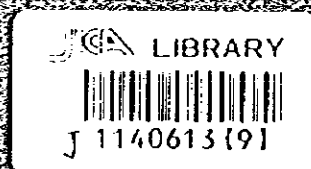


AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)  
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
REPUBLICA DE EL SALVADOR

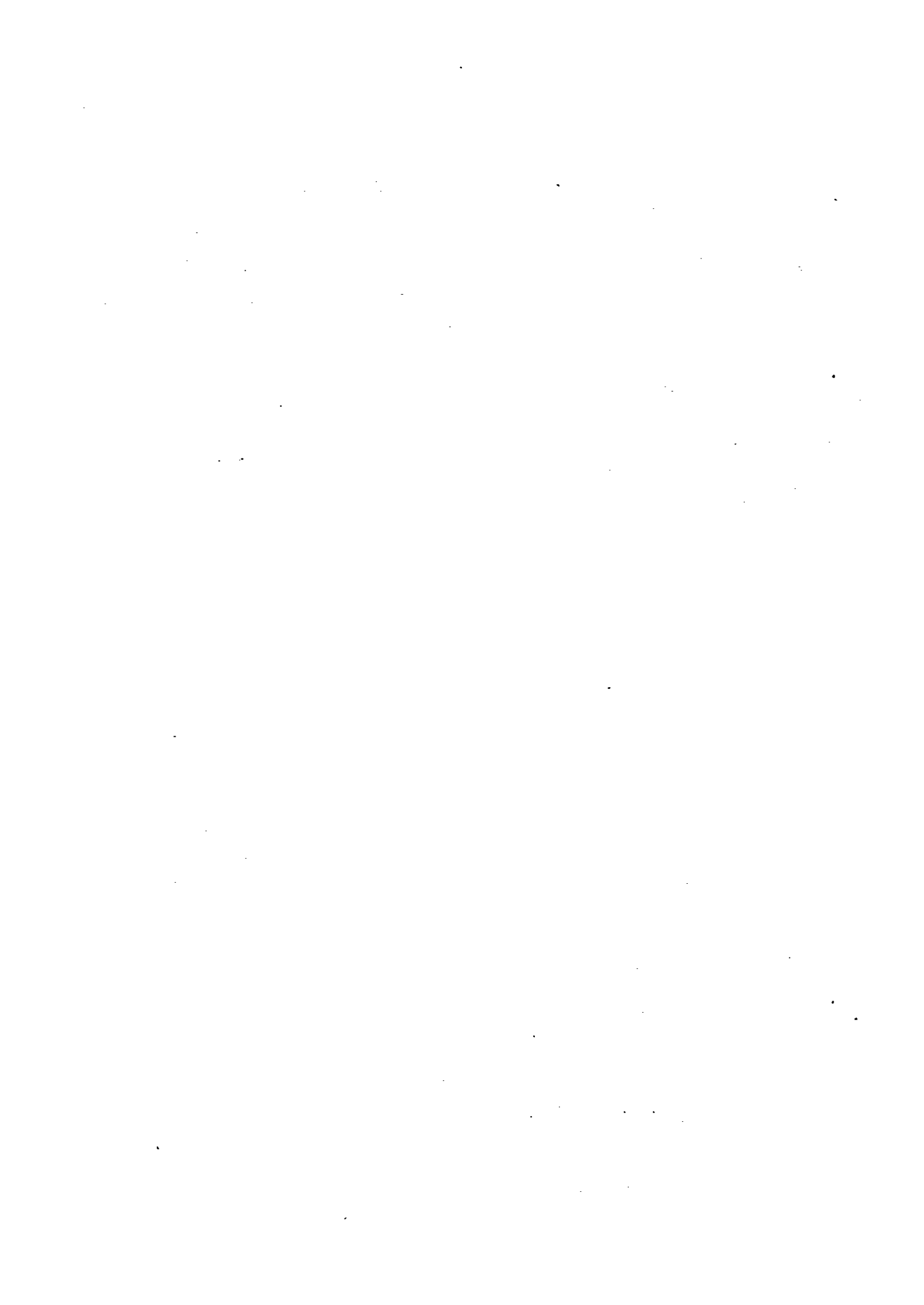
EL ESTUDIO  
DE  
CONTROL INTEGRAL DE CRECIDAS  
EN  
EL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL  
EN  
LA REPUBLICA DE EL SALVADOR

REPORTE DE APOYO

SEPTIEMBRE DE 1997



AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON  
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
REPUBLICA DE EL SALVADOR



**AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)  
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
REPUBLICA DE EL SALVADOR**

**EL ESTUDIO  
DE  
CONTROL INTEGRAL DE CRECIDAS  
EN  
EL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL  
EN  
LA REPUBLICA DE EL SALVADOR**

**REPORTE DE APOYO**

**SEPTIEMBRE DE 1997**

**PACIFIC CONSULTANTS INTERNATIONAL, TOKYO  
NIKKEN CONSULTANTS INC., TOKYO  
PASCO INTERNATIONAL INC., TOKYO**



1140613 {9}

## LISTA DE INFORME DE APOYO

Informe de Apoyo A:	Topografía y Geología
Informe de Apoyo B:	Meteorología e Hidrología
Informe de Apoyo C:	Socio-Economía
Informe de Apoyo D:	Política de Desarrollo Regional
Informe de Apoyo E:	Condiciones de Inundaciones y Daños por Inundación
Informe de Apoyo F:	Medio Ambiente
Informe de Apoyo G:	Organización e Instituciones
Informe de Apoyo H:	Desarrollo de Recursos Hídricos
Informe de Apoyo I:	Planes y Proyectos Relacionados
Informe de Apoyo J:	Plan para el Manejo de Cuencas Hidrográficas
Informe de Apoyo K:	Manejo de Planicies Inundables
Informe de Apoyo L:	Plan para el Almacenamiento del Agua de Inundación
Informe de Apoyo M:	Plan de Mejoramiento del Río
Informe de Apoyo N:	Plan de Construcción y Estimación de Costo
Informe de Apoyo O:	Evaluación Económica y Financiera
Informe de Apoyo P:	Reconocimientos de Campo
Informe de Apoyo Q:	Alcance de Trabajo

**REPORTE DE APOYO**

**A: TOPOGRAFIA Y GEOLOGIA**

## Reporte de Apoyo A: Topografía y Geología

### Contenido

1.	DESCRIPCION GENERAL -----	A.1
2.	TOPOGRAFIA-----	A.2
3.	GEOLOGIA-----	A.4
4.	INGENIERIA GEOLOGICA-----	A.8
5.	ACTIVIDAD DE LA FALLA CUATERNARIA -----	A.9
6.	PRODUCCION DE SEDIMENTO-----	A.10
7.	CONDICION GEOLOGICA A LO LARGO DEL RIO -----	A.11
8.	MATERIALES DE CONSTRUCCION-----	A.13

