

REPUBLICA DEL PARAGUAY  
PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA  
SECRETARIA TECNICA DE PLANIFICACION

ESTUDIO SOBRE  
EL PLAN DE CONTROL DE  
CONTAMINACION  
DEL  
LAGO YPACARAI  
Y SU CUENCA

VOLUMEN 3  
INFORME SUPLEMENTARIO  
I, II, III, IV, V

AGOSTO 1989

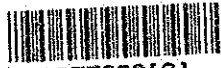
AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON



マイクロ  
フィルム作成

20118

JICA LIBRARY



1077886(8)



**REPUBLICA DEL PARAGUAY  
PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA  
SECRETARIA TECNICA DE PLANIFICACION**

**ESTUDIO SOBRE  
EL PLAN DE CONTROL DE  
CONTAMINACION  
DEL  
LAGO YPACARAI  
Y SU CUENCA**

**VOLUMEN 3  
INFORME SUPLEMENTARIO  
I , II , III , IV , V**

**AGOSTO 1989**

**AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON**

ESTUDIO SOBRE  
EL PLAN DE CONTROL DE  
CONTAMINACION  
DEL  
LAGO YPACARAI  
Y SU CUENCA

LISTA DE INFORMES

VOLUMEN 1	RESUMEN EJECUTIVO	
VOLUMEN 2	INFORME PRINCIPAL	
VOLUMEN 3	INFORME SUPLEMENTARIO I	TOPOGRAFIA, GEOLOGIA Y SUELO
	INFORME SUPLEMENTARIO II	METEOROLOGIA, HIDROLOGIA E HIDRAULICA
	INFORME SUPLEMENTARIO III	VEGETACION Y VIDA ACUATICA
	INFORME SUPLEMENTARIO IV	SOCIOECONOMIA Y USO DE TIERRA
	INFORME SUPLEMENTARIO V	ESTUDIO SOBRE LAS FUENTE DE CONTAMINACION
VOLUMEN 4	INFORME SUPLEMENTARIO VI	SITUACION DE LA CONTAMINACION DEL LAGO Y ARROYOS PRINCIPALES
	INFORME SUPLEMENTARIO VII	SIMULACION DE LA CONTAMINACION
	INFORME SUPLEMENTARIO VIII	PRUEBA DE CONTROL DE CONTAMINACION
	INFORME SUPLEMENTARIO IX	PLAN DE CONTROL DE CONTAMINACION

**INFORME SUPLEMENTARIO I**

**TOPOGRAFIA, GEOLOGIA Y SUELO**





# TOPOGRAFIA, GEOLOGIA Y SUELO

<b>CAPITULO I TOPOGRAFIA</b> .....	I-1
1.1 Ubicación del Area del Estudio .....	I-1
1.2 Métodos de Estudio .....	I-1
1.2.1 Fotografías Aéreas y Planos Topográficos .....	I-1
1.2.2 Topografía del Area del Lago .....	I-3
1.3 Resumen Topográfico .....	I-3
1.4 Clasificación Topográfica .....	I-4
1.5 División de la Cuenca .....	I-8
1.6 Area de Aguas Abajo del Yuquyry .....	I-9
1.7 Resultados del Estudio del Lago .....	I-10
<b>CAPITULO II GEOLOGIA</b> .....	I-11
2.1 Descripción General del Estudio de Campo .....	I-11
2.2 Contorno Geológico .....	I-11
2.3 Estratigrafía .....	I-13
2.3.1 El Basamento .....	I-13
2.3.2 Grupo Arenisca - Conglomerado .....	I-16
2.3.3 Grupo Alternado de Arenisca - Cuarzo y Limo .....	I-20
2.3.4 Formación de Arenisca Roja - Conglomerado .....	I-22
2.3.5 Rocas Igneas .....	I-24
2.3.6 Arenisca no Consolidada, Limo y Sedimentos de Arcilla	I-26
2.4 Estructura Geológica .....	I-29
2.5 Problemas no Resueltos .....	I-31

<b>CAPITULO III SUELO</b> .....	<b>I-33</b>
3.1 Descripción General de la Investigación de Campo .....	I-33
3.2 Clasificación del Suelo .....	I-35
3.3 Distribución y Características de los Tipos de Suelos .....	I-36
3.3.1 Litosol-subtipo 1 .....	I-36
3.3.2 Litosol-subtipo 2 .....	I-36
3.3.3 Acrisol (suelo rojizo-amarillo podsólico) .....	I-37
3.3.4 Regosol .....	I-38
3.3.5 Planosol .....	I-40
3.4 Investigación de los Resultados del Análisis del Tamaño de Granos .....	I-41
3.5 Relación entre la Forma Fisiográfica y los Tipos de Suelo .....	I-42
<b>CAPITULO IV OBJETIVOS FUTUROS</b> .....	<b>I-44</b>

## LISTA DE TABLAS

	<u>Pag.</u>
Tabla S1.1.1 Fotografías Aéreas .....	I - 1
Tabla S1.1.2 Plano Topográfico Utilizado .....	I - 2
Tabla S1.2.1 Estratigrafía Geológica del Area de Estudio .....	I - 13
Tabla S1.2.2 Cronología Estratigráfica del Area de Estudio .....	I - 28
Tabla S1.3.1 Número de Puntos de Investigación de Suelos .....	I - 33
Tabla S1.3.2 Clasificación de Suelos en el Area de Estudio .....	I - 35

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pag.</u>
Fig. S1.1.1	Index Map of Airphotographs ..... I - 51
Fig. S1.1.2	Relief Map ..... I - 52
Fig. S1.1.3	Landform Classification Map ..... I - 53
Fig. S1.1.4	Map showing Drainage System of the Lake Ypacarai Basin ..... I - 54
Fig. S1.1.5	Schematic Figure showing Drainage System of the Lake Ypacarai Basin ..... I - 55
Fig. S1.1.6	Airphoto-interpretation Map of Lower Stream Area of the Yuquyry River ..... I - 56
Fig. S1.1.7	Bathymetric Chart of Lake Ypacarai ..... I - 57
Fig. S1.1.8	Cross Section of Lake Ypacarai ..... I - 58
Fig. S1.1.9	Relation between Water-depth and Area of Lake Ypacarai ..... I - 59
Fig. S1.1.10	Bottom Materials of Lake Ypacarai ..... I - 60
Fig. S1.1.11	Sites of River Traverse Survey ..... I - 61

Fig. S1.2.1	Geologic Map .....	I - 62
Fig. S1.2.2	Geologic Profiles .....	I - 63
Fig. S1.3.1	Grain Size Accumulation Curve (1-2) .....	I - 64
Fig. S1.3.2	Triangulation Diagram showing Texture of Soil Type .....	I - 66
Fig. S1.3.3	Relationship between Topography and Soil Type .....	I - 67
Fig. S1.3.4	Soil Map .....	I - 68



# TOPOGRAFIA, GEOLOGIA Y SUELO

## CAPITULO I

### TOPOGRAFIA

#### 1.1 Ubicación del Area del Estudio

La cuenca del Lago Ypacaraí (área de estudio), está ubicada entre 57° 05' y 57° 35' de longitud oeste y entre 25° 05' y 25° 35' de latitud sur. El área se situa en dirección NO-SE, con una longitud de 65km, siendo su parte mas ancha de 30km y con un área de 1084km<sup>2</sup>.

#### 1.2 Métodos de Estudio

Han sido realizadas en este estudio, investigaciones sobre topografía general de los suelos de la cuenca, así como de la cuenca hidrográfica.

Las condiciones de los suelos y el uso de la tierra de la cuenca fueron estudiadas según los mapas topográficos, las nuevas fotografías aéreas y las investigaciones de campo.

La topografía de la cuenca hidrográfica fue estudiada llevando a cabo levantamientos topográficos de punto de control, de profundidad y de secciones transversales.

##### 1.2.1 Fotografías Aéreas y Planos Topográficos

El mapa índice de las nuevas fotografías aéreas tomadas en este proyecto se indica en la Figura S1.1.1. Los números de las fotos presentadas por origen y cursos están indicados en la Tabla S1.1.1.

Tabla S1.1.1 Fotografías Aéreas

Escala: 1:40.000      Altitud fotográfica: 6,060mts  
Fecha: Feb. 5, 1988      Empresa fotográfica: Terra Foto  
SAN PABLO, BRASIL.

Curso No. Línea	No. de exposiciones	No. de fotografías
01	1~23	23
02	1~22	22
03	1~24	24
04	1~19	19
05	1~13	13
		Total 101

Básicamente, para saber las condiciones del uso de la tierra en el pasado, se utilizaron los siguientes materiales como referencia:

Aerofotografía.	Marzo	1984
Escala 1/50,000	(aprox.)	
MMTAP·PT·84·3	R5	7941~7945
MMTAP·PT·84·3	R6	7985~7987
Total 8 piezas		

Preparado por el Servicio Geográfico de la Armada. U.S.A. 1965

Aerofoto Junio~Agosto 1965	
Escala 1/100,000 (aprox.)	
Depósito ASUNCION No.	H041×5370
LUQUE No.	H041×5470

El mapa base utilizado para este estudio fue recopilado de 7 Cartas (Cartas Nacionales) indicadas en la Tabla S1.1.2, suministradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar, Paraguay.

Tabla S1.1.2 Plano topográfico utilizado:

5370-I VILLA HAYES	5470-IV LIMPIO	
5370-II ASUNCION	5470-III YPACARAI	5470-II CAACUPE
	5469-IV ITA	5469-I PARAGUARI

Los antecedentes de lo arriba expuesto, son los siguientes:

Area				Impreso
5370- I	Villa Hayes	1965 -- 1978	1973	1983
5370- II	Asuncion	1965	1971	1987
5469- I	Paraguari	1965 -- 1978	1969	1987
5469-IV	Ita	1978	1969	1985
5470- II	Caacupe	1965 -- 1978	1971	1987
5470-III	Ypacarai	1965 -- 1979	1973	1986
5470-IV	Limpio	1965 -- 1984	1970	1985

Desde la preparación de los mapas topográficos hasta la toma de las nuevas fotografías aéreas, cambios que han ocurrido en la topografía y en las características naturales del suelo (tales como la configuración de la orilla del lago, los cursos de agua y caminos) fueron verificados mediante la foto interpretación, y se efectuaron las modificaciones correspondientes.



## 1-2-2 Topografía del Area del Lago

Bajo la supervisión japonesa, las empresas locales hicieron un levantamiento topográfico del lago y áreas circundantes para obtener las secciones transversales de los principales ríos afluentes y efluentes, y para preparar una carta batimétrica, las cuales son necesarias para estimar el volumen del flujo de entrada y salida de los ríos y el volumen del agua del lago.

El estudio topográfico consistió de lo siguiente: levantamiento de punto de control, de profundidad y de secciones transversales.

El levantamiento del punto de control fue llevado a cabo para determinar la posición de los puntos de control, los cuales son necesarios para el levantamiento de profundidad y para la toma de muestras en el lago. Se determinaron las posiciones de 50 puntos de control mediante un levantamiento transversal y por el método de intersección adelantada.

El levantamiento de la profundidad fue llevado a cabo por el método de ecosonda utilizando un aparato de 12kHz. La longitud total de la línea de levantamiento fue de aproximadamente 150km.

Los levantamientos de secciones transversales fueron llevados a cabo por nivelación directa en 14 secciones de 4 ríos.

## 1-3 Resumen Topográfico

El lago Ypacarai y su cuenca están situados entre los límites siguientes: al SE, aguas arriba, la ciudad de Paraguari; 65 km desde ésta al NO, aguas abajo, el Río Paraguay; al NE, la Cordillera de los Altos con altitudes que oscilan entre 200-400 metros; y al SO, la Cordillera de Yaguarón y los cerros adyacentes de altitudes entre 100-300 metros.

Entre las dos cordilleras hay una zona pantanosa de 100-150m de altitud y 5-8km de ancho. En el centro de la cuenca se encuentra el Lago Ypacarai (area de 59.6km<sup>2</sup>, longitud de 11km, ancho promedio de 5km, y profundidad menor a 3m.). Un pantano de hierba se localiza aguas arriba y aguas abajo se observa una ciénaga. Los principales arroyos afluentes son el Pirayú y el Yuquyry. El primero viene desde la planicie del SE y el segundo viene desde los cerros occidentales. Hay otros que forman parte de un grupo de arroyos pequeños que están a las orillas este y oeste del lago. El efluente del lago es el río Salado que pasa por la amplia zona pantanosa hasta desembocar en el Río Paraguay.

Para comprender los contornos generales de la geo-morfología del area de estudio se preparó un mapa relieve el cual se indica en la Figura S1.1.2. Al sudeste de la planicie, el frente escarpado de la Cordillera de los Altos y el frontón conectado están continuamente a la altura de 200 - 400 m. En la zona de aguas arriba en la inclinación frontal de la meseta, la erosión y los procesos consecuentes de retiro y reducción, dieron lugar a la formación de Inserberg en los lugares donde la roca dura ha resistido la erosión, permitiendo una vista espectacular de montañas

pequeñas como los cerros Mbatovi, Santo Tomás, Jhu, Perú, etc. La Cordillera de Yaguarón está ubicada en el lado sudoeste, en la cuenca del Pirayú.

La cuenca del Yuquyry se encuentra en zonas con suaves ondulaciones con elevaciones entre 200 - 80m. La colina de Patiño-Areguá en la zona noreste de la cuenca, adyacente a la cordillera de Yaguarón se extiende en dirección sudeste-noroeste, en frente del lago. El Yuquyry fluye por el lado oeste de la colina arriba descrita y penetra en el lago atravesando la zona pantanosa. Dentro de la ciénaga se pierde el curso del arroyo y, se dispersa aguas abajo.

El tributario principal corre en dirección S-N/SO-NE por el banco izquierdo del curso principal del río. Luego disecta la colina y sigue hasta donde se divide la cuenca del Yuquyry. Allí se forma un lecho plano de un kilómetro de ancho que revela fuertes erosiones que ocurrieron en el pasado.

El plano aguas arriba del lago muestra una configuración similar a alturas de 80m, 100m y 120m. Entre los niveles de 80m y 200m existe una amplia distribución de lagunas pequeñas.

Además, geológicamente y por la naturaleza del suelo se estima que la planicie estuvo sumergida hasta los 150-200m, formando (en una época desconocida) un gran lago.

Hay varias teorías en cuanto al proceso de formación del lago, tales como la teoría "graben", la de "falla escalonada--falla escalón" o la de "cuesta". De todos modos, lo cierto es que geomorfológicamente hubo mucha erosión y transporte de detrito por toda la cuenca.

Es difícil de imaginar que tanto desgaste ocurrió en lo que es actualmente la cuenca de Pirayú. Es posible que durante una época geológica, el Pirayú era un gran río que se extendía hasta el sur de la ciudad de Paraguari pero que fue interrumpido aguas arriba por el detrito que se iba acumulando a lo largo de muchos años.

También, es difícil de imaginar la fuerza erosiva del Yuquyry actual. Sin embargo, si se supone que en alguna época el nivel del agua del lago fue de 120m sobre el nivel del mar, es posible entonces que el agua inundó la cuenca del Yuquyry cerca de Cerro Patiño, entre Ypacarai y Areguá, y consecuentemente aumentó el elemento erosivo.

#### 1.4 Clasificación Topográfica

El objetivo principal de este ítem es para estudiar las características de las cuencas con respecto a las fuentes de detritos y preparar el mapa topográfico, el cual se muestra en la Fig. S1.1.3.

### 1) La Meseta y su Declive Frontal

Esta es la zona frontal de la Cordillera de Los Altos rodeada por la margen SE-NE de la cuenca. La meseta se encuentra a 400-200m, la cual tiene un declive y comprende una zona que da a la planicie central. La meseta en sí forma una meseta extensiva de la cuenca del Piribebuy que declina gradualmente en dirección este-noreste. Principalmente, esta meseta consiste en una formación horizontal de arenisca de la edad paleozoica. Tiene subdivisiones de arroyos anchos y poco profundos. La presencia de partes de rocas duras refleja la estructura geológica como lomos o Inzerberg que están dispersas en formas regulares.

En cuanto al área de estudio, la inclinación original de la meseta debido a la erosión y la recesión poseen bordes exteriores con muchas curvas. Esta declina dramáticamente desde la margen de la meseta hasta el punto de un escarpe e inclinación. Con relación a la superficie de la meseta, en general, los estratos de suelos no están desarrollados y la roca madre tiene numerosos afloramientos, sin embargo la misma es aprovechada como tierra agrícola y para urbanizaciones. La vegetación sobre el declive frontal está comparativamente bien preservada. Hacia aguas abajo el declive es menos notorio y cambia gradualmente de montaña subdivida hasta una formación de cerros. Cerca de San Bernardino y hacia aguas abajo del Salado hay muchas canteras de pequeña escala.

### 2) Montañas

Hay una serie de lugares altos desde la Cordillera de Yaguarón hasta el Cerro Patiño a una altura que sobrepasa 200m. Un nombre apropiado para esta formación sería "colina o cerro" antes que una montaña. La vegetación es relativamente buena, sin embargo, esta región ya se ha convertido para uso agrícola. La base de roca es dura, por lo tanto la tierra es de poco uso fuera de las áreas verdes. Dependiendo del desarrollo del frontón, resultado éste de la erosión y la subdivisión, las altas montañas se estrechan en la formación en cadenas la que gradualmente se va transformando en cerros aislados.

### 3) El Frontón

Al escarpe frontal de la meseta y a los pies de la montaña hay una línea clara y áreas con declives graduales.

En una época, se cree que la meseta estaba cubierta por bosques; sin embargo, en la actualidad el área está siendo aprovechada como tierra agrícola donde se producen el coco paraguayo y el maíz, y también para asentamientos de colonias.

La meseta consiste en conglomerado-arenisca gruesa del paleozoico a lo largo de la Cordillera de los Altos, como así también areniscas y conglomerados paleozoicos de la era Post-Cretácea, a lo largo de la Cordillera de Yaguarón.

La capa superficial de suelo está bien distribuida, pero, por causa de las lluvias ya se ha formado una zona que sufre una drástica erosión laminar. En

zonas de poca vegetación, la capa superficial está erosionada y hay muchos afloramientos de la roca base.

#### 4) Frontón Cubierto

Desde el límite del frontón (2) aguas abajo, hay una zona de poco declive y, debido al detrito proveniente de 1) y 2), hay elementos sedimentarios transportados. En realidad, esta es una zona semi-pantanososa/semi-zona de pastoreo que hasta la reciente época geológica se estima que estuvo sumergida y luego fue mezclada con el sedimento aluvial. Esta zona es fácilmente inundable.

Por la Cordillera de los Altos los cortes geológicos han avanzado a lo largo de los arroyos hasta la parte más alta de la pendiente. También, se han formado valles residuales.

El sector oriental se utiliza principalmente como área de pastoreo, y parcialmente para agricultura y vivienda. El sector occidental, la utilización de la tierra para agricultura y vivienda es mucho más intensa.

#### 5) Cerros

Por toda la cuenca del Yuquyry y el sector occidental de la Cordillera de Yaguarón hay muchos cerros que alcanzan alturas de 200 a 100m. Los cerros son de arenisca roja de la época pos-cretácea. Debido al avance de los cortes geológicos, la superficie se encuentra redondeada y muestra una topografía suavemente ondulada. Dentro del área de estudio se utiliza gran parte de la tierra para la vivienda, la industria, la agricultura, y los caminos. Recientemente, ha avanzado la urbanización mientras que ha sido reducido el uso agrícola. En efecto, existen condiciones geológicas y topográficas que permiten que se desarrolle la capa de superficie del suelo, pero la urbanización y la falta de vegetación hacen que el suelo se erosione en varias formas.

#### 6) Zona pantanosa

Esta es la zona baja y plana del Pirayú. La capa de superficie es suelo arenoso de 1m de espesor. El agua subterránea también está elevada. Dentro de la zona pantanosa se encuentran esparcidos charcos de agua de hasta 200m de diámetro. Principalmente, la zona está utilizada como área de pastoreo. Se nota la existencia anterior de cauces de ríos y hay vestigios de charcos y tributarios observables por medio de las fotografías aéreas, pero a menudo los mismos son sumergidos por las inundaciones dando a la tierra una apariencia plana y baja.

#### 7) Diques Naturales

Es el micro relieve largo y continuo que corre a lo largo del curso principal del Pirayú y su tributario principal. Estas aguas permiten el crecimiento de los bosques ribereños.

## 8) Humedal

① es una zona situada a lo largo del curso principal del Pirayú de 1.2km de ancho. ② es una zona que se extiende desde las partes bajas del lago hasta el Río Paraguay. ① es una área de pastoreo fangoso formado con depósitos de arcilla de color negro grisáceo y castaño. En tiempos normales no está lleno de agua, sin embargo después de las lluvias torrenciales la zona queda totalmente inundada. Cerca de la boca del río, el pantano está compuesto de hidrófita, y normalmente está lleno de agua. Esta se utiliza para pastoreo en gran escala.

② es extremadamente parecido a ①, pero de escala aún mayor. Se extiende en áreas normalmente inundables y de vegetación abundante y bosques de árboles altos.

La sedimentación de muchos años ha producido una zona de consistencia blanda compuesta de arena, arcilla y humus del depósito aluvial del fondo del lago.

A 10Km al norte de Aregua se localiza Nueva Asunción, la que se encuentra en un área relativamente alta dentro de esta zona. En ella se comenzó a desarrollar la construcción de viviendas, la que por falta de agua potable y otras razones, se ha abandonado. A menos que se la utilice como área de pastoreo, la zona quedará totalmente inutilizable. Se dice que esta zona representa el ambiente natural del lago, en estado de preservación y contiene preciosas plantas acuáticas, distintas especies de flora y fauna.

## 9) Lecho de los Arroyos

Es el lecho de los principales arroyos y tributarios del Yuquyry, con elevaciones de 120m sobre el nivel del mar. El lecho tiene un plano cortado, perfil similar a un plato, el cual se halla cubierto por arena y depósito de arcilla. Normalmente, el lecho tiene poco caudal, sin embargo, durante las lluvias torrenciales se inunda con facilidad.

