

Leyenda

- A-B-C Linea de las Secc. Transversales Hidrogeológicas
- 100 m Curvas de Nivel del Manto Freático
- JI-5 Perfor. Explorat. (JICA)
- S-33 Prospección Eléctrica (Schlumberger's)
- 50 Prospección Electrical (Wenner's)
- - - - - Falla
- Dirección del Flujo de Agua Subterránea

0 1 2 3 4 5 Km

Fig. 4.1.3
Mapa Geohidrológico

4.1.2 Geología General

(1) El Occidente de Nicaragua

Las relaciones y distribuciones de la edad geológica de las principales rocas de Nicaragua y las partes adyacentes de Honduras y Costa Rica están resumidas en el Cuadro 4.1.1.

1) Rocas Sedimentarias

El área costera del Pacífico de Nicaragua yace sobre sedimentos cuyas edades varían entre Cretácico Superior al Reciente.

La Formación Rivas tiene las rocas expuestas más antiguas y está expuesta en el centro del anticlinal de Rivas en el extremo sureste de la Llanura Costera del Pacífico y consiste de arenisca arcósica, lutita tobácea, arenisca, marga y grauvaca. Se estima que su grosor total es mayor de 2.370 metros.

La formación Rivas yace de forma parcial y discordante sobre la Formación Brito del Paleoceno al Eoceno en la parte suroeste y noreste. Esta formación está compuesta de arenisca, margas nodulares, lutitas verdes, toba negra y lutita tobácea café; también contiene arena calcárea con grauvaca inter-estratificada con caliza gruesa y con lutita encalizada en la parte basal. El grosor total de la formación Brito se aproxima a los 2.400 metros (Fig. 4.1.1, 4.1.2).

La Formación Brito yace parcial y discordantemente sobre la Formación Masachapa del Oligoceno en el suroeste y enterrada por debajo del Grupo las sierras del Plio-Pleistoceno en la parte noreste. La Formación Masachapa está compuesta de esquisto de barro tobáceo, alternando con lutitas grises a grises oscuras, capas delgadas bien estratificadas de arenisca de cuarzo de grano fino. En la parte superior de la formación la toba y la brecha son más abundantes. También la madera silícea es abundante en algunas de las capas tobáceas y los troncos de árboles carbonizados están mezclados con fragmentos de moluscos y restos volcánicos cerca de las base de la Formación. El grosor de ésta formación es aproximadamente de 2.600 metros.

La Formación Masachapa yace discordantemente sobre el Mioceno de la Formación El Fraile y el Grupo Tamarindo en la parte oeste y noroeste y yace discordantemente sobre el Plioceno

Formación El Salto y el Grupo Las Sierras en el noreste.

La Formación el Fraile está compuesta principalmente de lutita tobácea y arenisca calcárea. Estas tienen por lo menos 2.250 metros de grosor. La parte más baja de la formación hacia el noroeste se convierte gradualmente en una serie contemporánea de tobas volcánicas e ignimbritas conocidas como el Grupo Tamarindo.

Esta parte baja de la Formación se compone de sedimentos arcillosos y arenosos, arenisca conglomerática con troncos de árboles fósiles. Estos indican un cambio de condiciones marinas poco profundas (Formación Masachapa) a condiciones deltáicas o terrestres.

El Mioceno agrietado y ligeramente plegado y las formaciones antiguas, arriba mencionadas, de la Llanura Costera del Pacífico descansan sobre un angular estrecho de la Formación el Salto. Los sedimentos de la Formación El Salto están preservados sólo localmente en remanentes erosionales tapando las Formaciones Brito y Masachapa entre las Sierras de Managua y la costa, y su grosor es más o menos 100 metros en el área expuesta.

Esta formación está compuesta de depósitos típicos de caracoles como areniscas tobáceas sucias y limos, lutita arenosa, lutita marga y marga, y se observan conglomerados de canteras localmente en la base de la formación. Ambas capas, la arenosa y la de lutita son abundantes en conchas. Las conchas también se encuentran concentradas en las paredes de estructuras en forma de arrecifes de grandes ostras y forman las coquinas del depósito de conchas mezclado y extendido. Algunos de ellos son campos de minas o materia prima para la producción de cemento.

La Formación El Salto junto con la Formación Brito yace con gran discordancia sobre El Grupo Las Sierras en el área de Estudio y forman capas basales hidrogeológicas de baja permeabilidad (Fig. 4.1.2).

2) Rocas Igneas

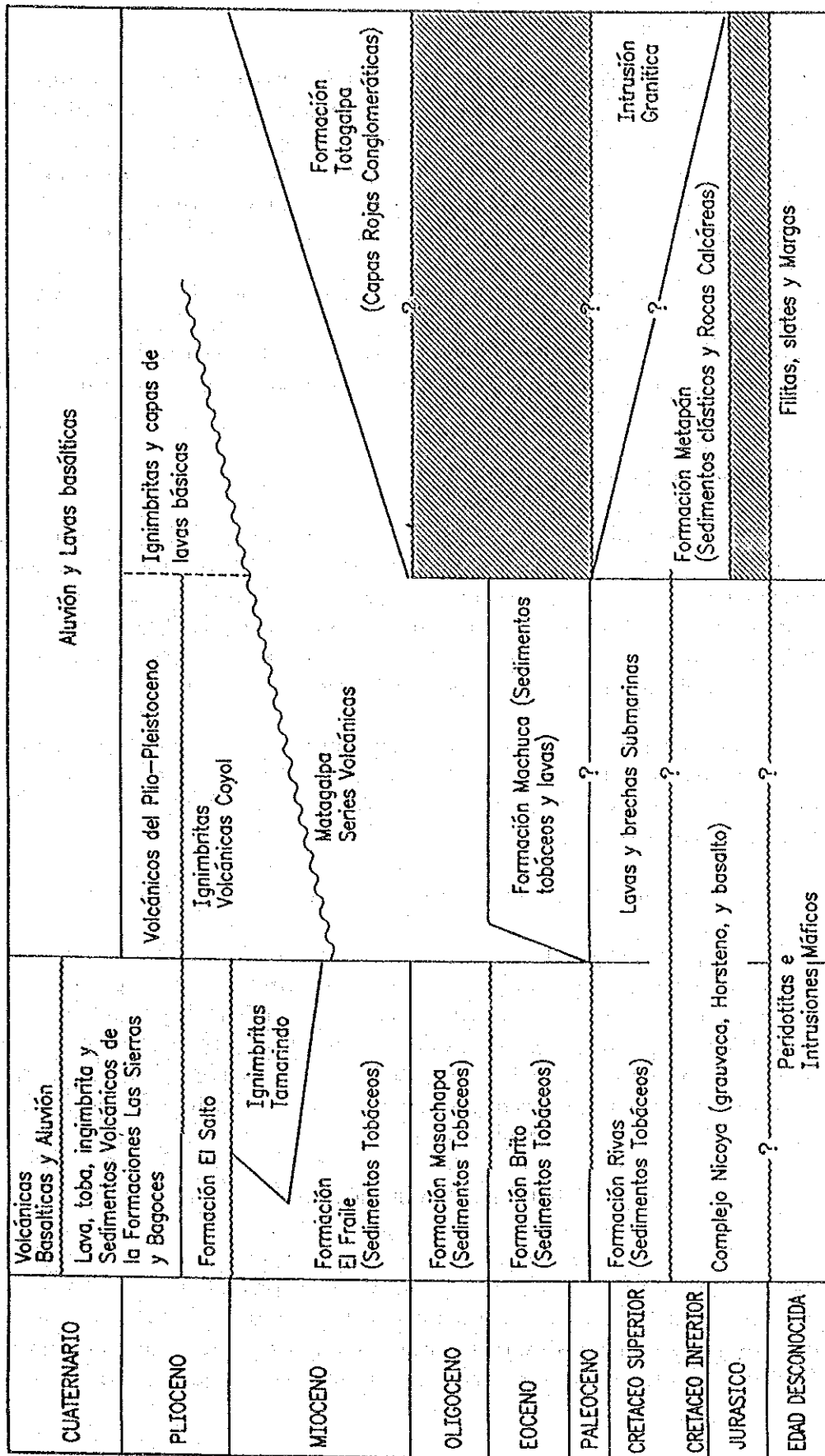
Numerosos diques y láminas de diabase y por lo menos cuatro intrusiones de rocas ígneas de hornablenda diorítica se introducen en la serie sedimentaria de la Costa del Pacífico. La intrusión de roca ígnea diorita más grande un tamaño aproximado de 30 kilómetros cuadrados se encuentra localizado en el área expuesta de la Formación Brito. Estas intrusiones ocurrieron probablemente durante la edad del Mioceno Tardío.

Cuadro 4.1.1 Relaciones estratigráficas de Nicaragua y regiones adyacentes
 Table 4.1.1 Stratigraphic Relations of Nicaragua and Adjacent Regions

NORTE de NICARAGUA
 y HONDURAS

SURESTE y CENTRO
 de NICARAGUA

OCCIDENTE de NICARAGUA
 y NORTE de COSTA RICA



3) Rocas Volcánicas

El volcánico Terciario en las Tierras Altas del Interior puede ser dividido en tres grupos volcánicos : El Grupo Matagalpa (Paleoceno a Oligoceno), el Grupo Coyol (Mioceno a Plioceno) y el volcánico Plio-Pleistoceno, en orden ascendente (Fig. 4.1.1, 4.1.2). Estas rocas volcánicas están compuestas de lavas, diques y de materiales piroclásticos de dacíta-andesítica basáltica.

En la Depresión Nicaragüense y en el Area Costera del Pacífico están ampliamente expuestos muchos tipos de rocas y sedimentos volcánicas de Grupo Tamarindo (Mioceno), del Grupo Las Sierras (Plio-Pleistoceno) y de los volcánicos cuaternarios.

(2) Area de Estudio

El Area de Estudio está compuesta principalmente de rocas y sedimentos volcánicos cuya edad oscila entre el Plioceno y el Reciente. Estas volcánicas yacen discordantemente sobre la formación Brito del Paleoceno al Eoceno y sobre La Formación El Salto del Plioceno, clasificadas como capas basales hidrogeológicas de baja permeabilidad.

La relación entre la edad geológica, la distribución y la estructura geológica de las principales unidades de rocas del Area de Estudio se resumen en el Cuadro 4.1.2 y de las Figuras 4.1.4 a la 4.1.9.

1) Rocas Sedimentarias Basales

La parte basal de la cuenca de agua subterránea de Managua está compuesta de rocas sedimentarias de baja permeabilidad de la Formación Brito y de la Formación El Salto del Terciario. Como resultado de las prospecciones eléctricas y de la perforación de pozos exploratorios se estima que la forma de la superficie superior de las formaciones es como se muestra en las Figuras 4.1.5, 4.1.9 y la Figura 4.8.2.

2) Lavas del Plio-Pleistoceno

Las lavas más antiguas están expuestas en la pared sureste de la Caldera de Masaya y desde la pared sur a la oeste de la Caldera de Apoyo. La lava más antigua de la Caldera de Masaya es de basalto olivina-augita y la lava más antigua de la Caldera de Apoyo de hipersteno-augita basalto andesítico. Estas lavas

basálticas antiguas yacen sobre el Grupo Las Sierras.

3) Grupo Las Sierras

Este grupo se compone principalmente de rocas piroclásticas basálticas ha andesíticas del Plio-Pleistoceno. Basados en las características litológicas el Grupo Las Sierras se sub-dividió en tres formaciones: El Grupo Las Sierras Inferior, Grupo Las Sierras Medio y Grupo Las Sierras Superior.

El Grupo inferior las Sierras [TQps (I)] está principalmente expuesto en los alrededores de El Salto y yace discordantemente sobre la misma Formación con un conglomerado basal típico. Esta formación consiste de conglomerados basales con peñas y bolones de limo de la Formación El Salto, conglomerados finos o arenisca conglomerática, arenisca tobácea y limo, toba basáltica y toba brechosa con capas de suelos fósiles de color café. El TQps(I) no se encuentra expuesto en la superficie del Area de Estudio y se estima que la distribución de este grupo está muy limitada en la parte subterránea de las Sierras de Managua en el Area de Estudio (Fig. 4.1.6).

Las afloraciones típicas del Grupo Las Sierras Medio [TQps(M)] en el Area de Estudio son observadas en las paredes de los cráteres de Asososca, Nejapa y Tiscapa, y también en los cañones profundos en el flanco sureste de Las Sierras de Managua proyectadas dentro del Area de Estudio. Estas afloraciones consisten de aglomerados basálticos masivos y compactos, y aglomerados andesíticos con toba brechosa (toba lapili) y toba conteniendo pisolitas.

De acuerdo con los resultados de la revisión y del análisis de registros de pozos existentes y de las pruebas de perforación se puede afirmar que la litofases del Grupo Medio Las Sierras en el Area de Estudio está compuesta no solamente de aglomerados compactos con toba brechosa y toba, sino que también por depósitos de piroclásticos porosos y por flujos piroclásticos de escoria con capas de suelo fósil como un buen acuífero.