## Lista de Cuadros y Figuras en el Reporte de Apoyo A

Cuadro A.1	Geología del Area de Estudio .....	A.5
Cuadro A.2	Propiedades de Ingeniería.....	A.9
Cuadro A.3	Condiciones Geológicas a lo Largo del Río.....	A.12
Cuadro A.4	Clasificación de Rocas y Solidez del Suelo .....	A.13
Cuadro A.5	Materiales de Construcción.....	A.13
Figura A.1	Topografía del Area de Estudio .....	A.F.1
Figura A.2	Geología en el Area de Estudio .....	A.F.2
Figura A.3	Estructura Geológica en el Area de Estudio.....	A.F.3
Figura A.4	Ubicación de Rocas Expuestas: El Delirio .....	A.F.4
Figura A.5	Ubicación de Rocas Expuestas: Vado Marín .....	A.F.5



Los objetivos principales del estudio topográfico y geológico son para esclarecer las características de la Topografía y de la Ingeniería Geológica en el Area de Estudio, basado en los siguientes términos:

- 1) Solidez de suelo y roca de la fundación para el planeamiento de las facilidades del río.
- 2) Ubicación y características de los materiales de construcción para el Proyecto, tales como agregados para concreto de estructuras, y tierra para el dique.
- 3) Condición de la loma con relación a la estabilidad del declive y producción de sedimento.
- 4) Actividades de fallas cuaternarias relacionadas con el planeamiento de la presa.
- 5) Topografía y Geología del Area de Estudio para el Estudio en general.

#### **(1) Descripción General.**

El Salvador está ubicado en la Zona Volcánica Circum-Pacífica, la cual se caracteriza por actividades volcánicas y terremotos. El país puede ser dividido en cuatro regiones topográficas, las cuales se extienden paralelas a la línea costera con tendencia Noroeste hacia Sudeste, las cuales son las siguientes:

- Cordillera de Honduras
- Valle del Río Lempa
- Depresión Volcánica Central
- Planicie Costera

El Area de Estudio, la Cuenca del Río de San Miguel, abarca en parte la Cordillera de Honduras y la Depresión Volcánica Central. La Depresión Volcánica Central incluye la cadena de volcanes, algunos de los cuáles están activos. Uno de ellos es el Volcán de San Miguel, ubicado en la parte oeste del Area de Estudio, emitiendo humo de su

cráter. Esta cima y su asociada cadena de picos, también de reciente formación, se ubican en el oeste de la ciudad de San Miguel y su extensión llega hasta las cercanías de la ciudad de San Salvador. Como resultado de su actividad, se han formado extensiones depresivas por hundimiento de tierra, debido a la erupción y formación de picos volcánicos de gran altura.

El Río de San Miguel se origina en la Cordillera de Honduras, y fluye generalmente de Norte a Sur, rodeando fuertemente la Depresión Volcánica Central, y desemboca en el Océano Pacífico. Su área de captación es de 2,247 km<sup>2</sup>.

La Geología en el Área de Estudio está compuesta de rocas volcánicas y materiales de erupción de diversos tipos y épocas. Consiste de tobas finas, lapíceas, breccias, vítreas e ígneas intercaladas con lava basáltica y/o lava andesita. Depósitos recientes como planicies inundables, pantanos, taludes, y terraplenes cubren las rocas volcánicas y se encuentran a lo largo de la cuenca del río y del área de depresión de la Laguna de Olomega y la Laguna El Jocotal.

## (2) Topografía

Por medio de fotografías aéreas y mapas topográficos se ha llegado a tener una mejor interpretación de las condiciones de declive y topográficas del Área de Estudio. Los resultados se muestran en la Fig. A.1.

La cuenca alta del Río está ubicada en la Cordillera de Honduras, donde la elevación oscila desde los 300 metros a los 1,000 metros, y está caracterizada principalmente por la distribución de roca volcánica antigua de la Época de Mioceno.

La cuenca media y baja del Río se ubican en la Depresión Volcánica Central, la cual se caracteriza principalmente por volcanes activos, tales como el Volcán de San Miguel. Se encuentran extensiones de tierra depresivas (bajas) como consecuencia de erupciones volcánicas en las áreas que se extienden de la cercanía de la Ciudad de San Miguel hasta la Laguna de Olomega y alrededor de la Laguna El Jocotal. En los alrededores de la

Laguna El Jocotal, se encuentra una gran superficie de inundación que ha sido embalsada en muchas ocasiones durante la pasada Era Geológica, por medio del flujo lava y del flujo piroclástico. El pico más alto es el Volcán de San Miguel con 2,130 metros sobre el nivel del mar.

El área de la desembocadura del río está ubicada al oeste de la cadena montañosa costera. La cadena tiene una altitud de 100 metros en la parte oeste y 600 metros en la parte este, donde el pico más alto es el Cerro Monito con 882.95 metros. También, áreas pantanosas y manglares se encuentran ampliamente distribuidos en el área de la desembocadura del Río.

No se aprecia ningún gran derrumbe de tierra, ni de roca, ni tampoco extensiones a gran escala de tierra devastada, ni al descubierto. Existen siete derrumbes de roca en el Area de Estudio, con un área de 0.5 a 0.9 km<sup>2</sup>, cuyo total es de 4.5 km<sup>2</sup>. Esto solo totaliza un 0.2% del área de Estudio que es de 2,247 km<sup>2</sup>. Es un total muy pequeño para considerarlo como principal elemento en la producción de sedimento. Todas las superficies terrenas están cubiertas por grama con árboles y bosques, excepto a lo largo de carreteras bajo construcción y pequeñas canteras. El sedimento será considerado basándose en la fuerza de la lluvia, condición geológica, vegetación e inclinación del terreno.

El Area de Estudio esta clasificada en las cinco (5) siguientes regiones topográficas (referirse a Fig. A.1).

Montañosa 1	: inclinación = mayor de 30.5 grados
Montañosa 2	: inclinación = 18.4 a 30.5 grados
Montañosa 3	: inclinación = 11.3 a 18.4 grados
Con colinas	: inclinación = 2 a 11.3 grados
Ondulado	: inclinación = menor de 2 grados
Tierra de Bajo Fluvial:	inclinación = aproximadamente plana

### Región Montañosa 1

Solamente se encuentra distribuida en los picos volcánicos del Volcán de San Miguel, Volcán de Usulután, y otros volcanes pequeños. El grado de inclinación es de 30 a 35 grados continuando con la región Montañosa 2.

### Región Montañosa 2

Se encuentra distribuida en las montañas de la Cordillera de Honduras, donde cubre la cuenca alta del Río, llegando a media cuesta del Volcán de San Miguel, Volcán de Usulután, y otros volcanes mas pequeños.