Se encuentran arcillas de color negro negrusco-marrón distribuidas en varias partes, las cuales se extraen para la fabricación de ladrillos.

## 10) Pequeños Cerros Aislados

Entre Pirayú e Ypacaraí en el centro de la planicie hay colinas de roca ígnea elipsoidal con eje mayor de hasta 1km, con altura relativa de 100m, las cuales se explotan como material para la construcción de caminos.

A 1km al oeste de Areguá, en las colinas suavemente onduladas se destacan dos cerros prominentes y aislados el Coi y Chororí (ambos a una altitud de 180m). Ellos contienen una roca única, en forma de columna y perfil hexagonal, la cual es utilizada como material de pavimentos de caminos. El mismo tipo de rocas también se explota en las canteras de San Lorenzo y a 2-3km al este de Luque.

## 11) El Lago

El lago que está situado casi al centro de la cuenca, tiene una superficie de 60km<sup>2</sup> aproximadamente.

Durante este estudio se definieron la profundidad del agua y la topografía del lago. El perfil presentado es totalmente plano, en forma de plato y con una profundidad máxima de 3m. El fondo del lago presenta una inclinación gradual hasta los 500m desde la orilla, pero después de ese punto el lecho es completamente plano. Si no se considera la apertura del río Pirayú en la zona de afluencia del lago, no se puede identificar el paso navegable al fondo del lago. Hay lodo negro por todas partes en el fondo del lago.

Las playas de la costa este y oeste de San Bernardino y Areguá respectivamente, presentan arenas de cierta calidad, siendo estas playas utilizadas como áreas de recreación y veraneo.

No ha sido posible determinar el espesor del lodo de fondo del lago, mediante el probador columnar de fondo.

### 1-5 División de la Cuenca

Las fotografías aéreas muestran que fue realizado el acabado del drenaje del primer orden y en un mapa topográfico escala 1:50,000 se establecieron los límites de las cuencas de drenaje. Esto se muestra en las Figuras S1.1.4, S1.1.5.

Por causa de la lluvia y la inundación, y por la presencia pervasiva de planos llanos y pantanosos en al área del estudio, ocurren frecuentemente modificaciones de canales y montones de detrito. Consecuentemente, hay vestigios de un contorno y la división de cuencas de drenaje compleja.

La gran cuenca del lago se divide en 4 cuencas: al SE, la cuenca del Pirayú, al oeste la cuenca del Yuquyry, en la orilla oriental la cuenca de la costa este, y en la orilla occidental la cuenca de la costa oeste.

El resultado del "análisis-orden" del sistema de drenajes\* indican que el Pirayú y el Yuquyry son equivalentes, correspondiendo a arroyos del cuarto orden.

\*1 La terminología para este orden de arroyos es clase de arroyo y/u orden de arroyo. Significa un sistema de clasificar las corrientes principales de agua y los tributarios introduciendo unos valores numéricos.

Ordenamientos de arroyos según A.N. Strahler son: desde el nacimiento al punto de confluencia, desde el punto de confluencia a la confluencia con otro curso de agua del mismo orden..., es decir, se dan órdenes a los intervalos entre puntos de confluencia del mismo orden de cursos de agua y la salida de la cuenca.

Hay muchos métodos para asignar órdenes. En todos los métodos, se fijan órdenes sobre el mapa desde la configuración de las líneas de contorno sobre la

topografía del valle, extendiendo la línea vertical sobre la misma, según el mapa hidrológico.

#### 1.6 Area de Aguas Abajo del Yuquyry

Topográficamente, el Yuquyry no afluye al lago directamente, sino a los humedales aguas abajo del lago. Resulta ser un curso de flujo indefinible. Según la gente del lugar, también se piensa que las aguas del Yuquyry no entran al lago sino que fluyen al Río Salado. El uso de la tierra en la cuenca del Yuquyry es intensivo, donde muchos establecimientos descargan en sus aguas todo tipo de contaminantes. La indefinición de la entrada del Yuquyry al lago crea un gran problema para tomar medidas contra la contaminación; sin embargo se ha procurado encontrar la clarificación de este problema.

Sobre el Yuquyry, entre el puente metálico situado a 7km el noroeste de Areguá y a 3~4km al este de ésta se han formado bolsas en su curso de aproximadamente 10m, transformándose en un lodazal perdiendo la característica singular del curso de la corriente. Atravesar esta zona resulta dificultosa aún con el uso de canoas pequeñas.

Para este estudio, además de la interpretación detallada de las fotografías aéreas (Fig. S1.1.6), se realizaron investigaciones de campo a lo largo de los cursos de agua como así también por aire, utilizando un helicóptero de la Armada.

Los resultados nos indican que anteriormente había un curso de agua a lo largo de la margen sur de la loma cerca de Nueva Asunción (formado tal vez por el viejo Yuquyry), el cual corría hacia el Río Salado.

En la actualidad, la zona es utilizada como área de pastoreo. El curso actual se desvía en dirección E-SE y, aunque las corrientes de agua reguladas por la loma dentro de la zona pantanosa están esparcidas, el flujo lento corre constantemente hacia el lago. Estos cursos, junto al Riacho Negro cerca de la orilla del Lago y numerosos cursos pequeños, afluyen al lago. No se puede identificar una corriente definible que se conecte con el Río Salado. Anteriormente, se pensaba que había un canal construido artificialmente para que el agua corriera hacia el Salado. Sin embargo, actualmente no se lo utiliza. Además navegando por el Río Salado aguas abajo hasta el puente de madera, no ha sido posible identificar ningún curso efluente.

De lo expuesto, se estima que la mayoría de la descarga del Yuquyry entra directamente o se escurre indirectamente al lago a través del lodazal y que una cantidad definida entra directamente a los humedales y luego se escurre al Río Salado a través del lodazal.

## 1.7 Resultados del Estudio del Lago

La Figura S1.1.7 es el mapa batimétrico del Lago Ypacaraí, (la escala original 1/25,000, intervalo de los contornos de 10cm.) y la Figuras S1.1.8 representa los cortes transversales del lago.

El nivel de referencia de la profundidad del agua es 120cm según la escala de nivel de agua (nivel de agua promedio durante los pasados 22 años) de la Administración Nacional de Navegación y Puertos.

La Figura S1.1.9 muestra la superficie del lago por la profundidad del agua. La superficie del lago al nivel de agua de referencia es aproximadamente 59.1km<sup>2</sup> y el volumen de agua debajo del nivel de referencia es aproximadamente 1.15×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>.

Sobre el nivel de referencia, el volumen del agua aumenta 6×10<sup>5</sup>m<sup>3</sup> por cada 1cm de aumento del nivel de agua.

La profundidad máxima a la boca del Salado está 85cm por debajo del nivel de referencia. Por lo tanto, la descarga del lago es imposible cuando el agua queda a menos de los 85cm.

La Figura S1.1.10 muestra la distribución de los elementos del fondo del lago mediante la ecosonda y el "grab-sampling".

La mayor parte del fondo del lago está cubierta por lodo. Al otro lado, la distribución de la arena es limitada en la margen oriental del lago.

La Figura S1.1.11 muestra los sitios de los cortes transversales. Como la altura absoluta no pudo ser determinada, se indica la altura relativa sobre el B.M. temporario a excepción de las de Yagua-Resa-u e Ypucú.



## CAPITULO II

### GEOLOGIA

#### 2.1 Descripción General del Estudio de Campo

El objetivo de este estudio no es aclarar académicamente los problemas geológicos tales como la distribución geológica, la estructura, la historia, etc., sino comprender las características del subsuelo y su relación con la distribución de la vegetación, el uso de la tierra, el tipo de producción de los detritos, etc.

Se ha efectuado el estudio geológico del área de estudio para aclarar las características del subsuelo el cual es afectado fácilmente por la naturaleza de la roca madre como un elemento original.

En el estudio preliminar se observó la distribución geológica en el área de estudio mediante la investigación de campo, y además se recolectaron muestras de rocas típicas. Luego se preparó el mapa geológico preliminar con la ayuda del análisis microscópico de las muestras de rocas y la foto interpretación.

Este mapa preliminar fue corroborado y corregido en la segunda investigación de campo mediante nuevo muestreo, observación microscópica adicional, análisis radiográfico y la foto interpretación, a fin de realizar el mapa geológico indicado en la Fig. S1.2.1. La cantidad de especímenes de rocas es la siguiente:

	Observación microscópica	Análisis de rayos X
Febrero 1988	27	6
Julio 1988	12	5

#### 2.2 Contorno Geológico

La zona tiene 65km de longitud y 5~8km de ancho, a 100~150m sobre el nivel del mar, en dirección noroeste - sudeste, en la zona central del área de estudio. El lago está ubicado casi en el centro.

Al sudeste de los humedales se encuentra la Cordillera de los Altos con altitudes de 200~400m sobre el nivel del mar y al sudoeste la Cordillera de Yaguaron y sus colinas con alturas de 100~300m sobre el nivel del mar.

Se contó con la siguiente bibliografía explicativa de la geología del Paraguay:

GOBIERNO DE LA REPUBLICA DEL PARAGUAY  
Comisión Nacional de Desarrollo Regional  
Integrado del Chaco/Ministerio de Defensa Nacional

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS  
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo  
Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo

PROYECTO PAR 83/005  
MAPA GEOLOGICO DEL PARAGUAY  
Texto Explicativo  
1986

En esta bibliografía están resumidas la estratigrafía y la edad geológica del área de estudio como sigue:

[ El basamento del área está compuesto de granito y roca porfídica sub-efusiva. La edad isotópica radioactiva indica que la misma pertenece a la era paleozoico inferior.

El sector noreste del area está compuesto de una serie de formaciones de conglomerado - arenisca - limo. La edad dada por los fósiles indica que ellos pertenecen al ordoviciano superior o al silúrico inferior. Esta formación es conformable y de amalgama gradual, dispuesta en dirección noroeste - sudeste.

Al sudoeste del área se observan formaciones similares y dispuestas en dirección noroeste - sudeste. Estas se ubican por debajo de la formación conglomerado - arenisca que pertenece a las eras Secundaria (Cretáceo inferior) y Terciaria, distribuida extensamente dentro del área.

Dentro del area aún se encuentran rocas ígneas del oligoceno/mioceno.

La estructura geológica actual ha sido controlada por la actividad ígnea del cretáceo - terciaria, con una tendencia tectónica en dirección noroeste - sudeste. Las fallas han dividido el área en bloques a lo largo de esa tendencia.

La relación geológica mencionada se indica en la Tabla S1.2.1.]

Tabla S1.2.1 Estratigrafía Geológica del Area de Estudio

Cenozoico	Cuaternaria	Formación San Antonio	
	Terciaria	Rocas Igneas Nemby Formación Patiño	
Mesozoico		===== Falta de continuidad	
Paleozoico	Silúrico	GRUPO ITACURUBI	Formación Cariy
			F. Vargas Peña
			F. Eusebio Ayala
	Ordoviciano	GRUPO ITACURUBI	F. Tobatí
F. Cerro Jhú			
F. Paraguari			
Cámbrico		===== Falta de continuidad	
		Granito de Caapucú	

En este estudio, el mapa geológico fue preparado principalmente en base a la clasificación litográfica, en lugar de comparar las eras geológicas y/o correlación de capas. También se realizaron observaciones microscópicas y análisis de rayos X de rocas importantes.

### 2.3 Estratigrafía

#### 2.3.1 El Basamento

##### ① Granito

El basamento del área de estudio está constituido por granitos, los cuales ofrecen pocos afloramientos.

Estos afloran en:

- a) Sobre la colina (80 a 100m. sobre el nivel del mar) donde están ubicadas las instalaciones de CORPOSANA.

- b) En una cantera abandonada cerca del camino a 7km. al este de Ypacaraí (100 a 120m sobre el nivel del mar).
- c) Según los informes de pruebas de perforación de SENASA, llevadas a cabo al pie del cerro Palacios a 5km. al noroeste de Paraguarí muestran la existencia de granitos en el Pozo 2 y Pozo 3, a 55m (110m sobre el nivel del mar) y 80m (90m sobre el nivel del mar) por debajo de la superficie, respectivamente.

El granito de (a) consiste en dos tipos de mica - granito de color marrón rojizo, duro y compacto. Forman bloques divididos de 2 a 3m de diámetro por su sistema en direcciones este - oeste y norte - sur.

El granito se ubica por debajo de la arenisca arcosa. Está compuesto principalmente por cuarzo (equigranular de  $\pm 5\text{mm}$ ), feldespato potásico, plagioclasa, muscovita y biotita con cirzón adicional, apatita, turmalina y minerales opacos.

En general, el granito está ligeramente alterado, ya que el feldespato potásico muestra un color ligeramente amarronado sucio, y la plagioclasa y la biotita están parcialmente transformadas en clorita. Una parte del cuarzo y el feldespato muestran una textura "myrmekitic".

El (b) es un granito granular grueso marcadamente alterado, aireado y descompuesto. Sufre la cloritización y fácilmente se convierte en arena granular gruesa.

El granito (c) está brevemente descrito solamente como "Rosado y Masivo" y no se conocen los detalles al respecto.

Según Bitschene y Lippolt (bibliografía c.f.), la edad determinada del granito de San Bernardino se encuentra dentro de los periodos  $573 \pm 14 \text{ Ma}$  a  $576 \pm 15 \text{ Ma}$ , indicando que pertenece a la era precámbrico.

## ② Granito pórfido y/o toba ácida hidrotérmicamente alterada

Es una roca porfídica muy dura y compacta de color gris oscuro a gris negro.

Aparecen afloramientos en las zonas bajas a 4km. al sudeste de Ypacaraí, en cuatro colinas elípticas (los diámetros son menores a 1km en longitud y 20 a 60m en altura). Esta roca es extraída para ser usada como material de pavimento.

El nombre petrográfico de esta roca es difícil de identificar debido a su textura variable. Al menos se sabe que es roca ácida que se enfría rápidamente en la superficie o subsuperficie. Según la observación microscópica, esta roca consiste principalmente de cuarzo y plagioclasa

con circón adicional, apatita y minerales alterados hidrotérmicamente tales como biotita, ferro - hastingsito, calcedonia, sericita, clorita y materiales opacos, y también limonita expuesta y vermiculita. A veces contiene xenolita y metasedimentos. Son generalmente comunes su textura líquida, cuarzos en forma corrosiva y cuarzos partidos.

En la matriz cuarzo - feldespatos es visible la biotita microlaminada. Las aberturas existentes están llenas de calcedonia.

En los cuarzos algunas veces son visibles las texturas recristalizadas.

Son identificables dos tipos de cuarzo fenocristal. Los orígenes son, el primero del tipo magmático y el segundo es una alteración hidrotermal. El primero muestra claramente formas idiomórficas y corrosivas, y en el segundo tipo son visibles los microcristales de cuarzo en vetas amontonadas, que usualmente están formados junto a la textura líquida original.

La plagioclasa muestra un prisma idiomórfico de menos de 4mm de largo. Algunas veces es convertido en sericita por la alteración hidrotermal.

Estas texturas sugieren la presencia de la roca como una intrusión en toba ácida y seguido por la alteración hidrotermal.

Según Bitschene y Lippolt (1985), la edad estimada de esta roca es de  $553 \pm 20$  Ma.

Se supone que el magma ácido, que ha sido indicado por el granito de San Bernardino y que está sobre la roca porfídica, es importante en la formación del ciclo orogénico de Brasil (750~450 Ma de la era precámbrico al ordoviciano superior).

### ③ Cuarcita y/o Cuarzo Terroso

Se observan pequeños afloramientos a 1km al norte del Cerro Cristo Redentor, a lo largo de 2km. sobre la ruta noreste - norte de Paraguari, a elevaciones de 130 a 140m. sobre el nivel de mar.

Es una roca muy dura y compacta, de color entre gris claro y amarillo grisáceo, y presenta una litofacie limosa.

Los informes de las pruebas de perforación de SENASA indican la existencia de una roca metamórfica a 70m. debajo de la superficie (100m. sobre el nivel del mar), como sigue:

ROCA METAMORFICA, CON RECRISTALIZACIONES VARIAS,  
COLOR NEGRO PALIDO CON ABUNDANTES CRISTALES DE  
CUARCITAS Y MINERALES DE CARBONATOS (CALIZAS) DE  
COLORES CLAROS MUY COMPACTOS.

Las facies de estas rocas son aparentemente diferentes de las de granito y rocas aledañas. No ha sido identificada la edad de estas rocas, pero posiblemente pertenecen a la era presilúrico, y forman parte del basamento del área de estudio.

### 2.3.2 Grupo Arenisca - Conglomerado

Este grupo forma la altiplanicie de la Cordillera de los Altos, ubicada en la margen norte oriental del área de estudio, y está ampliamente distribuido en el sector oriental de la cordillera. También se distingue en la zona alta, a lo largo de la Cordillera de Yaguarón en la margen occidental del área.

El grupo del sector este forma la fuerte pendiente del margen occidental de la altiplanicie moderadamente ondulada.

En este estudio, el grupo se clasifica en cuatro formaciones y es casi correlativo con el grupo Caacupé de la bibliografía antes mencionada.

#### ① Formación de Conglomerados (Guijarro Cuarzoso)

Esta formación yace a los pies de la falda de la Cordillera de los Altos, al norte de Paraguari. La formación ocupa las zonas bajas del sector sur y norte del área, a una elevación de 200m y 100m respectivamente (en el norte, se extiende hasta el punto medio entre San Bernardino y Emboscada).

En el sector sur se presentan gravas redondeadas o semi-redondeadas de cuarzo esquisto y una variedad de cuarzo metamorfoseado de 5~50mm de diámetro dentro de la matriz de la arenisca cuarzosa arcosa.

Los minerales principales de la arenisca arcosa son el cuarzo y la muscovita, siendo los minerales adicionales el circón, la apatita, limonita y la hematita.

Se observan la caolinita y el carbonato como minerales alterados.

La matriz se compone de granos de micro cuarzo, clorito y caolinita.

El tamaño de la matriz es de 0,1 a 1mm, semiredondeada a redonda y pobremente clasificada.

Esta formación muestra una litofacie conglomerática clara, pero la grava disminuye en número y diámetro en la zona norteña. Luego se convierte en piedra arenisca, conteniendo capas finas intercaladas de guijarro y grava.

En cuanto al tipo cercano a la localidad, este conglomerado se vuelve arenisca arcosa de capas cruzadas hacia la parte superior.

Se observan muchos hoyos abandonados, abiertos por las gravas debido a la fácil descomposición de parte de la matriz.

En la margen oriental de la planicie central desde Paraguarí hasta San Bernardino, esta formación de conglomerado - arenisca gruesa tipo grava está cubierta por depósitos aluviales y parece estar ampliamente distribuida a 1m debajo de la superficie.

Esta zona cubierta ha sido erosionada por la intemperie, la alteración del agua subterránea y/o "gleyzación". Muestra una superficie plana acompañada por hematita y limonita, y presenta la textura de la matriz de asiento con grano flotante tipo paquete. A veces esta zona muestra una mezcla de colores complejos blanco, gris amarillo y marrón rojizo.

Esta formación de conglomerados es la formación basal del conglomerado-arenisca grupo 2) y se encuentra sin continuidad sobre el granito en San Bernardino. Es casi correlativo con la formación PARAGUARI descrita en la bibliografía mencionada.

## ② Formación Arenisca Semi - Arcosa

Esta formación cubre conformemente e intergradacionalmente la formación conglomerada mencionada. Se observa a lo largo de la Cordillera de los Altos desde Paraguarí hasta Emboscada, situada en la parte norte del área de estudio. La formación ocupa zonas de 200m y 100m de elevación de las áreas sur y norte, respectivamente. Forma un escarpe notable que se extiende desde Paraguarí hasta Ruta Nacional No. 2.

Los tipos característicos son observables en la cantera ubicada cerca del camino similar al caso en ①, en un corte del camino sobre la Ruta Nacional No. 2, en el punto medio entre Ypacarái y Caacupé, y en unas canteras cerca de San Bernardino.

Esta formación está compuesta principalmente de piedra arenisca semi - arcosa y tiene una variación considerable en colores tales como gris

claro, amarillo pálido y naranja amarillo claro. Esta formación se clasifica lateralmente y verticalmente desde el conglomerado antes mencionado en ①, y a veces cambia a grano grueso y/o contiene guijarros esparcidos o gránulos de horsteno. Esta piedra arenisca está compuesta principalmente de granos de cuarzo con una pequeña cantidad de matriz.

El tamaño de los granos varía desde 0,1 a 2,0mm, siendo la mayoría de 0,5mm, de forma semiredondeada a subangular.

Los minerales principales de esta piedra arenisca son el cuarzo, feldespato potásico ( $\pm$ ), plagioclasa, muscovita y biotita ( $\pm$ ), siendo los minerales adicionales el circón, turmalina ( $\pm$ ), rutila ( $\pm$ ) y la apatita ( $\pm$ ).

La limonita, sericita y caolinita, y otras pequeñas cantidades de clorita, epidota y hematita, son reconocibles como minerales alterados.

Se reconocen también fragmentos líticos tales como esquisto de cuarzo, horsteno y rocas volcánicas (riolita ?).

Algunas veces esta formación muestra juntas laminadas, capas cruzadas y estructura en capas, y se encuentran procesos de laterización serrada. Cuando no existe laterización, son friables y muestran aspectos sacaroidales debido a su composición cuarzosa y falta de matriz.

Esta formación tiene rumbos de 25°N a 50 NE y se inclina de 3° a 5° SE, y tiene más de 150m de espesor máximo en cerro Jhú, cerca de Paraguarí. Las formaciones de conglomerado y de arenisca muestran las formas características de la tierra, debido a la diferencia de durabilidad de cada formación. La formación de arenisca superior tiene relativamente alta durabilidad debido a la laterización, y forma un frente escarpado de la meseta con inclinación cerca de 40°. La formación de conglomerado inferior es fácilmente descompuesto debido a su composición heterogénea, y forma una pendiente suave con inclinación cerca de 15°.

Los bloques geológicos divididos por fallas y fracturados por erosiones sucesivas quedan a veces como Inserberg aislado y presenta vistas singulares tales como los cerros Jhú, Santo Tomás y Mbatoví.