En el Grupo Las Sierras Superior [TQps (S)] las principales afloraciones se observan continuamente en la Escarpa de Falla de Mateare, la que está compuesta de una alternación de basáltico masivo a aglomerados andesíticos, toba brechosa y toba con capas finas de suelo fósil, escoria y pómez. Por otro lado, el grupo expuesto en el declive noreste de Las Sierras de Managua está compuesto por una alternación frecuente de aglomerados, toba

brechosa, toba, toba arenosa rica en pisolitas, arenisca tobácea y suelo fósil.

4) Grupo Volcánico Masaya (QvM)

El volcán Masaya es un típico volcán doble con caldera grande del tipo Glen Coe.

Como se muestra en la Figura 4.1.4, hay muchos conos cráteres de derrumbe y calderas de derrumbe que son controladas por las cadenas volcánicas con dirección norte-sur en los alrededores de el volcán central Masaya. Todos los sedimentos volcánicos de esta área volcánica están compuestos de lavas basálticas y de materiales piroclásticos (brecha volcánica, escoria y ceniza) y son llamados "Grupo volcánico Masaya" en éste Informe.

En el área norte de la caldera de Masaya existe un valle subterráneo antiguo que se extiende hacia el lago de Managua con dirección norte-sur, se estima que se formó en el TQps(M) durante el Pleistoceno Medio y que se encuentra enterrado por el QvM.

De acuerdo a datos existentes de las perforaciones y a los resultados de la perforación de los pozos exploratorios (JI-2, JI-3) estas volcánicas que enterraron un valle antiguo están compuestas de lava porosa basáltica y flujos piroclásticos, los cuales son uno de los acuíferos de más alto potencial en el Área de Estudio. El grosor del QvM es de 100-120 metros en la zona central del valle.

5) Volcánico Apoyo (QvA)

La caldera de Apoyo, aunque a sólo 10 kilómetros de Masaya es un ejemplo magnífico de una caldera tipo Krakatoa formada por derrumbes seguida de erupciones de grandes cantidades de pómez dacita.

El pómez cubre un área amplia como muestra la Fig. 4.1.4.

6) Volcánico Pleistoceno (QvP)

Este volcánico está expuesto a lo largo de la cadena volcánica con dirección norte-sur que conecta el cráter de derrumbe, Cerro Partido, San Carlos, Cerro Los Martínez, Ticomo y conos pequeños del declive oeste de Las Sierras de Managua. Aunque el Pleistoceno volcánico de la cadena está formado de

lavas basálticas a andesíticas y materiales piroclásticos y restos de cuerpos volcánicos erosionados, es difícil dividir el límite exacto entre QvP y QvH.

Muchas de las capas de escoria que cubren la cima de Las Sierras de Managua se considera que pertenecen al Pleistoceno volcánico que erupcionó en el declive oeste de Las Sierras de Managua arriba mencionado.

7) Holoceno Volcánico (QvH)

El Holoceno Volcánico está expuesto principalmente a lo largo de la cadena volcánica del Pleistoceno, arriba mencionada. Los conos centrales y los flujos de lava en 1972 en el volcánico Masaya también pertenecen al Holoceno volcánico.

Todos los Holocenos volcánicos en el Area de Estudio están compuestos de lavas basálticas, cenizas, flujos de escorias y por sus sedimentos secundarios. Dentro de ellos se puede observar el Volcánico Nejapa que yace sobre las capas de pómez de Apoyeque.

Tefra

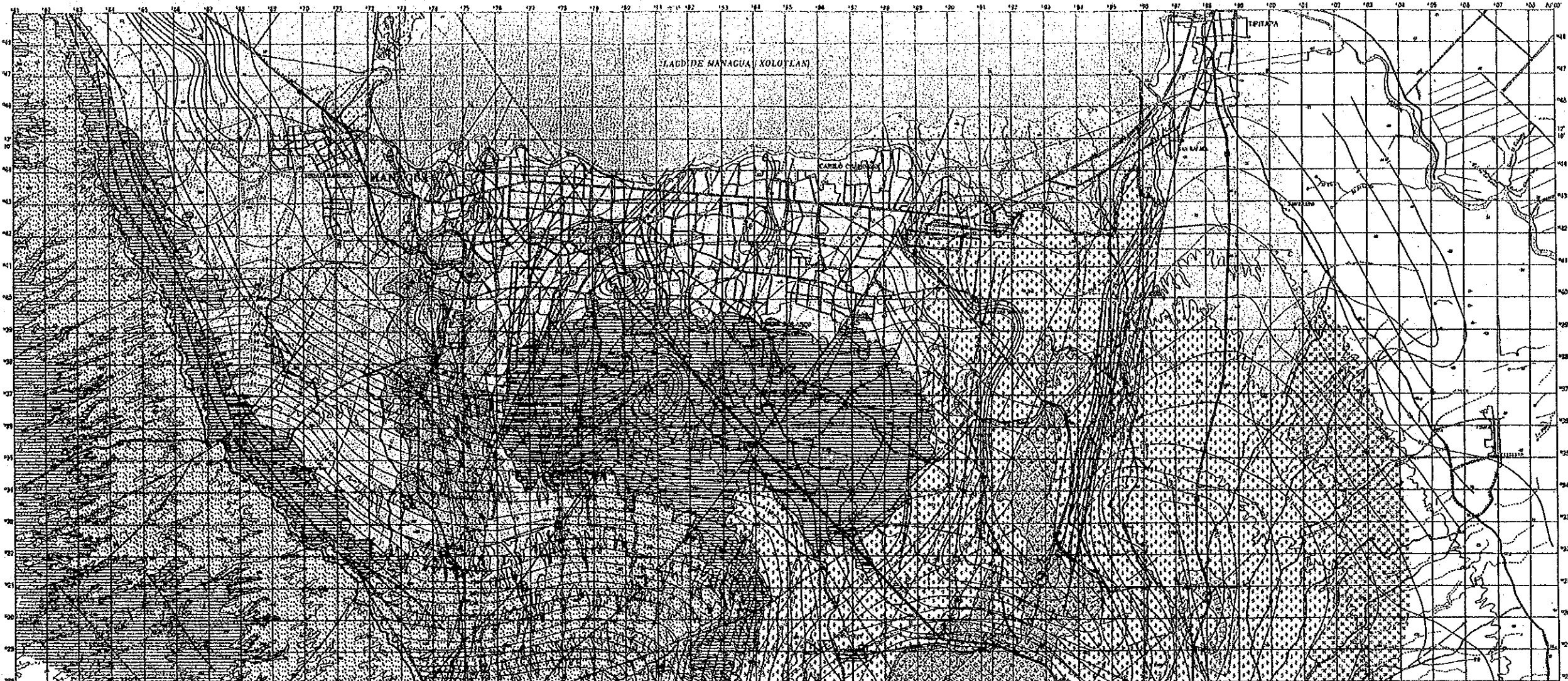
El Area de Estudio descansa ampliamente sobre cenizas volcánicas Cuaternarias. En este estudio, se observaron dos afloraciones típicas para aclarar las características estratigráficas de las capas de cenizas volcánicas Cuaternarias. Los resultados de estas observaciones se muestran en la Fig. 4.1.10.

8) Aluvión (Qal)

El aluvión está expuesto principalmente en la sub-área occidental y a lo largo de la costa del lago de Managua. La sub-área occidental consiste de sedimentos mezclados de cenizas volcánicas (escoria y pómez) y por despojos principalmente de la zona de la escarpa de Falla de Mateare.

Cuadro 4.1.2 Estratigrafía del área de estudio
 Table 4.1.2 STRATIGRAPHY OF THE STUDY AREA

Edad Geológica GEOLOGIC AGE		Nombre de las Unidades Rocosas geológicas NAME OF GEOLOGIC ROCK UNITS	Litología LITHOLOGY
Cuaternario QUATERNARY	Holoceno HOLOCENE	Aluvio ALLUVIUM Q a 1	Sedimentos arena y arcilla con material piroclástico, depósitos de escombros. SAND AND CLAY SEDIMENTS WITH PYROCLASTIC MATERIAL, DEBRIS DEPOSITS
		Volcánicos Holocénicos HOLOCENE VOLCANICS Q v H	Lavas Basálticas-Andesíticas BASALTIC-ANDESITIC LAVAS Flujos piroclásticos y depósitos piroclásticos caídos. PYROCLASTIC FLOWS AND PYROCLASTIC FALL DEPOSITS.
	Pleistoceno PLEISTOCENE	Volcánicos Pleistocénicos PLEISTOCENE VOLCANICS Q v P	Depósitos piroclásticos caídos con flujos piroclásticos y lavas. PYROCLASTIC FALL DEPOSITS WITH PYROCLASTIC FLOWS AND LAVAS.
		Volcánicos Apoyo APOYO VOLCANICS Q v A	Depósitos piroclásticos caídos y flujos (pomez) con lava dacítica. PYROCLASTIC FALL DEPOSITS AND FLOWS (PUMICE) WITH DACITIC LAVAS
		Grupo Volcánico Masaya MASAYA GROUP VOLCANICS Q v M	Lavas basálticas (dura y porosa-auto brechada) BASALTIC LAVAS (HARD AND POROUS-AUTO BRECCIATED) Flujos piroclásticos y depósitos piroclásticos caídos PYROCLASTIC FLOWS AND PYROCLASTIC FALL DEPOSITS
	Terciario TERTIARY	Plio-Pleistoceno PLIO- PLEISTOCENE	Grupo Superior Las Sierras UPPER LAS SIERRAS GROUP T Qps (S)
Grupo Medio Las Sierras MIDDLE LAS SIERRAS GROUP T Qps (M)			Aglomerado basáltico-andesítico, compacto brecha tobáceo, toba, flujo piroclástico. BASALTIC-ANDESITIC COMPACT AGGLOMERATE, TUFFBRECCIA, TUFF, PYROCLASTIC FLOW.
Volcánicos Plio-Pleistocénicos PLIO-PLISTOCENE VOLCANICS T Qpl		lavas basálticas andesíticas en las proximidades de las Calderas Masaya y Apoyo. BASALTIC-ANDESITIC LAVAS IN NEAR MASAYA AND APOYO CALDERAS.	
Plioceno PLIOCENE- (Eocene)		Formación El Salto y Sedimentos Terciarios EL SALTO FORMATION & OTHER TERTIARY SEDIMENTARY ROCKS T P S	TUFFACEOUS SANDSTONE & SILTSTONE WITH FOSSIL SHELLS. (BROWN TUFFACEOUS SHALES.)



Leyenda del Mapa Hidrogeológico
LEGEND OF THE HYDROGEOLOGICAL MAP

**A. Estratigrafía y Litología
STRATIGRAPHY AND LITHOLOGY**

Edad Geológica GEOLOGIC AGE	Nombre de las Unidades Geológicas NAME OF GEOLOGIC ROCK UNITS	Litología LITHOLOGY	
Cuaternario QUATERNARY	Ahuán ALLUVIUM	Qa1	Sedimentos arena y arcilla con material piroclástico, depósitos de escombros, SAND AND CLAY SEDIMENTS WITH PYROCLASTIC MATERIAL, DEBRIS DEPOSITS
	Volcánicos Holocenos HOLOCENE VOLCANICS	QvII	Lavas basálticas andesíticas BASALTIC-ANDESITIC LAVAS Flujos piroclásticos y depósitos piroclásticos con caldos. PYROCLASTIC FLOWS AND PYROCLASTIC FALL DEPOSITS
	Volcánicos Pleistocenos PLEISTOCENE VOLCANICS	QvP	Depósitos piroclásticos caldos con flujos piroclásticos y lavas. PYROCLASTIC FALL DEPOSITS WITH PYROCLASTIC FLOWS AND LAVAS.
	Volcánicos Anzo ANZO VOLCANICS	QvA	Depósitos piroclásticos caldos y flujos lavas con lavas doctiles. PYROCLASTIC FALL DEPOSITS AND FLOWS (THICK) WITH DOCTILE LAVAS.
Cuaternario QUATERNARY	Grupo Volcánico Masaya MASAYA GROUP VOLCANICS	QvM	Lavas basálticas (dura y porosa) auto brachadas. BASALTIC LAVAS (HARD AND POROUS-AUTO BRACHATED) Flujos piroclásticos y depósitos piroclásticos caldos. PYROCLASTIC FLOWS AND PYROCLASTIC FALL DEPOSITS
	Grupo Superior Las Sierritas LAS SIERRITAS GROUP SUPERIOR LAS SIERRITAS GROUP	TQps(S)	Aglomerado basáltico-andesítico, toba bracha, toba, toba fósil, arena y limo, tobas. BASALTIC-ANDESITIC AGGLOMERATE, TUFF, FOSSIL SOIL, TUFFICIOUS SAND AND SILT.
Plio-Neógeno PLIO-NEOGENE	Grupo Medio Las Sierritas LAS SIERRITAS GROUP MIDDLE LAS SIERRITAS GROUP	TQps(M)	Aglomerado basáltico-andesítico, con toba bracha toba, toba, flujo piroclástico. BASALTIC-ANDESITIC AGGLOMERATE, TUFFICIOUS SOIL, PYROCLASTIC FLOW.
	Volcánicos Plio-Pleistocenos PLIO-PLISTOCENE VOLCANICS	TQpl	Lavas basálticas andesíticas en las proximidades de los Cerros de la Cruz y Anzo. BASALTIC-ANDESITIC LAVAS IN NEAR MASAYA AND ANZO CALDENAS.