### Región Montañosa 3

Se encuentra ampliamente distribuida en las montañas de la cuenca media del Río y en las montañas costeras.

### Región de Colinas

Se encuentra ampliamente distribuida al pie de las montañas y es principalmente utilizada para pastizales y con fines agrícolas.

### Región Ondulada

Se encuentra ampliamente distribuida entre el pie de las montañas y los ríos. Esta principalmente caracterizada por los taludes y depósitos sobre los terraplenes, y es también utilizada para pastizales y con fines agrícolas.

### Tierra de Bajo Fluvial

Se encuentra ampliamente distribuida a lo largo del río y en las áreas de depresión de las Lagunas de Olomega y El Jocotal. Está principalmente caracterizada por los depósitos fluviales en tierras planas, utilizándose como pastizales y tierras agrícolas.

## (3) Geología

Se condujo la interpretación de fotografías aéreas y el reconocimiento en el campo para tener una mejor visión de la Ingeniería Geológica en el Area de Estudio. Los resultados se aprecian en la Fig. A.2.

La Geología del Area de Estudio consiste de varios tipos de rocas volcánicas y de varias épocas geológicas, como se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro A.1 Geología del Area de Estudio

Era	Período	Epoca	Formación	Sim b	Litología	Observación
Cenozoica	Cuaternaria	Holocena		rd	Depósito Fluvial Reciente	arena, grava con arcilla
				sd	Depósito pantanoso	arcilla con materia orgánica
				al	Depósito aluvionales	arcilla, arena con grava
				ta	Talus, depósito en terrazas	Arcilla, arena, grava
			San Salvador	cd	Depósito cónico	escoria, tobas lapíceas
				Lv	Flujo de Lava	con cuello volcánico
				Py	Flujo Piroclástico	con flujo de lava
				Md	Flujo de lodo	flujo lodoso (café), ácido
	Terciaria	Pleistocena	Cuscatlán	lg	Ignea	
				Lv	Lava	con cuello volcánico
				Py	Flujo Piroclástico	con flujo de lava
		Pliocena	Bálsamo Chalatenango	Lv	Lava	con cuello volcánico
				Vb	Rocas Volcánicas	con flujo volcánico
			Miocena	Morazán	Lv	Lava
Vb	Rocas Volcánicas	con rocas ígneas				

La roca de subsuelo está compuesta de varias formaciones volcánicas, principalmente en la formación de San Salvador en la época Holocena, la formación de Cuscatlán de la Pleistocena a la Pliocena, la formación de Bálsamo, y Chalatenango de la Pliocena a la época Miocena, y la formación de Morazán en la época Miocena. Cada formación consiste en depósitos de conos flujo de lava, flujo piroclástico, flujo de barro con ignimbrita y/o lava y rocas volcánicas. Estas rocas de subsuelo están cubiertas por

reciente (Epoca Holocena) sedimento no consolidado, como por ejemplo los depósitos recientes de río, depósito pantanoso, depósito aluvial, talus y depósito de terracería.

#### Depósitos de Río (rd)

Están distribuidos en la base del río y consiste de arena y grava con arcilla. La grava consiste en varias andesitas de forma muy redonda y basalto entre grande y pequeño. Río abajo, el depósito de río consiste en arena y arcilla sin grava.

#### Depósitos de Pantano (sd)

Están distribuidos cerca de las Lagunas de Olomega y El Jocotal, y fundamentalmente compuestos de barro con materia orgánica. Forman un suelo suave.

#### Depósitos Aluviales (al)

Están distribuidos en las áreas desde la ciudad de San Miguel hasta la Laguna de Olomega, y desde El Delirio a la desembocadura del río. Se originan con depósitos de torrentes de lluvia que básicamente consisten en materiales finos de barro y arena, y localmente consiste en grava transportada por las grandes inundaciones. Estos depósitos consisten en sedimento suelto que aún no se ha consolidado y que fácilmente se convierte en tierra lodosa o pantanosa durante la temporada lluviosa.

#### Talus y Depósitos en Terrazas (ta)

El talus está primordialmente distribuido en la base de la montaña y los depósitos en terraza se encuentran en las orillas del río.

Los depósitos de talus consisten en arcilla, arena y grava que es angular o semi-angular de varios tamaños y de rocas. Los depósitos en terrazas consisten en arena y grava con barro.

Ambos depósitos son sedimentos que aún no se han consolidado y su solidez es mejor que la de los depósitos aluviales.

#### Depósitos de Cono (cd)

Están ubicados únicamente en el Volcán de San Miguel, Volcán de Usulután, Laguna de Aramuaca, y otros pequeños cráteres volcánicos creados por reciente actividad

volcánica en la Formación de San Salvador. Están compuestos de piedra poma aún no consolidada, granulaciones de escoria, y ceniza volcánica que ha caído y cubierto el terreno original.

### Flujo de Lava (la)

El flujo de lava está clasificado independiente de cada formación debido a su utilidad como material de construcción y/o a su alta permeabilidad. Cualquier formación de varias edades geológicas han tenido flujo de lava consistiendo de dasita, andesita, y basalto. La lava posee varias fases litológicas como se explica a continuación:

- Roca dura y fina en la parte central del flujo
- Roca marginal enfriada y
- Roca porosa y/o aglomerada en la parte marginal del flujo de lava.

La lava dura y fina es útil para materiales de construcción, sin embargo la roca porosa y/o roca aglomerada ofrece problemas para fundaciones de presas, debido a su alta permeabilidad. Las lavas se encuentran extensamente distribuidas en el Area de Estudio. Ha sido observado que el flujo de lava ha embalsado el Río y ha cambiado su curso en el pasado.

### Flujo Piroclástico (Py)

El flujo piroclástico, intercalado con lava, consiste de tobas finas, tobas lapíceas, brechas volcánicas y tobas vítreas, tal como las tobas soldadas en la villa de Agua Zarca. Estas rocas están consolidadas, excluyendo las tobas finas.

### Flujo de Lodo (Md)

El flujo de lodo se ha formado por la erupción volcánica con un gran volumen de agua. Es un material fluido y fácilmente fluye mas allá del cráter volcánico que el flujo piroclástico. Está normalmente distribuido en la base de la montaña y tiene la tendencia a formar una pendiente suave. El flujo de lodo tampoco se ha consolidado y fácilmente es lavado por precipitaciones fuertes.

