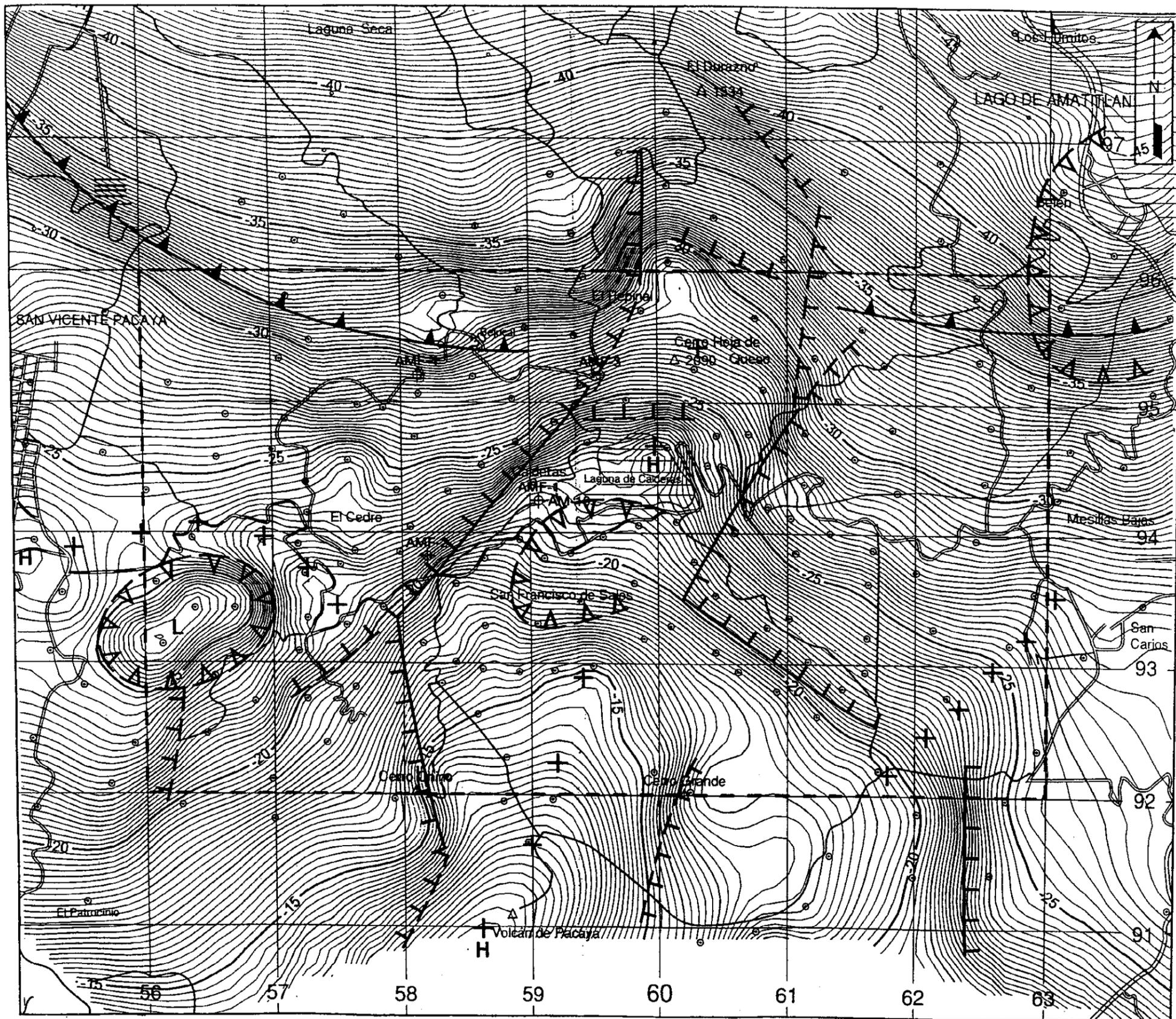


LEGEND

-  Permeable Zone Based on Hg Distribution
-  Hg Anomaly
-  Permeable Zone Based on Corrected Distribution
-  Corrected Rn Anomaly
-  Sampling Station(109 points)
-  Survey Area
-  Existing Well
-  Fault, Caldera Wall
-  Crater
-  Morphologic Escarpment

