

調査項目: 社会開発調査部報告書

調査項目: 社会開発調査部報告書

調査項目: 社会開発調査部報告書

調査項目

社会開発調査部

社会開発調査部報告書

社会

社会開発調査部

社会

社会開発調査部

社会開発調査部

社会開発調査部

社会開発調査部報告書

社会

社会

社会

社会開発調査部報告書

JICA LIBRARY



1122939 [0]

28629



AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

**INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL
REPUBLICA DE GUATEMALA**

**ESTUDIO
SOBRE EL
DESARROLLO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
EN EL
ALTIPLANO CENTRAL
DE LA
REPUBLICA DE GUATEMALA**

INFORME PRINCIPAL

JULIO 1995

KOKUSAI KOGYO CO., LTD., TOKIO

国際協力事業団

28029

PREFACIO

Respondiendo a la solicitud del Gobierno de la República de Guatemala, el Gobierno del Japón decidió realizar un estudio de plan maestro y factibilidad sobre el Desarrollo de las Aguas Subterráneas en el Altiplano Central de la República de Guatemala, confiándole el estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

JICA envió a Guatemala un Equipo de Estudio liderado por el Sr. Kunio Fujiwara, Kokusai Kogyo Co., Ltd. tres veces entre febrero de 1994 y mayo de 1995.

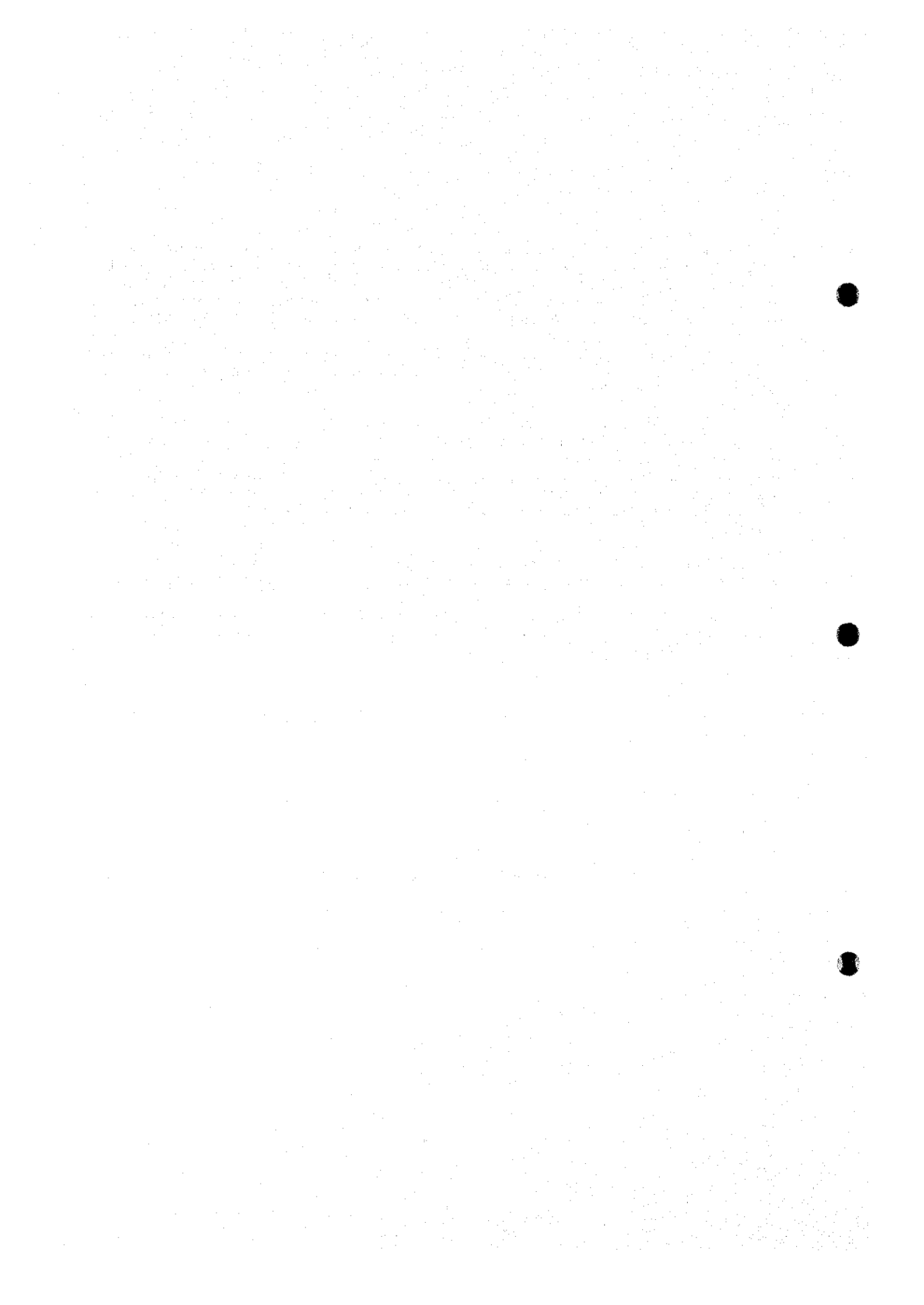
El Equipo mantuvo discusiones con los funcionarios involucrados del Gobierno de Guatemala, y realizó estudios de campo en el Area de Estudio. Después de su retorno a Japón, el Equipo realizó estudios adicionales finalizando con la preparación del presente informe. La versión en español de este informe fué confeccionada como documento de consulta en base a la traducción de la versión en inglés.

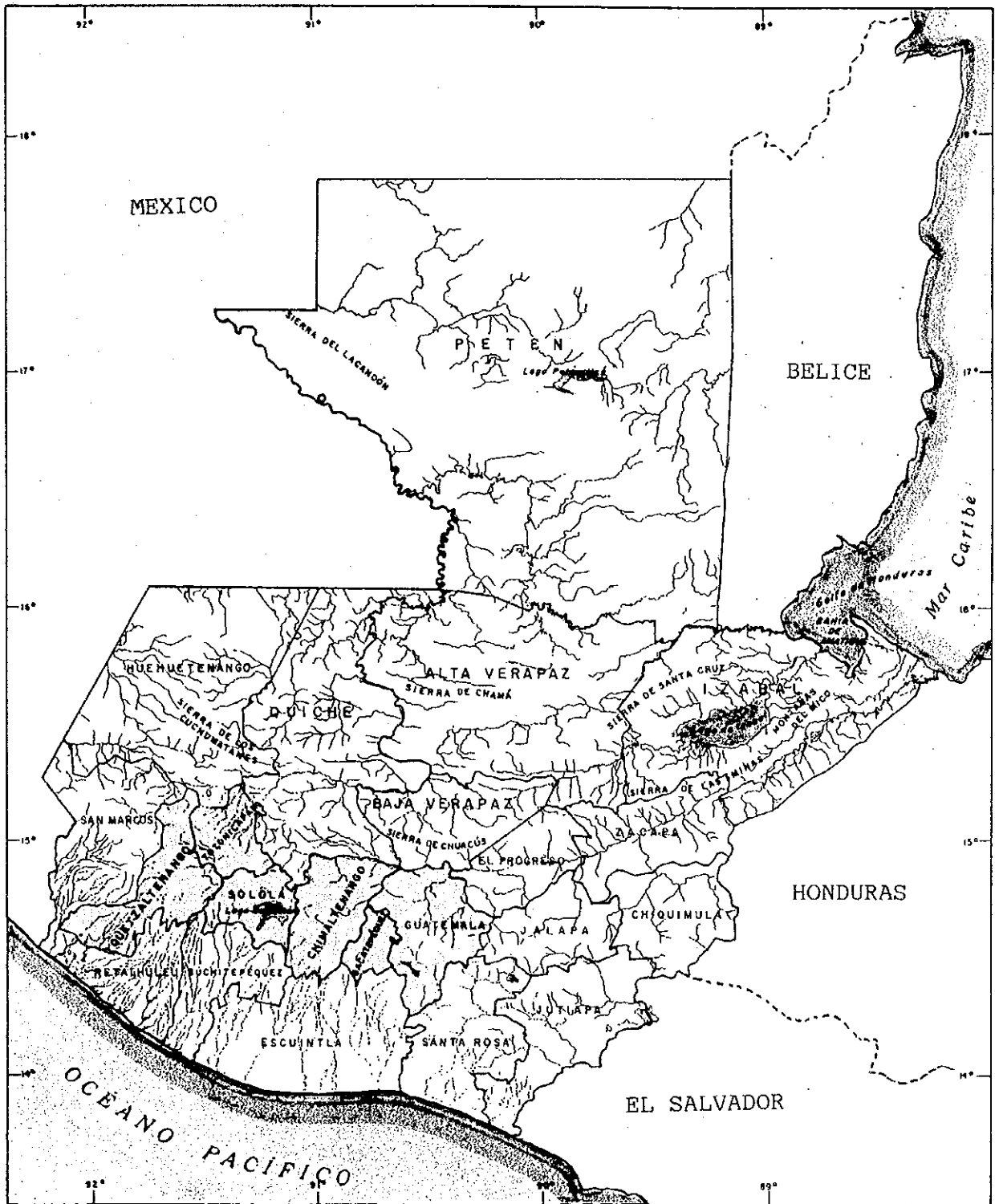
Espero que este informe contribuirá a la promoción del proyecto y al fomento de las relaciones de amistad entre nuestras dos naciones.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a los funcionarios involucrados del Gobierno de la República de Guatemala por la estrecha cooperación extendida al Equipo.