### Rocas Igneas (Ig)

Las rocas ígneas se forman al fusionarse el flujo de cenizas volcánicas en altas temperaturas de una erupción volcánica. La actividad de la ignimbrita ocurrió en la formación de Cuscatlán y esta distribuida cerca de la Laguna Aramuaca y El Delirio. La ignimbrita contiene varios estados de soldadura, desde frágil a dura. No obstante, toda roca ígnea tiene un alto ángulo interno a pesar de tener diferentes resistencias de corte con la tendencia a formar peñascos. La ignimbrita expuesta que se encuentra en El Delirio es posible excavarla con retroexcavadora.

#### Rocas Volcánicas (Vb)

Desde el punto de vista de solidez de roca y dependiendo de su consolidación, las rocas volcánicas se clasifican en las viejas rocas volcánicas del Bálsamo, Chalatenango, y la formación de Morazán, y las recientes rocas volcánicas de San Salvador, y la formación de Cuscatlán. Estas rocas se encuentran distribuidas principalmente aguas arriba del Río y en las cordilleras montañosas costeras. Se encuentran bien consolidadas en comparación con las nuevas rocas volcánicas porque tienen una larga diagénesis. Consisten en tobas brechadas, brechas volcánicas y lava, y se encuentran cubiertas con recientes rocas volcánicas.

La parte superficial de estas rocas es frágil y se encuentra desgastada, pero la parte fresca es dura y se necesita de dinamita para extraerla.

#### (4) Ingeniería Geológica

Las propiedades de ingeniería para cada depósito y su formación, se han sintetizado a continuación:



Cuadro A.2 Propiedades de Ingeniería

Geología	Litología	Solidez	Excavación	Altura/ Gradiente	Producción de Sedimento	Materiales de Construcción
Depósito de río reciente	arena, grava, arcilla	suave, (suelto)	pala mecánica de más de 1.0 m <sup>3</sup> , buldózer 32 tons.	menos de 10 m 1:1.0-1:1.2	mediano	filtro de agregación
Depósito de pantano	arcilla con materia orgánica	muy suave	pala mecánica menor de 1.0 m <sup>3</sup>	Menos de 5.0 m 1:1.2-1:1.5	extensa	
Depósito aluvial	arcilla, arena con grava	media	pala mecánica mayor de 1.0 m <sup>3</sup>	menos de 10 m 1:0.8-1:1.2	extensa	suelo (arcilla)
Talus / Depósito de Terraplen	arcilla, arena con grava	dura y muy dura	pala mecánica mayor de 1,0 m <sup>3</sup> , buldózer 32 tons	menos de 15 m 1:1.0-1:1.5	extensa	suelo (arcilla)
Depósitos de Cono	toba lapícea, escoria	suave (suelto)	pala mecánica mayor de 1.2 m <sup>3</sup>	menos de 10 m 1:1.0-1:1.2	mediano	material de subgrado
Flujo de Lava	dacita, andesita y basalto	roca dura, parcialmente suave	dinamita y buldózer 32 tons con ripper	más de 15 m 1:0.3-1:0.8	pequeño	agregado, roca
Flujo Piroclástico	tobas fina / lapícea/vítreo/breccia volcánica	roca suave	pala mecánica mayor de 1.2 m <sup>3</sup> , buldózer 32 tons	más de 15 m 1:0.5-1:1.2	pequeño	material de subgrado
Flujo de Lodo	ceniza volcánica con grava accidental	dura y muy dura	pala mecánica mayor de 1.2 m <sup>3</sup> , buldózer 32 tons	menos de 15 m 1:1.0-1:1.5	mediano	suelo (arcilla)
Ignimbrita	pietra soldada	roca suave, parcialmente dura	buldózer 32 tons con ripper	más de 15 m 1:0.3-1:0.8	pequeño	material de subgrado
Rocas Volcánicas	rocas viejas de toba breccia, b. volcánica	de roca suave a dura	parcialmente dinamita, buldózer 32 tons con ripper	más de 15 m 1:0.3-1:0.8	pequeño	material de subgrado

Pueden ser excavados por medio de retroexcavadora normal o buldózer con ripper. La dinamita es necesaria para excavar lava y parte de rocas volcánicas. Arcilla arenosa y

arena arcillosa en los depósitos aluviales, que se ubican a lo largo del Río Grande de San Miguel, y planicies aluviales, pueden ser usados para materiales de construcción de embalses de tierra.

#### (5) Actividad de la Falla Cuaternaria

En el Area de Estudio no existen fallas de gran tamaño ocasionadas por movimiento estructural. Además, existen muchas fallas en el Area de Estudio causadas por erupción volcánica en el período Cuaternario. La erupción volcánica produce muchos materiales volcánicos y como resultado forma hundimientos de tierra, por lo que las fallas se forman en diferentes partes, durante el período Cuaternario. Estas fallas no están continuamente activas. En otras palabras, fueron activas después de la erupción volcánica.

Hay muchos lineamientos, que pueden ser fallas cuaternarias en el Area de Estudio, juzgando por la interpretación de fotografías aéreas (referirse a Fig. A.3). Pero no existen lineamientos fotográficos a una distancia de 300 metros del lugar de la presa proyectada. Los extensos lineamientos fotográficos no se encuentran distribuidos a más de 10 km dentro de un círculo, con un radio de 10 km desde el lugar de la presa proyectada.

Existe un extenso lineamiento fotográfico al Norte, aproximadamente a 15 km de distancia del lugar de la presa proyectada, la cual tiene una longitud de 10 km. Esta no es una falla y corresponde parcialmente con la frontera litológica. Es por eso que la planificación de la presa no se ve afectada por la existencia de fallas cuaternarias que podrían moverse y producir un terremoto.

#### (6) Producción de Sedimento

Los factores que afectan la producción de sedimentos son:

- a) Tamaño del área de captación,

- b) Condición geológica, litología, condiciones climatológicas, y derrumbes de roca y de tierra,
- c) Condición topográfica, altitud, ondulación y pendiente,
- d) Vegetación,
- e) Características de precipitación,
- f) Características hidráulicas de los ríos, y
- g) Actividades humanas, deforestación, reclamación, construcción, etc.

No hay evidencia de deslizamientos de tierra, caídas de roca, tierra devastada o solitaria. Hay siete sitios de caídas de roca en el Área de Estudio. Cada sitio tiene un área de 0.5 a 0.9 km<sup>2</sup> y un área total de 4.5 km<sup>2</sup>, correspondiente al 0.2% del Área de Estudio que es de 2,247 km<sup>2</sup>, lo cual es muy pequeño para ser considerado fuente de sedimento.

Los recientes depósitos de río, pantanos, aluviales, talus, terrazas, depósitos de conos y flujo de lodo, no son consolidados y fácilmente se erosionan. O sea que tienen la posibilidad de convertirse en fuente de escorrentía de sedimento.

Los recientes depósitos de río, pantano, y aluvionales, se encuentran distribuidos en terrenos planos. Los sedimentos de estas formaciones ocurren solamente en los embanques de los ríos.