**B. Estructura Geológica
GEOLOGICAL STRUCTURE**

- Brache y Rotaciones
STRIKE AND RPT
- Sistema de Falla
FAULT SYSTEM
- Eje de Horcamento
FOLDING AXIS
- Canales y Líneas Subterráneas
SUBTERRANEAN CHANNELS AND LINES
- Paredes de Calderas y Calderas
CALDERA AND CHATER WALLS

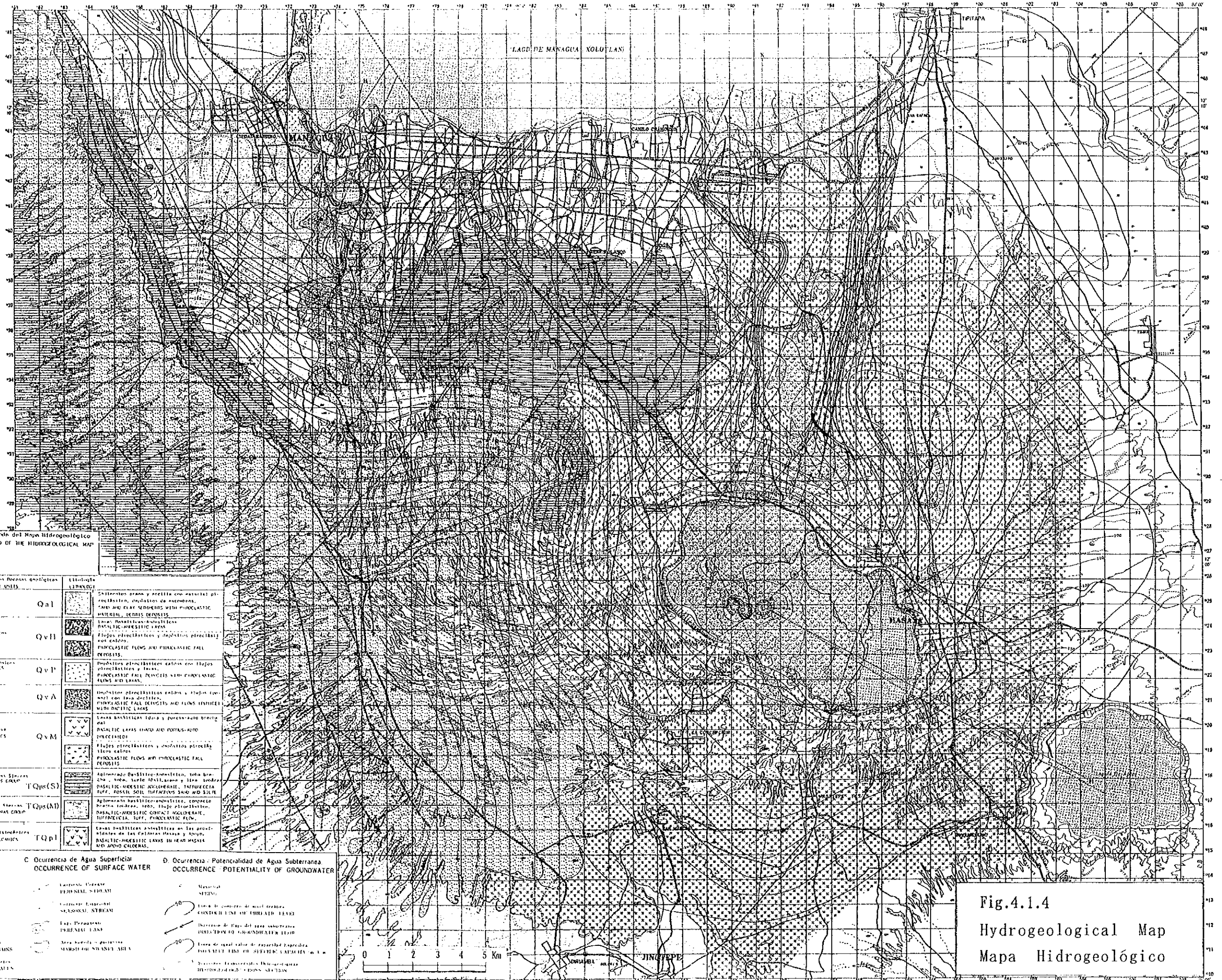
**C. Ocurrencia de Agua Superficial
OCCURRENCE OF SURFACE WATER**

- Cursante Perenne
PERENNIAL STREAM
- Cursante Estacional
SEASONAL STREAM
- Lago Perenne
PERENNIAL LAKE
- Área Inundada o pantanos
MARSH OR SWAMPY AREA

**D. Ocurrencia/Potencialidad de Agua Subterránea
OCCURRENCE/POTENTIALITY OF GROUNDWATER**

- Máxima
SHOWN
- Línea de contorno de nivel freático
CONTOUR LINE OF WATER TABLE
- Incremento de flujo del agua subterránea
INCREASE OF GROUNDWATER FLOW
- Flujo de igual valor de capacidad específica
EQUALLY VALUED LINE OF SPECIFIC CAPACITY
- Sección Transversal Hidrogeológica
HYDROGEOLOGICAL CROSS SECTION

Fig.4.1.4
Hydrogeological Map
Mapa Hidrogeológico



Leyenda del Mapa Hidrogeológico
LEGEND OF THE HYDROGEOLOGICAL MAP

**A. Estratigrafía y Litología
STRATIGRAPHY AND LITHOLOGY**

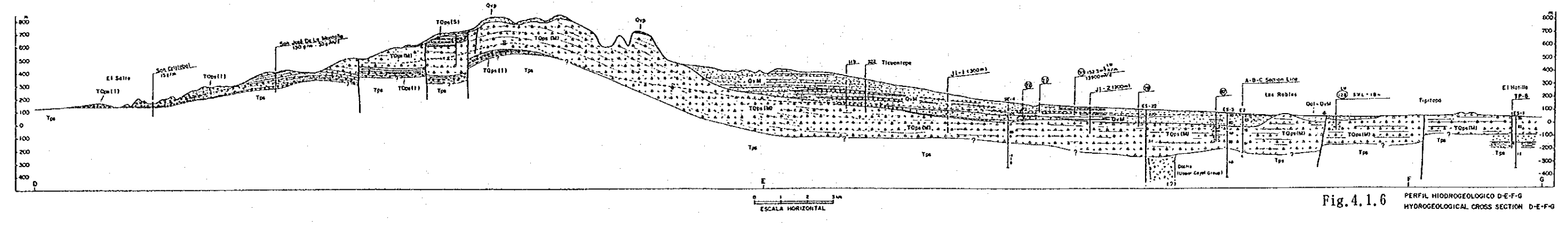
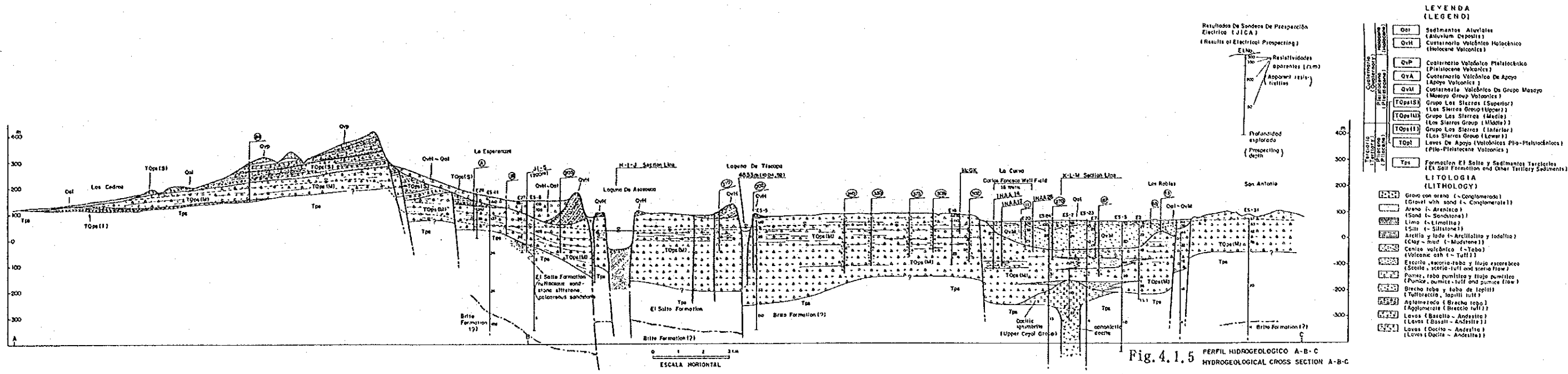
Edad Geológica GEOLOGIC AGE	Nombre de las Unidades Geológicas NAME OF GEOLOGIC UNIT	Litología LITHOLOGY
Cuaternario QUATERNARY	Aluvión ALLUVIUM	Qa1
	Volcanes Holocenos HOLOCENE VOLCANES	Qv11
Platoceno PLIOCENE	Volcanes Pliocenos PLIOCENE VOLCANES	Qv1p
	Volcanes Apos APOSA VOLCANES	QvA
Cenozoico CENOZOIC	Grupo Volcánico Managua MANAGUA VOLCANIC GROUP	QvM
	Grupo Superior Las Sierritas UPPER LAS SIERRITAS GROUP	TQps(S)
Plioceno PLIOCENE	Grupo Medio Las Sierritas MIDDLE LAS SIERRITAS GROUP	TQps(M)
	Volcanes Pliocenos PLIOCENE VOLCANES	TQp1