Esta formación es casi correlativa con la formación del cerro Jhú descrita en la bibliografía.

### ③ Formación de Cuarzo Arenisca (ortocuarcita)

Esta formación superyace intergradacionalmente la formación arenisca semiarcosa mencionada.



Esta formación ocupa las zonas superiores a 100m, y se observa en canteras cerca de Emboscada.

Esta formación está compuesta principalmente de arenisca - cuarzo, y tiene juntas características laminares o en forma de placas, de espesor muy fino. Se explotan en canteras y son usados como materiales para pisos y paredes en la construcción de edificios.

En comparación con la arena semiarcosa mencionada, esta roca muestra buena clasificación de tamaño de granos, menos laterización y aspecto más fresco.

En general, esta roca está fuertemente silicificada, a veces terrosa y sacaroidal.

La arenisca se compone principalmente de grano clástico de cuarzo y muestra una textura de grano de asiento sin agrupación de matriz.

El tamaño de granos varía entre 0,02 y 0,4mm, predominando los granos finos de 0,1 a 0,3mm.

Los granos se encuentran bien clasificados y bien redondeados.

Según la observación microscópica, el mineral principal es el cuarzo, y como minerales adicionales se encuentran la turmalina, circón y esfeno. También se observa la presencia de clorita, caolinita, rutilo, hematita y limonita. A veces contiene fragmentos líticos de esquisto de cuarzo.

Esta formación es casi correlativa con la formación Tobatí descrita en la bibliografía.

#### ④ Formación Arenisca - Cuarzo

Esta formación se extiende a lo largo de la Cordillera de Yaguarón constituyendo el margen occidental del área de estudio. Ocupa una extensión aproximada de 10km de longitud, 1km de ancho y con altitud mayor a 200m. al sudeste de la Cordillera Ybytypanema, en el oeste de Pirayú.

El tipo característico se encuentra en un camino, a 1km al sudoeste de Pirayú.

Esta formación se compone de arenisca cuarzo de color gris claro a amarillo pálido.

La arenisca se compone principalmente de granos de cuarzo, y en general es masivo y consistente; no obstante, contiene elementos sacaroidales fríos.

Algunas partes muestran conglomerados de hematita dispersados.

El rumbo y la inclinación de esta formación son inciertos.

El tamaño de los granos varía entre 0,1 y 2,5mm, predominando los granos de 0,5m  $\pm$ , son semiredondeados a redondeados en forma.

El mineral principal es cuarzo, y los adicionales son turmalina, circón, muscovita y biotita. También se observa la presencia de sericita, kaolinita, hematita y limonita como minerales alterados.

A veces contiene fragmentos líticos de esquisto de cuarzo, meta-horstenos y roca volcánica (riolita?).

La textura muestra grano de asiento o grano de asiento tipo paquete con aglomeración de matriz intersticial.

Esta arenisca - cuarzo es similar a la arena semiarcosa descrita en ②, en cuanto a las litofacies y los fragmentos líticos adicionales difieren porque casi no contiene feldespato. Es posible que esta roca sea corelativa con el grupo ②.

### 2.3.3 Grupo Alternado de Arenisca - Cuarzo y Limo

Al oeste de la llanura central, los estratos alternados de arenisca - cuarzo y de limo se encuentran formados en el suave declive de la falda de los cerros, desde el norte de Pirayú hasta Areguá vía Ypacarai, en dirección noroeste a sudeste, con una elevación menor a 150~100m sobre el nivel del mar.

Cerca de Pirayú, las litofacies muestran capas alternadas de limo; no obstante, se desconocen los detalles de la formación debido a la escasa afloración. Estas litofacies se excavan en pequeñas cantidades con el fin de utilizarlas como materiales para la cerámica.

En este lugar se encuentran las capas de limo micáceo ①, de color marrón rojizo a naranja, de friable a polvoreada, y de limo o arenisca de cuarzo ②, de color gris claro, de lámina friable.

La primera tiene una zona de disgregación en dirección norte a sur y una estructura de plegamiento, y se extiende de N 50° E e inclinándose 40° hacia el noroeste.

La segunda se extiende de norte a sur, dirigiéndose 60° a 70° hacia el oeste. Hay una formación estratigráfica muy desarrollada. El estrato unitario es

limo suave que contiene una capa delgada de hematita y tiene un espesor de 3 a 15cm. Estos estratos de limo son explotados.

El principal mineral de limo micáceo de ① es grano de cuarzo de tamaño del limo, y los minerales adicionales son muscovita (illita), turmalina y circón.

Se observa también la presencia de kaolinita, rutilo y limonita como minerales alterados.

El tamaño de los granos de cuarzo varía entre 0,02 a 0,08mm, siendo el cuarzo clasificable de angular a subangular.

Los granos clásticos se componen principalmente de cuarzo de tamaño del limo, y la muscovita con un ángulo de intersección de  $135^\circ$  ( $45^\circ$ ) que se encuentra esparcida a través de las aberturas.

Las capas de limo suave de la misma calidad que la ②, son explotadas según el método de hoyo abierto como "caolin" en las canteras Santa Teresa e Itauguá para la fabricación de ladrillos y baldosas. Muchos hoyos abiertos abandonados se encuentran entre Ypacarai y Areguá, después de la extracción del caolin.

En estos hoyos abiertos, en general la formación se compone de limo micáceo con la capa basal de arenisca de cuarzo, aunque queda la posibilidad de una relación alternada.

El limo tiene mucha variación de colores, desde gris claro, amarillo anaranjado, gris rojizo, etc. El color original es gris claro con matiz castaño, debido a la abundancia de limonita.

Se observan frecuentes intercalaciones de capas delgadas de hematita y arena de buena calidad.

El espesor continuo total excede los 20 metros. La arenisca de cuarzo rumbea frecuentemente de norte  $30^\circ$  a oeste  $40^\circ$  dirigiéndose de  $10$  a  $20^\circ$  hacia el sudoeste.

El mineral principal de la arenisca - cuarzo es el cuarzo, y los minerales adicionales son turmalina y circón.

También se observa la presencia de muscovita, sericita, hematita, limonita y caolinita como minerales alterados.

La granulometría varía entre 0,2 a 0,5mm, y los granos son bien clasificados y semiredondeados a redondeados.

Los minerales principales de limo son muscovita (illita) y algunos minerales de arcilla. El cuarzo es adicional, mientras que la limonita, hematita

con caolinita(?) son minerales alterados. Las partículas clásticas se componen de muscovita, mineral alterado como limonita y pequeña cantidad de cuarzo.

El limo mezclado con sedimentos de arcilla limosa de color negro grisáceo-castaño oscuro, es explotado de los humedales cercanos a Ypacaraí y utilizado como materias primas de la cerámica.

Según análisis radiográfico, se detectaron el cuarzo, caolinita y una pequeña cantidad de ilita, aunque su proporción cuantitativa es aún incierta.

Durante la investigación, se obtuvieron fósiles de *Eocoelia Paraguayensis* (Harrington) y *Ortocerotid* pobremente preservado, de la capa de limo de una fosa abandonada, ubicada a 6km al noreste de Itauguá.

El primero pertenece a Brachiopoda y la antigüedad del fósil corresponde a la era silúrica inferior.

En la bibliografía mencionada anteriormente, se informa que de la capa correlativa con la capa alternada de arenisca y limo se encontraron varias clases de fósiles identificados con el grupo Itacurubí de la era silúrica inferior, que a su vez se subdivide en tres formaciones.

En el presente estudio no se pudo confirmar la relación mutua de cada una de las tres formaciones ni la relación con el estrato subyacente, por cuanto estas constituyen "un grupo alternado".

Este grupo se caracteriza por la presencia de numerosos fósiles y por sus facies de roca micácea. También es notablemente más suave que el estrato paleozoico de Japón, asemejándose al estrato de limo de la era Terciaria Neogénica de Japón.

#### 2.3.4 Formación de Arenisca Roja - Conglomerado

Esta formación está esparcida ampliamente en el oeste del área de estudio, principalmente en la cuenca del arroyo Yuquyry, en la costa oeste del lago, y al sur y al oeste de la Cordillera de Yaguarón. Además, aparecen debajo de los humedales, al norte del lago.

Esta formación está constituida por conglomerado y arenisca. En general, la capa subyacente es conglomerática y la superyacente es arenisca de cuarzo de un color característico marrón rojizo. Las areniscas a veces contienen capas de grava intercaladas.

Las litofacies conglomeráticas pueden observarse en los cerros Perú y Patiño en Paraguari y sudeste de Areguá, respectivamente y, en la compañía El Salado, aguas abajo del río Salado, etc. (la zona de litofacies conglomeráticas se indica en el mapa geológico anexo).

La grava se compone de arenisca arcosa, esquisto de cuarzo y arenisca de cuarzo, derivados del grupo ② de conglomerado arenisca, y de piedra limosa, arenisca silicificada y de rocas negras ígneas. Las gravas son desde guijarros a cantos rodados de 0,1 a 40cm de diámetro, y son de forma semiredondeada angular-subangular.

El tipo, diámetro y tendencia de acumulación de la grava varían de acuerdo a su localización.

En el Cerro Perú, sin embargo, las litofacies conglomeráticas se encuentran a altitudes mayores a 50m. En el estrato inferior se acumulan los cantos rodados (muchas veces son alterados y se transforman en grava) y tienen diámetros menores. La roca madre se compone de arena cuarzosa fina y gruesa, y de minerales de arcilla.

La arenisca roja está constituida por partículas elásticas de cuarzo y muestra una clara variación en su clasificación, granulometría y contaminación por la laterita. El mapa geológico sólo muestra la situación general, ya que es difícil clasificar detalladamente.

Esta capa generalmente es de color marrón rojizo de diferentes matices (claro-oscuro) y varía litológicamente, pudiendo ser dura, compacta o sacaroidal y terrosa.

Presentan colores marrón rojizo en zonas erosionadas por la laterización, siendo los colores característicos de la cuenca del Yuquyry.

Su dislocación es difícil de medir debido a las litofacies grandes y masivas, a pesar de su inclinación casi horizontal.

Topográficamente, esta capa se encuentra en forma extensa en colinas con suaves ondulaciones, donde la mayoría de estas tierras comprendidas en el área de estudio es utilizada para la urbanización y cultivo.

La zona de este grupo ha sido gravemente erosionada debido a la escasa cobertura vegetal. El espesor del suelo y la capa erosionada muestran una variación muy irregular desde algunos metros hasta cero, pudiéndose observar en algunos sitios rocas madres expuestas.

En algunos lugares, se observan excavaciones para la extracción de la grava.

Los resultados de la observación microscópica se resumen de la siguiente manera:

El mineral principal de la arenisca de cuarzo es el cuarzo. Los minerales adicionales son normalmente apatita, circón y turmalina, así como biotita, muscovita y algunos materiales opacos. Los minerales alterados son, por lo

general, limonita acompañada frecuentemente por hematita, caolinita y muscovita. El esquisto de cuarzo es común como un fragmento lítico.

La granulometría varía entre 0,2 y 0,8mm. Los granos tienen diferentes grados de clasificación de "pobres" a "buenos", con forma semiredondeada sub-angular.

Esta roca es generalmente pobre en su matriz y muestra una textura granular, y presenta un aspecto sucio debido a la dispersión de limonita. En la cuenca baja del área de estudio, aumenta su matriz en cierto grado, hasta llegar a facies de cuarzo parecidas a la arenisca.

Según los informes de la prueba de perforación de SENASA, muestran las siguientes clasificaciones:

- |                       |                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| En el Pozo Pirayú 1:  | La arenisca llega hasta los 68m debajo de la superficie.                                                                                                                                |
| En el Pozo Pirayú 2:  | La arenisca llega hasta los 65m debajo de la superficie y se convierte en "Roca Ignea (lamprotido) color oscuro.<br>(Se supone que es un miembro del granito pórfido de la roca madre). |
| En Capiatá:           | La arenisca llega hasta 145m.                                                                                                                                                           |
| En el Pozo Itauguá 2: | La arenisca llega hasta 135m.                                                                                                                                                           |
| En el Pozo Itauguá 3: | La arenisca llega hasta 135m.                                                                                                                                                           |
| En el Pozo Areguá 2:  | La arenisca llega hasta 50m.                                                                                                                                                            |
| En el Pozo Caacupemí: | La arenisca llega hasta 90m.                                                                                                                                                            |

En todos, se informa de la existencia de arenisca.

Según la bibliografía mencionada, esta formación es correlativa con la de Patiño, aunque todavía quedan algunos problemas no resueltos.

### 2.3.5 Rocas Igneas

Se encuentran rocas en algunos sitios del área de estudio en pequeña escala. El grupo conglomerado arenisca de (2.3.2) ha sido intrusionado por una masa de gabro en el cerro Santo Tomás, al este de Paraguari. Este elemento de gabro es negro y muy consistente, lo cual se utiliza como material para pavimentar caminos.

Esta roca está compuesta principalmente de clinopiroxeno, biotita, plagioclasa y olivino, y está acompañada de apatita y minerales opacos.

Se estima que el tiempo de intrusión ha sido entre las eras jurásico y cretáceo.

Se encuentran conjuntos de rocas muy pequeñas y únicas en los cerros Coi y Chororí, a 1km al oeste de Areguá. Estas rocas tienen prismas excelentemente desarrolladas de forma pentagonal o hexagonal de centímetros variables y se encuentran en la capa de arenisca de cuarzo de (2.3.4), y esto indica una aparente intrusión de roca de dique. Sin embargo, según observaciones microscópicas, esta roca se compone de arenisca fina de tamaño mediano, que a su vez se compone de granos de cuarzo bien clasificados con cantos cortados.

Es muy difícil comprender la formación y el origen de estos elementos por las reglas comunes de la geología. En este informe, esta roca se describe como "materiales arenosos muy anormales".

Asimismo, rocas similares de secciones prismáticas hexagonales se encuentran en la cantera de San Lorenzo y a 3km al este de Luque, en estrecha relación con la arenisca de cuarzo.

Según observaciones microscópicas, el mineral principal de este material es cuarzo, con minerales adicionales como el circón y turmalina. Además, se pueden ver la presencia de hematita, limonita y caolinita como minerales alterados y los esquistos de cuarzo como fragmentos líticos.

Los granos de cuarzo son de 0,1 a 1,5mm en tamaño, con clasificación moderada, semiredondeados y pobremente alterados. Se caracterizan por el crecimiento secundario de cuarzitos manchados y dentados o de ceolita alrededor de los granos de cuarzo. Esta alteración de granos de cuarzo se observa hasta cierto grado.

Este fenómeno se considera como la recristalización de  $\text{SiO}_2$  disuelta en agua.

Se puede observar también la presencia de limonita y caolinita en abundancia en la matriz.

Las formaciones prismáticas de este material son claramente juntas frías y no fueron formadas por consolidación ni por tensión.

La presencia del circón redondo y clástico y de turmalina niega que el proceso de silicificación haya convertido las disyunciones prismáticas de rocas volcánicas en tales materiales.

Petrologicamente, es de mucho interés pero su origen se desconoce hasta la fecha.

En los cerros Coi y Chorori, este material parece haber sido conservado como monumento natural. Pero, este mismo material es excavado en otras canteras para utilizarlos como material de pavimento.

### 2.3.6 Arenisca no Consolidada, Limo y Sedimentos de Arcilla

Este grupo se encuentra ampliamente esparcido en la zona central de la llanura, incluyendo el lago que tiene 65km de largo, 5~8km de ancho y de una pendiente de 5 grados.

En la cuenca del Pirayú, aguas arriba del lago, la llanura está constituida de sedimentos de arena~limo no consolidados que, a su vez, se componen principalmente de granos de cuarzo, es húmeda y cubierta por pastos. Salvo una parte de las tierras que se utilizan como fincas o cocotales, la mayor parte del área está siendo utilizada para pastoreo.

En la llanura existen muchos charcos de forma circular menores de 200m de diámetro. Se desconoce el origen de estos charcos, sin embargo algunos de ellos se comunican a través de pequeños surcos, los cuales indican la existencia de rastros de los antiguos arroyos.

En la llanura son reconocibles varias superficies microgeomórficas e indicios de ríos en las fotografías aéreas, y que se suponen haber sido nivelados y enterrados por las repetidas inundaciones.

El espesor estimado es de 1m, y en muchos casos, el material subyacente (desgastado, alterado y allanado) derivado de la formación conglomerada constituye la capa acuiclusa. Al pie de la Cordillera de Los Altos, varios afluentes del arroyo Pirayú han formado divisiones de valles residuales y rellenados. Estos valles tienen un cierto grado de inclinación y forman taludes o abanicos pequeños. Muchos de estos tributarios no tienen escurrimientos superficiales ni suministran detritos en tiempos normales.

Al pie de la Cordillera de Yaguarón, en el sector oeste del área de estudio, han ocurrido erosiones laminares y quebradas debido a la pobre cobertura vegetal.

El frontón cubierto y la pendiente moderada forman una microtopografía interdigitada y compleja con una relativa elevación con relación a la llanura.

A lo largo del cauce principal del Pirayú se extiende una zona de sedimento de composición de limo~arcilla negro grisáceo-castaño oscuro, y se distribuye con menor o mayor espesor; no obstante se desconocen los detalles.

Tanto las orillas este como la del oeste del lago se componen de arena, que a su vez, se compone principalmente de granos de cuarzo de buena calidad.



Las características detalladas de gran parte de los humedales de la cuenca del Salado, aguas abajo del lago, probablemente se compone de planosol, abundante en limo~arcilla negro grisáceo-castaño oscuro.

Los lechos del arroyo Yuquyry y sus principales tributarios muestran configuraciones cóncavas planas. Los depósitos del lecho del cauce abundan en composición de limo~arcilla negro grisáceo-castaño oscuro. Estos depósitos son excavados para utilizar en la fabricación de ladrillos.

Según el análisis radiográfico, este material limo-arcilla contiene granos de cuarzo del tamaño del limo, minerales de caolinita y grupos de illita y montomorillonita, y muestra un carácter similar al de la cuenca del arroyo Pirayú.

Estos componentes muestran una formación de arenisca roja, además de la formación del limo mencionado en (2.2.3).

Este sistema de drenaje actual, elevación y distribución de las capas de limo en la cuenca del Yuquyry, hace difícil considerar que una gran cantidad de limo pudiera ser transportada directamente en la cuenca. Como el origen de esta composición de limo-arcilla negro parece tener estrecha relación con el origen de los depósitos que componen el lecho del lago, se recomienda realizar un estudio acerca del tema en un futuro cercano.

El sedimento no consolidado mencionado anteriormente es el sedimento holoceno, producido y acumulado a través de la repetición de los procesos de erosión, disección, transporte, sedimentación y redisección de los estratos geológicos y de los detritos.

En base a la bibliografía, fueron recopilados y resumidos los resultados arriba mencionados en la Tabla S1.2.2 el orden estratigráfico del área de estudio.

Tabla S1.2.2 Cronología Estratigráfica del Area de Estudio

			M.a
Cenozoico	Cuaternaria		
	Terciaria	Arena, limo y arcilla	2
Mesozoico	Cretáceo	Conglomerado-Arenisca roja	65
	Jurásico	Gabro	141
	Triásico	?	195
		(Piedra arenisca)	225
Paleozoico	Pérmico		280
	Carbonífero		345
	Devónico		395
	Silúrico	Alternación de arenisca de cuarzo y piedra limosa	
	Ordoviciano	Arenisca de cuarzo    Conglomerado    Piedra arenisca sub-arcosa    Arenisca de cuarzo	435
	Cámbrico		500
Proterozoico		Granito pórfido    Granito    Cuarzita	600

## 2.4 Estructura Geológica

Como una descripción general de la topografía y geología del área de estudio, la planicie aluvial de 65km de longitud y de 5 a 8km de ancho se extiende en dirección noroeste-sudeste de la zona central.

Al noreste de la llanura, el estrato conglomerado-arenisca de la era paleozoico, que es más antigua que la era silúrico inferior, se extiende en la misma dirección sobrepuesto discontinuamente sobre la roca madre de granito y roca metamórfica cuarzosa de la era cámbrico - paleozoico inferior.

El estrato rumbo en dirección noreste-sudoeste y cae ligeramente en dirección de sudeste o noroeste.

Topográficamente, el área corresponde al estrato paleozóico, que constituye el margen frontal disectado de la Cordillera de los Altos, y también muestra algunas características de Inzerberg.

En el sur se observan sucesivamente los estratos paleozóicos desde la capa subyacente hasta el superyacente, y la posterior está superpuesta por los sedimentos aluviales de la llanura en la zona norte.

Al noroeste de la llanura, la zona de elevación relativa del grupo paleozóico se extiende de noroeste a sudeste formando una zona marginal. Sin embargo, la mayor parte de la capa está cubierta por arenisca roja de la era post-cretácea y formando una colina.

El grupo paleozoico se extiende de la dirección norte-sur hacia noroeste-sudeste y tiene inclinación entre 10° a 60° hacia el sudeste.

Se estima que los estratos de arenisca roja son casi horizontales planos.

En el noroeste, cerca de Paraguari, se considera que las rocas madres son granitos y rocas metamórficas, así también en el noreste, según datos de la prueba de perforación. Se desconocen los detalles de la roca madre por estar cubierta por una capa de arenisca roja de 130 metros de espesor.

Cerca de Ypacaraí, se registró la presencia de la roca porfídica de casi la misma era que el granito a través de las pruebas de perforación; no obstante, su distribución es limitada.

Según las fotografías aéreas, de la formación del grupo paleozoico, al noreste del área de estudio, se identifican numerosos lineamientos de direcciones ONO-ESE, NE-SO, E-O y N-S, mostrando cada tributario la misma tendencia.

En términos generales, se deduce que estos sistemas se deben a la falla escalonada aunque no han sido confirmados en su mayoría.

No se reconoce una falla a gran escala que controla el sistema escalonado, pero probablemente se extiende debajo de la llanura, en caso de que ésta existiese.

En la zona del grupo paleozoico del noroeste, es difícil estudiar la falla por su estrechez. Sin embargo, la Cordillera de Yaguarón parece estar dividida en bloques por pequeñas fallas en direcciones noroeste-sudeste y este-oeste. Además, el cauce principal del Pirayú se extiende en línea recta de suroeste a noreste, desde Paraguairí hasta el Lago Ypacarai, y se extiende una zona de arcilla negra grisácea a lo largo del lago.