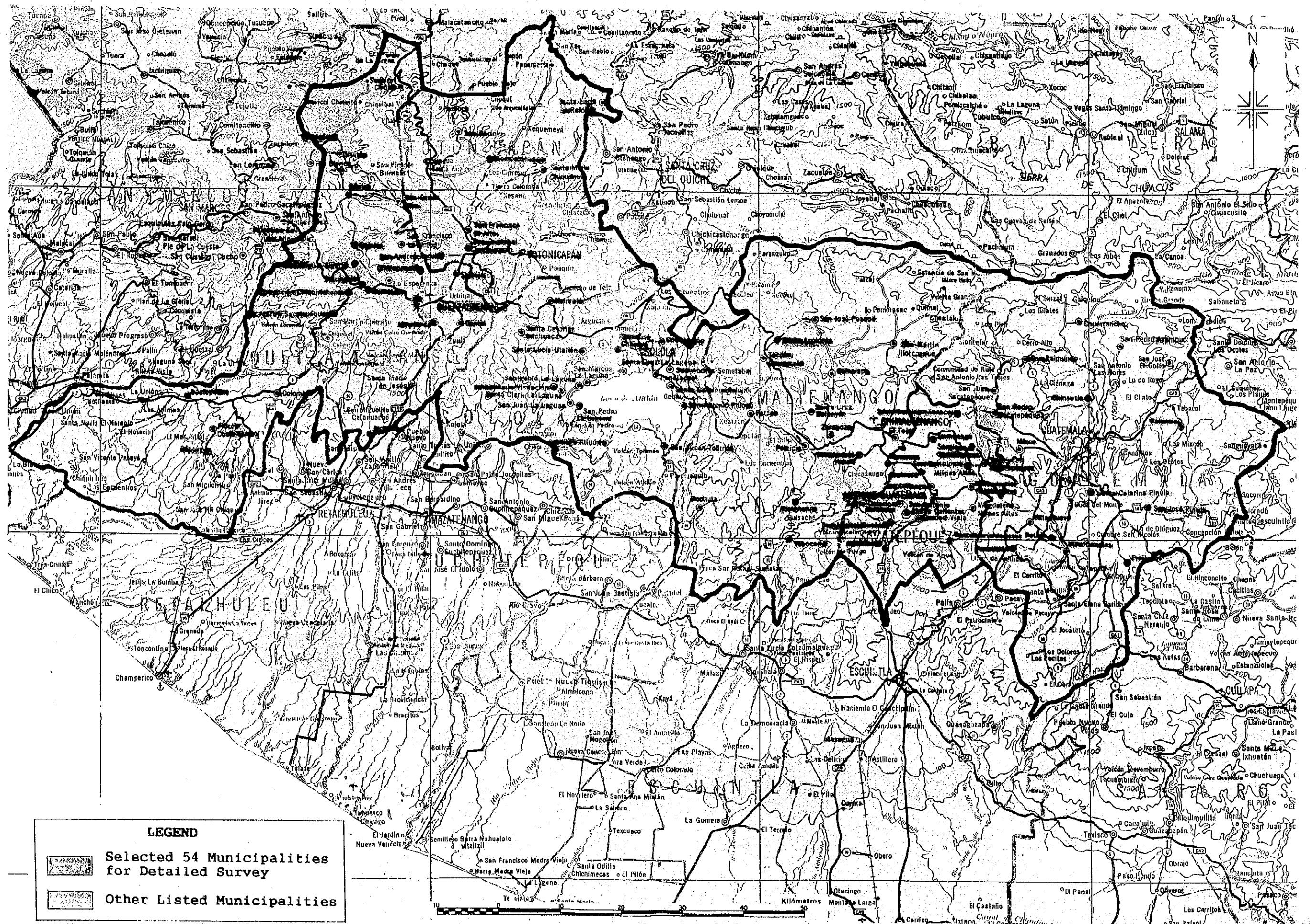
Julio de 1995

Kimio Fujita
Presidente
Agencia de Cooperación Internacional del Japón





Area de Estudio



Mapa de Ubicación del Area de Estudio

CONTENIDO

Mapa de Ubicación de Guatemala y del Area de Estudio

	Página
1. INTRODUCCION	1-1
1.1 Generalidades	1-1
1.2 Bosquejo del Proyecto	1-2
1.2.1 Antecedentes del Proyecto	1-2
1.2.2 Objetivos del Estudio	1-3
1.2.3 Area del Estudio	1-4
1.2.4 Equipo de Estudio	1-4
1.3 Descripción del Estudio	1-5
1.3.1 Componentes y Secuencia	1-5
1.3.2 Tecnología Aplicada	1-9
2. CONDICIONES GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO ...	2-1
2.1 Condiciones Naturales	2-1
2.1.1 Topografía	2-1
2.1.2 Geología	2-2
2.1.3 Estructura e Historia Geológica	2-4
2.1.4 Clima	2-8
2.1.5 Uso de la Tierra	2-9
2.2 Condiciones Socioeconómicas	2-20
2.2.1 Unidades Administrativas Municipales	2-20
2.2.2 Población	2-22
2.2.3 Aspectos Económicos	2-24
2.2.4 Infraestructuras	2-26
2.2.5 Situación de la Mujer	2-30
2.2.6 Educación	2-37
2.2.7 Condiciones Sanitarias y de Salud	2-41
3. ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL AREA DE ESTUDIO.	3-1

3.1	Organización Administrativa	3-1
3.2	Calidad de Agua	3-3
3.2.1	Normas de Calidad de Agua en Guatemala	3-3
3.2.2	Calidad de Agua en las Fuentes Existentes	3-4
3.2.3	Calidad de Agua Potable en Diez Municipios	3-5
3.3	Sistema de Abastecimiento de Agua	3-9
3.3.1	Fuentes	3-9
3.3.2	Instalaciones de Abastecimiento de Agua	3-11
3.4	Operación y Mantenimiento de las Instalaciones	3-16
3.5	Recaudación de Tarifas de Agua	3-17
4	PROYECCION DE LA DEMANDA DE AGUA PARA EL AÑO 2010	4-1
4.1	Municipios Candidatos para el Estudio Detallado	4-1
4.2	Población Proyectada	4-2
4.3	Demanda de Agua Proyectada	4-2
5.	CATEGORIZACION DE LOS MUNICIPIOS CANDIDATOS	5-1
5.1	Criterios y Procedimientos de Categorización	5-1
5.1.1	Selección Final de los Municipios Candidatos para el Estudio Detallado	5-1
5.1.2	Criterios de Categorización	5-2
5.1.3	Procedimientos de Categorización	5-5
5.2	Clasificación según Características Socioeconómicas	5-6
5.3	Clasificación según Grado de Requerimiento de Agua	5-10
5.4	Clasificación según Potencial de Desarrollo de las Fuentes de Agua.....	5-12
5.5	Clasificación para la Formulación de Estrategia de Desarrollo de Fuentes de Agua	5-14
5.6	Priorización de los 10 Municipios para el Estudio de Factibilidad	5-17

6	ESTRATEGIA DE DESARROLLO DE FUENTES DE AGUA POR CATEGORIZACION	6-1
6.1	Utilización de Agua Superficial	6-1
6.2	Utilización de Manantiales	6-3
6.3	Desarrollo del Acuífero poco Profundo	6-5
6.4	Desarrollo de Aguas Subterráneas	6-6
7.	DESARROLLO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	7-1
7.1	Hidrogeología	7-1
7.1.1	Precipitación	7-1
7.1.2	Descarga Fluvial	7-3
7.1.3	Manantiales	7-9
7.1.4	Instalaciones de Monitoreo	7-10
7.2	Hidrogeología	7-25
7.2.1	Características Generales Hidrogeológicas del Area de Estudio	7-25
7.2.2	Estructura Hidrogeológica Local y Características del Acuífero	7-28
7.2.3	Análisis de Componentes Iónicos de las Aguas Subterráneas	7-57
7.2.4	Inventario de Pozos	7-59
7.3	Potencial de Desarrollo de Aguas Subterráneas	7-96
7.3.1	Estimación del Potencial de Desarrollo de Aguas Subterráneas	7-96
7.3.2	Estrategia de Desarrollo de Aguas Subterráneas en los 10 Municipios	7-99
7.3.3	Nivel Freático y Plan de Monitoreo	7-111
8.	EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL	8-1
8.1	Descripción del Proyecto	8-1
8.1.1	Antecedentes del Proyecto	8-1
8.1.2	Objetivos del Proyecto	8-1
8.1.3	Organización Ejecutora	8-2
8.1.4	Población Servida y la Magnitud del Proyecto	8-2
8.2	Descripción del Sitio del Proyecto	8-6