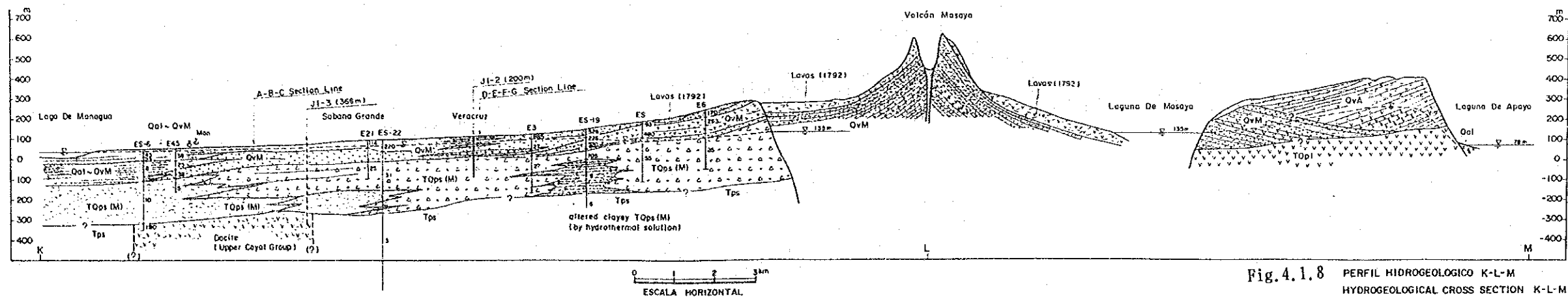
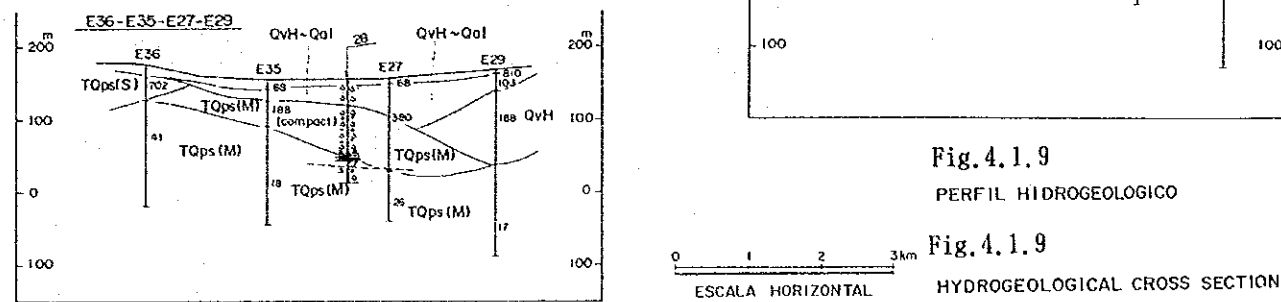
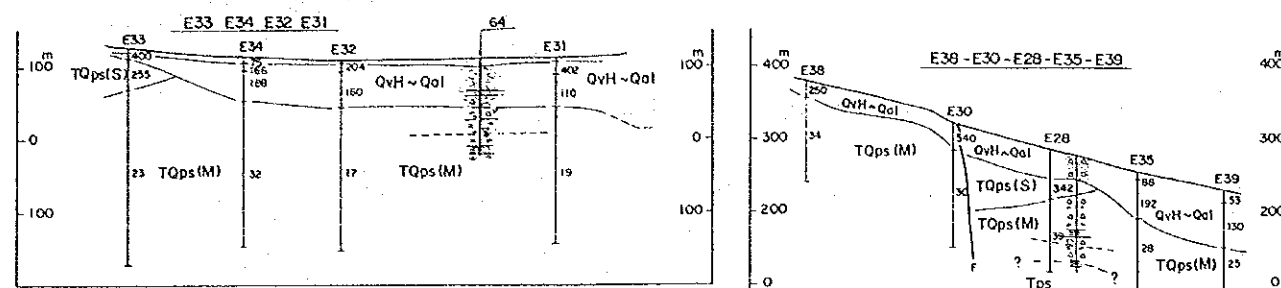
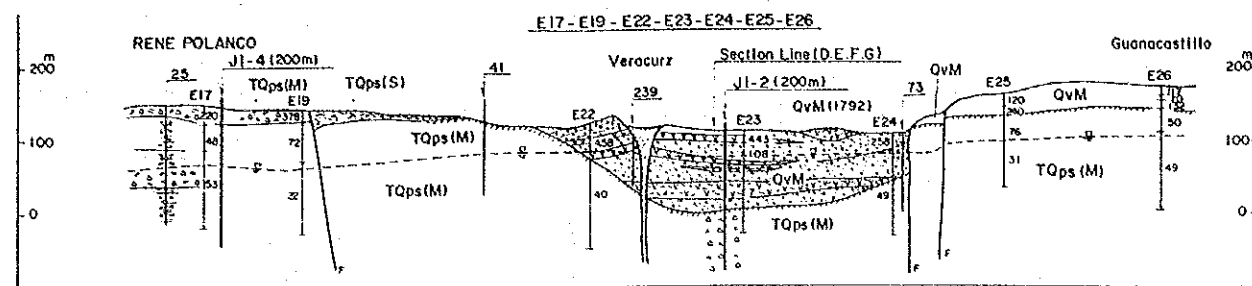
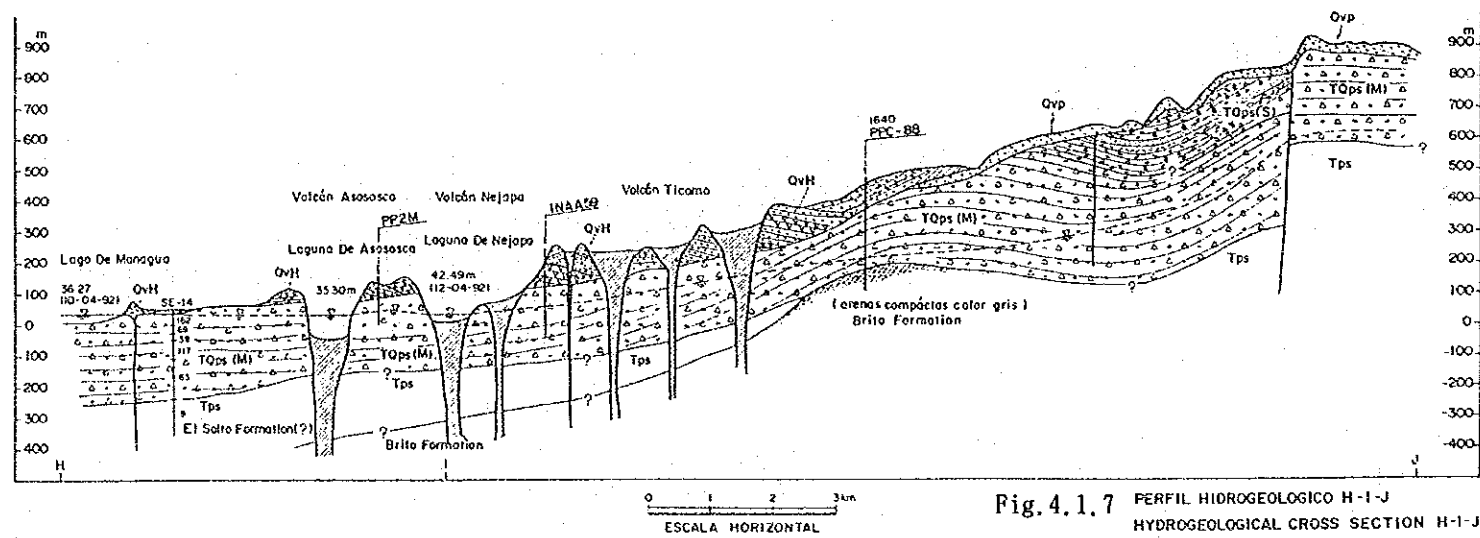
**B. Estructura Geológica
GEOLOGICAL STRUCTURE**

**C. Ocurrencia de Agua Superficial
OCCURRENCE OF SURFACE WATER**

**D. Ocurrencia - Potencialidad de Agua Subterránea
OCCURRENCE - POTENTIALITY OF GROUNDWATER**

Fig.4.1.4
Hydrogeological Map
Mapa Hidrogeológico





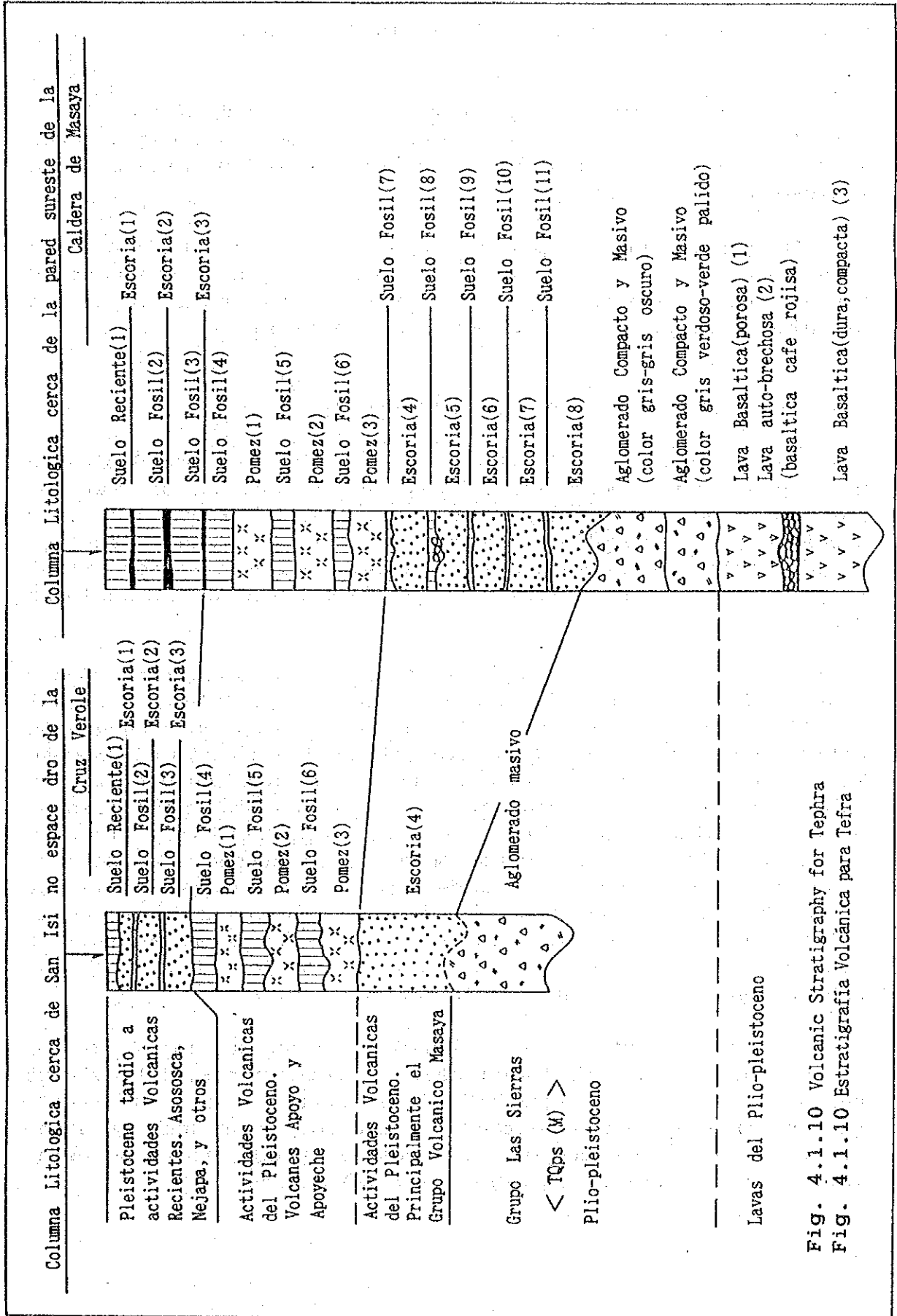


Fig. 4.1.10 Volcanic Stratigraphy for Tephra

Fig. 4.1.10 Estratigrafia Volcánica para Tefra

4.1.3 Geología Estructural e Historia Geológica

En éste Estudio se prepararon mapas Paleogeográficos (Fig. 4.1.11, a 4.1.14) para la discusión de la geología estructural y de la historia geológica de la Depresión Nicaragüense incluyendo el Area de Estudio.

En particular, el mayor propósito de ésta discusión es considerar la existencia de capas hidrogeológicas impermeables que descansan bajo el Grupo Las Sierras tales como la Formación El Salto y otras rocas Terciarias sedimentarias.

(1) Cretáceo Tardío a Mioceno Tardío

Hasta inicios del Cretácico Superior el Occidente de Nicaragua estuvo mayormente ocupado por áreas de terreno compuestas de intrusiones máficas, peridotita, rocas gábrica y diabásica, y el complejo Nicoya: grauvaca, horsteno y basalto. En particular se estima que la roca del basamento alrededor del Area de Estudio está compuesta principalmente de intrusiones máficas.

En una etapa temprana del Cretácico Superior, progresó una transgresión desde el área sureste hasta la Planicie Costera del Pacífico hacia el área de la Depresión Nicaragüense. Aunque se estima que ésta transgresión tuvo que continuar hasta el Mioceno Medio, se puede estimar también que un ambiente sedimentario en el área de transgresión tuvo que repetir el cambio de condiciones marinas a salobres o a condiciones de ensenadas o terrestres en la etapa entre Cretáceo y Paleoceno y, de Eoceno a Oligoceno, respectivamente. Estas etapas de regresión se pueden estimar por la existencia de discordancias superficiales en las formaciones. Entre éstas la regresión entre el Oligoceno y el Mioceno es bastante evidente por la existencia de fósiles de troncos de árboles en la parte basal de la Formación el Fraile.

A través de esta transgresión, las formaciones Rivas, Brito, Masachapa, el Grupo El Tamarindo y las formaciones El Frayle se depositaron en orden ascendente. Las serranías axiales de esta geosinclinal fueron aumentando, plegando, levantando y dando fuentes nuevas de despojos clásticos. El grosor total de éstas formaciones se estima es mayor de 9.620 metros.

Por otra parte, en el área del margen noreste de ésta transgresión, que es también el margen noreste de la Depresión Nicaragüense, las actividades volcánicas Terciarias han avanzado amplia y significativamente (Grupos Matagalpa y Coyol). En la etapa del Mioceno Tardío sucedió la actividad volcánica del Grupo Tamarindo en el área noroeste de la Planicie Costera del Pacífico.

(2) Mioceno Tardío a Plioceno Tardío

A finales del Mioceno, la caldera sedimentaria fue violentamente levantada y plegada con intrusiones de roca diorítica a lo largo de la serranía axial del levantamiento (Anticlinal Rivas).

El área terrestre elevado ha sido meteorizado y erosionado. Después de esta etapa de regresión, la zona de la Depresión Nicaragüense y áreas parciales de la Planicie Costera del Pacífico estuvieron ocupadas por reducidas profundidades marinas superficiales por una transgresión del Plioceno Temprano.

Bajo las condiciones Paleogeográficas como la mostrada en la Figura 4.1.11, la deposición de la Formación el Salto ha progresado desde la edad del Plioceno.

La distribución de las Formaciones El Salto y Brito clasificadas como capas basales de baja permeabilidad de la cuenca de agua subterránea de Managua se muestran en las secciones transversales hidrogeológicas (Fig. 4.1.5 a 4.1.9) y en el mapa de elevación superior de la capa impermeable hidrogeológica (Fig. 4.8.2).

Estos mapas fueron preparados basándose en los resultados de una perforación de prueba (TP-8) llevada a cabo por las Naciones Unidas en 1973 y con los resultados del reconocimiento geológico, prospección eléctrica y la perforación de pozos exploratorios en este Estudio.

En la etapa temprana del Plioceno Tardío, aunque una parte principal de la cuenca sedimentaria se convirtió en planicie terrestre, todavía permanecía un canal marino angosto y superficial a lo largo del margen noreste de la Depresión Nicaragüense y un lago interior de agua salada como muestra la Figura 4.1.12.

Casi al mismo tiempo, se iniciaron grandes erupciones volcánicas del Grupo Las Sierras cerca de la porción central de

la cuenca y por otro lado, se dieron erupciones volcánicas esporádicas en el margen noreste de la Depresión Nicaragüense (Fig. 4.1.12).