Amatitlan geothermal development project  
 土壤ガス調査による高透水性ゾーン集約図  
 Compiled map of permeable zone by soil-gas survey  
 JICA-WEST JEC Fig. 2-2-8

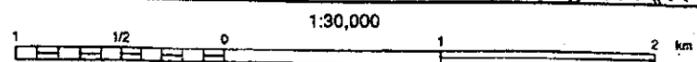


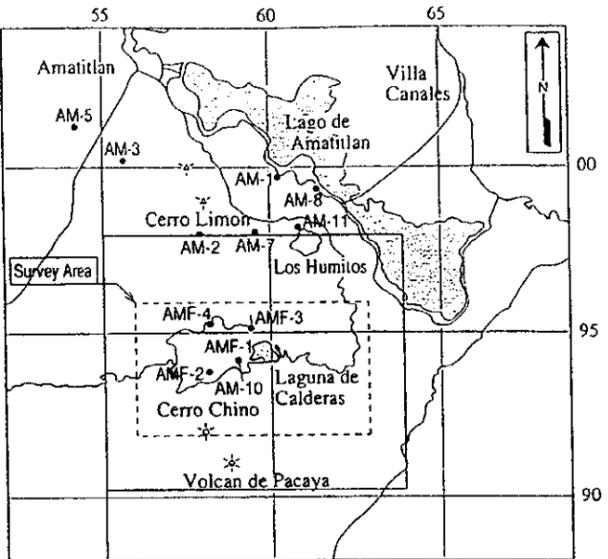
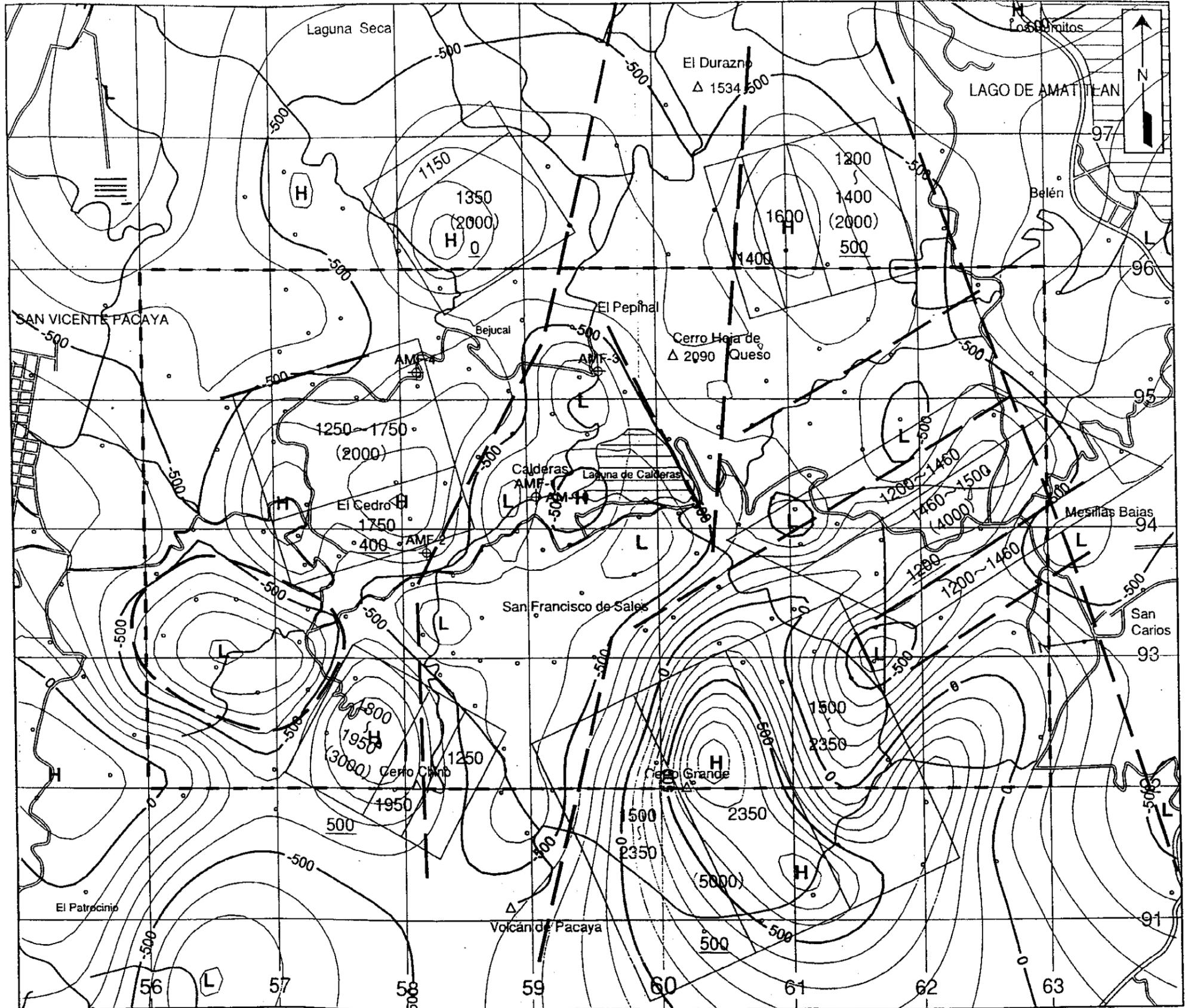