8.2.1	Medio Ambiente Social	8-6
8.2.2	Medio Ambiente Natural	8-13
8.3	Evaluación del Impacto Ambiental	
8.3.1	Impactos Provocados sobre Pozos poco Profundos y Manantiales	8-31
8.3.2	Impacto Provocado sobre Aguas Servidas Domésticas	8-33
8.3.3	Impacto Provocado por Ruidos, Vibración, etc. de Construcción	8-38
9.	PROYECTO DE SUMINISTRO DE AGUA EN LOS DIEZ MUNICIPIOS	9-1
9.1	Formulación del Proyecto en los 10 Municipios	9-1
9.1.1	Plan de Desarrollo de Aguas Subterráneas como Fuentes Complementarias	9-2
9.1.2	Plan de Construcción de Sistemas de Suministro	9-3
9.1.3	Costo de Construcción de Sistemas	9-18
9.2	Operación y Mantenimiento de las Instalaciones de Suministro	9-18
9.2.1	Plan de Operación y Mantenimiento	9-18
9.2.2	Costos de Operación y Mantenimiento	9-18
9.3	Evaluación del Proyecto	9-20
9.3.1	Generalidades	9-20
9.3.2	Encuestas	9-21
9.3.3	Resultados de las Encuestas	9-22
9.3.4	Supuestos para la Evaluación del Proyecto	9-24
9.3.5	Resultados de Evaluación	9-25
9.3.6	Análisis de Sensibilidad	9-27
9.3.7	Evaluación General y Sugerencias	9-30
10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	10-1
10.1	Conclusiones	10-1
10.2	Recomendaciones	10-6

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1.1	Uso de la Tierra	2-13
Cuadro 2.2.1	Población Total y Tasa de Crecimiento según Departamentos	2-47
Cuadro 2.2.2	Población Urbana y Rural, y Densidad según Departamentos	2-48
Cuadro 2.2.3	Condiciones Económicas según Municipios (1) .	2-49
Cuadro 2.2.3	Condiciones Económicas según Municipios (2) .	2-50
Cuadro 2.2.3	Condiciones Económicas según Municipios (3) .	2-51
Cuadro 2.2.4	Capacidad de las Plantas Eléctricas en Guatemala (1992)	2-51
Cuadro 2.2.5	Balance entre Generación y Consumo de Energía Eléctrica	2-51
Cuadro 2.2.6	Porcentaje de Viviendas con Servicio de Electricidad en cada Departamento (1992-1993)	2-52
Cuadro 2.2.7	Transición de GUATEL	2-52
Cuadro 2.2.8	Número de Líneas Telefónicas según Departamentos en el Area de Estudio y la Ciudad de Guatemala (1992)	2-53
Cuadro 2.2.9	Sistema de Alcantarillado en los Departamentos del Area de Estudio	2-53
Cuadro 2.2.10	Tasa de Viviendas Conectadas al Sistema de Alcantarillado en las Areas Urbanas y la Población sin Conexión en los Departamentos del Area de Estudio	2-53
Cuadro 2.2.11	Tasa de Decrecimiento de Alumnas Escolarizadas (1991)	2-54
Cuadro 2.2.12	Situación Actual de Educación en Guatemala (1992)	2-54
Cuadro 2.2.13	Porcentaje de Viviendas con Servicio de Agua Potable en cada Departamento	2-55
Cuadro 2.2.14	Porcentaje de Viviendas con Letrina en cada Departamento (1992-1993)	2-55
Cuadro 2.2.15	Tasa de Natalidad y Mortalidad	2-56
Cuadro 2.2.16	Fertilidad e Infertilidad en Guatemala (1991)	2-56
Cuadro 2.2.17	Consumo Diario de Principales Alimentos en las Areas Urbanas y Rurales (1991)	2-57

Cuadro 2.2.18	Contribución de Proteínas Principales y Energía por Habitante de Diferentes Categorías de Ingresos en Guatemala (1991) ..	2-57
Cuadro 2.2.19	Consumo Diario de los Principales Alimentos (Maíz, Frijoles, Harina, Azúcar, Grasa) y Energía en Diferentes Regiones de Guatemala (1991)	2-57
Cuadro 3.2.1	Aceptabilidad del Agua Actualmente Suministrada para el Consumo Humano	3-6
Cuadro 3.2.2	Aceptabilidad del Agua de los Nuevos Pozos para el Consumo Humano	3-7
Cuadro 3.3.1	Resultados del Estudio sobre Sistemas de Suministro de Agua Existentes (1)	3-13
Cuadro 3.3.1	Resultados del Estudio sobre Sistemas de Suministro de Agua Existentes (2)	3-14
Cuadro 3.3.1	Resultados del Estudio sobre Sistemas de Suministro de Agua Existentes (3)	3-15
Cuadro 3.5.1	Tasa de Cobertura del Servicio de Agua en cada Municipio	3-18
Cuadro 4.1.1	Municipios Candidatos para el Estudio Detallado (54)	4-5
Cuadro 4.2.1	Población Urbana Proyectada y Tasas de Crecimiento en Cabeceras Municipales (1)	4-6
Cuadro 4.2.1	Población Urbana Proyectada y Tasas de Crecimiento en Cabeceras Municipales (2)	4-7
Cuadro 4.2.1	Población Urbana Proyectada y Tasas de Crecimiento en Cabeceras Municipales (3)	4-8
Cuadro 4.3.1	Proyección de la Demanda de Agua (1)	4-9
Cuadro 4.3.1	Proyección de la Demanda de Agua (2)	4-10
Cuadro 4.3.1	Proyección de la Demanda de Agua (3)	4-11
Cuadro 5.1.1	Categorización de la Población (2010)	5-4
Cuadro 5.1.2	Volumen Faltante de Agua (2010)	5-4
Cuadro 5.2.1	Categorización de la Población (2010)	5-8
Cuadro 5.2.2	Categorización de Municipios según Voluntad de Pago y Magnitud de Población	5-9
Cuadro 5.2.3	Categorización de Municipios según Voluntad de Pago y Volumen Faltante de Agua	5-9
Cuadro 5.3.1	Categorización según Volumen Faltante de Agua (2010)	5-11

Cuadro 6.4.1	Estrategia de Desarrollo de Aguas Subterráneas (1)	6-7
Cuadro 6.4.1	Estrategia de Desarrollo de Aguas Subterráneas (2)	6-8
Cuadro 7.1.1	Lista de las Estaciones Meteorológicas	7-11
Cuadro 7.1.2	Precipitación Anual Estimada	7-12
Cuadro 7.1.3	Lista de las Estaciones de Medición	7-13
Cuadro 7.1.4	Precipitación Media Mensual	7-14
Cuadro 7.1.5	Cálculo de Escurrimiento	7-15
Cuadro 7.1.6	Resultados de la Medición de Descargas	7-16
Cuadro 7.1.7	Condiciones de Manantiales en 1987 y 1994(1)	7-17
Cuadro 7.1.7	Condiciones de Manantiales en 1987 y 1994(2)	7-18
Cuadro 7.2.1	Registros de los Pozos Existentes	7-61
Cuadro 7.2.2	Resultados del Estudio Hidrogeológico en cada Municipio (1)	7-62
Cuadro 7.2.2	Resultados del Estudio Hidrogeológico en cada Municipio (2)	7-63
Cuadro 7.2.2	Resultados del Estudio Hidrogeológico en cada Municipio (3)	7-64
Cuadro 7.2.3	Resultados del Sondeo de Resistividad Eléctrica (realizado en la Fase I)	7-65
Cuadro 7.2.3	Resultados del Sondeo de Resistividad Eléctrica (realizado en la Fase II)	7-65
Cuadro 7.2.4	Resultados de la Prueba de Perforación	7-66
Cuadro 7.2.5	Resultados de la Prueba de Bombeo	7-67
Cuadro 7.2.6	Resultados del Análisis de Componentes de Ión	7-68
Cuadro 7.2.7	Pozos poco Profundos y Manantiales Existentes	7-69
Cuadro 7.3.1	Evaluación Tentativa del Potencial de Desarrollo de las Aguas Subterráneas (1/2) ..	7-113
Cuadro 7.3.1	Evaluación Tentativa del Potencial de Desarrollo de las Aguas Subterráneas (2/2) ..	7-114
Cuadro 8.1.1	Producción de Agua en 1994 y Volumen Faltante para 2010	8-4
Cuadro 8.1.2	Instalaciones del Proyecto	8-5
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (1)	8-18
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (2)	8-19
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (3)	8-20

Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (4)	8-21
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (5)	8-22
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (6)	8-23
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (7)	8-24
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (8)	8-25
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (9)	8-26
Cuadro 8.2.1	Descripción del Sitio (10)	8-27
Cuadro 8.2.2	Lista de los Grupos Religiosos en los Diez Municipios (%) (Según Entrevistas)	8-28
Cuadro 8.2.3	Situación Educativa en los Diez Municipios ..	8-28
Cuadro 8.2.4	Condiciones de Suministro de Agua en los Diez Municipios	8-29
Cuadro 8.2.5	Número de Hospitales, Clínicas, Centros de Salud y Farmacias en los Diez Municipios (Según Entrevista)	8-29
Cuadro 8.2.6	Resultados de la Prueba de Bombeo	8-30
Cuadro 8.3.1	Evaluación Inicial del Impacto Ambiental	8-39
Cuadro 8.3.2	Pozos poco Profundos y Manantiales Existentes	8-40
Cuadro 8.3.3	Condiciones del Sistema de Alcantarillado Existente y Aguas Servidas en los Diez Municipios	8-41
Cuadro 8.3.4	Volumen de Consumo de Agua en S.J. Pinula ...	8-42
Cuadro 8.3.5	Volumen de Consumo de Agua en Sololá	8-42
Cuadro 8.3.6	Volumen Estimado de Aguas Servidas Descargadas al Sistema de Alcantarillado en los Diez Municipios en 1994	8-43
Cuadro 8.3.7	Volumen Estimado de Aguas Servidas Conducidas por el Sistema de Alcantarillado después de Incrementar el Volumen de Suministro	8-43
Cuadro 8.3.8	Volumen Estimado de Aguas Servidas Drenado en el Sistema de Alcantarillado después de Incrementar el Volumen de Suministro en 2010	8-44
Cuadro 9.1.1	Producción de Agua en 1994 y Volumen Faltante en 2010	9-6
Cuadro 9.1.2	Instalaciones del Proyecto	9-7
Cuadro 9.3.1	Datos Básicos para la Evaluación del Proyecto	9-36

Cuadro 9.3.2	Ingresos y Costos Incrementales del Proyecto	9-37
Cuadro 9.3.2a	Ingresos y Costos Incrementales de San José Pinula	9-38
Cuadro 9.3.2b	Ingresos y Costos Incrementales de San Pedro Sacatepéquez	9-38
Cuadro 9.3.2c	Ingresos y Costos Incrementales de Santa María de Jesús	9-39
Cuadro 9.3.2d	Ingresos y Costos Incrementales de San Martín Jilotepeque	9-39
Cuadro 9.3.2e	Ingresos y Costos Incrementales de San Juan Comalapa	9-40
Cuadro 9.3.2f	Ingresos y Costos Incrementales de Sololá ...	9-40
Cuadro 9.3.2g	Ingresos y Costos Incrementales de Santa Lucía Utatlán	9-41
Cuadro 9.3.2h	Ingresos y Costos Incrementales de Momostenango	9-41
Cuadro 9.3.2i	Ingresos y Costos Incrementales de San Francisco La Unión	9-42
Cuadro 9.3.2j	Ingresos y Costos Incrementales de Génova ...	9-42
Cuadro 9.3.3	Beneficios Económicos del Proyecto	9-43
Cuadro 9.3.3a	Beneficios Económicos de San José Pinula	9-44
Cuadro 9.3.3b	Beneficios Económicos de San Pedro Sacatepéquez	9-44
Cuadro 9.3.3c	Beneficios Económicos de Santa María de Jesús	9-45
Cuadro 9.3.3d	Beneficios Económicos de San Martín Jilotepeque	9-45
Cuadro 9.3.3e	Beneficios Económicos de San Juan Comalapa ..	9-46
Cuadro 9.3.3f	Beneficios Económicos de Sololá	9-46
Cuadro 9.3.3g	Beneficios Económicos de Santa Lucía Utatlán	9-47
Cuadro 9.3.3h	Beneficios Económicos de Momostenango	9-47
Cuadro 9.3.3i	Beneficios Económicos de San Francisco La Unión	9-48
Cuadro 9.3.3j	Beneficios Económicos de Génova	9-48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.3.1	Diagrama de Flujo del Plan de Operación.....	1-13
Figura 1.3.2	Programa del Trabajo.....	1-14
Figura 2.1.1	Mapa Geológico del Area de Estudio.....	2-14
Figura 2.1.2	Mapa Geotectónico.....	2-15
Figura 2.1.3	Mapa Paleogeográfico.....	2-16
Figura 2.1.4	Mapa Paleogeológico.....	2-17
Figura 2.1.5	Precipitación Mensual.....	2-18
Figura 2.1.6	Mapa de Uso de la Tierra.....	2-19
Figura 7.1.1	Isoyeta -Estaciones Meteorológicas y Precipitación.....	7-19
Figura 7.1.2	Precipitación Anual en 1960-1989.....	7-20
Figura 7.1.3	Estaciones de Medición.....	7-21
Figura 7.1.4	Descarga Mensual en Estaciones Cantel y Candelaria.....	7-22
Figura 7.1.5	Descarga Específica en las 5 Estaciones.....	7-23
Figura 7.1.6	Distribución de las Fuentes de Manantiales y su Descarga.....	7-24
Figura 7.2.1(1)	Mapa Hidrogeológico.....	7-71
Figura 7.2.1(2)	Mapa Hidrogeológico.....	7-72
Figura 7.2.1(3)	Mapa Hidrogeológico.....	7-73
Figura 7.2.1(4)	Mapa Hidrogeológico.....	7-74
Figura 7.2.2	Sección Transversal Hidrogeológica (San José Pinula).....	7-75
Figura 7.2.3	Sección Transversal Hidrogeológica (San Pedro Sacatepéquez).....	7-76
Figura 7.2.4	Sección Transversal Hidrogeológica (Santa María de Jesús).....	7-77
Figura 7.2.5	Sección Transversal Hidrogeológica (San Martín Jilotepeque).....	7-78
Figura 7.2.6	Sección Transversal Hidrogeológica (San Juan Comalapa).....	7-79

Figura 7.2.7	Sección Transversal Hidrogeológica (Sololá).....	7-80
Figura 7.2.8	Sección Transversal Hidrogeológica (Santa Lucía Utatlán).....	7-81
Figura 7.2.9	Sección Transversal Hidrogeológica (Momostenango).....	7-82
Figura 7.2.10	Sección Transversal Hidrogeológica (San Francisco la Unión) (1).....	7-83
Figura 7.2.10	Sección Transversal Hidrogeológica (San Francisco la Unión) (2).....	7-84
Figura 7.2.11	Sección Transversal Hidrogeológica (Génova).....	7-85
Figura 7.2.12	Sección Transversal Hidrogeológica (San José del Golfo).....	7-86
Figura 7.2.13	Sección Transversal Hidrogeológica (Nahualá).....	7-87
Figura 7.2.14	Sección Transversal Hidrogeológica (San Carlos Sija).....	7-88
Figura 7.2.15	Sección Transversal Hidrogeológica (Cajola).....	7-89
Figura 7.2.16	Sección Transversal Hidrogeológica (Flores Costa Cuca).....	7-90
Figura 7.2.17(1)	Fluctuación del Nivel de Lodo de Perforación	7-91
Figura 7.2.17(2)	Fluctuación del Nivel de Lodo de Perforación	7-92
Figura 7.2.18	Puntos de Muestreo para el Análisis de Calidad de Agua.....	7-93
Figura 7.2.19(1)	Diagrama Trilineal.....	7-94
Figura 7.2.19(2)	Diagrama Trilineal.....	7-95
Figura 7.3.1	Nivel Freático Diario en San José Pinula....	7-115
Figura 9.1.1	Distribución Básica en San José Pinula.....	9-8
Figura 9.1.2	Distribución Básica en San Pedro Sacatepéquez.....	9-9
Figura 9.1.3	Distribución Básica en Santa María de Jesús.	9-10

Figura 9.1.4	Distribución Básica en San Martín Jilotepeque.....	9-11
Figura 9.1.5	Distribución Básica en San Juan Comalapa....	9-12
Figura 9.1.6	Distribución Básica en Sololá.....	9-13
Figura 9.1.7	Distribución Básica en Santa Lucía Utatlán..	9-14
Figura 9.1.8	Distribución Básica en Momostenango.....	9-15
Figura 9.1.9	Distribución Básica en San Francisco la Unión.....	9-16
Figura 9.1.10	Distribución Básica en San Génova.....	9-17

LISTA DE SIGLAS
(*LIST OF ACRONYMS*)

ANAM	Asociación Nacional de Municipalidades (<i>National Association of Municipalities</i>)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo (<i>Inter American Development Bank</i>)
CACIF	Comite Coordinador de Asociaciones Agricolas, Industrials y Financieras (<i>Coordinator Committee for Agricultural, Industrial and Financial Associations</i>)
CGC	Cámara Guatemalteca de la Construcción (<i>Guatemalan Chamber of Construction</i>)
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente (<i>National Environment Cmmission</i>)
CONAP	Consejo Nacional del Areas Protegidas (<i>National Council of Protected Areas</i>)
COPECAS	Comité Permanente de Coordinación de Agua Potable y Saneamiento (<i>Permanent Committee for the Coordination of Potable Water and Sewerage</i>)
DGC	Dirección General de Caminos (<i>General Road Directorate</i>)
DSM	División de Saneamiento del Medio (<i>Environmental Sanitation Division</i>)
EEGSA	Empresa Electrica de Guatemala S.A. (<i>Guatemala Electric Corporation</i>)
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (<i>Municipal Water Supply Corporation of Guatemala City</i>)
IGM	Instituto Geográfico Militar (<i>National Geographical Institute</i>)
INDE	Instituto Nacional de Electrificación (<i>National Institute of Electrification</i>)
INE	Instituto Nacional de Estadística (<i>National Institute of Statistics</i>)
INFOM	Instituto de Fomento Municipal (<i>Municipal Development Institute</i>)