Los depósitos de talus, terraza, cono, y flujo de lodo, son distribuidos en pendiente suave y gran parte de estas formaciones están cubiertas de grama con arboles, y son utilizados para pastizales y fines agrícolas.

Consecuentemente, la escorrentía de sedimento no es mucha, bajo la condición actual del Área de Estudio, excluyendo el área de flujo de lodo y algunas tierras agrícolas con poca vegetación, tales como los campos de henequén.

#### Recomendación

Las principales fuentes de sedimento en el caso de fuertes lluvias son los depósitos de talus, terrazas, cono y flujo de lodo, especialmente en los campos de henequén. Los principales elementos de la erosión y sedimentación son la fuerza de la precipitación y la vegetación. Para mitigar la producción de sedimento, ha de llevarse a cabo la

reforestación en las áreas de depósitos de talus, cono y flujo de lodo. Para uso futuro de la tierra en las pendientes suaves se recomienda los sistemas agro-forestales. Los bosques pueden mitigar la erosión causada por fuertes lluvias. También, los trabajos de protección para los bancos y lechos de los ríos, deben ser considerados en estas áreas.

### (7) Condición Geológica a lo largo del Río

Esta tabla tiene como objetivo proveer información básica de la condición geológica para el planeamiento de mejoramiento del Río.

Los resultados se muestran en la Cuadro A.3 adjunto a las Figs. A.4 y A.5.

Cuadro A.3 Condiciones Geológicas a lo largo del Río

Exposición del Suelo		Exposición de Roca	
Sección	Tipo de Suelo	Sección	Clasificación de Roca
184-134	Arena, grava	182-180	Roca suave (flujo piroclástico)
134-124	Arena	170	Roca suave (flujo piroclástico)
124-104	Barro arenoso	166-165 -30 m	Roca dura (lava)
104-96	Arena, grava	162 +200 m	Roca suave (conglomerado)
96-92	Arena	104	Roca suave (breccia volcánica)
92-66	Barro (pantano)	103+300m -SM102 +300 m	Roca dura (lava)
66-58	Barro arenoso	SM102+300m -97 -- 480 m	Roca suave (ignimbrita)
58-31	Arena	96	Roca suave (ignimbrita)
31-23	Arena, grava	58+100m-56-350m	Roca suave (breccia volcánica)
23-10	Arena barrosa	54-54-350m	Roca suave (breccia volcánica)
10-3	Barro arenoso	30	Roca suave (conglomerado)
3-1	Barro	29+15m	Roca suave (breccia volcánica)
		24+35m	Roca suave (conglomerado)
		(OL1+300m)- OL1+490 m	Roca suave (breccia volcánica)
		O11+650m	Roca suave (breccia volcánica)

Canal de Olomega: barro arenoso, barro (depósito pantanoso)

Canal de El Jocotal: barro arenoso, barro (depósito pantanoso)

Esta clasificación de roca y solidez de la tierra son un método recomendado para excavación, el cual se resume en el Cuadro A.4.

Cuadro A.4 Clasificación de Rocas y Solidez del Suelo

Clasificación	Geología	Litología	Solidez	Método de Excavación	Altura de la Pendiente Grado de Inclinación
Roca dura	Lava	Dacita, andecita, basalto	Roca dura parcialmente suave	Dinamita, buldózer 32 ton c/ripper	>15 m 1:0.3-0.8
Roca suave	Lava, ignimbrita, roca volcánica, terraplén, flujo pirocástico	Capa vítrica, capa lapilli, breccia volcánica	Roca suave, parcialmente dura	Retroexcavador mayor de 1.2 m <sup>3</sup> dinamita	>15 m 1:0.8-1.2
Arena	Río reciente talus, terraplén	Arena, arena con grava, arena barrosa	Suelto a medio	Retroexcavador mayor de 1.0 m <sup>3</sup>	<15 m 1:10-1.2
Barro	Aluvio, talus	Barro, barro arenoso	Medio a suave	Retroexcavador mayor de 1.0 m <sup>3</sup>	<10 m 1:0.8-1.2
Barro suave*	Pantano	Barro con materia orgánica	Muy suave	Retroexcavador menor a 1.0 m <sup>3</sup>	<5 m 1:12-1.5

\* Existe la posibilidad de hundimiento de tierra causado por la consolidación.

Los detalles se describen en los cortes transversales y perfiles adjuntos más adelante.

#### (8) Materiales de Construcción

Arcilla arenosa, arena arcillosa y arena (que localmente contiene grava) proveniente de depósitos aluviales, que se distribuyen a lo largo del Río Grande de San Miguel y la planicie aluvial, pueden ser utilizados para materiales de construcción para el embanque. Sus propiedades relativas de ingeniería se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro A.5 Materiales de Construcción

Suelo	Contenido de Agua	Densidad	Cohesión	Angulo de Fricción	Rendimiento
Barro arenoso	Alto	Baja	Alta	Pequeño	Malo
Arena barrosa	Alto-medio	Baja	Mediana	Mediano	Mediano
Arena (con grava)	Bajo	Alta	Baja	Fuerte	Bueno

Sin embargo, existen dos problemas que han de ser principalmente resueltos para poder utilizar depósitos aluvionales como materiales de construcción. Uno es el contenido de agua, y el otro es la distribución del tamaño de la partícula.

#### Problema para la Administración de Construcción

El barro arenoso y la arena barrosa están principalmente compuestos de ceniza y vidrio volcánico y se estima que sus contenidos de agua son altos. Esto significa que sus contenidos óptimos de agua serán altos, y los trabajos de compactación han de ser tomados con cuidado para mantener contenidos de agua suficientes en la época de verano. Por otro lado, las actividades de trabajo se disminuyen en la época lluviosa por la composición de materiales finos y altos contenidos de agua. No se espera tener como resultado una estabilidad y fuerza del embanque, por la dificultad en los trabajos de compactación.

#### Problemas de Fuerza

La distribución en el tamaño de las partículas del barro arenoso, arena barrosa, y arena (que localmente contiene grava) no se recomienda como material de embanque, porque estos depósitos se encuentran bien distribuidos en su estado natural. La dureza del suelo está principalmente determinada por la compactación natural y una combinación de cohesión y un ángulo interno de fricción. La dureza y el contenido de agua se caracterizan por la proporción de material fino a material grueso. No se espera llegar a durezas de suelo compactado.

#### Recomendación

Es necesario ajustar la distribución del tamaño de la partícula al mezclar barro arenoso o arena barrosa (materiales finos) con arena (materiales gruesos). La mezcla es efectiva para resolver los problemas de altos niveles de contenido de agua y una mala distribución del tamaño de la partícula. Los contenidos de agua de los materiales mezclados disminuirán, y también aumentará la fuerza de los materiales de

compactación. Esto puede simplificar la construcción y la administración de compactación.