Legend

-  : Survey Area
-  : Exploratory Well
-  : Caldera Rim Estimated from Gravity
-  : Basin
-  : Gravity Lineament(major)
-  : Gravity Lineament(minor)
-  : Basement Uplift trend

Amatitlan Geothermal Development Project	
重力解析図	
Gravity Interpretation Map	
JICA-WEST JEC	Fig. 2-2-9

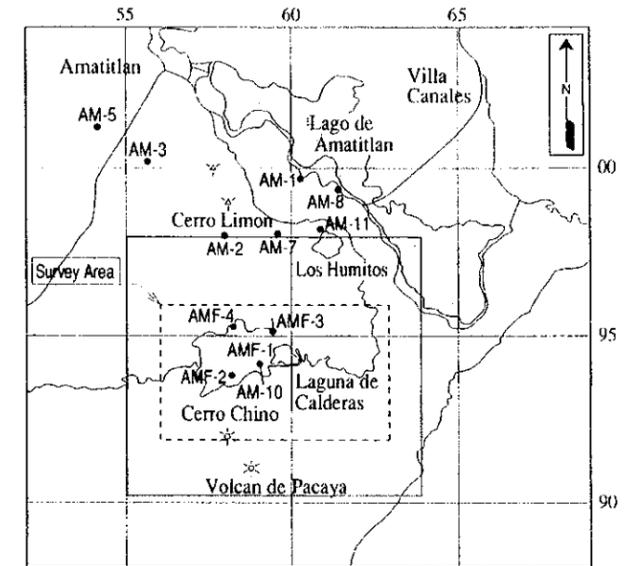