(3) Plioceno Temprano a Pleistoceno Medio

La mayor parte de las actividades volcánicas arriba mencionadas del Plio-Pleistoceno terminaron la mayor parte en la etapa temprana del Pleistoceno Medio.

Una parte principal del grupo Las Sierras está compuesta de eyectas volcánicas con capas bien diferenciadas pero débilmente consolidadas de arenisca tobácea y limo. Se considera, además que el ambiente sedimentario del Grupo Las Sierras Superior estaba principalmente bajo la condición de agua salada causada por la transgresión del Pleistoceno Temprano.

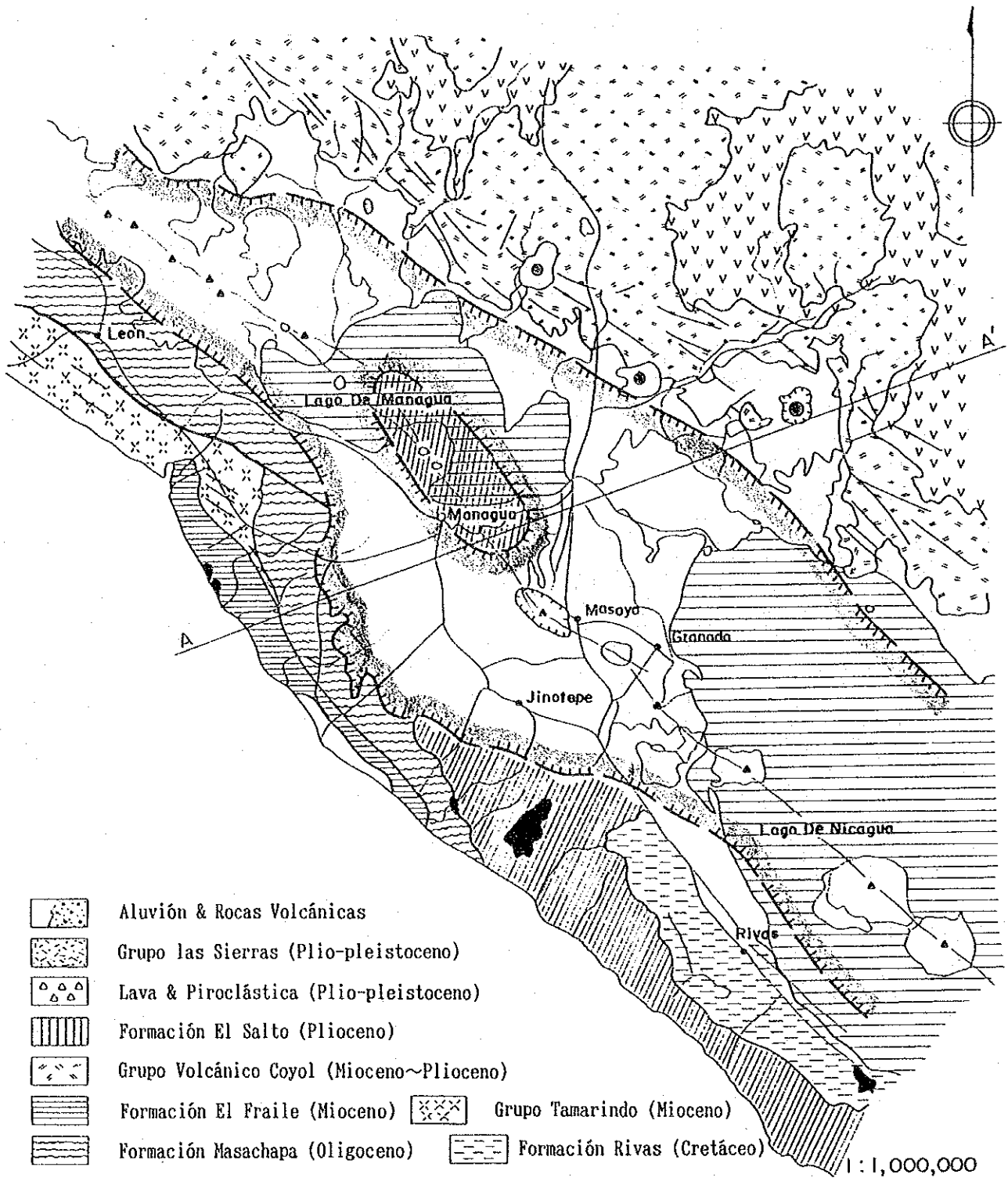
Después de la sedimentación del grupo Las Sierras Superior, ocurrió ampliamente en la zona de la Depresión Nicaragüense un movimiento geotectónico con levantamientos, fallas, plegamientos suaves y depresiones. Como consecuencia de éste geotectónico ambas áreas de la Planicie Costera del Pacífico y las Tierras Altas del Interior fueron relativamente levantadas, y la zona de la Depresión Nicaragüense sufrió una relativa subsidencia (Fig. 4.1.13).

Sin embargo, una parte de las Sierras de Managua proyectada en la Depresión Nicaragüense permanece todavía como resultado de la subsidencia.

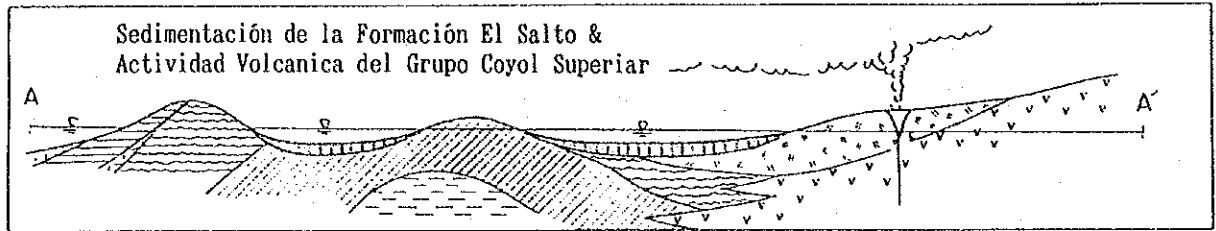
En conexión con este movimiento de bloques se formaron las fallas del límite de la Depresión Nicaragüense y las fallas oblicuas a la depresión. Muchas de las fallas oblicuas son de fracturas norte-sur y noreste-suroeste con desplazamientos menores y algunos de ellos controlan la sub-cadena de volcanes Cuaternarios (Fig. 4.1.13). La cadena principal de volcanes Cuaternarios indica la existencia de una zona de fractura de tensión que se formó en conexión con el movimiento de bloque, arriba mencionado. La porción profunda de ésta zona de fractura puede alcanzar la capa de magma.

Como un enlace en la cadena del movimiento de corteza que continuó debido al movimiento de bloque arriba mencionado, las actividades volcánicas variando desde el Pleistoceno Medio hasta el Reciente han ocurrido continuamente a lo largo de la zona de fractura y de tensión y de los sistemas de fallas.

El terremoto de Managua de 1972 sucedió en conexión con el movimiento de corteza en la depresión; y las fallas (noreste-suroeste) asociadas con el terremoto son primariamente del origen tectónico arriba mencionado (Fig. 4.1.14).

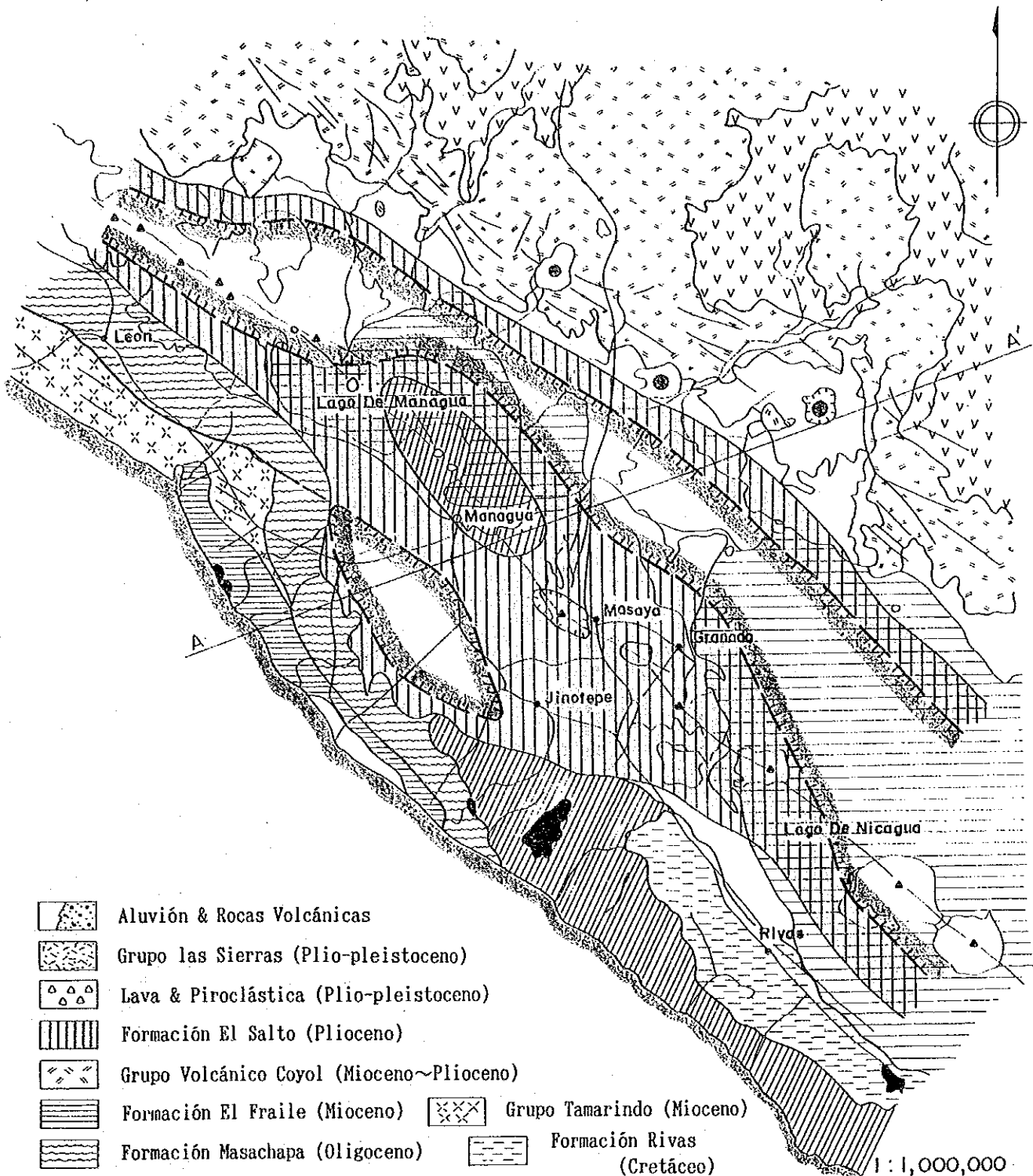


- Aluvión & Rocas Volcánicas
- Grupo las Sierras (Plio-pleistoceno)
- Lava & Piroclástica (Plio-pleistoceno)
- Formación El Salto (Plioceno)
- Grupo Volcánico Coyo (Mioceno~Plioceno)
- Formación El Fraile (Mioceno)
- Grupo Tamarindo (Mioceno)
- Formación Masachapa (Oligoceno)
- Formación Rivas (Cretáceo)

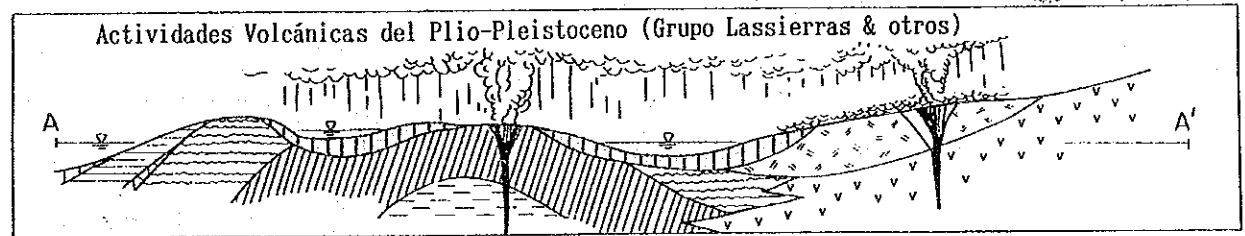


- Grupo Matalgalpa (Paleoceno~Oligoceno)
- Formación Brito (Paleoceno~Eoceno)
- Intrusión Plutónicas
- Cuenca Palaeo-Nicaraguense

Fig.4.1.11 Palaeogeographical Map (Early Pliocene)
 Mapa Paleográfico (Inicio del Plioceno)



- Aluvi3n & Rocas Volc3nicas
- Grupo las Sierras (Plio-pleistoceno)
- Lava & Pirocl3stica (Plio-pleistoceno)
- Formaci3n El Salto (Plioceno)
- Grupo Volc3nico Coyal (Mioceno~Plioceno)
- Formaci3n El Fraile (Mioceno)
- Grupo Tamarindo (Mioceno)
- Formaci3n Masachapa (Oligoceno)
- Formaci3n Rivas (Cret3ceo)