INSIVUMEH Instituto Nacional de Sismología,
Vulcanología, Meteorología e Hidrología
(National Institute of Seismology, Vulcanology,
Meteorology and Hidrology)

MAGA Ministerio de Agricultura, Ganadería y
Alimentación
(Ministry of Agriculture, Livestock and Food)

MCTOP Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras
Públicas
(Ministry of Communications, Transport and Public
Works)

MINEDUC Ministerio de Educación Pública
(Ministry of Public Education)

MOF Ministry of Finance

MSPAS Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
(Ministry of Public Health and Welfare)

ONAM Oficina Nacional de la Mujer
(Woman's National Office)

PAYSA Proyectos de Agua Potable y Saneamiento del
Altiplano
(Projects of Potable Water and Sewerage in the
Plateau Area)

PRAS-CA Red Regional de Agua y Saneamiento para Centro
América
(Regional System of Water and Sewerage for
Central America)

SEGEPLAN Secretaría General del Consejo Nacional
de Planificación Económica
(General Secretariat of the National
Council of Economic Planning)

SRH Secretaría de Recursos Hidráulicos
(Secretariat of Hydraulic Resources)

UNEPAR Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos
Rurales
(Executing Body for Rural Aqueduct Programme)

Capítulo 1

1. INTRODUCCION

1.1 Generalidades

Este es el Informe Final del "Estudio sobre el Desarrollo de las Aguas Subterráneas en el Altiplano Central de la República de Guatemala" (en adelante, referido como "el Estudio"), que ha sido ejecutado de acuerdo con el Alcance de Trabajo firmado entre el Instituto de Fomento Municipal (INFOM) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en septiembre de 1993.

El Area del Estudio cubre seis Departamentos del Altiplano Central de Guatemala, donde se ubican los 96 municipios propuestos como sitios de Estudio.

El presente Estudio se inició en febrero de 1994, y concluyó en junio de 1995 con la entrega del Informe Final. El período del Estudio fue dividido en las dos fases siguientes:

Fase I (de febrero a julio de 1994):

- Categorización de los 96 municipios de acuerdo con la magnitud del déficit del suministro de agua, condiciones socioeconómicas y de las nuevas fuentes de agua
- Planificación preliminar del desarrollo de las fuentes de agua, según categorización

Fase II (de julio de 1994 a junio de 1995):

- Estudio de factibilidad de los 10 municipios

prioritarios categorizados principalmente según el potencial del desarrollo de las aguas subterráneas

1.2 Bosquejo del Proyecto

1.2.1 Antecedentes del Proyecto

Guatemala se sitúa al sur de la Península de Yucatán en la América Central y tiene una superficie territorial de 108,900 km². La población total del año 1992 fue estimada en 9.9 millones de habitantes aproximadamente, de los cuales más del 40% se concentra en el "Altiplano Central" que incluye la ciudad capital de Guatemala.

El Altiplano Central ocupa alrededor de la décima parte de la superficie total del país y está compuesto por grupos de cuencas montañosas con elevaciones que oscilan entre los 800 y 2,400 metros sobre el nivel del mar. Esta región es favorecida con un clima y una precipitación anual moderada de 1,000 a 1,500 mm, y ofrece adecuadas condiciones para la producción agrícola y para la convivencia humana, siendo una de las regiones con mayor potencial de desarrollo económico, social y cultural del país.

No obstante, muchos municipios cuentan con un bajo nivel de servicio de suministro de agua, incluyendo las grandes ciudades del Altiplano Central. La cobertura media de los servicios en esta área, a excepción de la ciudad de Guatemala, fue de 69% aproximadamente en el año 1988; con una duración diaria de suministro de menos de 12 horas. Además, las principales fuentes de abastecimiento, que en muchos de los municipios son manantiales, se están haciendo cada vez más insuficientes frente al incremento de la población. En 1993, de los 96 principales municipios del área, 29 no han recibido el volumen proyectado de

150 litros/hab./día. Es muy probable que para el año 2010, esta cifra se vea incrementada en 42, en el caso de que no fueran desarrolladas nuevas fuentes. Se espera que las fuentes existentes sean reemplazadas en el futuro, por las aguas subterráneas. Sin embargo, el desarrollo de los recursos hídricos subterráneos se encuentra hoy en día frente a una serie de dificultades tanto tecnológicas como financieras, debido a las características topográficas e hidrogeológicas de la región.

Con estos antecedentes, el Gobierno de la República de Guatemala solicitó al Gobierno del Japón, en enero de 1990, su cooperación para formular un plan de desarrollo de las fuentes de agua subterránea.

En respuesta a esta petición, JICA envió a Guatemala en mayo y septiembre de 1993, un equipo de estudio preliminar y formuló el Alcance de Trabajo (S/W) relacionado con la implementación del estudio de desarrollo de las aguas subterráneas.

1.2.2 Objetivos del Estudio

Los objetivos del presente Estudio fueron los siguientes:

- 1) Formular un plan de desarrollo de las aguas subterráneas en los municipios candidatos del "Area de Estudio" y categorizar los 96 municipios según su potencial de desarrollo de las fuentes y demanda de agua, así como la situación socioeconómica
- 2) Formular un plan de suministro de agua y un estudio de factibilidad para los 10 municipios prioritarios
- 3) Efectuar la transferencia tecnológica al personal de la contraparte durante la ejecución del Estudio

1.2.3 Area del Estudio

El Area del Estudio comprende los seis Departamentos de Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez y Guatemala de la región del Altiplano Central, excluyendo la ciudad de Guatemala.

La Fase I del Estudio abarcó los 96 municipios y sus alrededores indicados en el mapa de ubicación. Mientras tanto, en la Fase II, el estudio fue enfocado particularmente en los 10 municipios prioritarios y se llevó a cabo el estudio de factibilidad.

1.2.4 Equipo de Estudio

Con el fin de agilizar el desarrollo del Estudio y transferir efectivamente la tecnología, el INFOM organizó un grupo de supervisión y coordinación, y de la contraparte para formar el "Equipo de Estudio" conjunto INFOM/JICA. El equipo estuvo integrado por los siguientes miembros.

Miembros guatemaltecos:

a) Miembros del grupo de supervisión y coordinación:

Lic. Gustavo Leal	Gerente de INFOM
Ing. Tofic Abularach	Asesor de la Gerencia
Ing Carlos Salvatierra	Jefe del Depto. de Operación y Mantenimiento
Ing. Ulrich Seifert	Jefe de la Sección de Operación
Ing. Adán Pocasangre	Asesor Técnico

b) Miembros de la contraparte:

Ing. Rafael Girón	Coordinador, INFOM
Ing. Nelson Díaz Duke	Ingeniero Civil
Lcda. María del Rosario Alcántara	Bioquímica

Miembros japoneses de JICA:

Ing. Kunio Fujiwara	Jefe del Equipo JICA / Desarrollo de Agua Subterránea
Ing. Atsuo Kanda	Jefe Adjunto / Hidrogeología, Ambiente Natural
Ing. Masatoshi Tanaka	Geofísico / Hidrología A, Perforación Exploratoria A
Ing. Akiko Mukade	Calidad de Agua, Ambiente Sanitario
Ing. Shuji Arakawa	Instalaciones de Suministro de Agua
Ing. Masaharu Kina	Estudio socioeconómico A
Ing. Masaru Obara	Estudio socioeconómico B
Ing. Masayuki Ogata	Perforación Exploratoria B
Ms. Xiomara Yamaguchi	Apoyo administrativo de la Fase I
Ing. Valerio Gutiérrez	Apoyo administrativo de la Fase II

1.3 Descripción del Estudio

1.3.1 Componentes y Secuencia

El objetivo primordial del presente Estudio es formular un plan de desarrollo de los recursos hídricos capaz de responder a la

demanda creciente de los municipios propuestos. El sistema de suministro actual depende mayormente de las aguas de los manantiales, particularmente, de aquellos situados a una elevación mayor que las áreas de servicio, lo que permite reducir considerablemente los costos de operación y mantenimiento. Sin embargo, estas fuentes han sido completamente explotados, dejando sólo un margen muy reducido de desarrollar nuevos manantiales. Por lo tanto, las nuevas fuentes alternativas pueden pensarse en:

- Desarrollo de manantiales ubicados a una cota menor
- Colección de las aguas subterráneas del acuífero poco profundo mediante la construcción de pozos o galerías de infiltración

Sin embargo, existe una serie de dificultades en la explotación, a saber:

- El potencial de desarrollo de nuevas fuentes no siempre es suficiente
- Calidad de agua deteriorada, en particular de las aguas superficiales
- Costos elevados de operación y mantenimiento, en especial, en los sistemas de suministro de agua con bombeo motorizado.

De este modo, la Fase I del presente Estudio fue enfocado en los siguientes 3 grandes componentes:

- 1) Estudio del desarrollo de las fuentes de agua con énfasis en las aguas subterráneas, incluyendo:
 - Hidrogeología
 - Meteorología, hidrología y calidad de agua
- 2) Estudio socioeconómico, incluyendo:
 - Demanda de agua

- Sistema de suministro de agua actual y el nivel de servicio
 - Ambiente social
 - Deseos de la comunidad local por el mejoramiento del servicio y capacidad económica para sufragar los costos de operación y mantenimiento
- 3) Categorización y priorización de los municipios para la formulación de la estrategia del desarrollo de las fuentes de agua fundamentada sobre los resultados de los dos componentes del estudio mencionados.