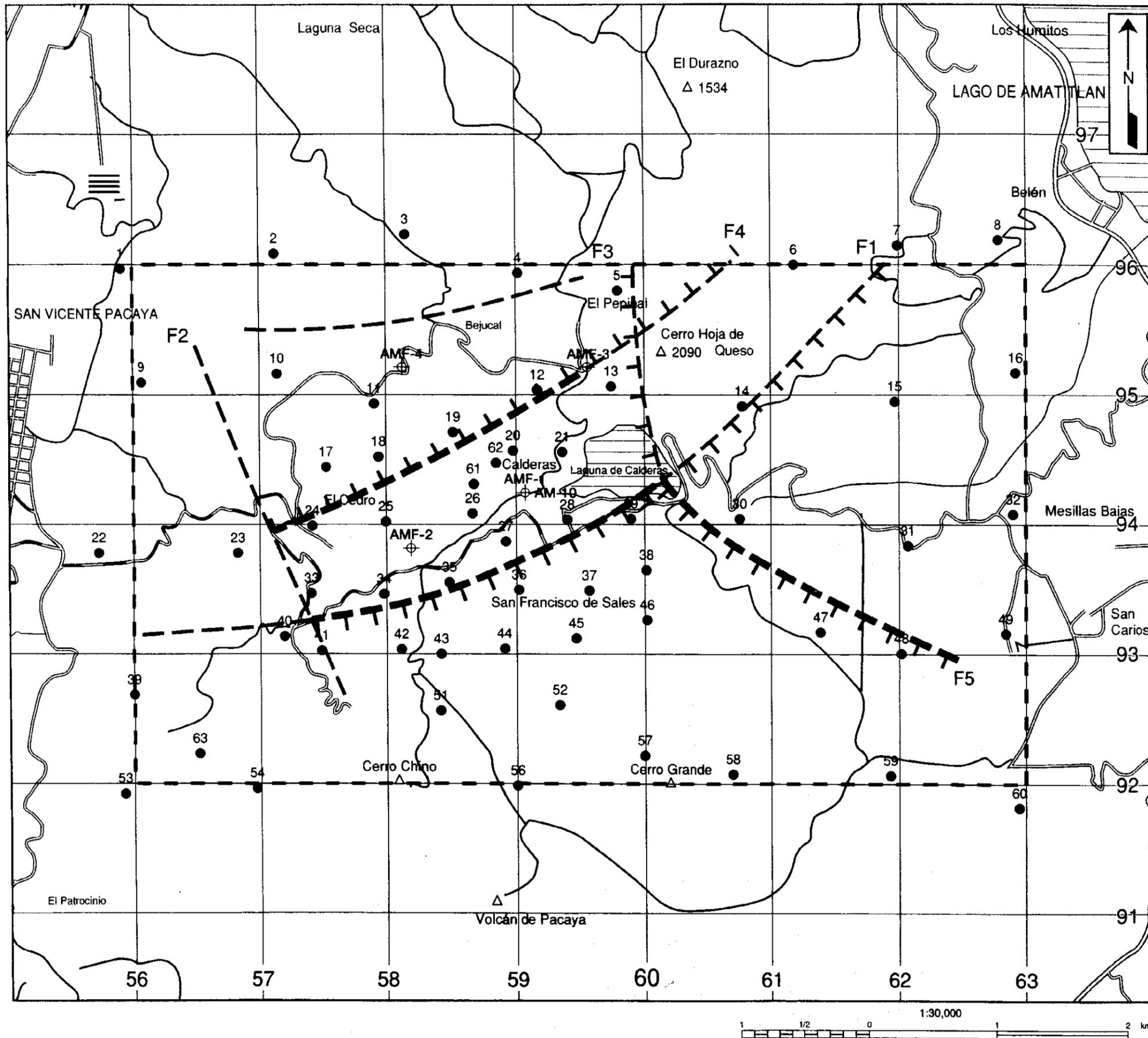




Legend

- - - : Survey Area
- ⊕ : Exploratory Well
- - - : Magnetic Discontinuity
- ▭ : Magnetic Body
- 1600 : Top Depth of Magnetic Body
- (2000) : Magnetic Susceptibility  $\times 10^{-6} \text{ emu/cm}^3$
- 500 : Bottom Depth of Magnetic Body