Las características topográficas y geológicas se resumen de la siguiente manera:

- Gran tendencia hacia la dirección noroeste-sudeste
- Depresión en la llanura central
- Diferencia entre el horizonte y la profundidad del grupo paleozóico en el noreste y noroeste del área del estudio
- Posible existencia de un sistema de falla escalonada.

Tomando en consideración las mencionadas características, se puede deducir que el origen de la estructura geológica del área de estudio es: graben ① (fosa tectónica) y/o sistema de falla escalonada seguido por erosión selectiva ②.

La interpretación del ① es aceptable desde el punto de vista topográfico, sin embargo es difícil de considerar geológicamente la presencia de subsidencia o graben en gran escala, ya que los horizontes superiores de las rocas madres tienen una elevación de casi 100m sobre el nivel de mar en las afloraciones, y aún considerando los datos de la prueba de perforación en los sectores este y oeste. Además, es difícil de considerar la presencia del lecho conglomerado que se distribuye debajo de la llanura central y las fallas grandes que abundan en la llanura y en zonas montañosas.

Sin embargo, debido a la falta de evidencia de la presencia de una roca madre dentro o debajo de la llanura, en el lecho del lago y en la cuenca baja del área, no se expone una conclusión definitiva.

Desde el punto de vista ②, es posible suponer la presencia de una zona de gran falla en el centro de la llanura actual, por la distribución de Inzerberg cerca de Paraguairí, la extensión de la zona de arcilla a lo largo de Pirayú, la existencia de rocas de intrusión al sur de Ypacarai y por los datos recogidos en la prueba de perforación de Pirayú 3.

Se considera que se formó la falla como resultado de un sistema de falla escalonada y el desarrollo del proceso de erosión a lo largo de las fallas secundarias.

Por ejemplo, el cauce principal del Pirayú original fue profundizándose y extendiéndose gradualmente en su ancho, y la erosión se desarrolló a lo largo de las fallas secundarias y de las áreas superiores, resultando en retraimiento de taludes y desprendiendo los bloques divididos por fallas. Tras la repetición de tales procesos, la altiplanicie que predominaba la topografía del área fue erosionada hasta llegar a ser llanura casi nivelada.

El perfil del talud del noreste y la presencia de Inzerberg sostendrían la veracidad de la teoría ② mencionada.

El declive del estrato paleozoico del oeste, más empinado que el del lado este, indica que ha habido un movimiento más fuerte al oeste de la falla principal.

La distribución de la zona superior del grupo paleozoico al oeste puede mostrar que la falla principal fue una falla girada. Por ejemplo, pese a que el horizonte superior de las rocas madres están en el mismo nivel que en la cuenca alta del área, todavía queda la posibilidad de que éstas sean más profundas en la cuenca baja.

En todo caso, en el presente estudio no se ha llegado a ninguna conclusión sobre la estructura geológica del subsuelo. Se recomienda confirmar estos datos mediante pruebas de perforación.

El estudio de las aguas subterráneas podría revelar el origen y el proceso de la formación del lago, especialmente identificando la profundidad de la roca madre al norte de Pirayú e Ypacarai, el lecho del lago y los humedales de la cuenca baja.

## 2.5 Problemas no Resueltos

Aún quedan algunos problemas que no se han podido resolver en el presente estudio y son los siguientes:

(1) En cuanto al proceso de formación de la llanura central, una de las teorías mencionadas anteriormente puede ser aceptable. Evidentemente, una gran cantidad de detritos de rocas erosionadas debió ser transportada por las corrientes; sin embargo, considerando la magnitud del área de captación y la escala de las corrientes del Pirayú actual, es difícil suponer la presencia de agentes erosivos en el Pirayú antiguo.

Probablemente el Pirayú antiguo ha sido un gran río que se extendía hacia el sur de Paraguari.

(2) Durante el proceso de formación de la llanura central, una gran cantidad de grava (cuarzosa redondeada que se derivó de la formación de conglomerado) debió ser transportada, pero actualmente casi no se observa la presencia de grava en la planicie ni en el lecho lacustre ni en

los humedales.

Esto es uno de los problemas no solucionados.

(3) Todavía queda incierta la razón por qué el grupo de arenisca roja que se extiende ampliamente al oeste del área de estudio, no se observa en la llanura central ni al este del área. Esto quiere decir que aún se desconocen el ambiente sedimentario y la zona arenisca.

Esto es importante en el momento de considerar el mecanismo y el período de formación del lago.

El grupo de arenisca roja muestra una estratigrafía ambigua debido a la presencia de litofacies masivas, y por cuanto probablemente la formación de la arenisca de Misiones triásico-jurásico se encuentre superpuesta (de acuerdo a la bibliografía). Se recomienda realizar observaciones cuidadosas y estudio de muestras en las próximas pruebas de perforación.

(4) Asimismo se desconoce el origen de la arcilla negra que se encuentra en algunas partes del lecho del arroyo Yuquyry.

Bajo las condiciones topográficas actuales, es difícil considerar que estos materiales provengan del área de captación del Pirayú; sin embargo se desconoce el tiempo geológico de la condición topográfica.

Se supone que la cuenca del Yuquyry se ha formado por los afluentes bajo condiciones estancadas durante el período de aguas altas del lago antiguo.

Se considera necesario realizar un estudio detallado de los componentes de la arcilla, así como de los depósitos acumulados en el lecho lacustre.

(5) De la misma manera, se desconoce el origen de los materiales de arcilla, así como de los depósitos acumulados en el lecho lacustre.

(6) De la misma manera, se desconoce el origen de los "materiales arenosos muy anormales", caracterizados por la agrupación de rocas con perfil hexagonal que se hallan en los cerros Coi y Chororí.

## CAPITULO III

### SUELO

#### 3.1 Descripción General de la Investigación de Campo

La investigación en campo se realizó en el área seleccionada en base a la investigación preliminar sobre la forma fisiográfica, geografía, vegetación, tipo del uso de la tierra y la interpretación preliminar de las aerofotografías.

En la segunda investigación de campo, se realizaron pozos de sondeo (se excavaron pozos de 1m de profundidad para observar el perfil del suelo) y el sondeo de perforación (se investigó el subsuelo de aproximadamente 1m de profundidad mediante la barrena manual).

Se analizaron las muestras tomadas en cada punto de muestreo.

Conforme a los resultados del análisis y la segunda interpretación aerofotográfica, se preparó la carta de suelos.

El número de los puntos de investigación de suelos se presenta en la Tabla S 1.3.1.

Tabla S 1.3.1 Número de puntos de investigación de suelos

	Pozo de sondeo	Sondeo de perforación	Muestras analizadas
1988	62	18	57

El contenido de estudio en cada pozo de sondeo es como sigue.

#### (1) Horizonte

Los horizontes pedológicos fueron clasificados según la diferencia en color y granulometría del suelo, y se indicaron la profundidad de cada horizonte.

#### (2) Granulometría del suelo

La granulometría del suelo fue estimada mediante un análisis táctil con dedos y cuya estimación fue revisada mediante el análisis granulométrico.

(3) Color del suelo

Se utilizó la tabla de colores del suelo estandar y los colores fueron expresados de acuerdo con el sistema de anotación de Munsell.

(4) Vetas

Se observó el patrón y se indicó el porcentaje de vetas.

(5) Gley

Se determinó por el color del suelo (croma) y se indicó la localización.

(6) Humus

Se examinó principalmente por el color del suelo.

(7) Humedad (filtración superficial)

Se evaluó por el tacto la humedad del suelo. La profundidad de la filtración fue también registrada.

(8) Tenacidad

Fue clasificada en tres clases (ninguna, moderada y alta), en base al análisis por tacto.

(9) Compacticidad

Se midió mediante el equipo de dureza de suelo del tipo Yamanaka y se expresó en mm.

(10) Otros

Se registraron otras observaciones según la conveniencia.

En la Fig. S1.3.1. y S1.3.2 se muestran los resultados del análisis de granulometría y los diagramas triangulares respectivamente.



### 3.2 Clasificación del Suelo

Las muestras del suelo fueron clasificadas de acuerdo con el sistema de clasificación de FAO/UNESCO\*. Los suelos en el área de investigación fueron clasificados en cuatro grandes grupos como se muestran en la Tabla S1.3.2.

\*Definición de la unidad según FAO-UNESCO Soil Map of the World Volume 1 Legend UNESCO 1974

Tabla S 1.3.2 Clasificación del suelo en el área de investigación

Grupos Grandes*	Subdivisión del Grupo Grande
1 Litosol	Sub-tipo 1, sub-tipo 2
2 Acrisol (suelo rojizo-amarillo podsólico)	
3 Regosol	
4 Planosol	

#### Litsoles (L):

Suelos limitados por las rocas de fondo continuas, coherentes y duras a 10cm de profundidad de la superficie.

#### Acrisoles (A):

Suelos que tienen un horizonte B arcilloso con la base de saturación inferior a 50% (por NH, OAc) por lo menos en la parte inferior del horizonte B dentro de 125cm de la superficie; faltando horizonte A mollic; faltando el horizonte E álbica sobrepuesto al horizonte permeable lento, la forma de distribución de arcilla y de abófise son diagnosticados como Planosoles, Nitsoles y Podzoluvisoles respectivamente; faltando régimen de humedad árida.

#### Regosoles (R):

Suelos formados por los materiales no consolidados exclusivamente de los aluviales recientes depositados, sin tener horizontes diagnosticados (salvo enterrado 50cm o más por material nuevo) menos el horizonte A ócrico; faltando propiedad hidromorfo a 50cm de la superficie; faltando las características para diagnosticar como Vertisoles y Andosoles; faltando alta salinidad; caso de granos

gruesos, faltan laminillas de acumulación de arcilla, propiedades de cambic, oxíc B horizontes B o material álbica, los cuales son características de Arenosoles.

Planosoles (W):

Suelos que tienen albic E horizonte sobrepuesto al horizonte permeable lento a 125cm de la superficie (por ejemplo, arcílico o natric B horizonte esparcido en el cambio brusco de configuración, arcilla pesada y fragipan), excluyendo el spodic B horizonte; mostrando propiedades hidromorfos por lo menos en la parte del horizonte E.

### 3.3 Distribución y Características de los Tipos de Suelos

La distribución y las características del suelo en el área de investigación serán explicadas a continuación. En la Fig. S1.3.5 se presenta la carta de los suelos.

#### 3.3.1 Litosol-subtipo 1

Se distribuye en los lugares relativamente altos y los declives abruptos en forma discontinua en el área de investigación. Se encuentra en los declives abruptos del margen frontal de la altiplanicie, principalmente por encima de 200m sobre el nivel del mar entre la ciudad de Paraguari y la Cordillera de Los Altos que limita el lado este del área de investigación, en los declives abruptos de más de 200m de altura en la Cordillera de Yaguarón que está en el lado oeste del área y en la zona alta en el contorno del Cerro Patiño. Se deriva principalmente del conglomerado de la era paleozoica, la arenisca y los conglomerados de las eras más nuevas, en las que generalmente la vegetación está bien conservada. La capa es delgada de menos de 50cm y se observan a veces afloramiento de las rocas madres.

Pese a la inclinación empinada, la erosión es relativamente difícil por las rocas firmes y la cobertura de vegetación. Es la zona a que se debe prestar atención para que la vegetación sea siempre protegida.

#### 3.3.2 Litosol-subtipo 2

Está distribuido en los cerros desde la altiplanicie y las colinas alrededores de la ciudad de San Bernardino en la orilla este del lago Ypacarai hasta Emboscada.

El área de San Bernardino estuvo originalmente cubierta de vegetación, sin embargo el desarrollo de urbanización y la red de carreteras impulsaron notablemente la tala de bosques.

Este tipo consiste en la arenisca gruesa de la era paleozoica; sin embargo la erosión superficial es fuertemente activa, dejando una capa delgada y en muchos lugares se hallan las rocas de fondo afloradas. En lluvias torrenciales, se supone que la cantidad de materias erosionadas que llegan al lago es grande.

En la altiplanicie desecada y la zona montañosa entre San Bernardino y río abajo hasta Emboscada se encuentran muchos arbustos.

En el área del sub-tipo 2, hay cantidad de canteras pequeñas donde se extraen rocas de fondo de buena estratificación para material de construcción, dejando un área extensa descubierta de la vegetación.

Con respecto a las 6 muestras del tipo litosol, el pH está entre 4.04 y 6.82, con un promedio de 4.93, mostrando una acidez fuerte.

Basándose en el análisis del tamaño de granos, la granulometría es arenosa, consistiendo en un 70-95% de arena, un 5-25% de limo y un 0-10% de arcilla, concentrándose en los rangos de SLS-SL (Fig. S1.3.1, Fig. S1.3.2).

### 3.3.3 Acrisol (suelo rojizo-amarillo podsólico)

Está ampliamente distribuido, en especial en las pendientes suaves, tales como la mayor parte de los cerros de la cuenca del arroyo Yuquyry en la zona oeste del área de estudios, las planicies de la Cordillera de Yaguarón, las planicies de la Cordillera de Los Altos en la zona este del área de investigación, etc. Presenta un color rojizo castaño típico de este suelo.

En el oeste, este suelo consta del conglomerado con mezcla de arenisca rojiza del Pos-Cretáceo, en cambio, en el este, el conglomerado-arenisca es de la era Paleozoica.

Recientemente en la cuenca del Yuquyry está progresando el desarrollo urbanístico e industrial, invadiendo el terreno convencional para cultivos. Esta zona, desde hace mucho tiempo ha sido terreno de cultivo y, como originalmente tenía poca cobertura vegetal, está en un estado en que puede ocurrir con facilidad la erosión del suelo.

En la planicie entre Pirayú y Paraguari, se practica el desmonte para habilitar nuevas tierras de cultivo. Topográficamente, se pueden observar fuertes erosiones del suelo superficial y desarrollo de barrancas en la margen frontal de los pies de las montañas.

De Pirayu a Ypacarai y Aregua, la roca madre es formada parcialmente por el limo poco sólido, y hay muchos lugares que produce y/o produjo caolín. Es muy probable que este estrato proporcionó las partículas finas de limo-arcilla al lago Ypacarai.

Desde aguas abajo del Yuquyry a aguas abajo del río Salado hay muchas canteras de grava y sus vestigios. La extracción es del lecho de gravas en las rocas madres y en sus vestigios casi nunca se recupera la vegetación, dejando el litosol o las rocas madres en estado descubierto, lo que permite el arrastre fácil de la capa superficial.

La falda de la Cordillera de Los Altos se encuentra en un valle amplio, el cual se supone que suministró gran cantidad de detritus de rocas a la parte baja en el proceso de erosión.

El espesor de esta capa de acrisol es muy irregular, ya que hay lugares donde tienen una capa fértil de 3m hasta las zonas donde la capa ha sido arrastrada casi completamente dejando las rocas madres afloradas.

Las 13 muestras determinadas como acrisol, indican entre 4.46 y 6.32 de pH con el promedio de 5.10.

La granulometría consta de 60-90% de arena, 10-40% de limo y 0-15% de arcilla, y siendo un poco extenso en S-LS-SL-SiL, lo cual indica que es más rico en limo-arcilla que litosol. (Fig. S1.3.1)

#### 3.3.4 Regosol

Está distribuido en la zona pantanosa en la cuenca del arroyo Pirayú aguas arriba del lago Ypacarai, también en la tierra baja a lo largo de la orilla oeste del lago y en la zona marginal de los humedales aguas abajo del lago.

En la cuenca del arroyo Pirayú, el suelo es generalmente inmaduro, arenoso, que está acumulado casi horizontalmente con un espesor de 1m sobre la

capa impermeable alterada resultante de la intemperización y gleyzación de los estratos de conglomerado y/o de arenisca gruesa de fondo.

Aguas abajo del lago, se desconoce el espesor del depósito.

El Regosol tiene buena capacidad de retener la humedad, por lo que se encuentran numerosas charcas con diámetros entre 10 y 200m en la zona baja.

En los microrrelieves-diques naturales a lo largo de los afluentes en la zona baja, se hallan muchas veces bosques a orillas del río, además de los bosques aislados en los microrrelieves. No obstante, la mayor parte de la zona baja es húmeda y cubierta por hierbas naturales dedicándose mayormente al pastoreo.

En el lado oeste del lago, recientemente se está avanzando el desarrollo con la construcción de casas de campo e instalaciones de recreo.

Dado que el área de distribución de regosol es plano y bajo, no hay erosión drástica; sin embargo, el lecho del afluente es de acuiclusa bastante dura, por lo que es fácil de recibir la erosión lateral. Además, en caso de inundaciones, se quedará rápidamente cubierto por la escorrentía superficial.

La mayor parte de regosol es el sedimento en el fondo del lago que consiste en las partículas transportadas procedentes de la erosión de las altiplanicies y montañas de alrededor durante el período de expansión del lago, y siguen siendo transportadas diariamente.

La fuente de suministro principal es la capa de arenisca de la era paleozoica y el suelo superficial de dicha capa.

Las 23 muestras determinadas como de tipo regosol tienen entre 4.19 y 7.03 de pH, con un promedio de 5.20.

La granulometría consiste en 75-95% de arena, 5-25% de limo y menos de 10% de arcilla, y se encuentra concentrada en el rango S-LS-SL, que se parece a una parte de litosol y acrisol (Fig. S1-3-1, Fig. S1-3-2).

Las curvas de acumulación se parecen unas a otras, lo cual indica que, a pesar de que se encuentra ampliamente, la distribución del tamaño de las partículas debe ser similar.

### 3.3.5 Planosol

Está distribuido en la zona a lo largo de la corriente principal del arroyo Pirayu, en los lechos de la corriente principal y afluentes del Yuquyry y en la mayor parte de la zona pantanosa aguas abajo del lago. Es el suelo limoso de colores gris negrusco-marrón negrusco-marrón gris, y está localizado en la parte relativamente baja dentro de la zona baja. La capa superficial es de baja permeabilidad y rico en humus, y en su parte inferior está desarrollado la gleyzación. En la tierra baja del norte de Ypacarai y el lecho del arroyo Yuquyry, se está explotando como materia prima de los productos cerámicos tales como ladrillo, tejado, etc. directamente o mezclando con Caolín, por lo que hay canteras abandonadas. Es utilizado también como la tierra de pastoreo. En las inundaciones, es fácilmente inundado y se supone que haya gran cantidad que se pierde por arrastre.

Las 14 muestras determinadas como planosol, indican 3.65-7.48 de pH, con un promedio de 5.02. La granulometría del suelo consta de 35-70% de arena, 35-65% de limo y 5-35% de arcilla, hallándose relativamente amplio en L-L-SiL-SiCL (Fig. S1.3.1, Fig. S1.3.2).

### 3.4 Investigación de los Resultados del Análisis del Tamaño de Granos

Se muestran las curvas de acumulación de la granulometría por tipo de suelo para estimar las curvas típicas de cada tipo, en la Fig. S1.3.1.

Las curvas de litosol y acrisol son comparativamente similares, con un nivel de acumulación entre 40 y 50% para el diámetro 0.25-0.5mm (arena mediana).

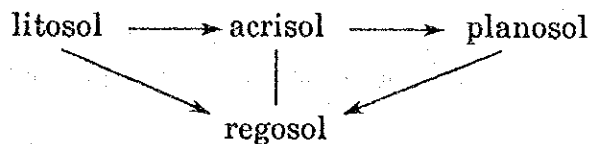
El regosol tiene una acumulación bastante notable, con un 60-70% para el diámetro 0.1-0.5mm (arena fina-mediana).

El planosol muestra una acumulación de un 30% para 0.01-0.05mm (limo) y un 20% para 0.1-0.4mm (arena fina-mediana).

Basándose en lo mencionado arriba, se puede suponer que, el litosol y el acrisol son los productos locales de zonas relativamente altas, reflejando las características de la roca madre con los granos relativamente grandes. El regosol fué transportado por agua y depositado en la tierra baja, desapareciendo los granos más finos en este proceso. El planosol es transportado a lo largo de los cursos de río y se ha transformado en limo que es más fino.

Hablando de las curvas de acumulación, el regosol tiene las curvas bien formadas, mientras que los otros las tienen dispersas.

Del diagrama triangular se puede suponer que el ámbito de distribución de la granulometría de regosol se parece mucho a una parte de litosol y acrisol, y la de planosol se encuentra en el ámbito donde la arena disminuye y el limo y la arcilla aumentan. De esto, se puede deducir que el desplazamiento de las partículas del suelo es como sigue.



De la distribución del tamaño de granos de los puntos de muestreo trazada en la carta del suelo, se puede saber muy aproximadamente la siguiente tendencia.

- (1) En el área de litosol, la parte que tiene cobertura vegetal tiende a tener mayor diámetro que la curva de acumulación media por abarcar aquellos suelos erosionados e inmaduros; sin embargo, en la parte donde tiene poca cobertura vegetal se refleja fácilmente la composición de la roca madre.
- (2) En cuanto al Acrisol, debido a que los lugares de muestreo no fueron bien distribuidos, es difícil determinar la tendencia; pero hablando de manera aproximada, en lo alto de las montañas se observa mayor cantidad de las partículas finas que la curva media, y en la parte baja, las partículas son más gruesas. Es decir, hay tendencia de que las partículas finas son arrastradas en la parte baja.
- (3) Con respecto a Regosol, en la parte más alta de la zona baja de la cuenca de Pirayu se observan desviaciones de la curva media, lo cual hace deducir que existen varios tipos. En medio del río cerca de Pirayu, es bastante similar a la curva media, y aguas abajo de la ciudad de Ypacarai tiende a presentarse más grueso. Es decir, las partículas arrastradas desde las pendientes del alrededor son clasificadas en el transporte desde aguas arriba a la zona media, y siguen clasificadas hasta llegar la parte baja del río, enviando las partículas más finas al lago, y dejando atrás las más gruesas.
- (4) El Planosol muestra mayor desviación en la curva de acumulación dentro de los 4 tipos, de modo que la tendencia en el campo no es muy clara. Hablando de manera muy atrevida, la distribución del tamaño de granos aguas arriba del río, comparando con la curva media, es más fino, y entre la zona media y la zona baja es más grueso. Dentro de los humedales, la tendencia no está clara. El del lecho del Yuquyry se encuentran casi en el lado fino.