Antes de iniciar las obras de construcción, se llevarán a cabo pruebas de suelo en laboratorio y ensayos en el sitio para mezcla y compactación para determinar las características de los materiales de embanque.





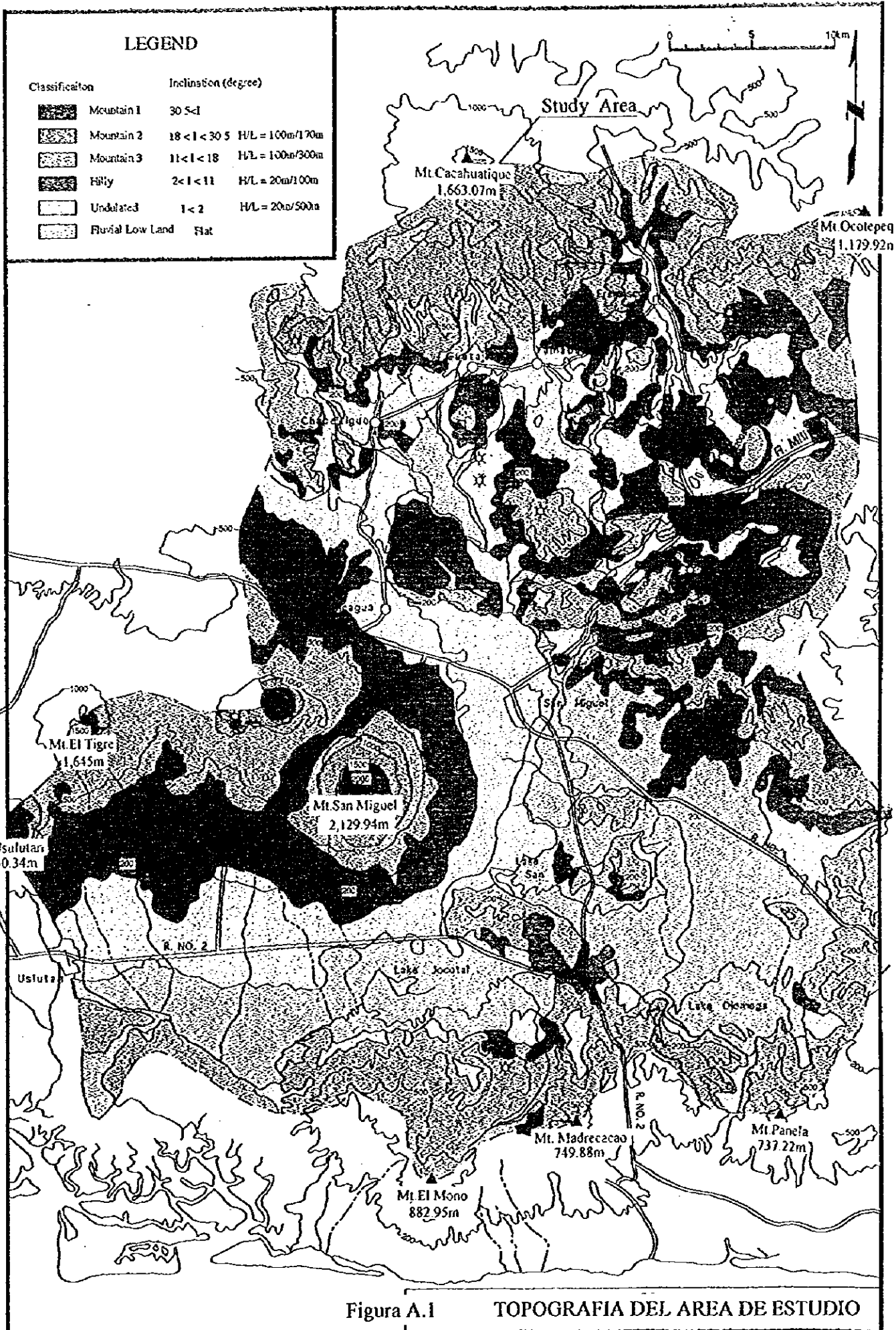


Figura A.1 TOPOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO

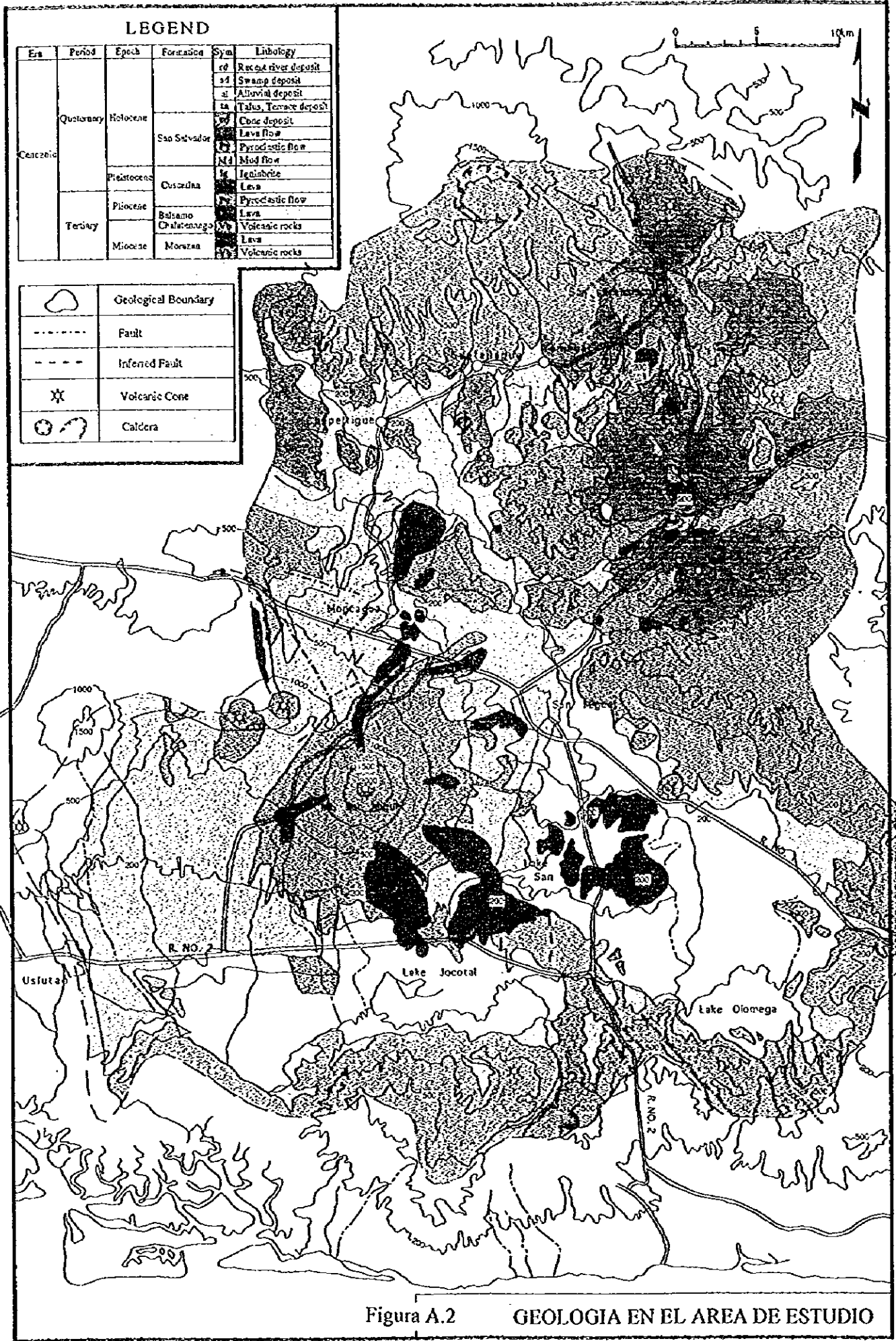
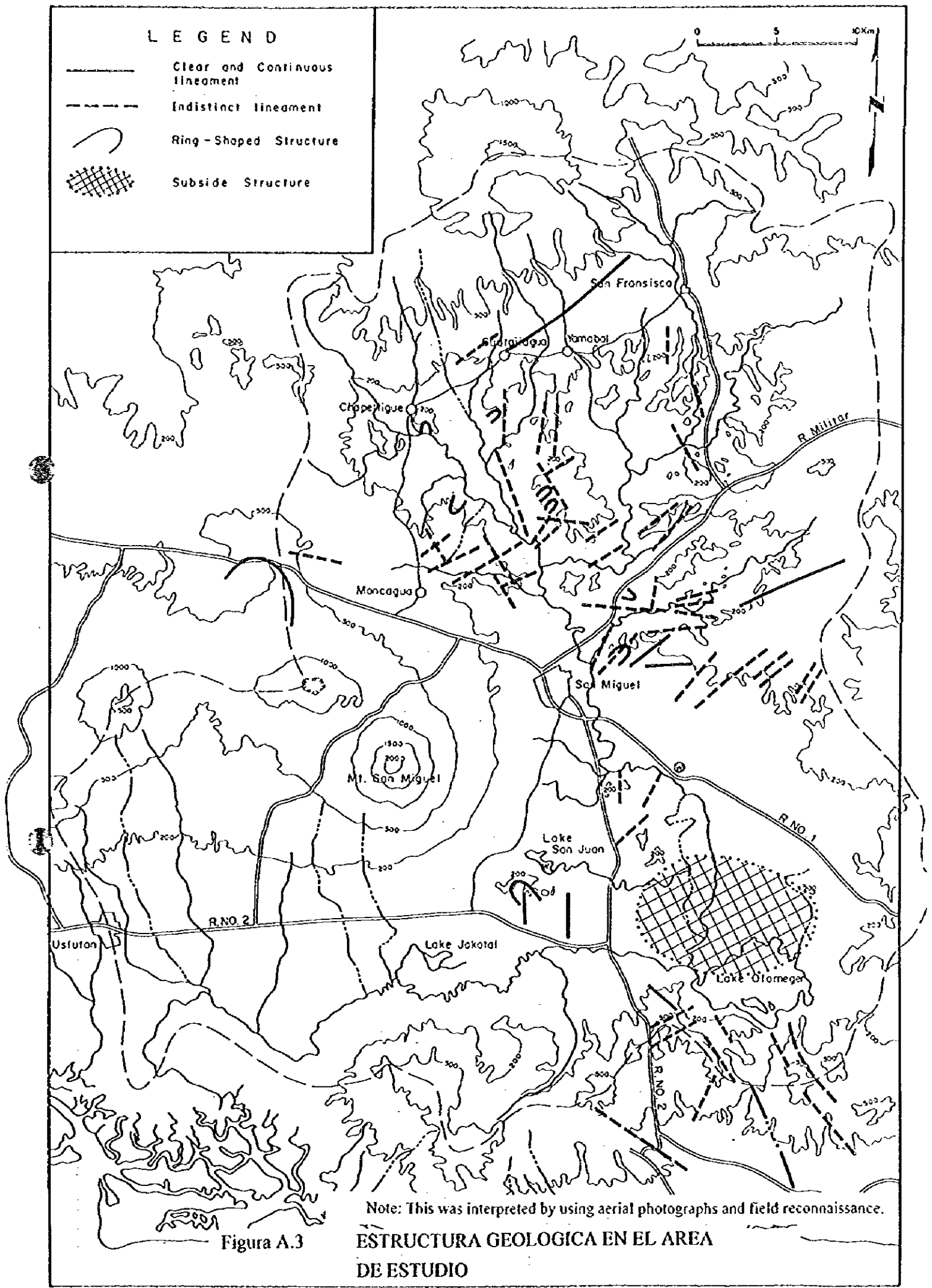


Figura A.2      GEOLOGIA EN EL AREA DE ESTUDIO

**LEGEND**

- Clear and Continuous lineament
- - - Indistinct lineament
- ⤿ Ring - Shaped Structure
- ▣ Subside Structure

0 5 10 Km



Note: This was interpreted by using aerial photographs and field reconnaissance.