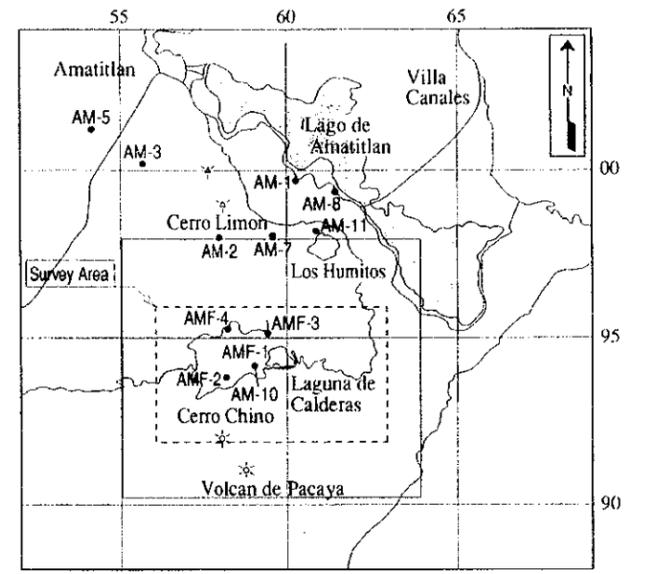
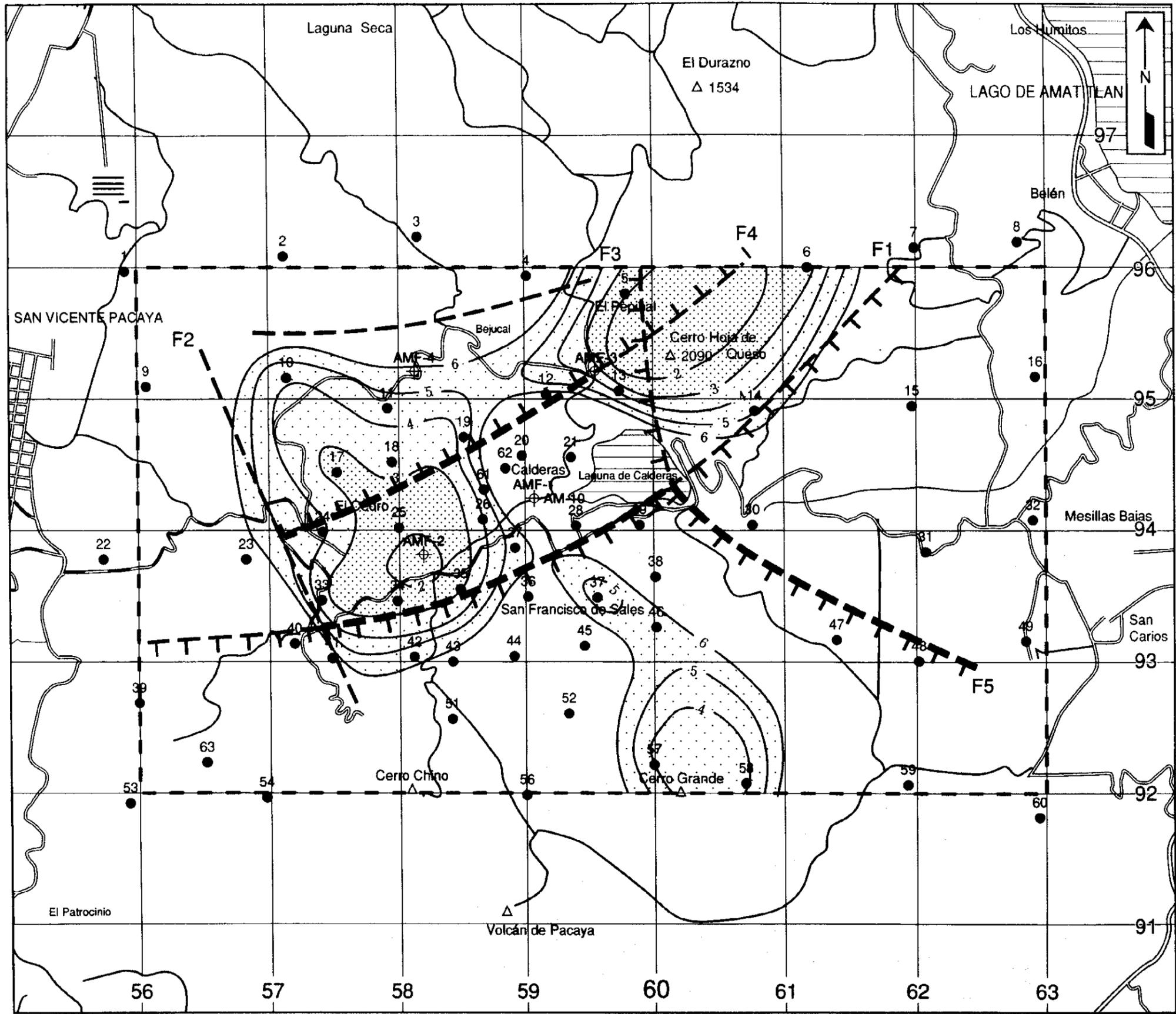
Amatlan Geothermal Development Project	
磁気解析図	
Magnetic Interpretation Map	
JICA-WEST JEC	Fig. 2-2-10