En la Fase II, por su lado, el estudio de factibilidad para el proyecto del suministro de agua en los 10 municipios seleccionados fue ejecutado incluyendo los 3 siguientes componentes:

- 1) Verificación de las condiciones hidrogeológicas a través de las investigaciones hidrológicas e hidrogeológicas detalladas, incluyendo las pruebas de perforación y de bombeo.
- 2) Diseño de las instalaciones de toma (pozos), conducción y distribución de agua en los 10 municipios, y la formulación de un plan tentativo de mejoramiento (del sistema de distribución) en un municipio.
- 3) Evaluación del proyecto incluyendo la estimación de costos.

En la Figura 1.3.1 se muestra el diagrama de flujo del Estudio con los temas del trabajo, mientras que en la Figura 1.3.2 se presenta el cronograma del estudio.

A continuación se describe a grandes rasgos el avance del estudio según fases:

Fase I:

Duración de 6 meses y medio, entre enero y julio de 1994. Los primeros cuatro meses fueron dedicados a la recopilación de datos, análisis y estudios detallados de los 49 municipios en Guatemala. Aquí fueron categorizados 96 municipios en términos de las condiciones socioeconómicas e hidrogeológicas. Se preparó el Informe de Avance (1) y se sostuvo una serie de discusiones en los primeros días del mes de junio en Guatemala.

Los datos e informaciones recogidos fueron llevados al Japón, donde se sometieron al análisis y procesamiento a fin de establecer una estrategia del desarrollo de las fuentes de agua. Se preparó el Informe Intermedio resumiendo los resultados obtenidos y se preparó el plan tentativo para los diez municipios seleccionados para ejecutar el estudio de factibilidad en la Fase II.

Fase II:

Duración de nueve meses y medio, desde julio de 1994 hasta mayo de 1995. Los primeros cinco meses desde julio a diciembre fueron dedicados a realizar las investigaciones hidrológicas e hidrogeológicas para la preparación del mapa hidrogeológico, y a recoger los datos adicionales necesarios para efectuar el estudio de factibilidad en los 10 municipios seleccionados. El Informe de Avance (2) fue preparado antes de finalizar estos cinco meses.

Después de tres meses de realizado los trabajos analíticos en Japón desde enero de 1995, se preparó el Borrador del Informe Final cubriendo todas las áreas del Estudio. Las conclusiones y los resultados fueron sometidos a discusión con los oficiales guatemaltecos en mayo de 1995.

Entrega del Informe Final:

Dentro de un mes de haber recibido los comentarios sobre el Borrador del Informe Final de los oficiales del Gobierno de Guatemala, se preparó y entregó al Gobierno de Guatemala el Informe Final de parte de JICA a través de canales diplomáticos. Con esta entrega, se dió por concluido el presente Estudio.

1.3.2 Tecnología Aplicada

Las siguientes tecnologías fueron aplicadas en el transcurso del presente Estudio.

- a. Estudio del potencial de desarrollo de las fuentes de agua (en especial, subterránea)

a-1 Hidrogeología

(Fase I)

- Revisión de los estudios, informes e informaciones geológicas disponibles
- Interpretación de las fotografías aéreas (topografía y geología)
- Reconocimiento geológico en terreno
- Revisión de los registros de perforación existentes (litología y tasas de bombeo)
- Prospección geofísica (sondeo de resistividad eléctrica) para la clasificación de los estratos geológicos y sondeo de profundidad)
- Entrevistas sobre el grado de utilización de las fuentes (manantiales y aguas subterráneas)

(Fase II)

- Reconocimiento hidrogeológico detallado en terreno
- Interpretación de las fotografías aéreas
- Sondeo de resistividad eléctrica
- Prueba de perforación y sondeo geofísico
- Prueba de bombeo para determinar los parámetros hidráulicos de los acuíferos

a-2 Hidrología

(Fase I)

- Recopilación y revisión de los datos meteorológicos
- Recopilación y ordenamiento de los datos de descarga
- Análisis preliminar sobre el balance hídrico según cuencas
- Observaciones de flujos de los ríos para localizar las estaciones de medición de flujo
- Medición de la descarga de los manantiales
- Análisis de la calidad de agua (pH, conductividad eléctrica)

(Fase II)

- Instalación de los medidores automáticos del nivel de agua en los pozos perforados y monitoreo del nivel freático
- Medición de las descargas de los manantiales y de los ríos
- Análisis de la calidad de agua

b. Estudio del medio ambiente social y de las condiciones socioeconómicas en la Fase I:

b-1 Medio ambiente social y sistemas existentes de suministro de agua

- Recopilación y revisión de las informaciones de cada municipio
- Distribución y recuperación de los cuestionarios
- Entrevistas sobre el nivel actual de servicio, deseos por el mejoramiento del nivel de servicio y capacidad económica para cubrir los costos de operación y mantenimiento
- Inspección de las instalaciones existentes de toma de agua, conducción, almacenamiento y distribución
- Entrevistas sobre el uso de las aguas (doméstico, agrícola e industrial)
- Estudio sobre los aspectos de saneamiento mediante entrevistas y el análisis de calidad de agua

b-2 Aspectos socioeconómicas

- Recopilación y revisión de las estadísticas financieras
- Entrevistas a las autoridades municipales sobre los asuntos financieros
- Entrevista sobre las industrias y nivel de ingresos en cada municipio, así como la capacidad financiera para pagar la tarifa de servicio de agua

c. Estudio sobre el diseño de los sistemas de suministro de agua en la Fase II

- Estudio sobre el consumo doméstico de agua
- Medición de la producción de agua para el uso doméstico
- Estudio de la topografía y del uso de las tierras a lo largo de las líneas de conducción propuestas
- Capacidad de los tanques de distribución

- Estimación de costos de materiales para la construcción de las instalaciones
- Estimación de costos de construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones

Figura 1.3.1 Diagrama de Flujo del Plan de Operación

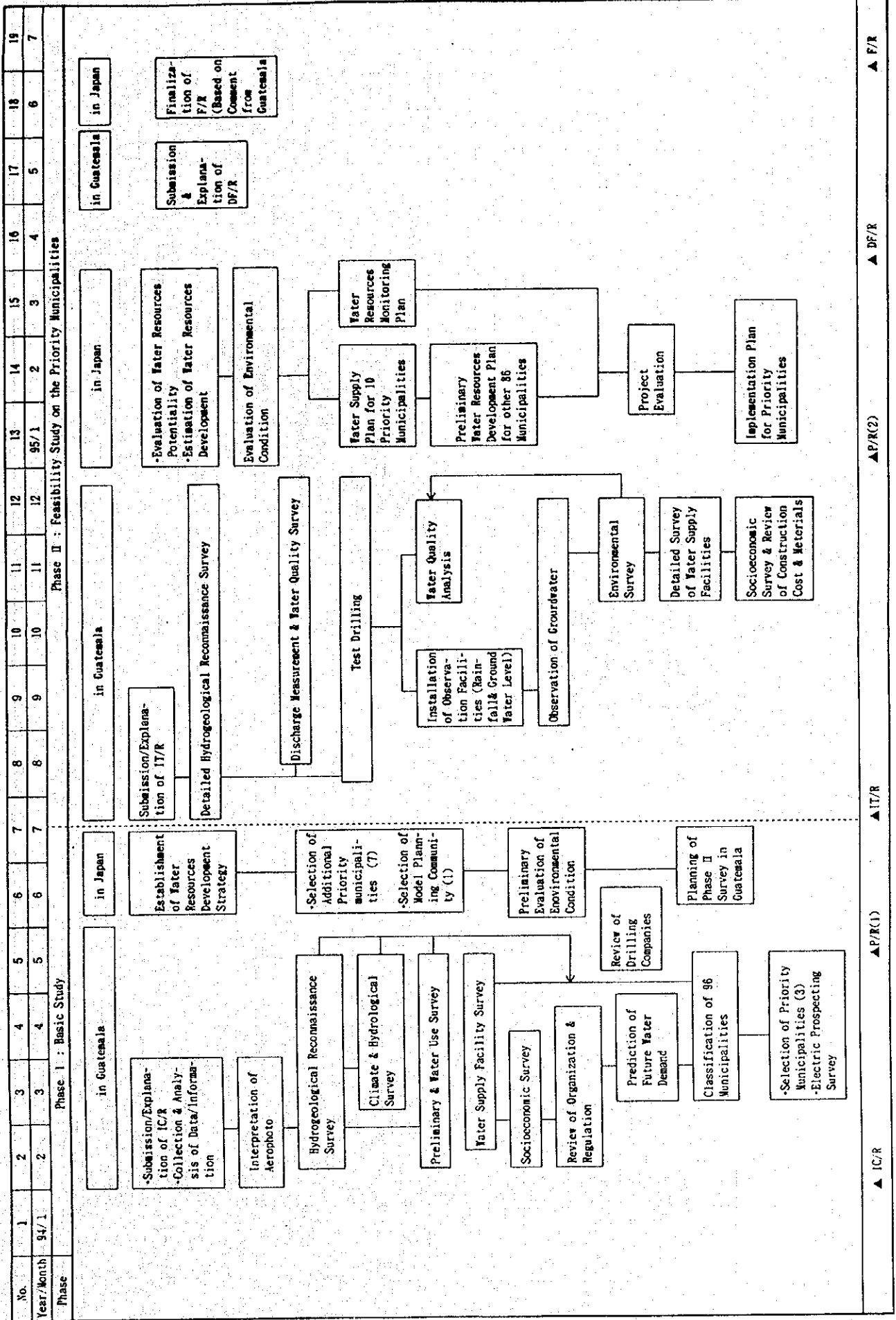
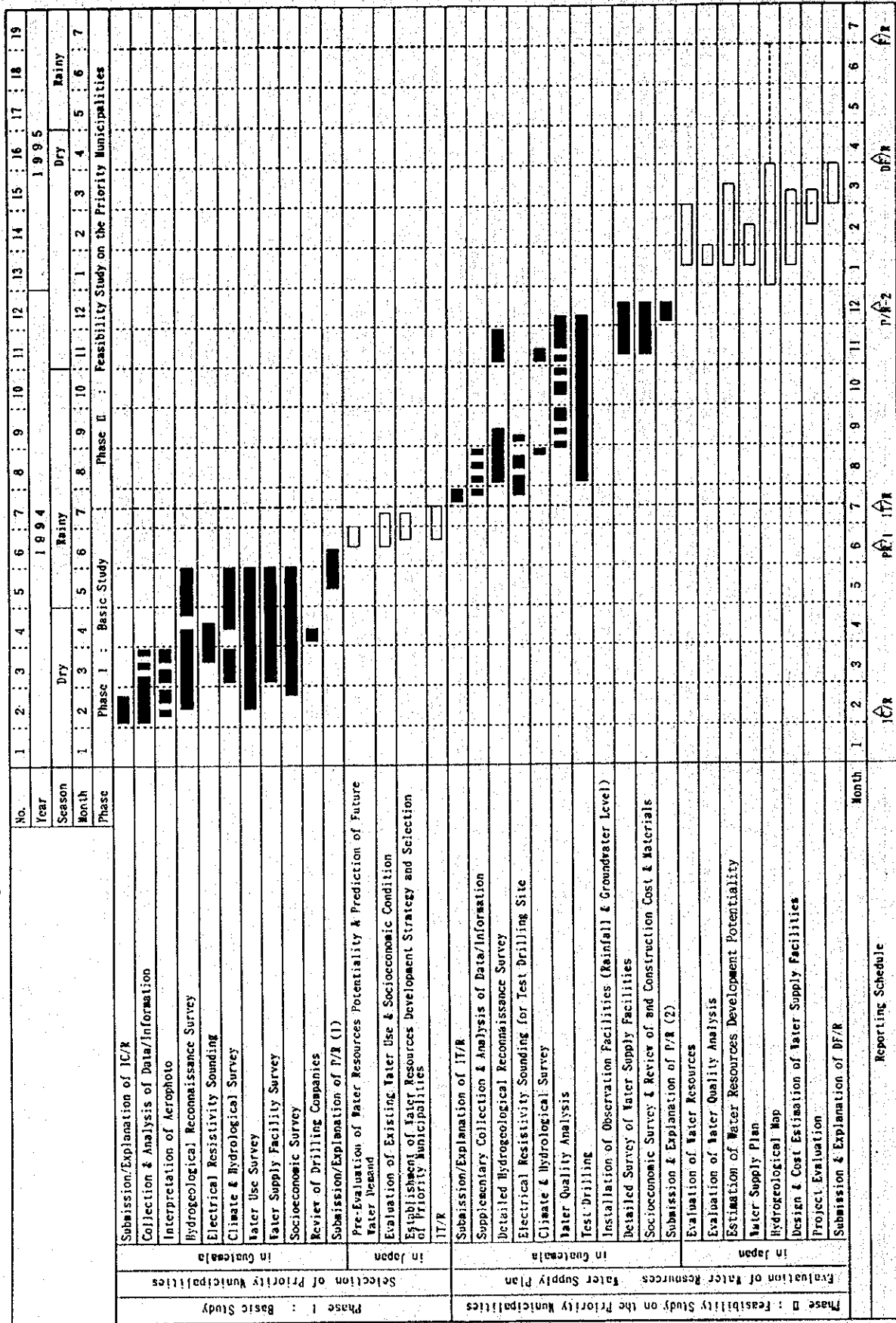


Figura 1.3.2 Programa del Trabajo



in Guatemala in Japan Submission of the Reports Others

Capítulo 2

2. CONDICIONES GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 Condiciones Naturales

2.1.1 Topografía

Guatemala se localiza aproximadamente entre las latitudes norte 14° y 18°, y longitudes oeste 88° y 92°. Situándose al sur de México y al noroeste de Honduras y El Salvador, sobre el istmo de Centro América, ocupa una superficie de 108,899 km², entre los Océanos Atlántico y Pacífico.

El territorio nacional se divide en 3 zonas geológicas y geográficas. La llanura costera en la parte sur, el Altiplano Central y la planicie boscosa en el norte. El Area de Estudio está localizada en el Altiplano Central.

El altiplano central ocupa alrededor de una décima parte de la superficie total del país y se compone de la cadena montañosa de la Sierra Madre y los Cuchumatanes con rangos de elevación oscilando entre 600 metros en el sureste hasta más de 3,000 metros en el noroeste. Estas montañas del altiplano abarcan numerosas cuencas y una cadena de volcanes jóvenes; extendiéndose en dirección noroeste-sureste a lo largo de la margen suroeste del Altiplano Central. Los volcanes más altos de la cadena son: Tajumulco (4,220 m., que es el pico más alto en Centro América), Acatenango (de 3,960 m.) y el volcán de Fuego (3,835 m.).

El Area de Estudio está localizada en el límite del Altiplano Central, y consiste principalmente de rocas volcánicas del Neogeno y Cuaternarias que cubren una superficie de 8,658 km².

El área se divide en 9 principales cuencas intermontañas, correspondientes casi a las cuencas subterráneas, las cuales

están catalogadas en este estudio como sigue: (Véase también la Figura 2.1.1)

- a) Cuenca del Río Samala (Quetzaltenango-Totonicapán)
- b) Cuenca de los ríos Negro y Chixoy (Totonicapán)
- c) Cuenca del Lago Atitlán (Sololá)
- d) Cuenca del Río Coyolate (Chimaltenango)
- e) Cuenca del Río Pixcayá (Chimaltenango-Guatemala)
- f) Cuenca del Río Guacalate (Sacatepéquez)
- g) Cuenca del Río Las Vacas / Lago Amatitlán (Guatemala)
- h) Cuenca del Río Los Plátanos (Guatemala)
- i) Cuenca del Río Aguacapa (Guatemala)

Los ríos que drenan desde la zona montañosa central hacia el mar Caribe, tales como el Chixoy o Negro, el Pixcayá, Las Vacas y el Río Los Plátanos, tiene una corriente relativamente lenta, mientras que aquellos que drenan hacia el Océano Pacífico como son el Samala, el Coyolate, el Guacalate y el Aguacapa, son generalmente de flujo rápido.

Los Lagos Atitlán y Amatitlán que ofrecen hermosos paisajes, son lagos de caldera formados por actividades volcánicas durante el Pleistoceno. El Lago Atitlán forma una cuenca semicerrada.

2.1.2 Geología

Las principales rocas del Area de Estudio pueden ser clasificadas hidrogeológicamente en 3 grupos: el grupo de basamento, el grupo volcánico terciario y el volcánico cuaternario, en orden ascendente.

El grupo de basamento está constituido por las rocas metamórficas, series de cretáceos y por las rocas intrusivas, y se categoriza hidrogeológicamente como el basamento impermeable

de las cuencas de las aguas subterráneas.

Las rocas metamórficas compuestas de filitas y esquistos son probablemente del Paleozoico Superior, y están expuestas, principalmente, en el límite noroeste del Area de Estudio.

Las series de Cretáceo se dividen, litológicamente, en 3 subgrupos, a saber: calcáreo inferior, b) volcánico medio (rocas basálticas, y c) clástico superior. El calcáreo inferior consiste en rocas calcáreas y dolomíticas del período Cretáceo Temprano, y aparece en forma masiva con ligera estratificación. Este subgrupo está parcialmente fallado y fracturado, y forma zonas acuíferas; su grosor puede llegar, supuestamente, hasta 500 metros, en algunos lugares. El subgrupo volcánico medio consiste principalmente en lava basáltica fracturada con materiales piroclásticos; su grosor se estima en 350 metros. Finalmente, el subgrupo clástico superior consiste en conglomerados, roca parta terrosa y radiolaritas calcáreas, con un grosor estimado de 450 metros. Se considera que éste pertenece al Cretáceo Tardío.

Las rocas intrusivas compuestas de granodiorita, diorita de cuarzo y monzonita de cuarzo se presentan generalmente como cuerpos de rocas masivas. La edad geológica de sus intrusiones, en el Area de Estudio, se considera que es del Cretáceo Tardío o Paleoceno.