### 3.5 Relación entre la Forma Fisiográfica y los Tipos de Suelo

Los tipos del suelo son principalmente determinados por las características topográficas y la roca madre de la zona. En la Fig. S1.3.3 se muestran esquemas de la relación entre la forma fisiográfica y el tipo del suelo.

Los litosoles de las pendientes abruptas de las altiplanicies y lomas y los Acrisoles en las pendientes moderadas son suelo residual (por la meteorización y la formación del suelo en el lugar original), en cambio, los Regosoles en las



pendientes bajas, planicies de inundación, planicies del fondo de valle y los planosoles en la tierra baja y en los humedales son los suelos transportados (tienen como material madre los sedimentos de las partículas transportadas por la corriente).

Sobre el proceso de transporte y acumulación de las partículas del suelo, como se ha mencionado arriba, se puede suponer que haya transporte en dirección de litosol→acrisol→regosol→planosol, y tal traslado de las partículas consta de dos formas: la sedimentación diaria (de aguas arriba a aguas abajo van gradualmente de las gruesas a las finas) y la sedimentación en momentos de inundaciones (las partículas gruesas transportadas hasta río abajo). Esto se comprueba en la composición granulométrica final del suelo de la parte baja del lago Ypacarai (planosol), ya que trae una combinación y desviación típica del material diario y el de momentos de inundaciones.

## CAPITULO IV

### OBJETIVOS FUTUROS

En el Capítulo 1, se han mencionado varias investigaciones para conocer el actual estado de las condiciones naturales de la cuenca. Sin embargo, no se han obtenido conclusiones definitivas debido a la limitación del tiempo y personal así como la dificultad en la accesibilidad, y quedan puntos pendientes a estudiarse en las investigaciones suplementarias del futuro. Además de esto, a través de estas investigaciones han surgido temas que hay que tratar en el futuro, de los cuales, a continuación se hace un resumen y explicación, y se recomienda fuertemente que se realice todo el esfuerzo necesario para su ejecución.

#### (1) Análisis de la Imagen LANDSAT

A través del análisis analógico y digital de la imagen LANDSAT en color falso, se obtienen las informaciones de la superficie y el subsuelo con una precisión uniforme, y se ha aplicado ya en Paraguay logrando buenos resultados.\*1

#### Nota\*1 LAND CONDITION STUDY

For the master plan on the irrigation and drainage project in  
the adjacent area to the YACYRETA DAM 1984  
MINISTRY OF AGRICULTURE AND LIVESTOCK  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

En esta investigación, se ha utilizado la técnica de interpretar las aerofotografías monocromas para analizar la geología, la vegetación y el uso de la tierra, obteniendo buen resultado.

No obstante, debido a lo monocromo, así como la falta de accesibilidad no se pudo cubrir toda el área. Para complementar estos puntos que faltan, las imágenes de LANDSAT son muy eficientes para comprender el contenido de humedad en la superficie y el subsuelo, la diferencia relativa de la vitalidad de la vegetación y las grandes estructuras geotectónicas, los cuales son muy difíciles de comprender con las investigaciones convencionales. Como se ha obtenido ya considerable realidad topográfica a través de las investigaciones realizadas, hablando audazmente, se podría confeccionar la carta del suelo, mapa del contenido relativo de agua, mapa de la vegetación,

mapa de la actividad de la vegetación y mapa del uso de la tierra, con mayor precisión, sin ejecutar otras investigaciones de campo sino sólo con trabajos de gabinete.

Estos mapas y cartas proporcionarán informaciones vitales para estudiar la distribución de la vegetación, control de erosión y localización apropiada del uso de suelos al formular el plan de conservación regional en forma integral.

## (2) Corrección y trazado de los mapas topográficos

Los mapas topográficos de 1/50,000 utilizados en esta investigación fueron cartografiados alrededor del año 1970 basándose en las aerofotografías tomadas principalmente entre 1965 y 1978. A partir de entonces hasta ahora, el cambio ocurrido en la cuenca, sobre todo forma del uso de la tierra y la urbanización, ha sido considerable, y naturalmente no está reflejado en los mapas actuales. Especialmente, las carreteras, la microtopografía, el uso de la tierra y la vegetación son insuficientes.

Al realizar este estudio, se han añadido las carreteras y otras informaciones dentro de lo posible, sin embargo no está completo todavía.

De ahora en adelante, para preservar la calidad de agua de la cuenca, es una premisa fundamental establecer planes de uso de la tierra y planes de preservación, los cuales requieren de mapas topográficos que reflejen correctamente el estado actual.

Si bien es posible corregir y trazar los planos mediante las aerofotos monocromas de 1/40,000 tomadas en este proyecto (febrero, 1988), si se usan fotografías en color tomadas más recientemente se podrían obtener informaciones más detalladas.

Sobre todo, esta región que tiene altibajos moderados, en el momento de realizar nuevos planes requiere el conocimiento de configuraciones topográficas más precisas, por lo que se requiere trazar más curvas de nivel.

El completar los mapas topográficos es la clave del plan nacional de uso de la tierra, y si se realiza la corrección y trazado del área

metropolitana de Asunción conjuntamente, el efecto sería sumamente apreciable.

### (3) Investigación del suelo

En esta investigación, se ejecutaron la clasificación y la investigación de las propiedades físicas del suelo desde el punto de vista del "suelo como la fuente de la contaminación del lago", y no desde el punto de vista de la agricultura ni la silvicultura.

De ahora en adelante, como parte de la política de preservar la calidad de agua, es preciso establecer un programa básico y apropiado del uso de la tierra. El control de erosión del suelo, la prevención del ingreso de sedimentos al lago, la distribución adecuada del bosque y la tierra de cultivo, y la recuperación y mantenimiento de la vitalidad de la tierra serán los objetivos principales, por lo que quedan por solucionar los problemas de la restauración de las funciones del bosque y la selección adecuada de los cultivos agrícolas. Como base, es necesario comprender a fondo las características productivas de la tierra.

Para esto, es menester, además de las investigaciones realizadas en esta oportunidad, hacer investigaciones de clasificación del suelo considerando las fases de explotación forestal y agrícola, incluyendo el aspecto químico. Y si se combina con el análisis de la imagen LANDSAT, sería más efectivo todavía.

En las investigaciones de este proyecto, debido a la falta de personal, además de que no se pudo llevar muestras de suelo al Japón, no se puede decir que se haya obtenido un resultado suficiente. Para los próximos, estudios, es deseable investigar sistemáticamente estos temas con el personal de la Facultad de Agronomía principalmente, una vez que se haya instalado un laboratorio de estudio del suelo en Paraguay.

### (4) Investigación de las aguas freáticas

El tema más inmediato e importante del lago Ypacarai y su cuenca es asegurar el agua potable, y uno de los principales objetivos del plan de mantenimiento de la calidad de agua es utilizar el agua del lago como fuente de agua potable conservando la calidad de la misma. Teniendo

en cuenta tanto el volumen como la calidad del agua superficial, la medida más importante sería la explotación de las aguas freáticas.

En esta investigación geográfica, se ha limitado sólo a comprender la geografía general que compone el suelo de la cuenca en cuestión mediante las investigaciones superficiales y la interpretación de las aerofotos, de modo que quedan por solucionar todavía temas importantes tales como el mecanismo de formación del lago, la tendencia de transición futura y la evaluación del potencial del agua subterránea.

Especialmente, en la planicie central aguas arriba y la zona pantanosa aguas abajo del lago, debido a que se encuentran cubiertos por los depósitos aluviales y las plantas acuáticas, fue difícil obtener informaciones mediante la investigación superficial.

Aquí se recomienda fuertemente realizar las siguientes investigaciones básicas sobre las aguas freáticas.

- Investigación de los pozos no profundos existentes (nivel de agua estacional, análisis de la calidad de agua, conductividad eléctrica, etc.)
- Sondeo eléctrico (método de resistividad) en cuadrículas de 1km.
- Perforaciones de prueba (150-300m/perforación, aproximadamente 3,000m en total)
- Prueba de bombeo

Respecto a la profundidad y la localización de perforación, se podría determinar mediante el sondeo eléctrico, aprovechando como referencias las imágenes de LANDSAT, los pozos de SENASA y el resultado de la investigación geográfica superficial.

Además, esta investigación de perforación será muy eficiente para comprender otras materias científicamente importantes tales como la estratigrafía, la geoestructura, los recursos del subsuelo (materias primas para la cerámica y construcción), los cuales contribuirían mucho al estudio geológico de Paraguay.

(5) Investigación de los sedimentos del fondo del lago

Hay muchos aspectos que no se conocen sobre las condiciones naturales del lago Ypacarai, por ejemplo, el mecanismo de formación del lago, transcurso después de formación, velocidad de sedimentación, características física, química y biológica de los sedimentos, características mineralógicas de arcilla, propiedad y comportamiento como fuente de contaminación, balance de sedimentos, etc.

En particular, el saber la velocidad de sedimentación es de suma importancia para determinar la vida del lago y el límite de aprovechamiento como fuente de agua potable, por lo que este elemento tiene mucho que ver con las medidas de mantenimiento de la calidad de agua.

Deben realizarse la perforación sobre agua y el muestreo del fondo en forma de columna para medir la edad del sedimento mediante el método de C<sup>14</sup>. Esta perforación se puede llevar a cabo como una de las investigaciones de aguas subterráneas.

(6) Investigación de la cantidad de erosión del suelo

La erosión del suelo superficial en el lago Ypacarai y su cuenca se desarrolla diariamente en distintas formas, destacándose en la orilla izquierda del Pirayú, la orilla oeste del lago y toda la cuenca del Yuquyry.

Las causas de dicho fenómeno son la tala del bosque, el cultivo y la construcción de viviendas en los terrenos inclinados. El problema es que la descarga del suelo afecta seriamente no sólo a la productividad agrícola sino también a la duración de la vida del lago. Desde el punto de vista macroscópico, esto forma parte de la desertificación que está avanzando mundialmente, y se dice que en América Latina (Chile, Bolivia y el norte de Paraguay) existe el peligro de desertificación en el futuro próximo.

En esta cuenca, es por supuesto, importante comprender la cantidad de erosión y la carga que entra y sale del lago anualmente, para los fines de mantener la calidad de agua y prevenir la erosión de la tierra.

En esta cuenca, es deseable saber la cantidad de erosión anual basándose en las circunstancias del suelo, la geología y los tipos de erosión para aplicar el método apropiado de prevenir la erosión. Sin embargo, existen problemas físicos, ya que se necesita de cierta envergadura de instalaciones, el plazo y organización para la observación, además de que es técnicamente difícil obtener datos confiables.

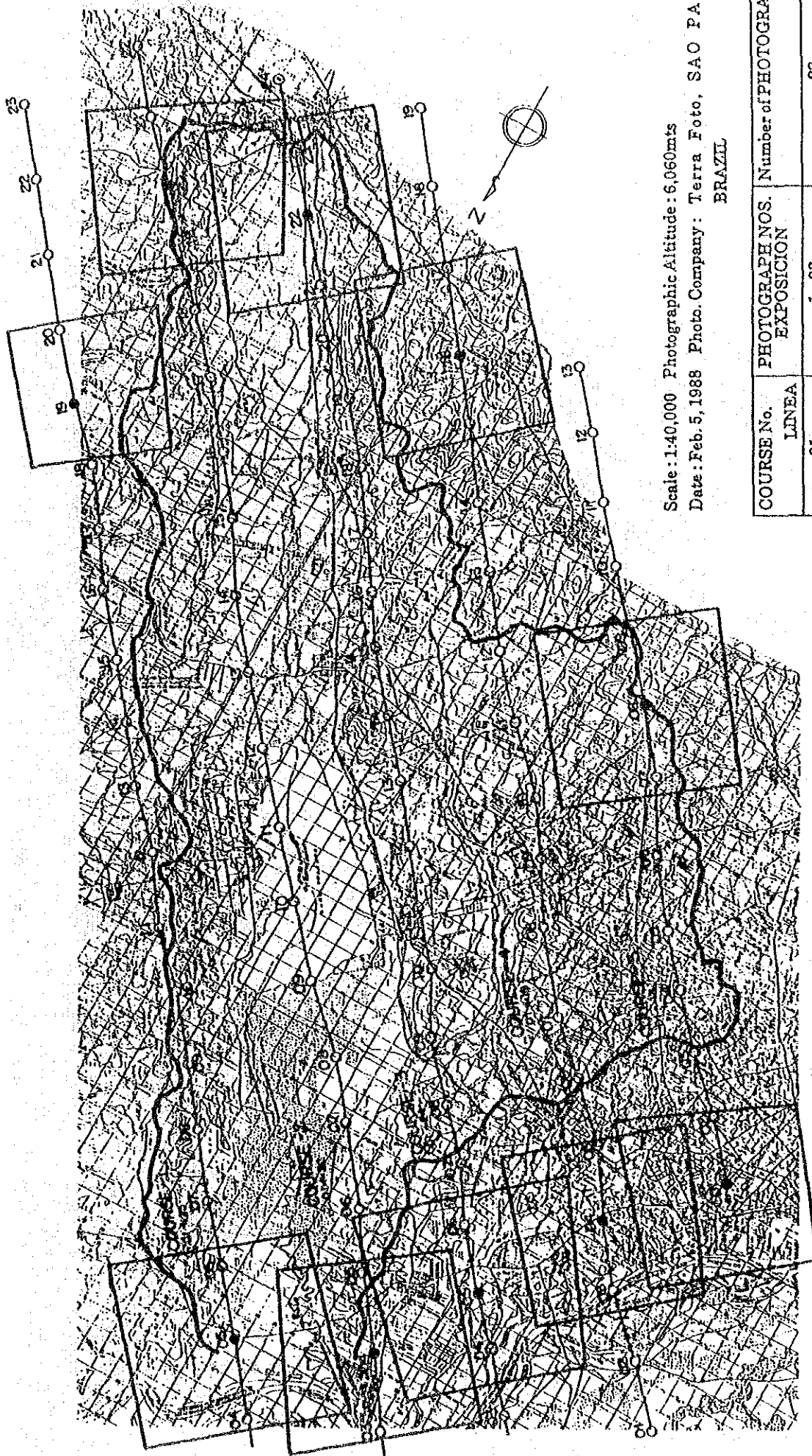
Por consiguiente, aquí se limita a proponer que se sigan haciendo campañas a fin de que los pobladores comprendan la gravedad del problema de erosión de la tierra y tomen medidas adecuadas para cada localidad, como parte de la educación para proteger el ambiente como se propone en el informe final de este proyecto.





**FIGURAS**





Scale: 1:40,000 Photographic Altitude: 6,060mts  
 Date: Feb. 5, 1988 Photo. Company: Terra Foto, SAO PAULO,  
 BRAZIL

COURSE No.	PHOTOGRAPH NOS. EXPOSICION	Number of PHOTOGRAPHS
01	1~23	23
02	1~22	22
03	1~24	24
04	1~19	19
05	1~13	13
		Total 101

Fig. S1.1.1 Index Map of Airphotographs

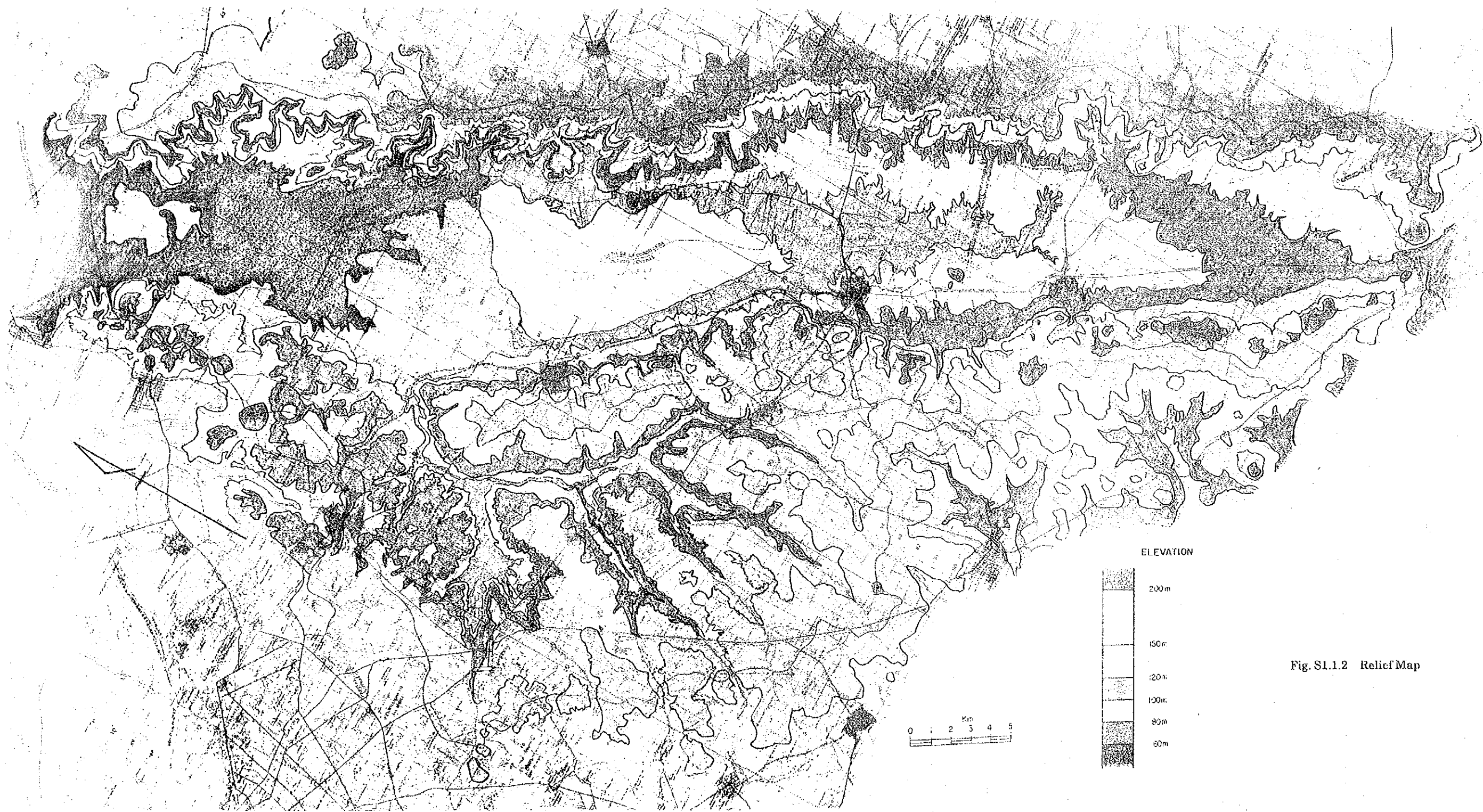
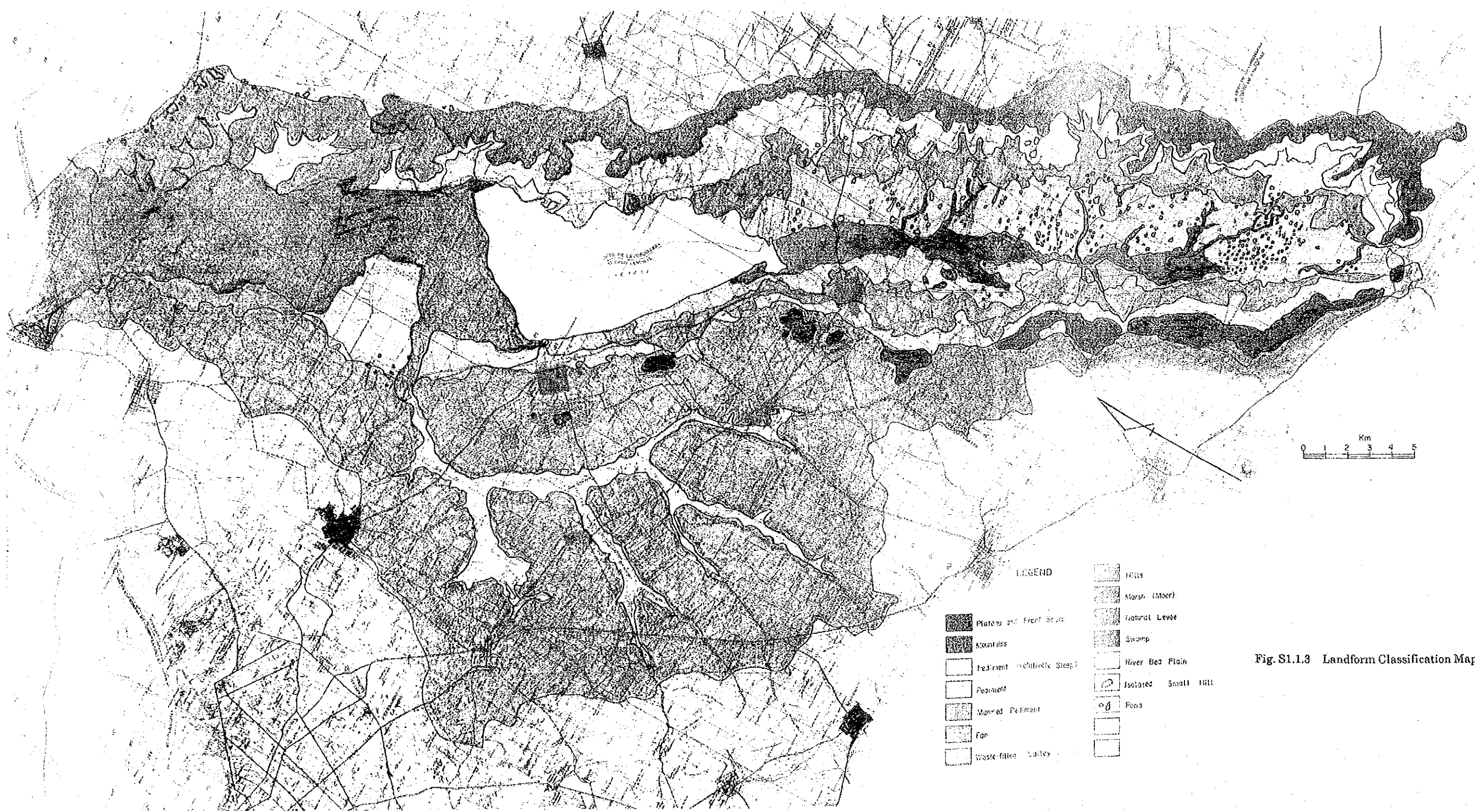