Figura A.3

**ESTRUCTURA GEOLOGICA EN EL AREA DE ESTUDIO**

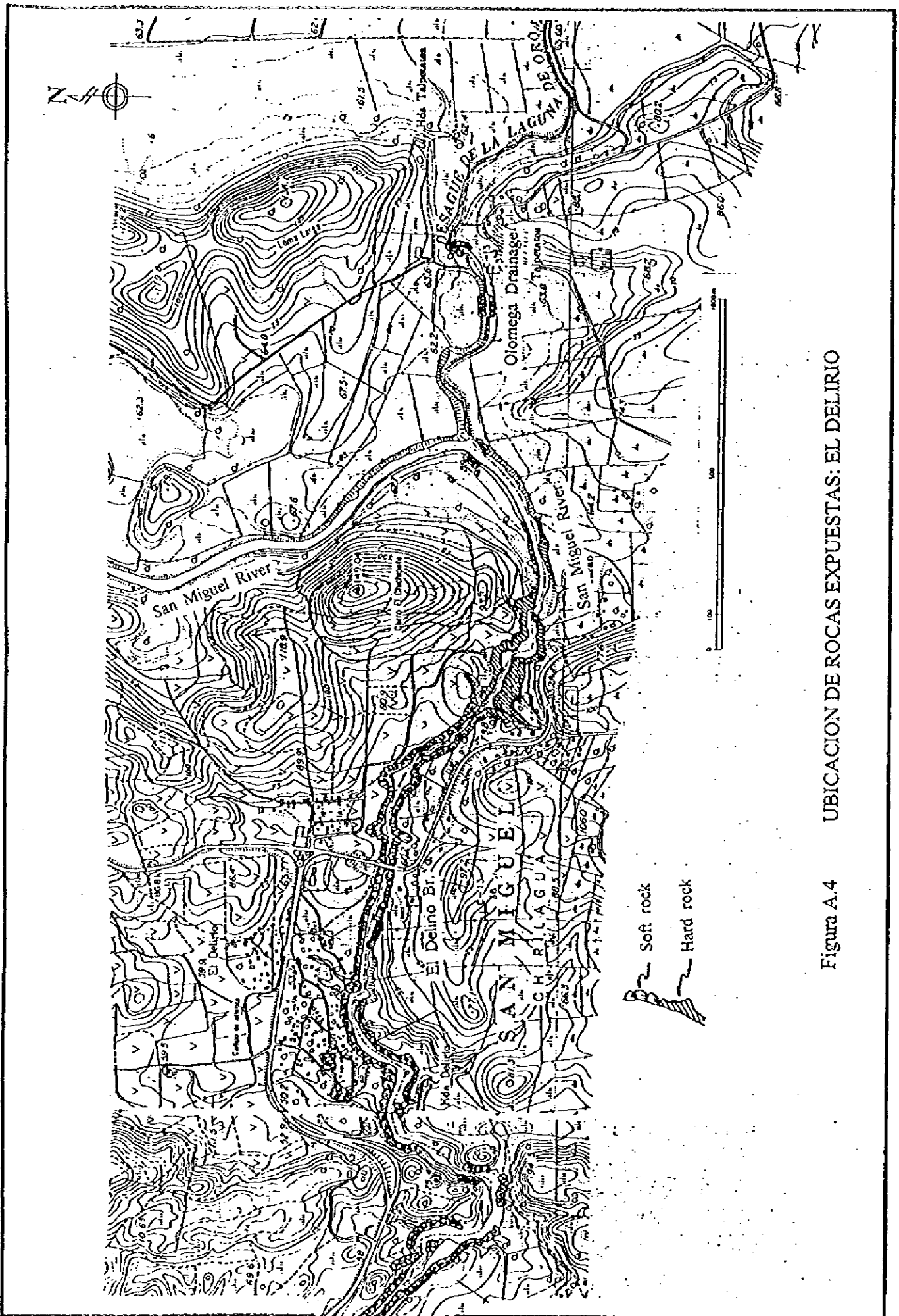


Figura A.4 UBICACION DE ROCAS EXPUESTAS: EL DELIRIO

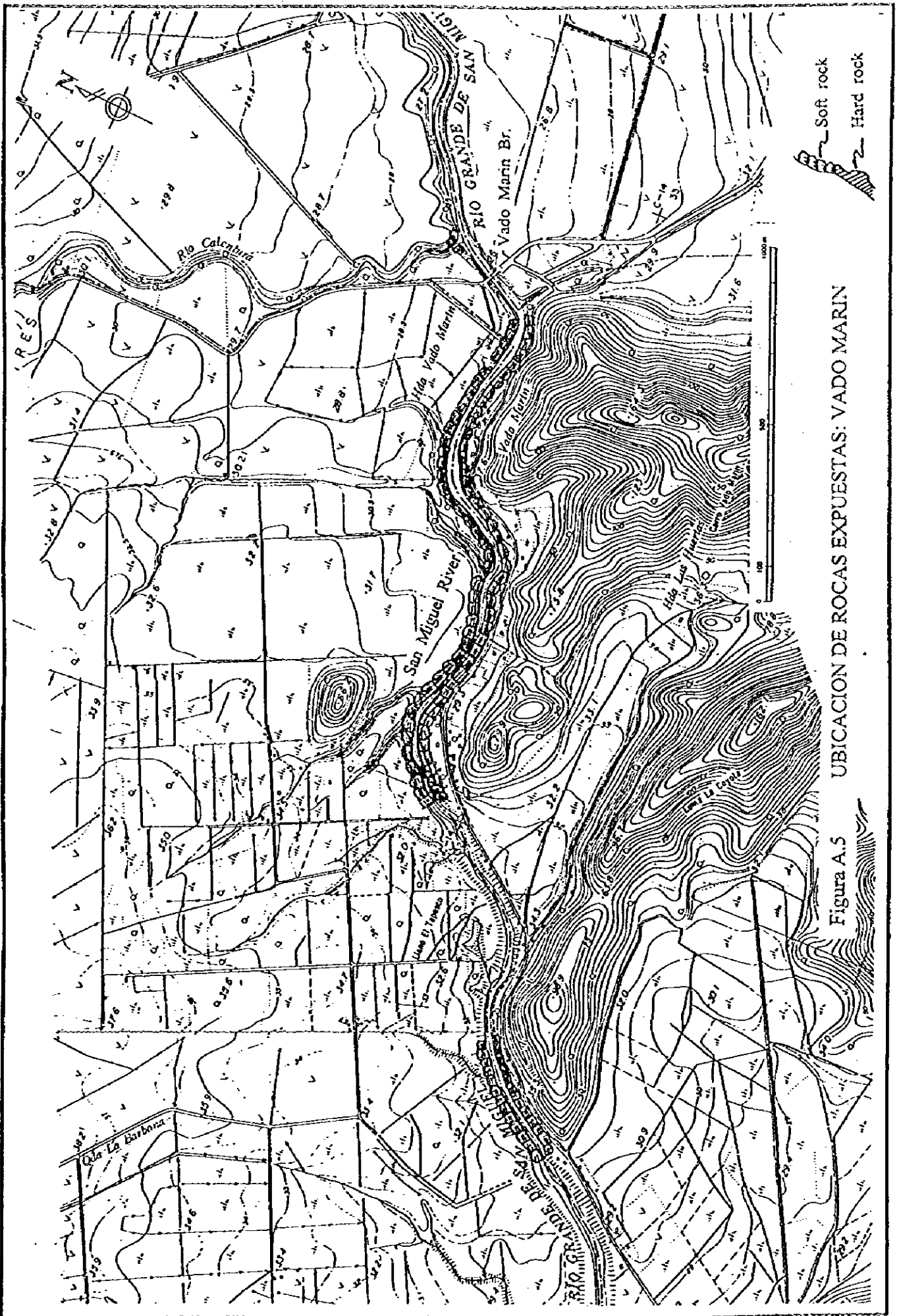


Figura A.5 UBICACION DE ROCAS EXPUESTAS: VADO MARIN