- Legend**
- : Survey area
  - ⊕ : Exploratory well
  - : MT station
  - - - : Resistivity discontinuity

Amatitlan Geothermal Development Project  
 比抵抗不連続線分布図  
 Resistivity discontinuities distribution map  
 JICA-WEST JEC | Fig. 2-2-11

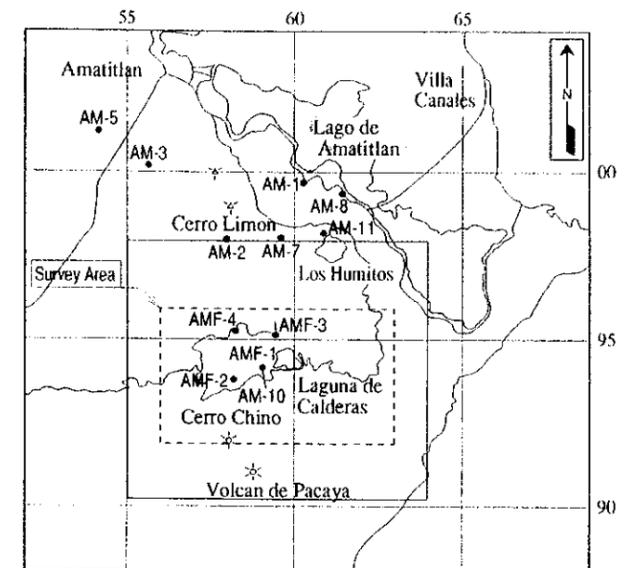
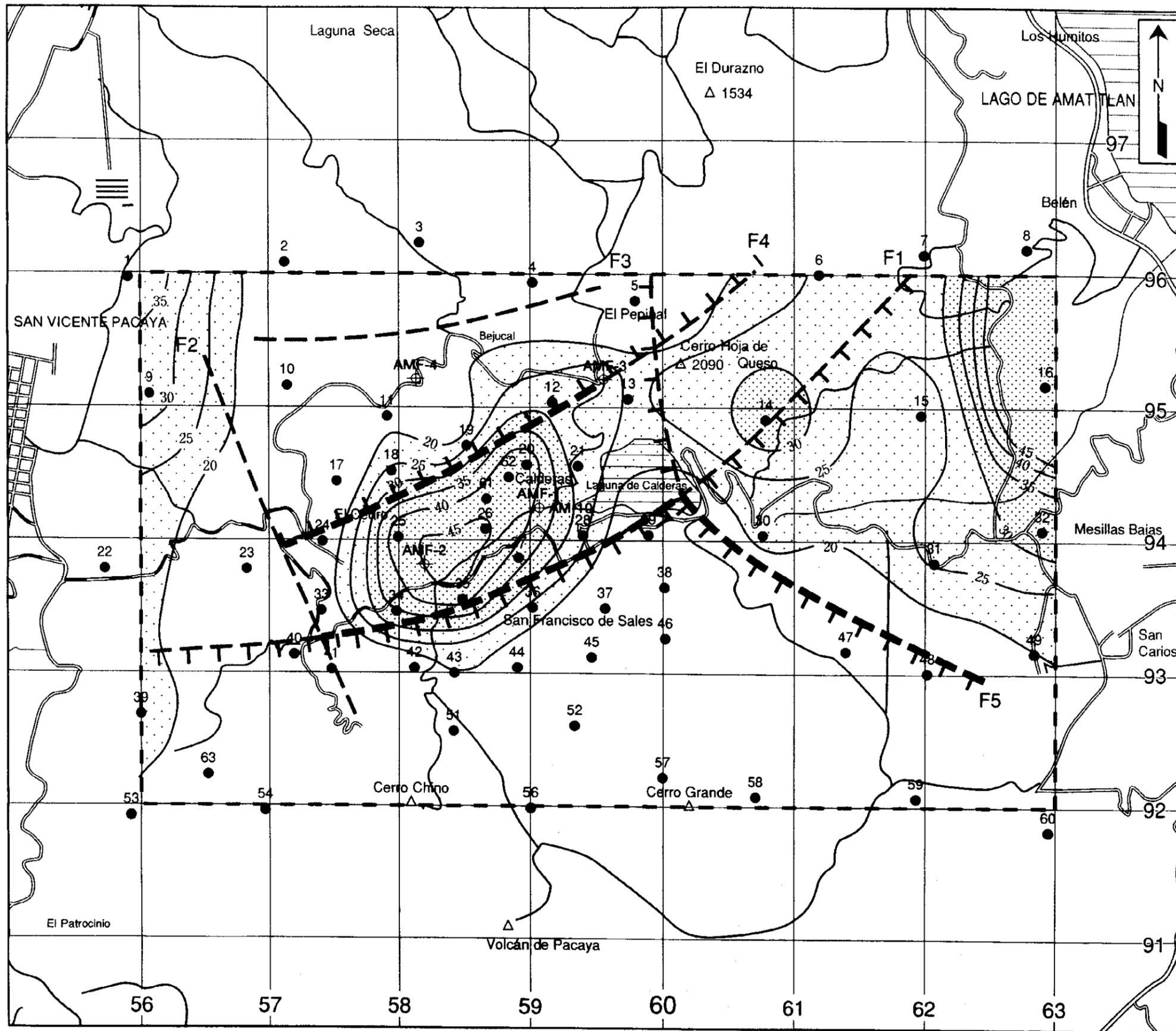
M99101401A



- Legend**
- : Survey area
  - : Exploratory well
  - : MT station
  - : Resistivity discontinuity
  - : Contour line of resistivity (Low resistivity layer, ohm-m)

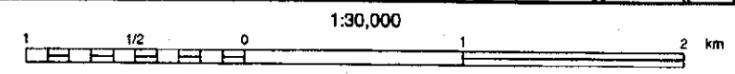
Amatitlan Geothermal Development Project  
 浅部比抵抗構造解析図  
 Resistivity structure in shallow zone  
 JICA-WEST JEC      Fig. 2-2-12

MBE101-021A



- Legend
- : Survey area
  - : Exploratory well
  - : MT station
  - : Resistivity discontinuity
  - : Contour line of resistivity (Resistivity distribution at 1500m deep)

Amatitlan Geothermal Development Project	
深部比抵抗構造解析図	
Resistivity structure in deep zone	
JICA-WEST JEC	Fig. 2-2-13



M98101401A