- Grupo Matalgalpa (Paleoceno~Oligoceno)
- Formaci3n Brito (Paleoceno~Eoceno)
- Intrusi3n Plut3nicas
- Cuenca Palaeo-Nicaraguense

Fig.4.1.12 Palaeogeographical Map (Late Pliocene)
 Mapa Paleogr3fico (Plioceno Tardío)

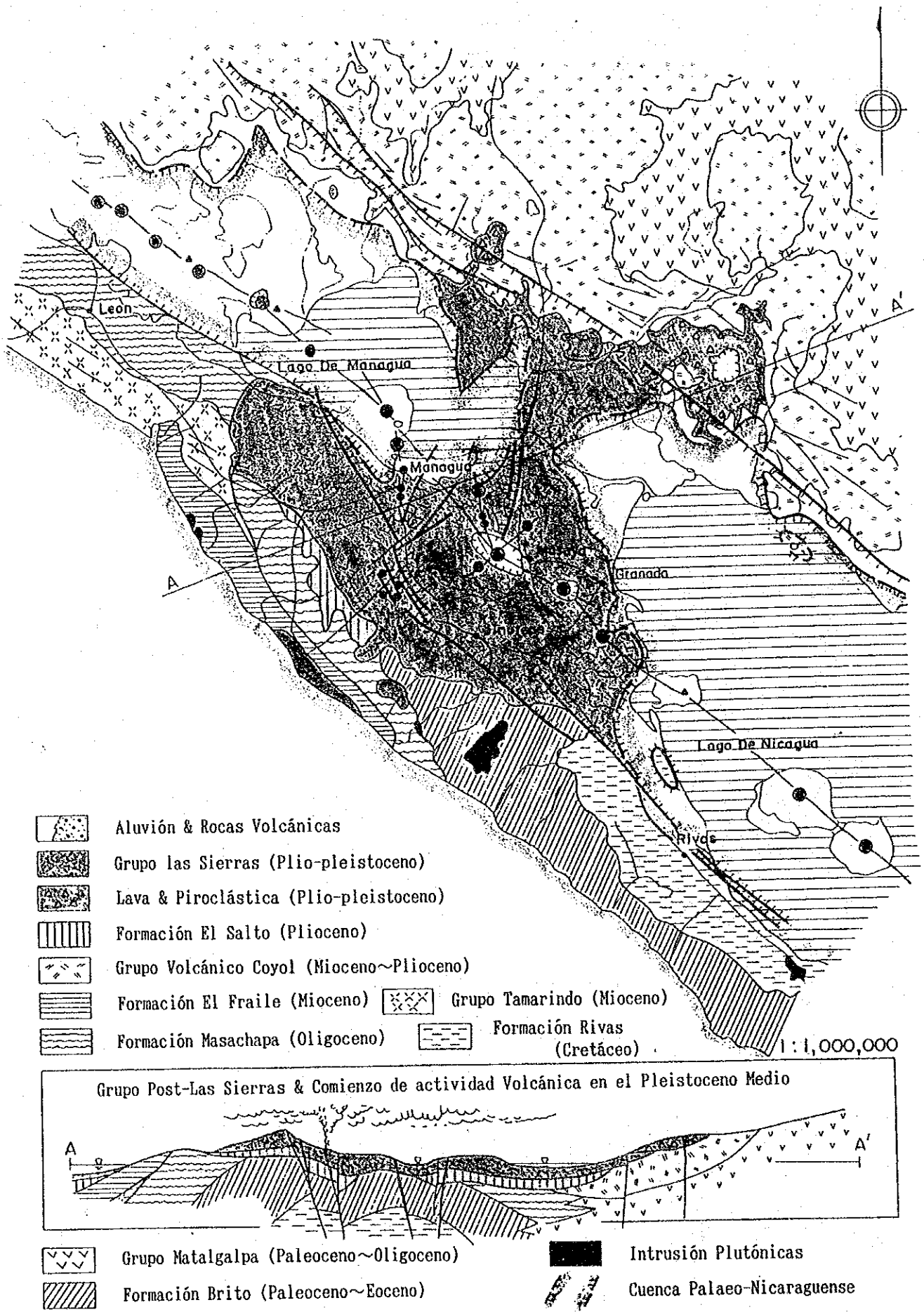
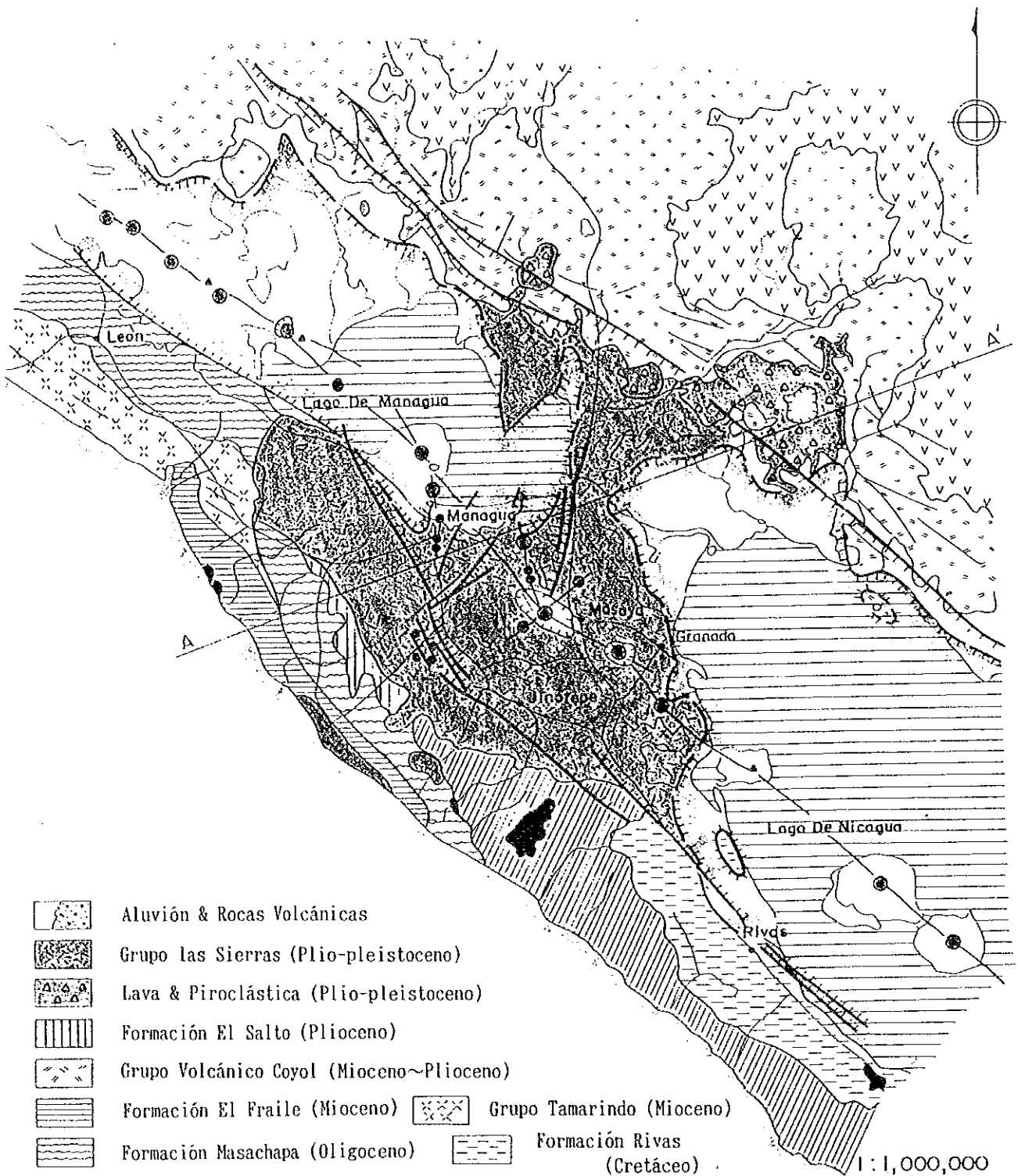


Fig.4.1.13 Palaeogeographical Map (Middle Pleistocene)
 Mapa Paleogr3fico (Mediados del Pleistoceno)



- Aluvión & Rocas Volcánicas
- Grupo las Sierras (Plio-pleistoceno)
- Lava & Piroclástica (Plio-pleistoceno)
- Formación El Salto (Plioceno)
- Grupo Volcánico Coyo (Mioceno~Plioceno)
- Formación El Fraile (Mioceno)
- Grupo Tamarindo (Mioceno)
- Formación Masachapa (Oligoceno)
- Formación Rivas (Cretáceo)



- Grupo Matalgalpa (Paleoceno~Oligoceno)
- Formación Brito (Paleoceno~Eoceno)
- Intrusión Plutónicas
- Cuenca Palaeo-Nicaraguense

Fig.4.1.13 Palaeogeographical Map (Middle Pleistocene)
 Mapa Paleográfico (Medios del Pleistoceno)

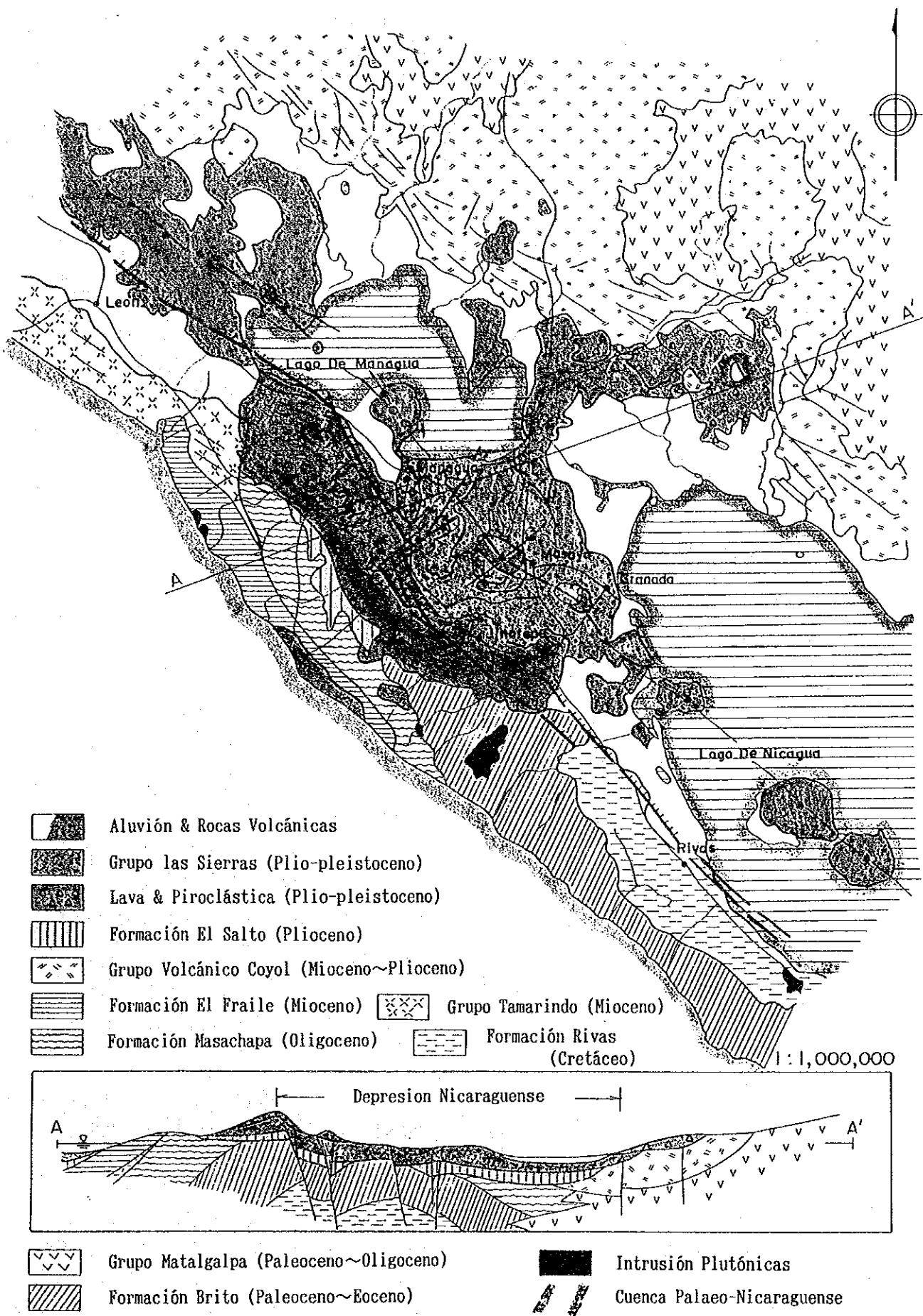


Fig.4.1.14 Palaeogeographical Map (Late Pleistocene to Recent)
 Mapa Paleogr3fico (Plioceno Tardío al-Reciente)