Fig. S1.1.2 Relief Map



- LEGEND
- |                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| Plateau and Front Slope    | Hills               |
| Mountains                  | Marsh (Moer)        |
| Reliant (relatively steep) | Natural Levee       |
| Plateau                    | Swamp               |
| Man-made Plateau           | River Bed Plain     |
| Fan                        | Isolated Small Hill |
| Waste-filled Valley        | Ponds               |

Fig. S1.1.3 Landform Classification Map

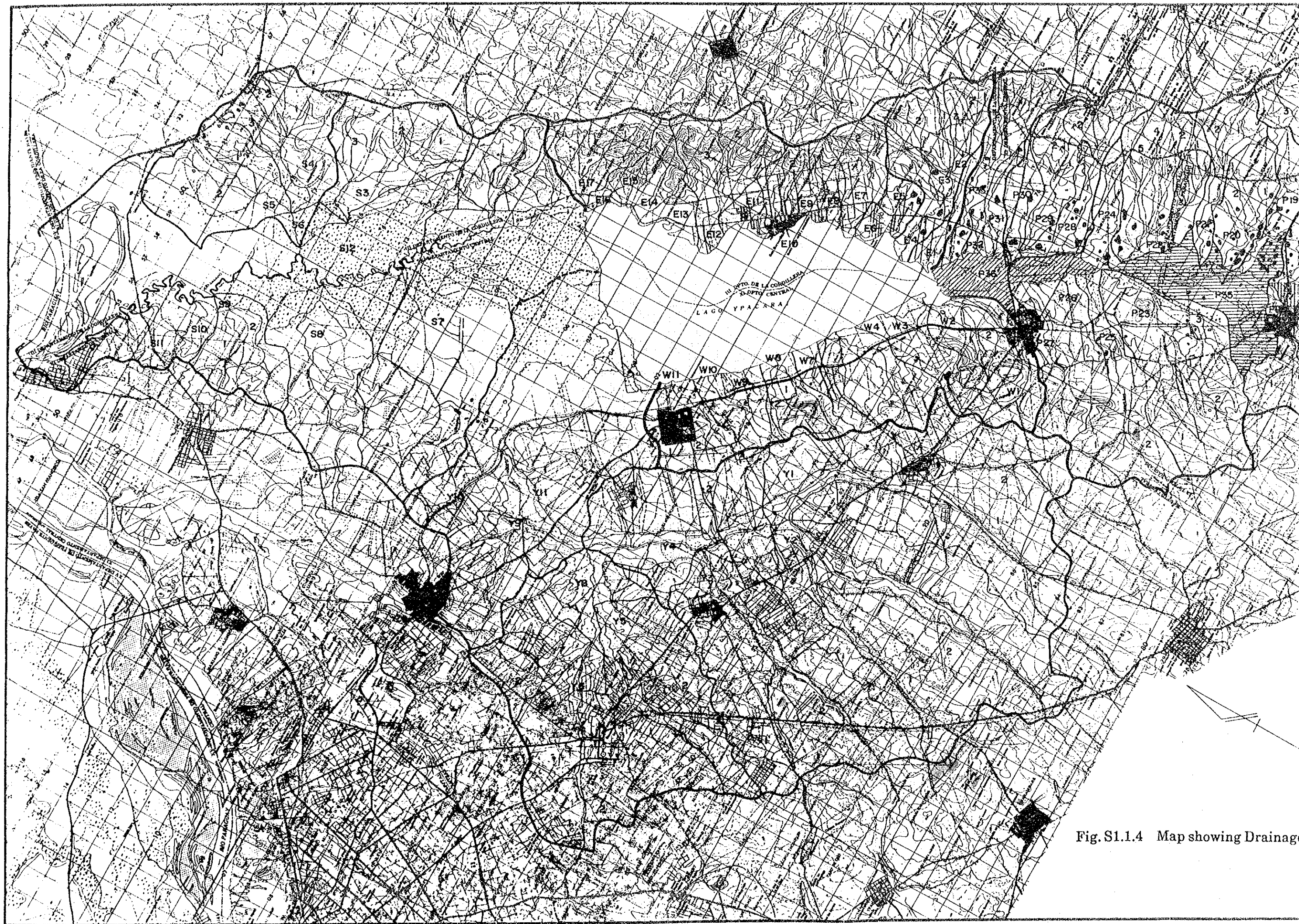
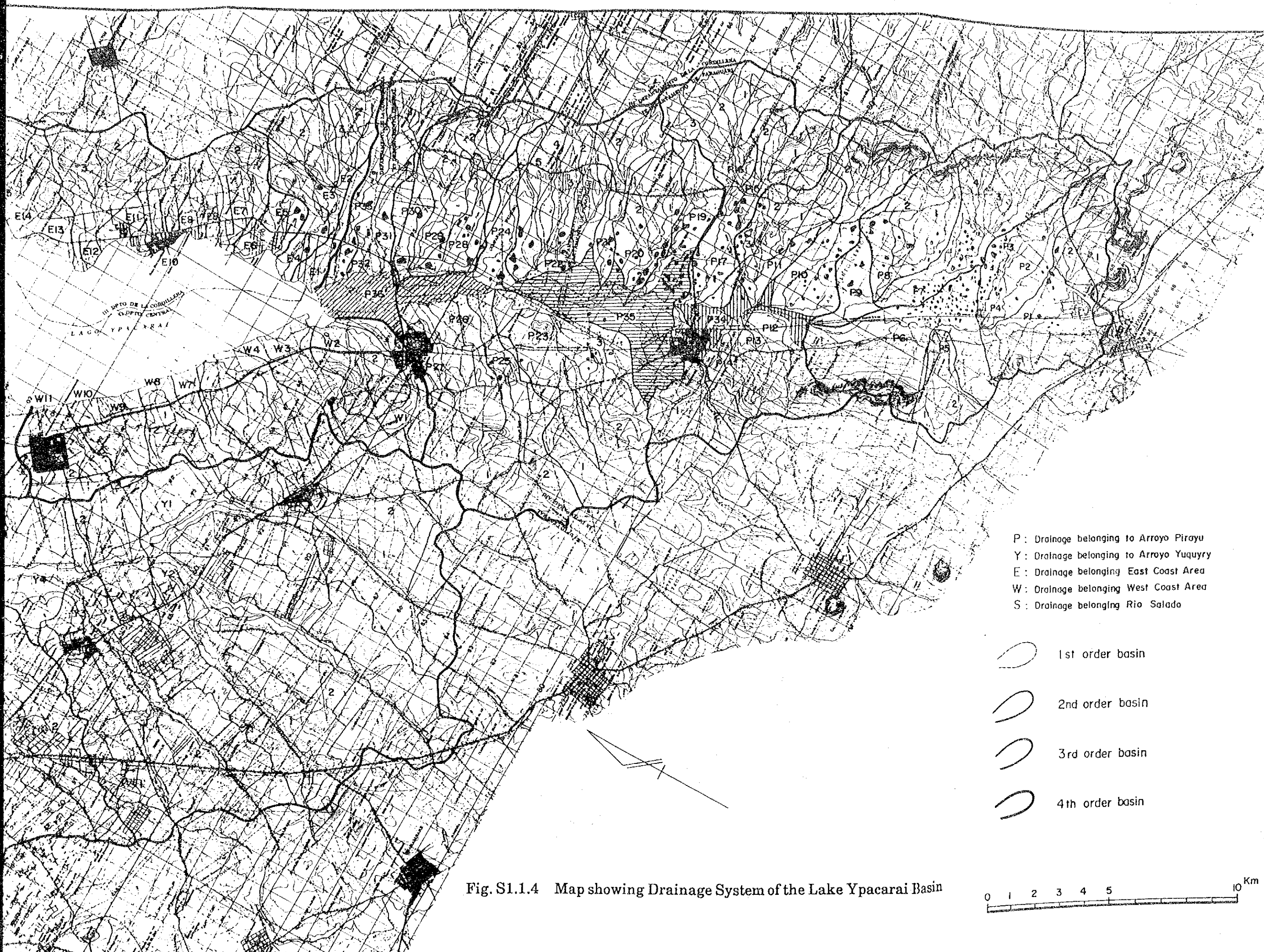


Fig.S1.1.4 Map showing Drainage



P : Drainage belonging to Arroyo Pirayu  
 Y : Drainage belonging to Arroyo Yuquyry  
 E : Drainage belonging East Coast Area  
 W : Drainage belonging West Coast Area  
 S : Drainage belonging Rio Salado

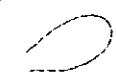



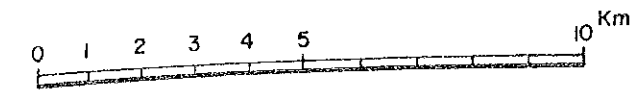
-  1st order basin
-  2nd order basin
-  3rd order basin
-  4th order basin

Fig. S1.1.4 Map showing Drainage System of the Lake Ypacarai Basin







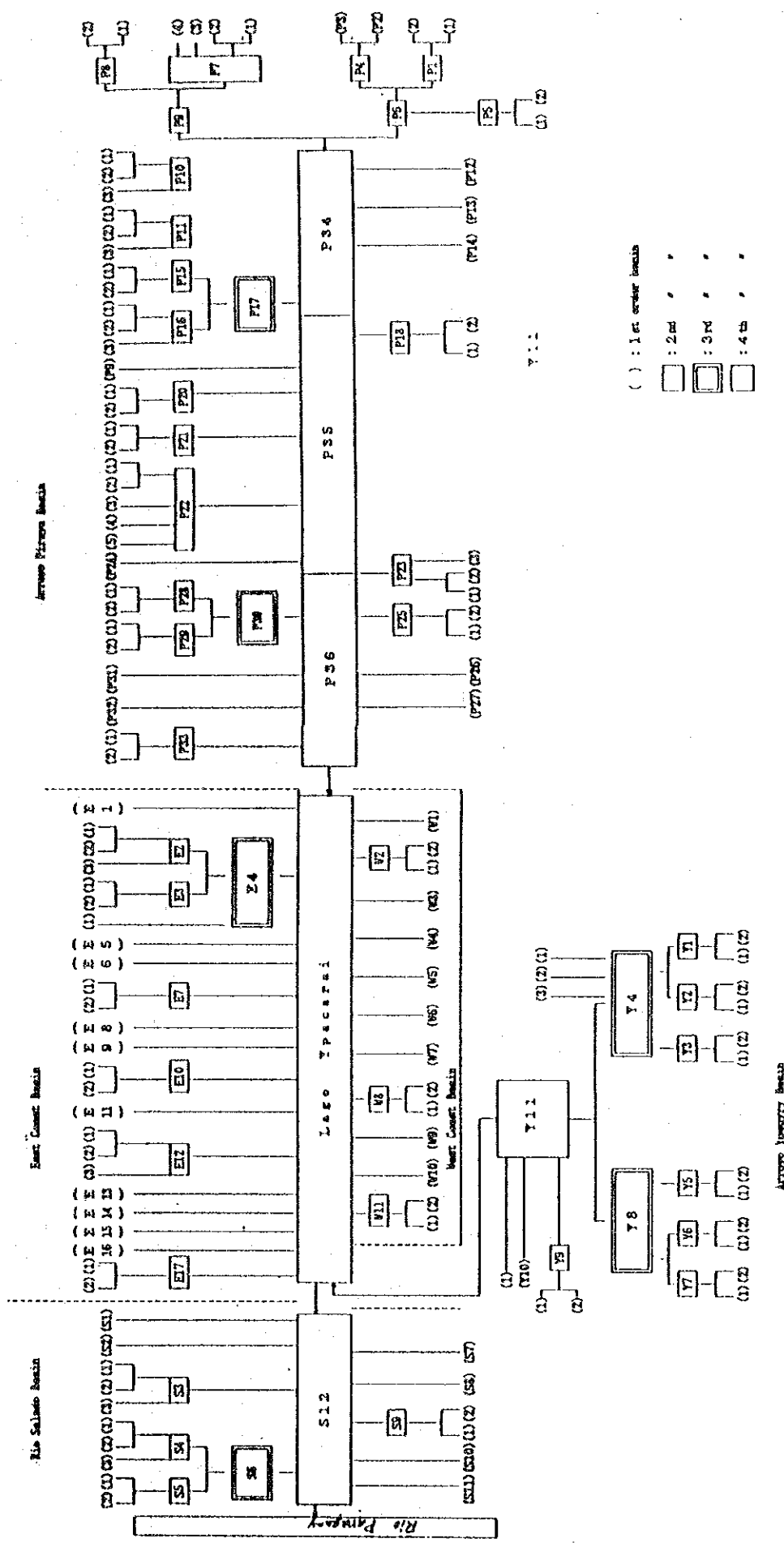


Fig. S1.1.5 Schematic Figure showing Drainage System of the Lake Ypacarai Basin



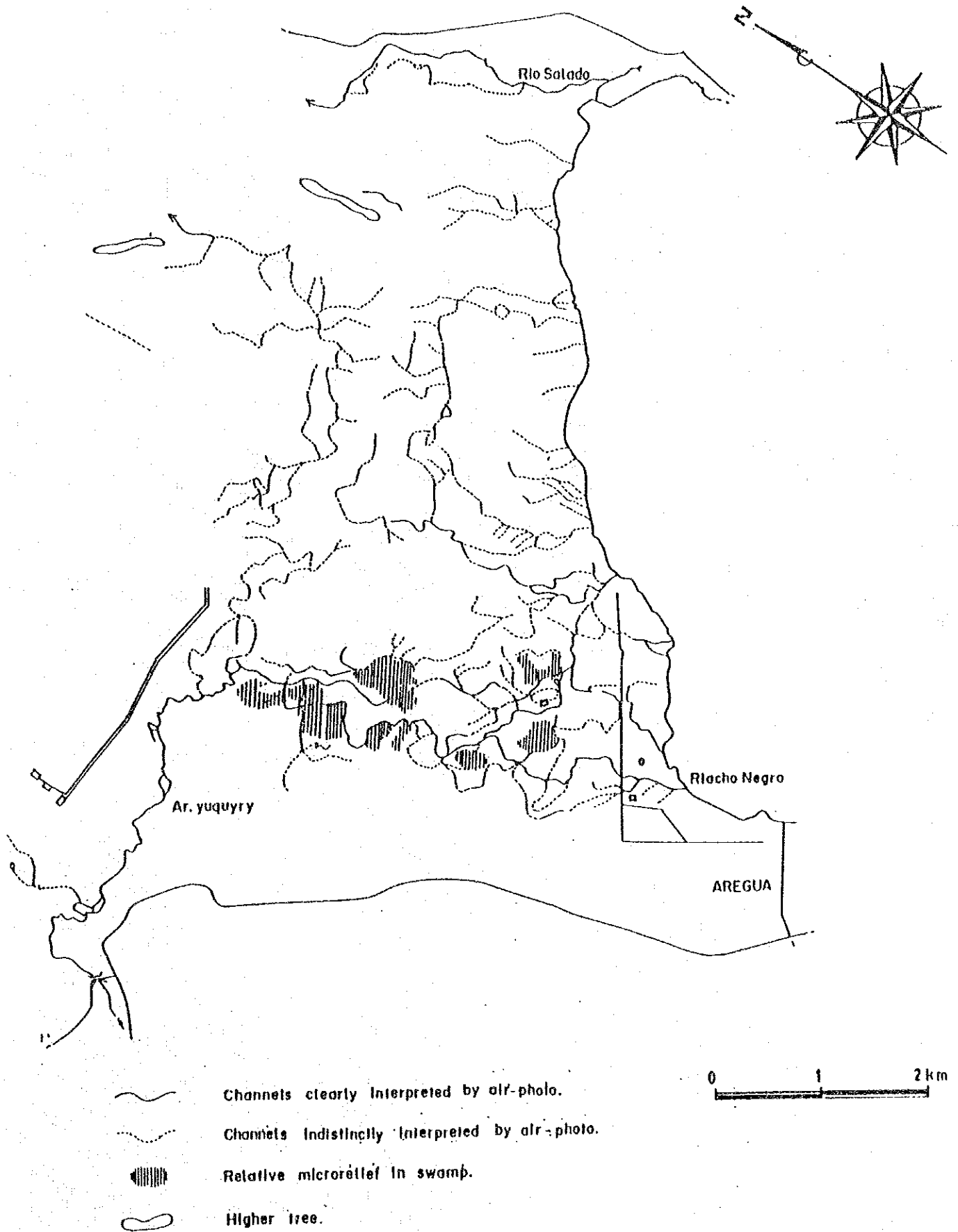


Fig. S1.1.6 Airphoto-interpretation Map of Lower Stream Area of the Yuquyry River