El grupo volcánico terciario consiste totalmente en materiales volcánicos del Mioceno al Paleoceno, y se divide en 2 subgrupos: el inferior y el superior.

El subgrupo inferior está compuesto, principalmente, de lateritas (traquiandesitas), tobas soldadas dacíticas; mientras que el subgrupo superior consiste en piroclásticos riolíticos, andesíticos basálticos, lodo volcánico y toba.

El espesor del grupo volcánico terciario es variable dependiendo de su origen en el área de erupción volcánica. Las rocas de este grupo están altamente fracturadas, y forman los acuíferos locales.

El grupo volcánico cuaternario se divide en 3 subgrupos: el volcánico pleistocénico, el volcánico holocénico y el de depósitos aluviales.

El Volcánico del Pleistoceno (Qp) se compone, principalmente, de sedimentos de pómez (tipos piroclásticos de flujos y de caída). Generalmente, estos sedimentos de pómez están solidificados y parcialmente acompañados de depósitos lacustres. La parte principal de las cuencas intermontañas en el Area de Estudio, está llena de estos sedimentos, que forman las principales capas o estratos del acuífero (acuífero principal).

El Volcánico del Holoceno (Qv), compuesto de flujos de lava, flujos de lodo volcánico (depósitos), tobas, conos y cúpulas, se distribuye a lo largo de la cadena volcánica en dirección NO-SE, cerca de la margen sureste del Altiplano Central.

Los depósitos aluviales (Qa) yacen principalmente, a lo largo de los valles y de las riberas lacustres y se componen de sedimentos secundarios de los materiales volcánicos ya mencionados.

2.1.3 Estructura e Historia Geológica

Tal como se muestra en la Figura 2.1.2, la estructura geológica regional en el Area de Estudio se caracteriza por las unidades litológicas del grupo Basalto, el grupo Volcánico Terciario y el Volcánico Cuaternario, así como por el sistema de fallas

constituido por fallas mayores, el graben y las fallas menores (locales). Estas unidades litológicas, sistemas de fallas mayores y el graben, aparecen en dirección E-O y con un arco convexo desviado hacia el sur.

La Figura 2.1.3 muestra la condición paleogeográfica hacia el sur de Guatemala en el Cretáceo Temprano. Se considera que hasta comienzos del Cretáceo Temprano, el sur de Guatemala estaba constituido por la región montañosa que se extiende en dirección E-O (incluyendo las Sierras Madre, Chuacus y las Minas), y altiplanos hacia el norte y el sur de la región montañosa. Estas regiones estaban compuestas principalmente por sedimentos clásticos del Período Paleozoico. Luego, a partir del Paleozoico Tardío al Jurásico, se formaron el mayor sistema de fallas (el Cuilco-Chixoy y el Motagua-San Agustín) y el graben a través de los movimientos orogénicos.

El movimiento progresó durante el Cretáceo Temprano en las regiones montañosas y en los altiplanos, así como también en el área del graben recientemente formado. Tal transgresión continuó hasta la época del Paleoceno Temprano. Durante esta época, las series de cretáceos constituidas por el subgrupo calcáreo inferior (compuesto principalmente por caliza maciza y por dolomita), el subgrupo volcánico medio (rocas basálticas), y por el clástico superior (conglomerado y radiolarita calcárea) yacían ampliamente sobre el Área de Estudio.

El espesor total de la formación Cretácea es aproximadamente de 1,300 metros.

Desde el Cretáceo Tardío hasta el Paleoceno Temprano, las rocas ígneas consistentes de grano diorita, diorita cuarzosa y monzonita cuarzosa intrusieron en las Series de Cretáceos, a través del basalto metamórfico del Paleozoico Tardío. Estas actividades ígneas originaron un movimiento geotectónico agudo,

con amplios levantamientos, subsidencias locales, fallas y dobleces. Como resultado de los movimientos geotectónicos, ocurrió un levantamiento en el Area de Estudio que transformó el relieve marino poco profundo a tierras levantadas. El principal sistema de falla inicial (el Cuilco-Chixoy y el Motagua-San Agustín) fue transformado con fallas locales. Durante esta etapa, las cuencas intermontañas iniciales, junto con el graben, fueron también reformadas.

Aunque las Series Cretácea y las rocas ígneas están expuestas en forma de bloques levantados y aislados en el Area de Estudio, se asume que estos grupos de basamento fueron distribuidos como se muestra en la Fig. 2.1.4. Las Series Cretáceas se extienden con una anchura aproximada de 35-40 km. en dirección NO-SE y están compuestas por 2 franjas de rocas ígneas.

El sistema de fallas Cuilco-Chixoy se localiza en el extremo noroeste del Area de Estudio y se extiende en dirección E-O, formando un arco hacia el sur. El sistema de fallas Motagua-San Agustín se extiende casi paralelamente al sistema Cuilco-Chixoy, formando también un arco con dirección sur. Este sistema se sitúa a lo largo del extremo central y oriental del límite sur del Area de Estudio. Un movimiento relativo del sistema de fallas al lado izquierdo fue causado por una compresión hacia el NO-SO, la que fue provocada principalmente por la actividad ígnea ya mencionada; la convexidad originó la combinación de fallas con fracturas abiertas en las direcciones SSO-NNE, N-S, NNO-SSE.

A través de los períodos del Mioceno al Plioceno, ocurrieron grandes erupciones volcánicas en todas las zonas del Area de Estudio. Las actividades volcánicas iniciales, principalmente en el Mioceno, lanzaron grandes cantidades de lateritas, tobas dacíticas y tobas soldadas; mientras que las actividades volcánicas secundarias, ocurridas principalmente en el Plioceno,

también lanzaron volumen importante de materiales volcánicos consistentes de flujos piroclásticos riolíticos, andesíticos y basálticos, flujos de lodo volcánico (depósitos laháricos) y tobas. Supuestamente, los centros de estas erupciones volcánicas se localizaban dentro de las cuencas intermontañosas actuales.

Después de las violentas actividades volcánicas del Neogeno, hubo un período geotectónico relativamente calmado que duró hasta el Pleistoceno Temprano, durante el cual, las áreas de las cuencas intermontañosas fueron ampliándose a través de los efectos de erosión.

A partir de las últimas etapas del Pleistoceno Temprano, empezaron los movimientos de bloques, levantamientos, fallas y subsidencia de las áreas locales. Durante el Pleistoceno Medio, este movimiento de bloques fue acelerado, y consecuentemente, aparecieron las cuencas geotectónicas y el graben en las cuencas intermontañosas agrandadas.

Casi en el mismo período ocurrieron, una vez más, grandes erupciones arrojando materiales volcánicos pleistocénicos (Qp), a lo largo de la zona volcánica terciaria (Tv). Los Volcánicos Pleistocénicos consistieron, principalmente, de sedimentos de pómez con capas clásticas de depósitos lacustres que cubrían una gran parte de las cuencas intermontañosas incluyendo las cuencas geotectónicas y el graben. Los lagos Atitlán y Amatitlán son probablemente lagos de caldera formados después de que los volcanes originales arrojaron grandes cantidades de pómez.

Además de los movimientos de las placas y de la actividad volcánica mencionada, nuevas actividades volcánicas del Holoceno han continuado ocurriendo en los volcanes cuaternarios (Qv) (por ejemplo, Santa María, Fuego y Pacaya), extendiéndose a lo largo del límite sur de la zona volcánica terciaria. El terremoto de Guatemala ocurrido en el año 1976, se debió al movimiento de

placas en ésta área. Las fallas asociadas son principalmente del mismo origen tectónico mencionado.

2.1.4 Clima

El Area de Estudio abarca 6 Departamentos, a saber: Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, Sololá, Totonicapán y Quetzaltenango, de este a oeste. La mayor parte del área pertenece al Altiplano Central, con excepción de la parte sur de Quetzaltenango.

La elevación del Altiplano Central varía de 1,500 a 3,000 m.s.n.m. La ciudad de Guatemala se ubica a una altitud de 1,500 m.s.n.m. y Quetzaltenango a 2,500 m.s.n.m. Los municipios del Area de Estudio se clasifican climatológicamente en tierras altas y tropical, según su ubicación.

La temperatura media varía de un mínimo de 18.8°C en enero, hasta un máximo de 22.2°C en abril, según los datos de la Estación Potrero; y de un mínimo de 11°C en enero a un máximo de 14.7°C en mayo en la Estación Labor Ovalle.

Generalmente, los meses de mayo a octubre corresponden a la época de lluvia. Tal como se muestra en la Figura 2.1.5, la precipitación mensual tiene dos puntos picos, (en junio y septiembre). En la mayoría de los municipios candidatos en el Area de Estudio, la precipitación anual varía entre 1,000 y 1,200 mm., con excepción de las áreas del sur de Quetzaltenango, (Colomba, etc.) donde ocurre más de 3,000 mm.

En el siguiente cuadro se resumen las temperaturas media, máxima y mínima, así como la precipitación anual registradas en las cuatro estaciones de INSIVUMEH, Santa Cruz Balanyá, Labor Ovalle y San Jerónimo, que se ubican respectivamente al este, centro,