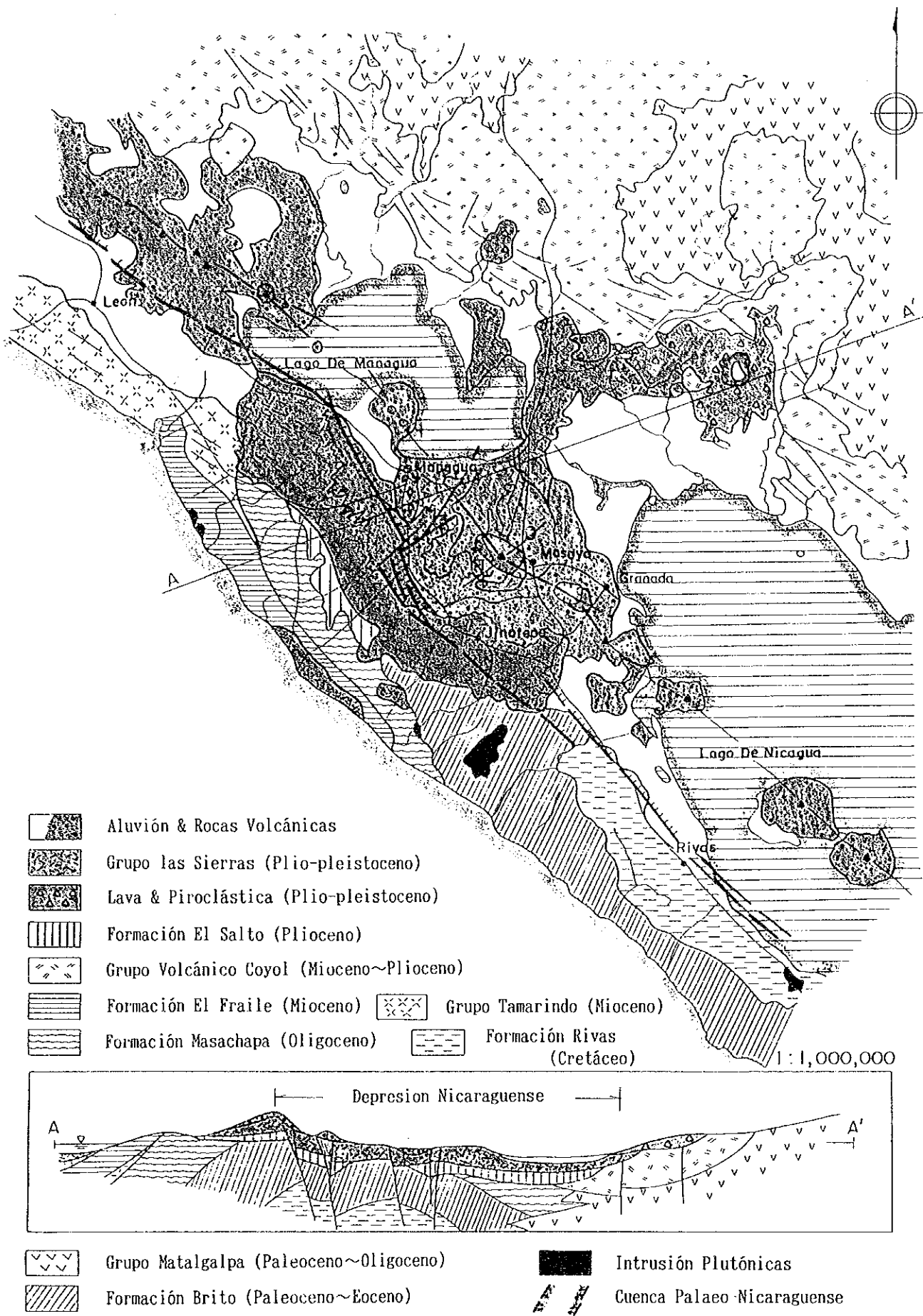


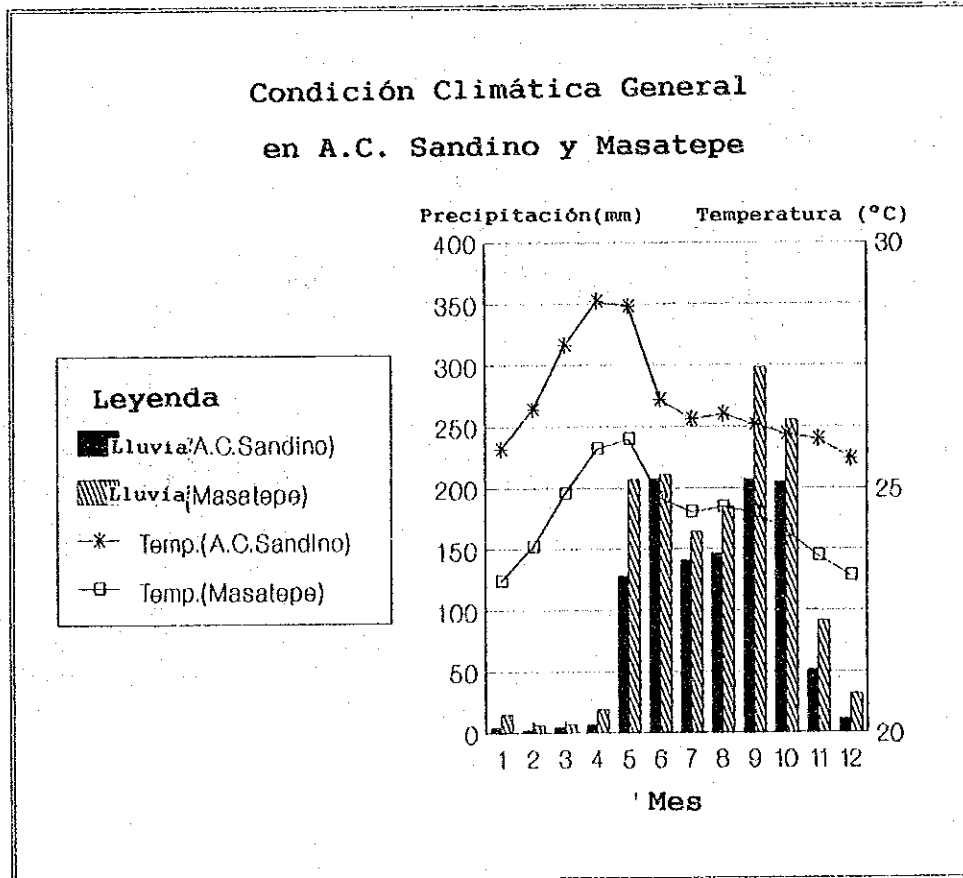
Fig.4.1.14 Palaeogeographical Map (Late Pleistocene to Recent)
 Mapa Paleográfico (Plioceno Tardío al-Reciente)

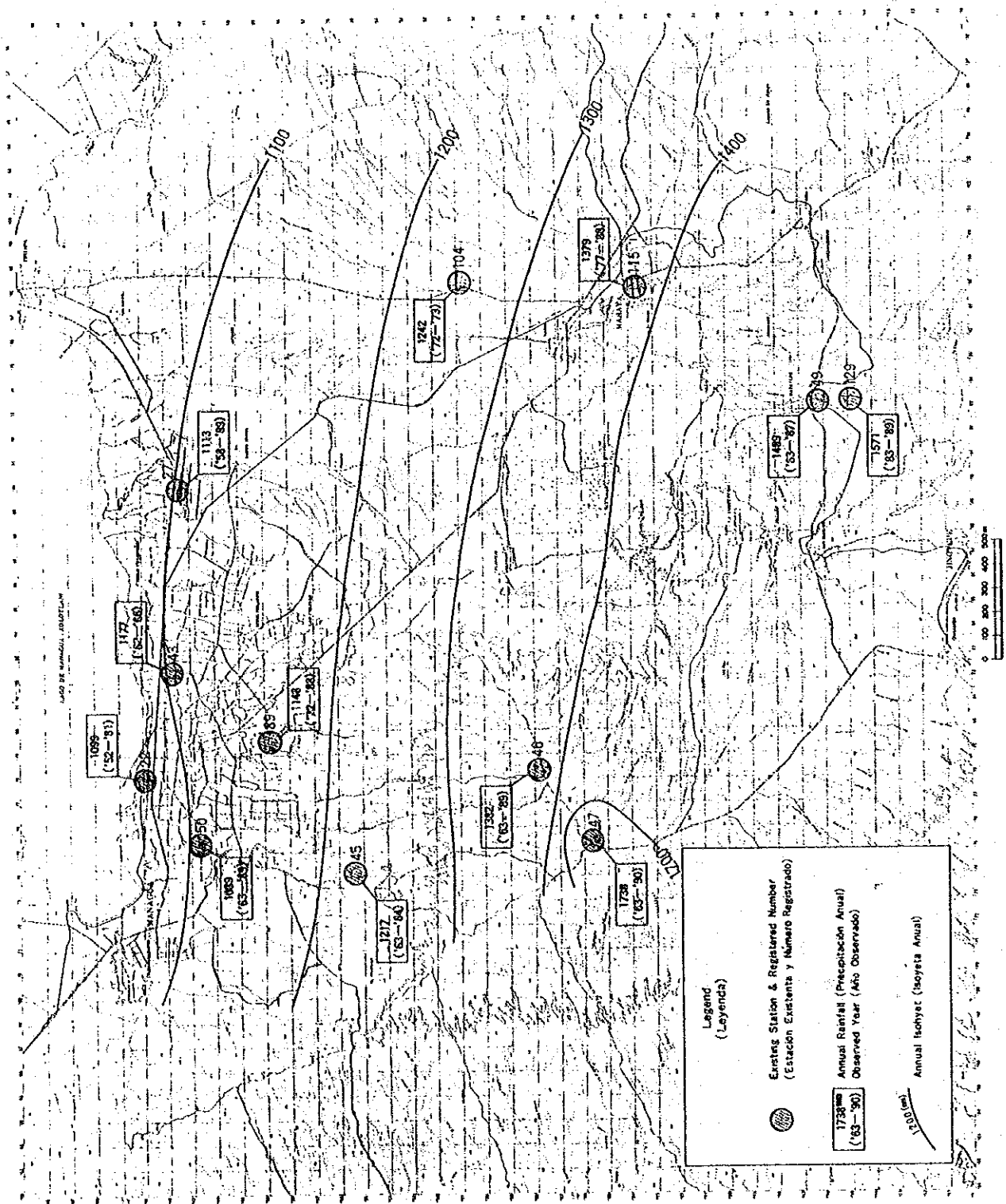
4.2 Clima

El clima del Area de Estudio es clasificado como clima trópico de sabana, la temperatura promedio es de 25,6°C durante el mes de diciembre y de 28,8°C en abril.

La estación lluviosa (invierno) comienza en mayo y termina en octubre o noviembre, mientras que la estación seca (verano) comienza en noviembre y finaliza en abril. La Fig. 4.2.1 muestra la temperatura y la distribución de la precipitación en las estaciones A.C. Sandino y Masatepe. La precipitación media anual varía entre 1100 mm y 1500 mm dependiendo de la elevación. El valor más bajo se observa en la costa sur del lago de managua y el más alto en el área montañosa. La Fig. 4.2.2 muestra las estaciones metereológicas y la isohieta anual en el Area de Estudio.

La evaporación anual varía de 1800mm a 2700mm casi en correspondencia con la elevación y la evapotranspiración potencial se considera alta.





4.3 Agua Superficial

El sistema de drenaje del Area de Estudio está dividido en cinco áreas de captación de las cuales la I y II (342 km²) comprenden el área occidental montañosa y la costa del lago de Managua y la III y IV junto con el área de captación de la laguna de Masaya (533 km²) comprende el área de las ciudades como Masatepe, La Concepción, en el sur la laguna de Masaya y en el noreste el río Mocuana (ver Figura 4.3.1).

Area de captación I	120 km ²
Area de captación II	222 km ²
Area de captación III	136 km ²
Area de captación IV	183 km ²
Area de captación de la laguna de Masaya	219 km ²
Total	880 km ²

En el Area de Estudio existen cinco lagos incluyendo el lago de Managua que es el segundo lago más grande de Nicaragua situado en la parte norte de la ciudad. Toda el agua superficial y el agua subterránea correspondiente al área de captación fluye hacia este lago. El río Tipitapa tiene conexión con el lago de Nicaragua que es el lago más grande de Centro América, sin embargo, este río normalmente se mantiene seco debido a la ausencia de flujos de entrada y de salida en el mismo.

Históricamente la laguna de Asososca ha sido la fuente de abastecimiento de agua para uso doméstico en la ciudad de Managua. La laguna está situada en la parte noroccidental del área de Estudio y en el presente ésta representa el 30% de las fuentes de agua.

Existe además una zona de manantiales a larga escala, con una elevación de 50-60 m situados en la parte este del Aeropuerto al noreste del área de Estudio. La descarga total de esta zona se considera como el flujo base del área de captación superior, por ejemplo: la sub-cuenca III y la cuenca de la laguna de Masaya.