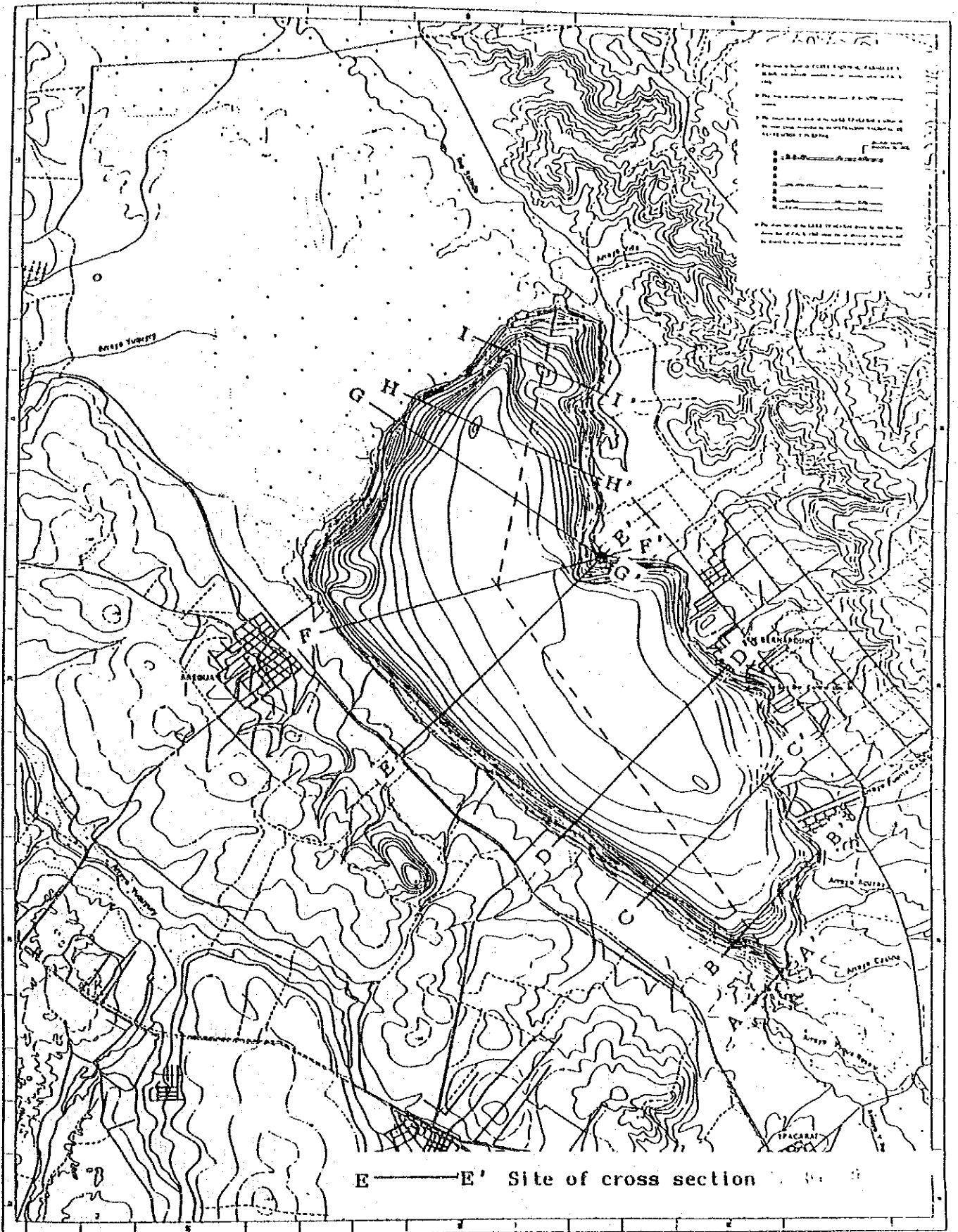


Fig. S1.1.7 Bathymetric Chart of Lake Ypacarai



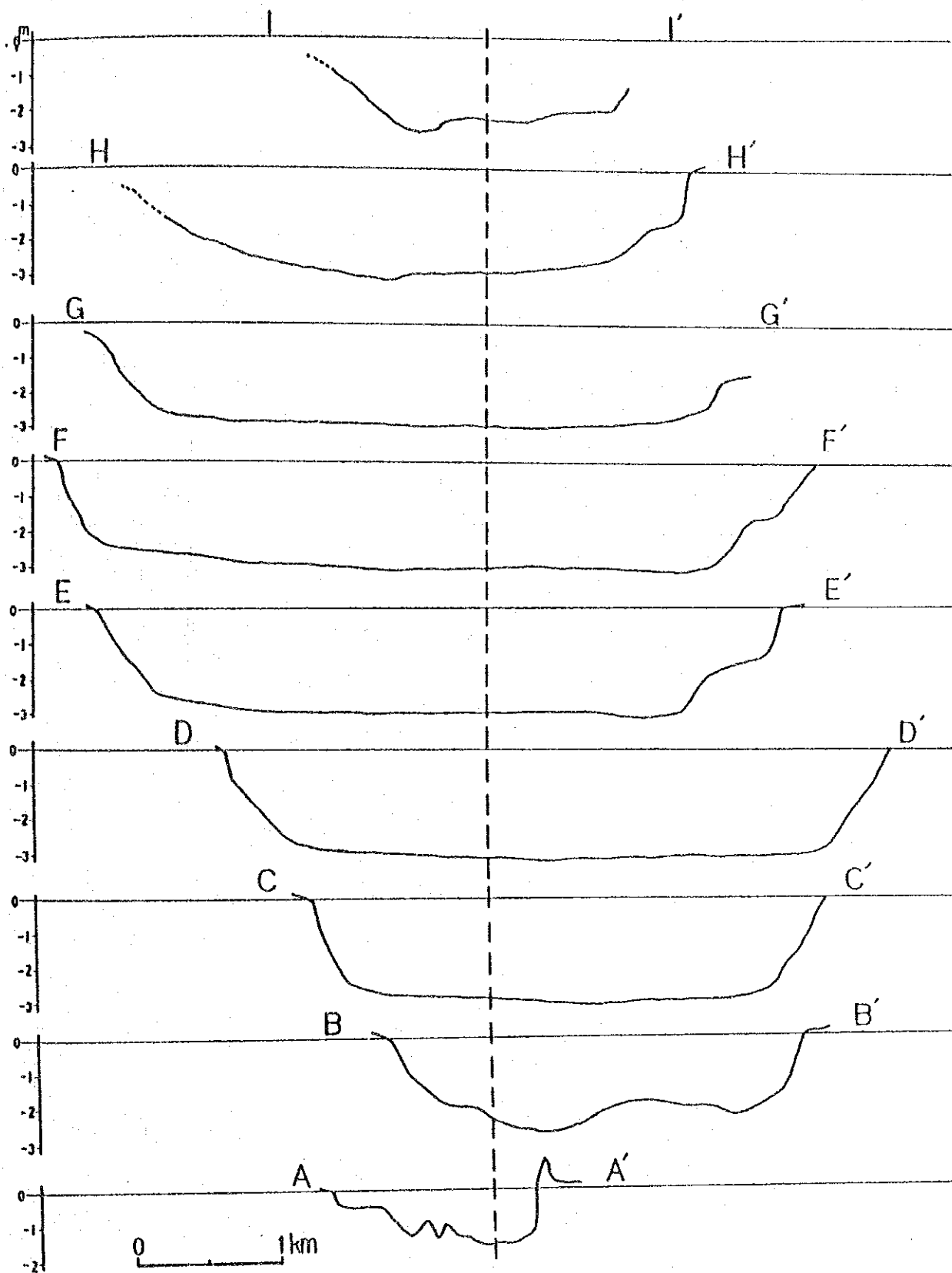


Fig. S1.1.8 Cross Section of Lake Ypacarai





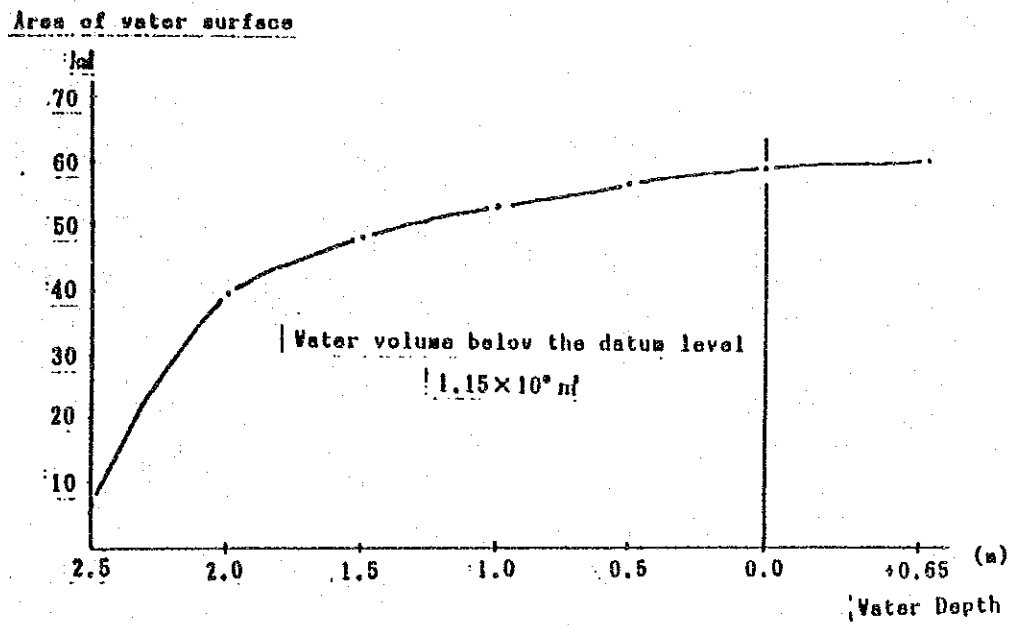


Fig. S1.1.9 Relation between Water-depth and Area of Lake Ypacarai



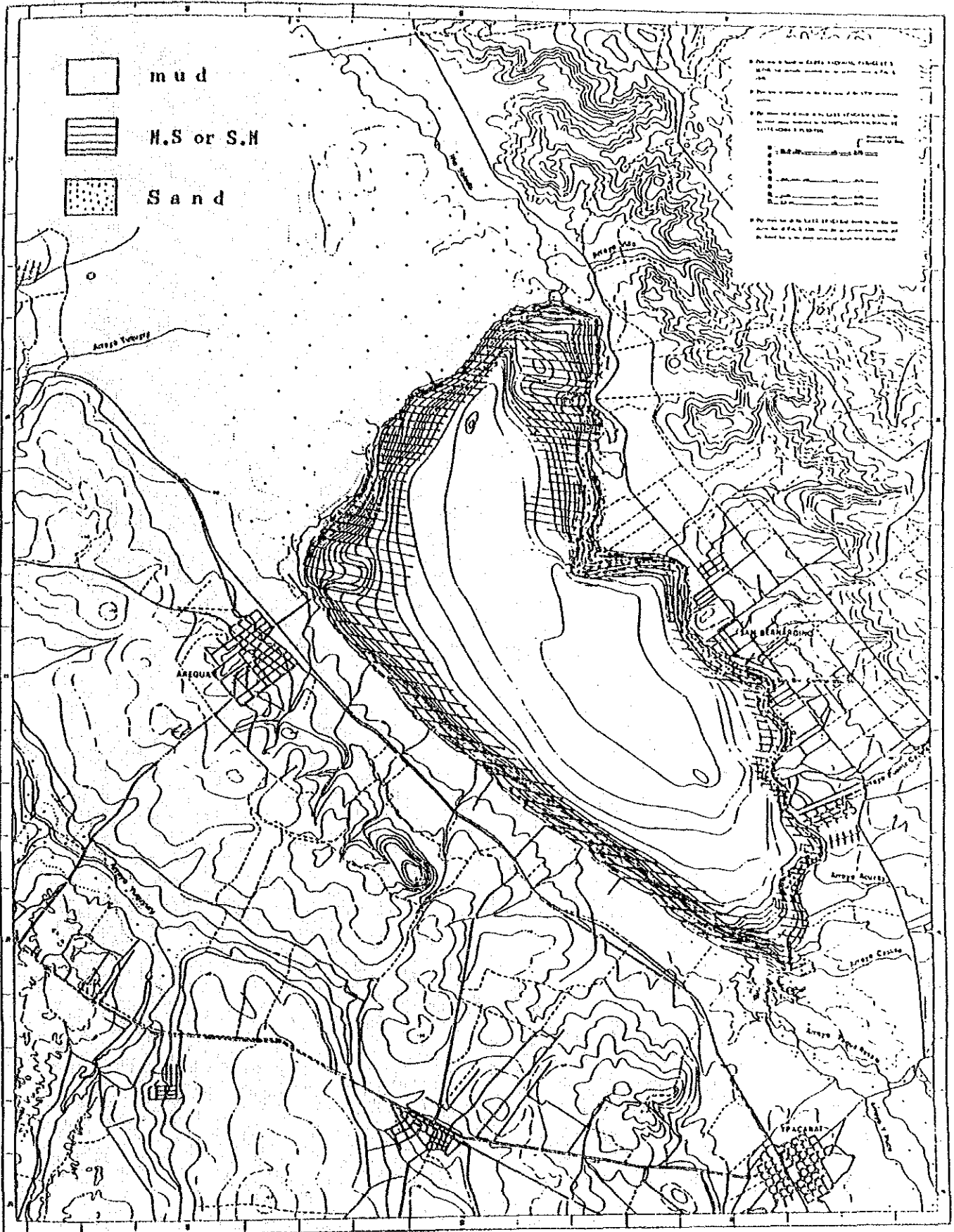


Fig. S1.1.10 Bottom Materials of Lake Ypacarai



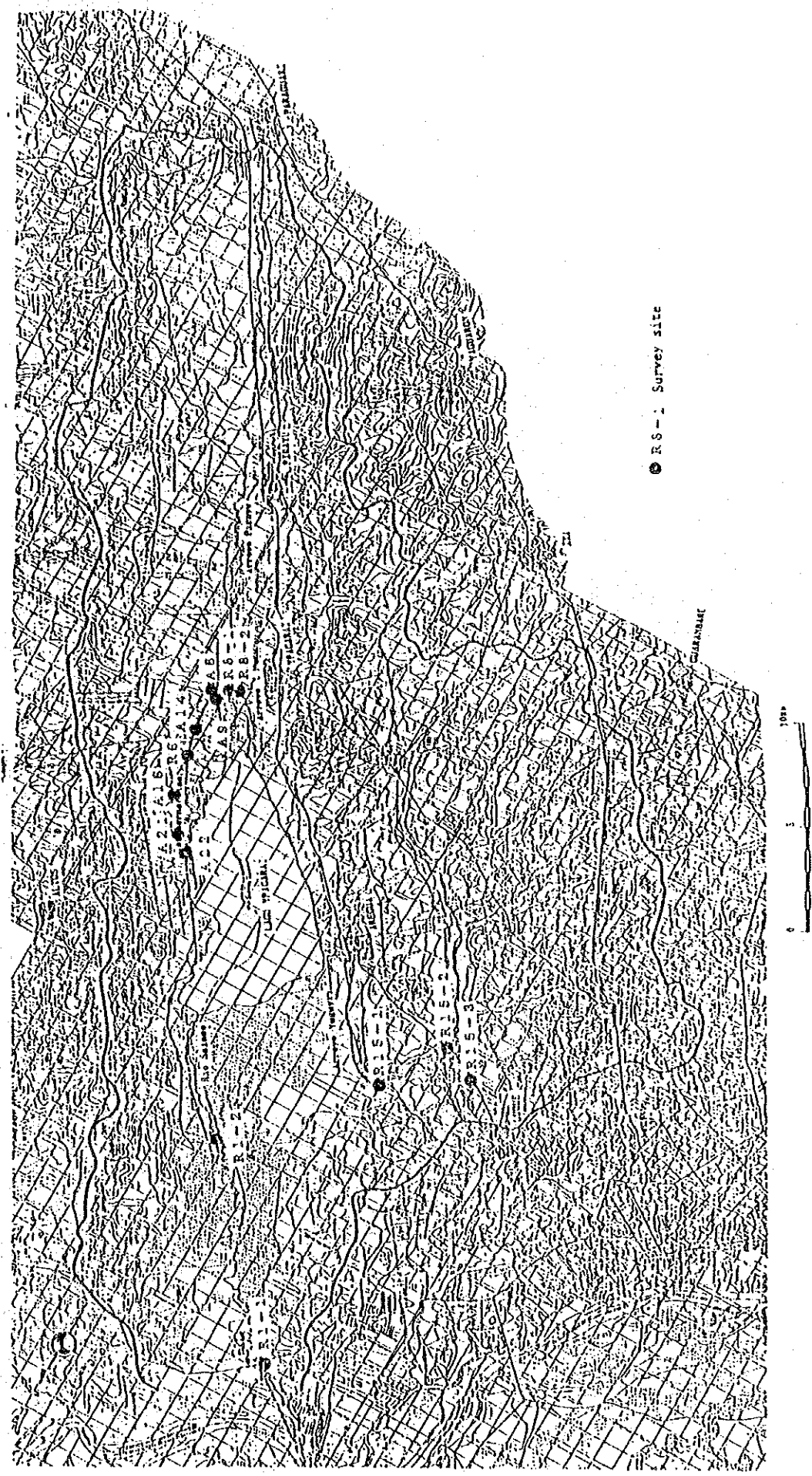


Fig. S1.1.1.11 Sites of River Traverse Survey

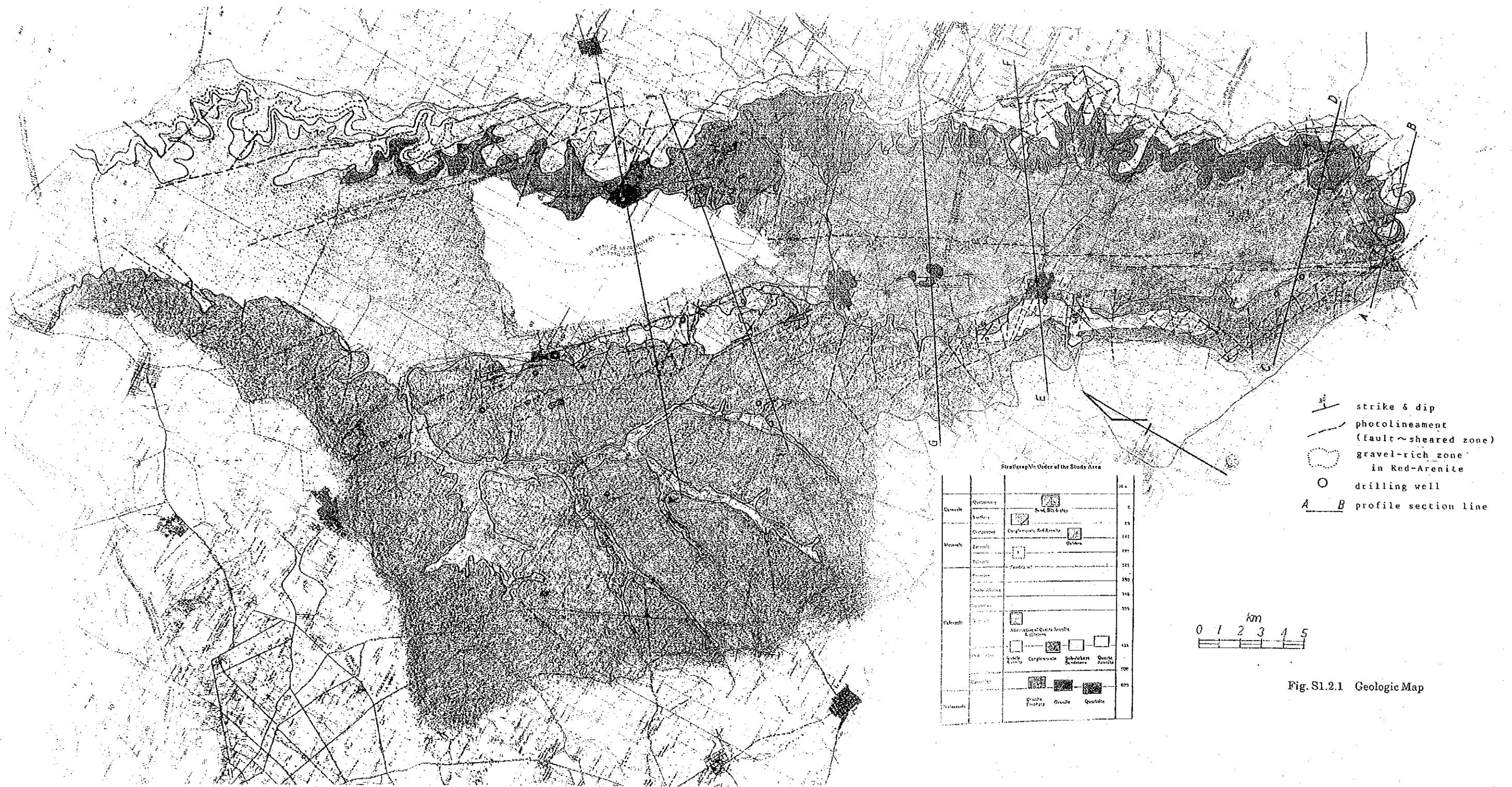


Fig. S1.2.1 Geologic Map



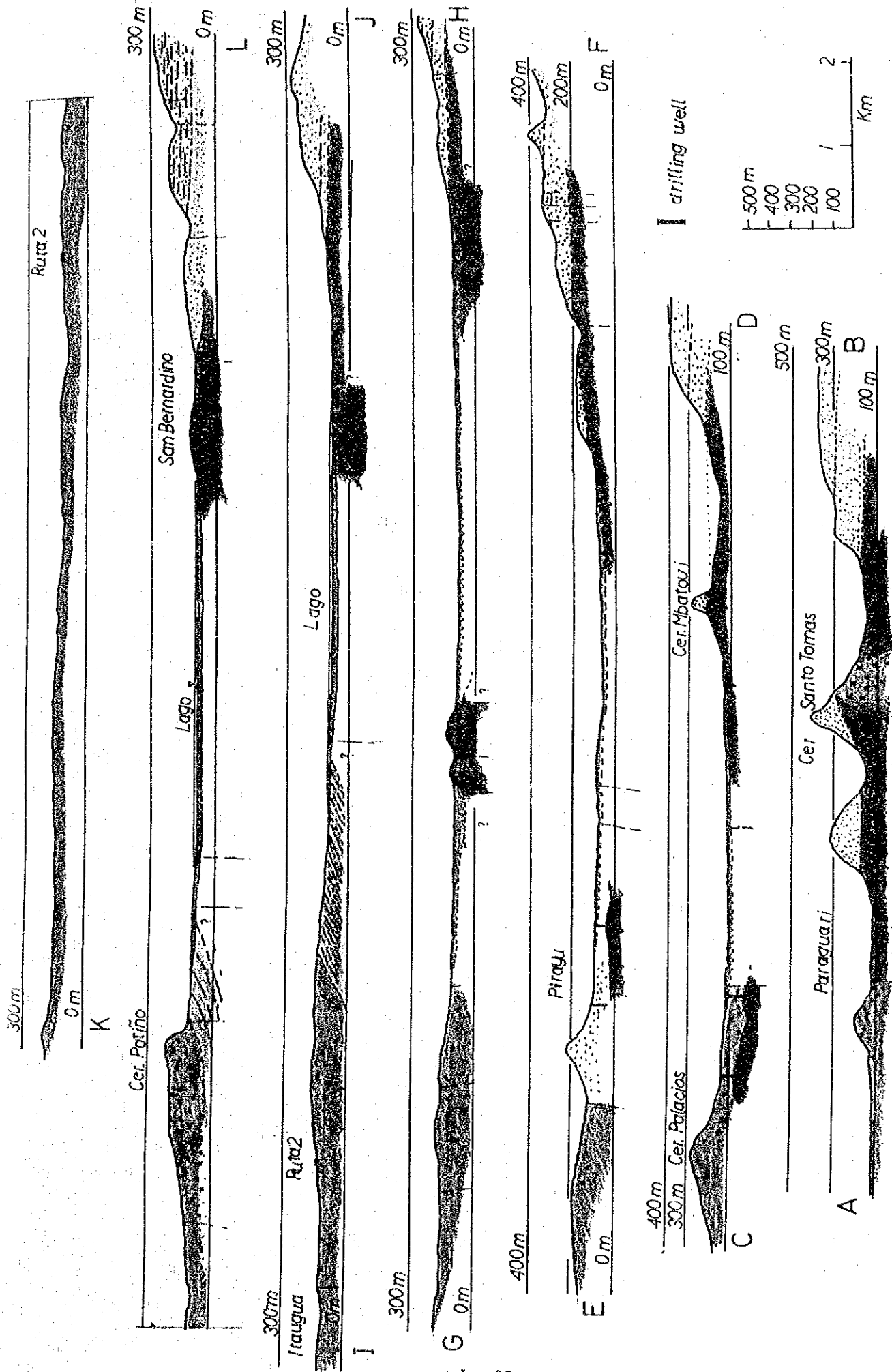


Fig. S1.2.2 Geologic Profiles





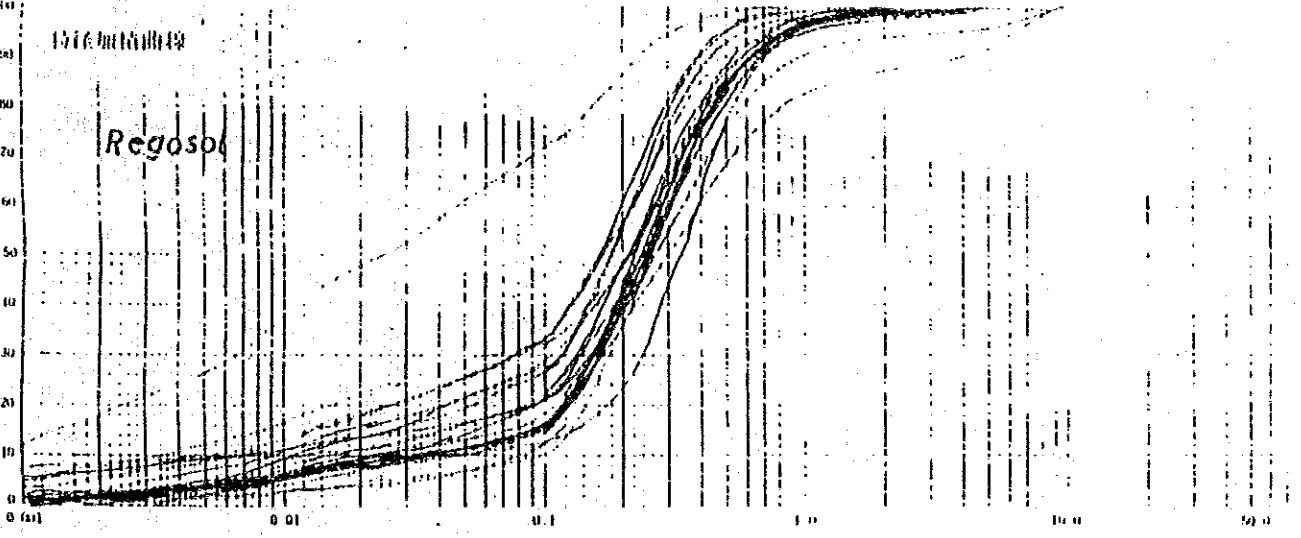
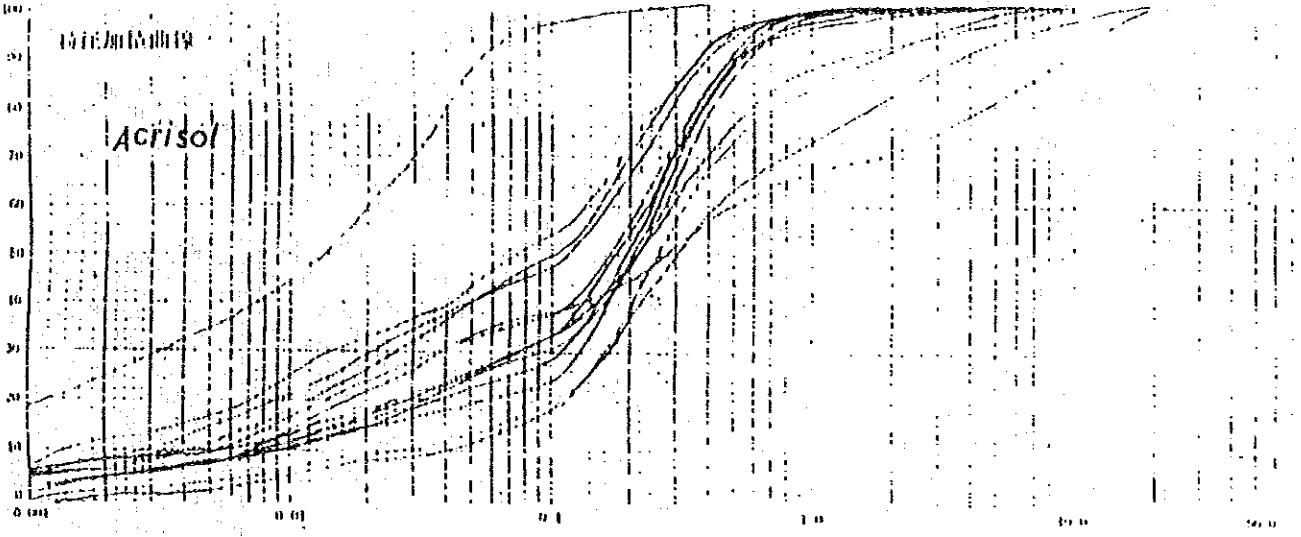
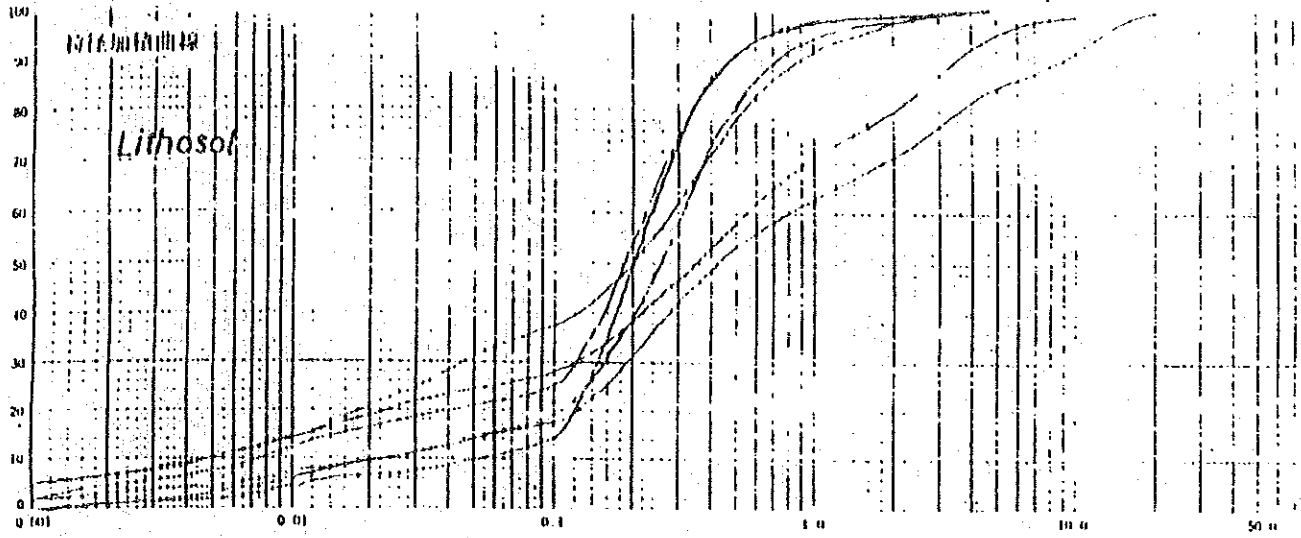
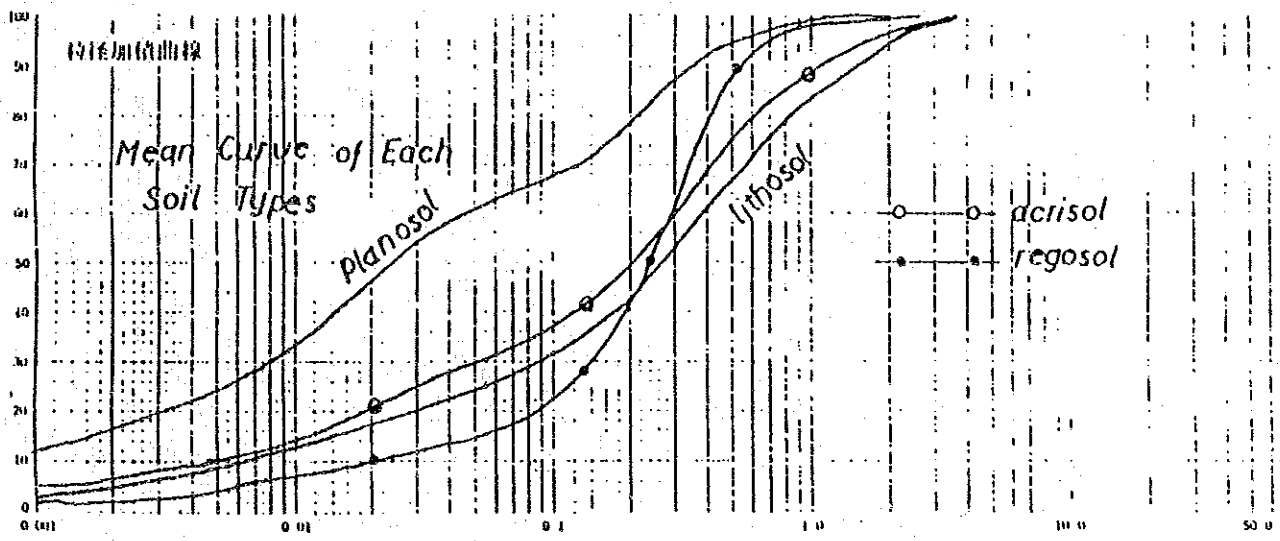
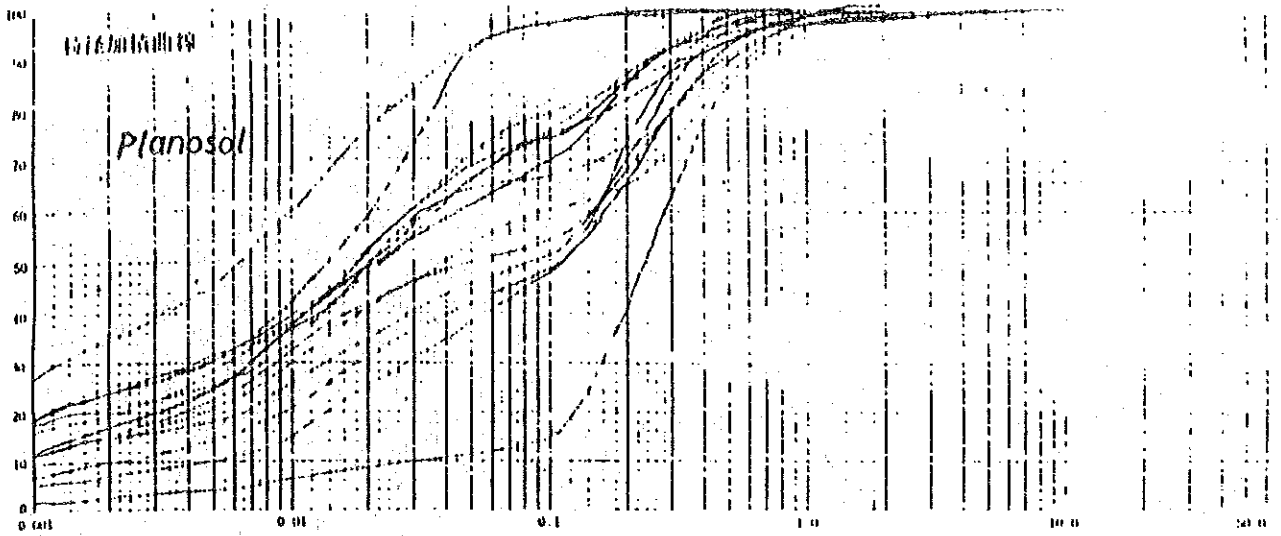


Fig. S1.3.1 Grain Size Accumulation Curve (1 )





S1.  
Fig. 3.1 Grain Size Accumulation Curve ( 2)



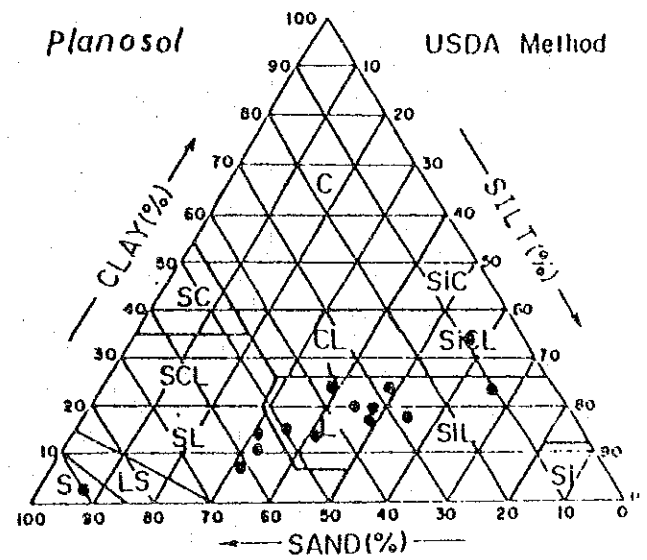
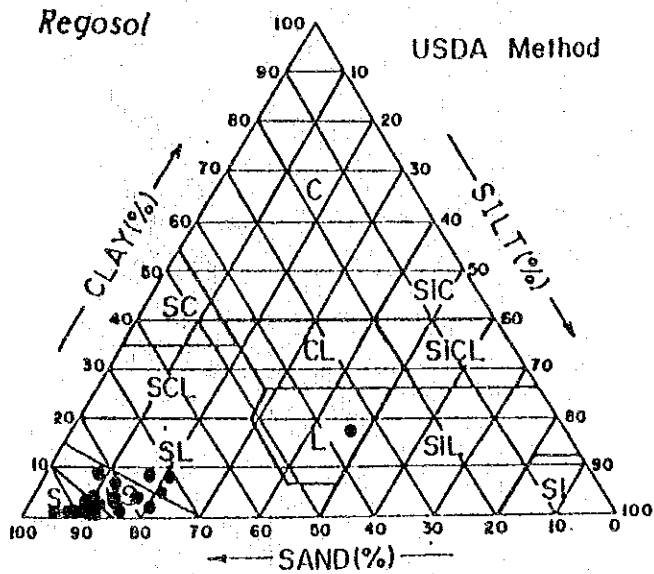
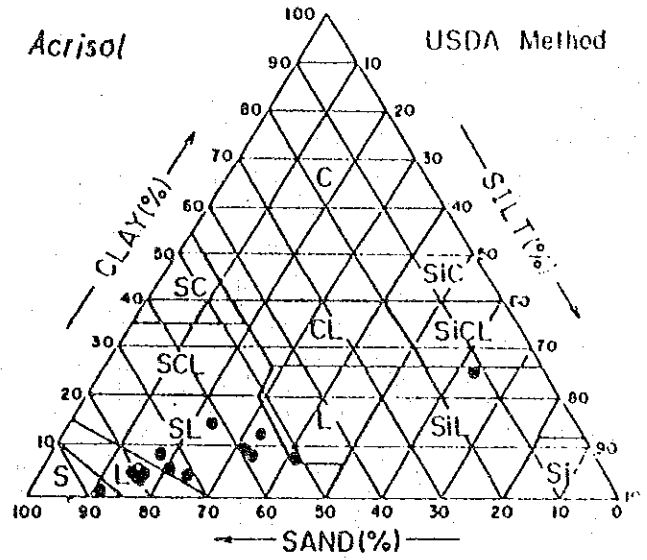
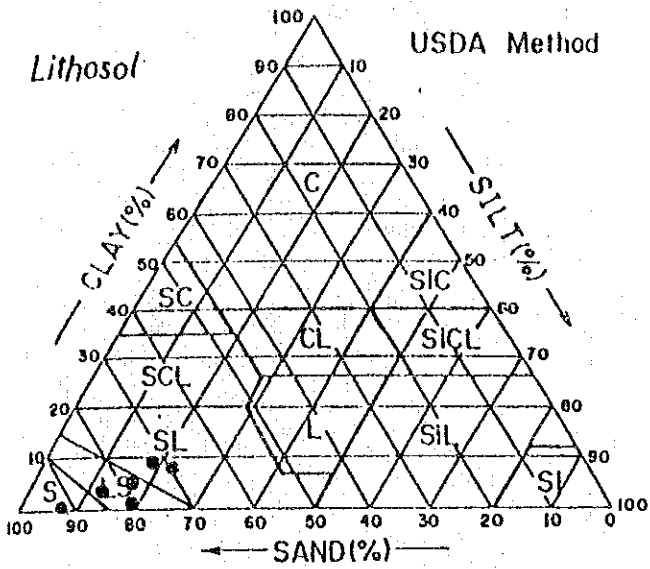


Fig. S1.3.2 Triangulation Diagram showing Texture of Soil Type



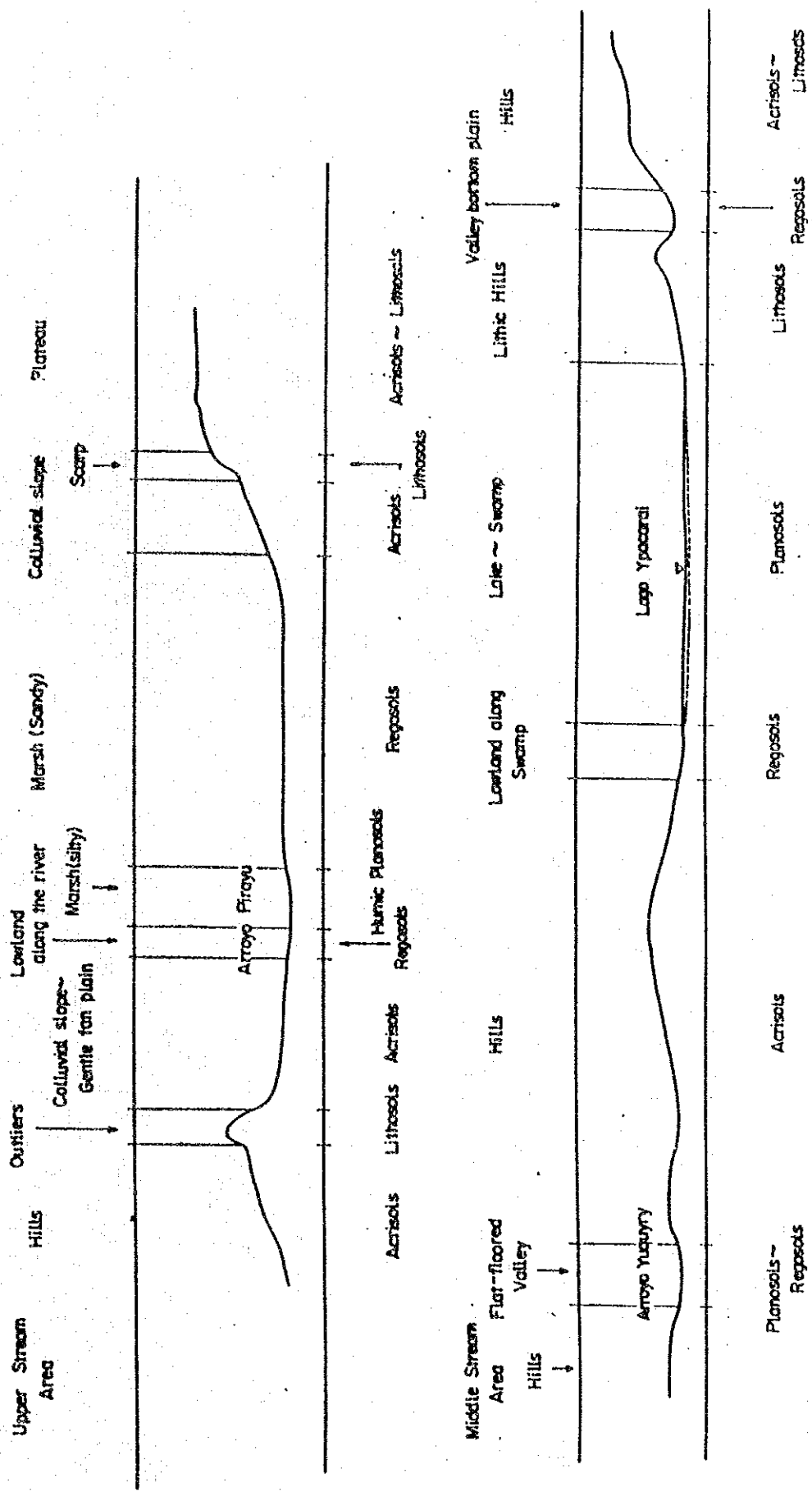


Fig. S1.3.3 Relationship between Topography and Soil Type



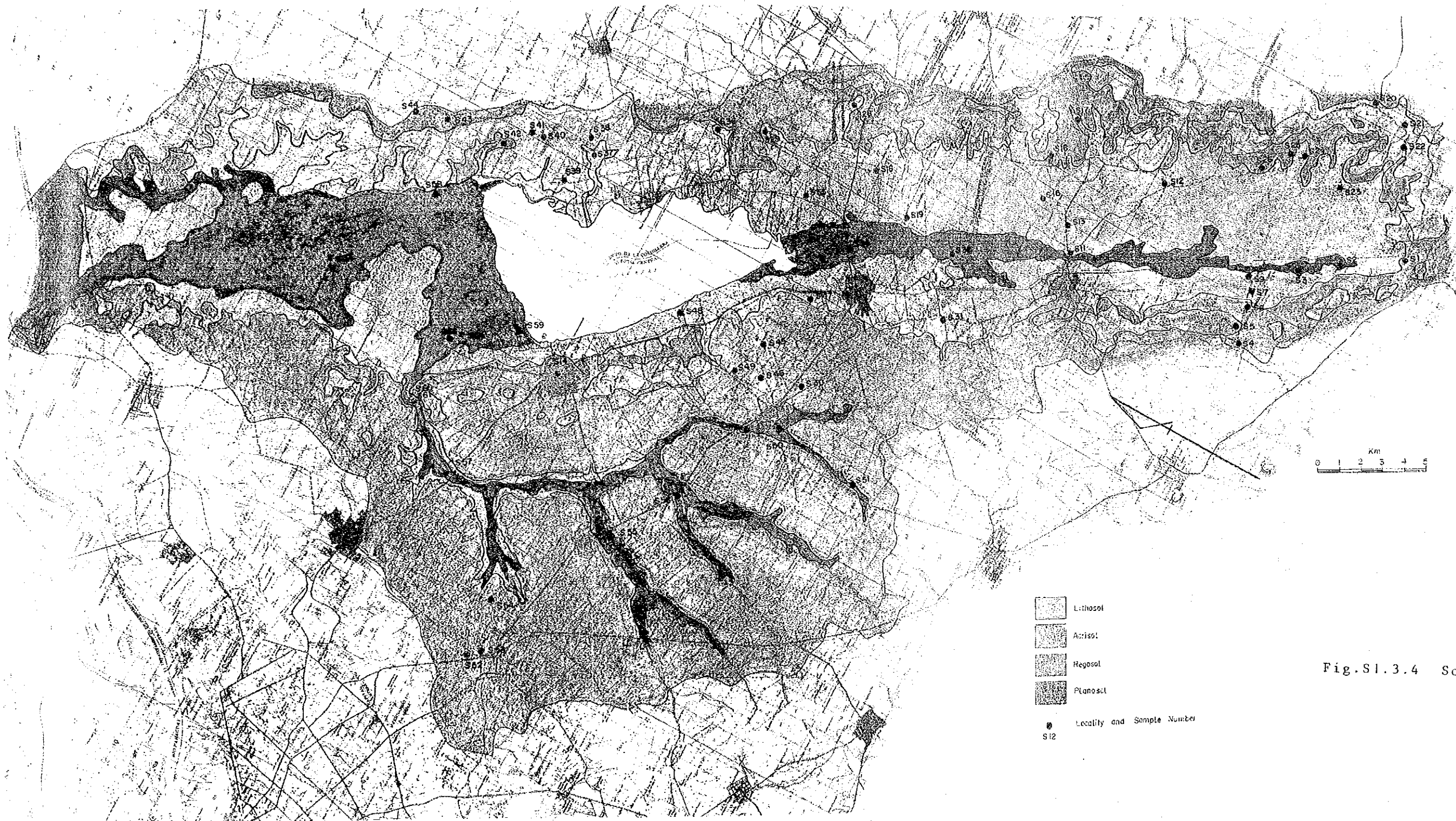


Fig.S1.3.4 Soil Map