El río Mocuana es el único río perenne en el Area de Estudio y su agua proviene de la recarga de agua subterránea de la zonas de los manantiales arriba mencionados. De acuerdo con datos de las mediciones de descarga realizadas en 1991-1992 la corriente de flujo del río Mocuana se calcula es de 10-1,40 m³/seg y el flujo base total de la zona de los manantiales se estima que es mayor que 1,35 m³/seg. Otros ríos situados en la parte occidental del Area de Estudio son estacionales y fluyen normalmente sólo después de 2-3 horas de lluvia fuerte, en el área aguas arriba, durante la estación lluviosa.

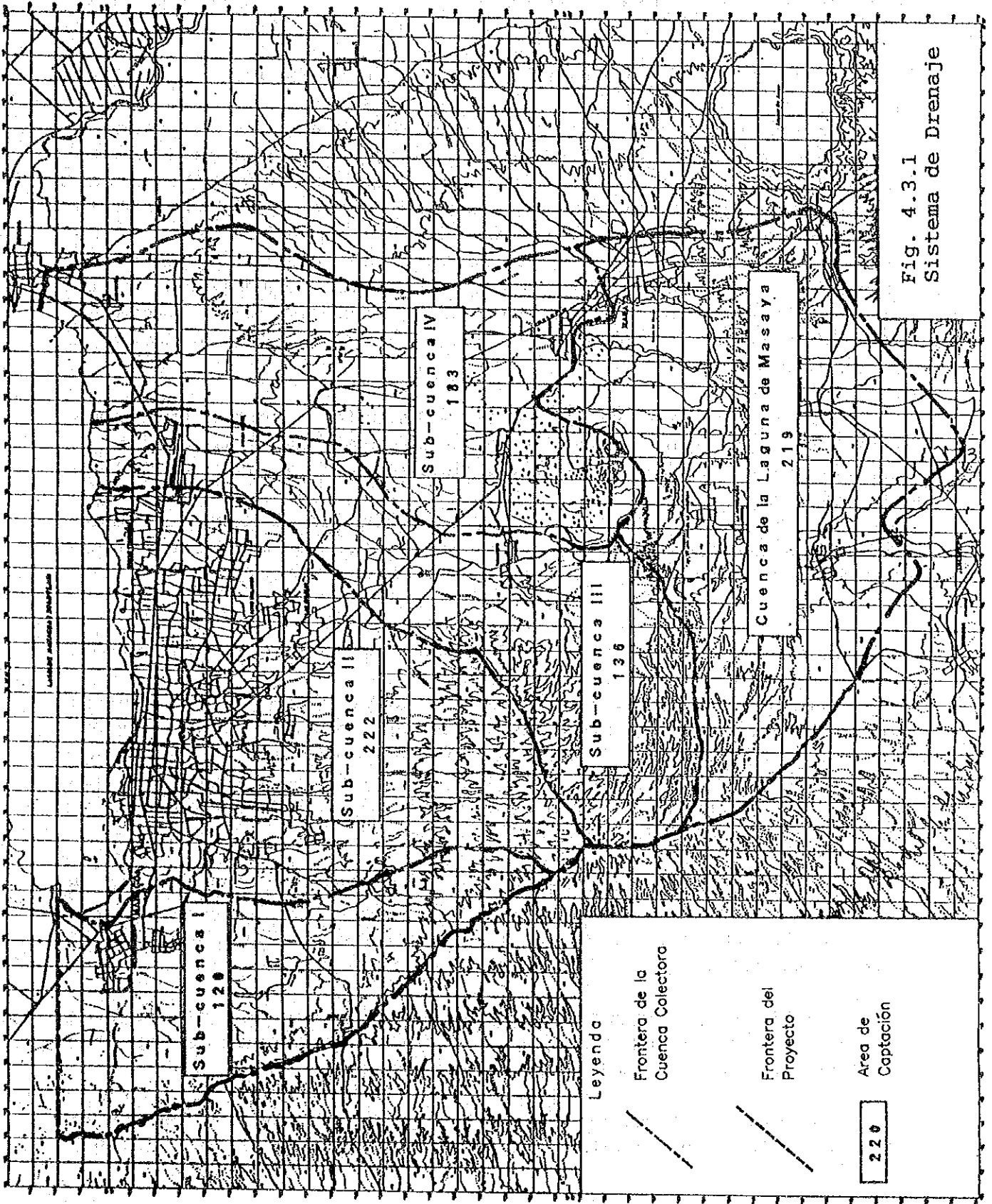


Fig. 4.3.1
Sistema de Drenaje

4.4 Nivel de Agua Subterránea

(1) Nivel de Agua Subterránea en el Area de Estudio

El monitoreo continuo del nivel de agua y la observación simultánea durante las estaciones lluviosa y seca respectivamente se realizó con el propósito de evaluar las características del agua subterránea en el Area de Estudio. Los resultados de la observación se muestran en el mapa de nivel freático que aparece en la Fig. 4.4.1. El agua subterránea fluye en la parte occidental montañosa a lo largo de la pendiente montañosa hacia el lago de Managua, sin embargo se observa que ésta cambia su dirección hacia la laguna de Asososca debido a la gran descarga de extracción.

En la parte oriental del Area de Estudio el agua subterránea fluye desde la zona montañosa suroccidental hacia la caldera y la laguna de Masaya y cambia su dirección hacia el norte del lago de Managua.

El agua de los manantiales que se observa en las área bajas de Sabana Grande a 50-60 m sobre el nivel del mar es el punto terminal de este flujo de agua subterránea.

(2) Nivel de Agua del Lago de Managua y de la Laguna de Asososca

La laguna de Asososca mencionada en la Sección 4.3 ha jugado un rol muy importante como fuente de agua para uso doméstico en la ciudad de Managua. Sin embargo, su nivel de agua ha estado en decrecimiento constante debido a la sobre extracción desde 1980, en 1992 el nivel de la laguna era de 35,0m en contraste con el del lago de Managua que fue de 36,5m.

La Fig. 4.4.2 muestra el nivel freático alrededor de la laguna de Asososca en los años 1963, 1970 y 1978, se puede ver claramente que el nivel de agua ha continuado decreciendo por la sobre extracción.

La Fig. 4.4.3 muestra los niveles de Asososca y del lago de Managua se puede observar que el nivel de la laguna de Asososca en 1968 es menor que el del lago de Managua.

La Fig.4.4.4 muestra el nivel de agua de la Laguna de Asososca, la precipitación y la extracción en los años 1972-1991.

El agua del lago de Managua está contaminada por el drenaje doméstico y de las fábricas de la ciudad de Managua. Se considera que la intrusión de agua desde el lago de Managua hacia la laguna de Asososca ocurrirá si el nivel de la misma continúa decreciendo. También en un estudio realizado por INETER se ha señalado que existe la posibilidad que el agua subterránea se contamine con las aguas de desperdicio procedentes de las industrias situadas entre los dos lagos.

Por tanto, la recuperación del nivel de agua de Asososca es un tema muy importante en el Área de Estudio. INAA por su parte ha reducido la descarga de extracción de la laguna desde el año 1989 sin embargo, no se ha recuperado el nivel de manera satisfactoria porque estos últimos años han sido muy secos.

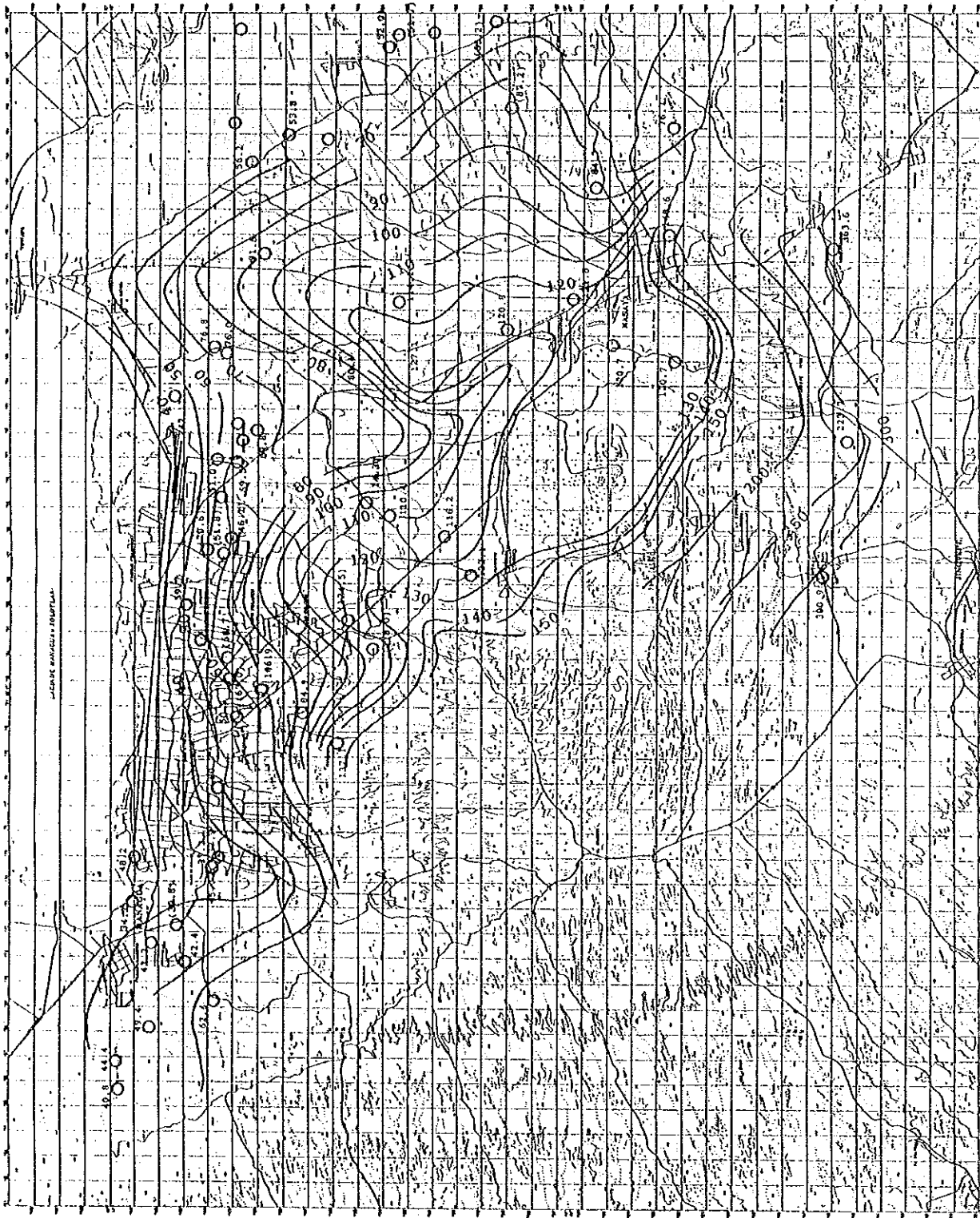
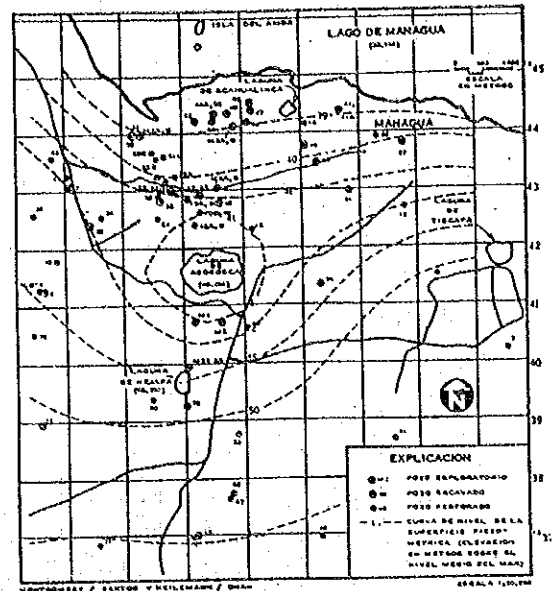
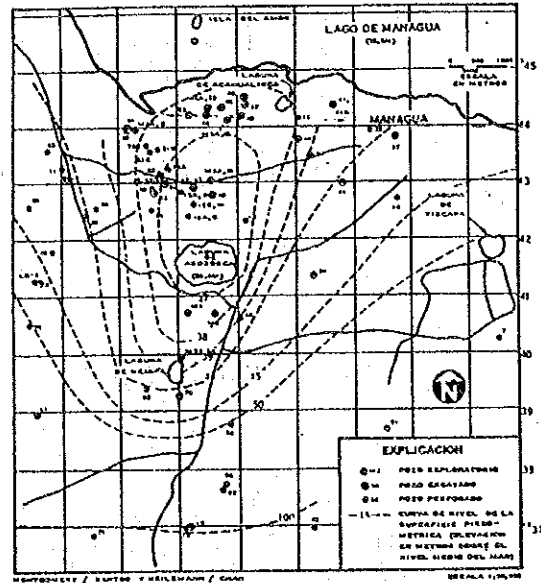


Fig. 4.4.1 Mapa de Curva de Nivel Freático al Final de la Estación Seca del Año 1992

MAYO 1963



MAYO 1970



MAYO 1978

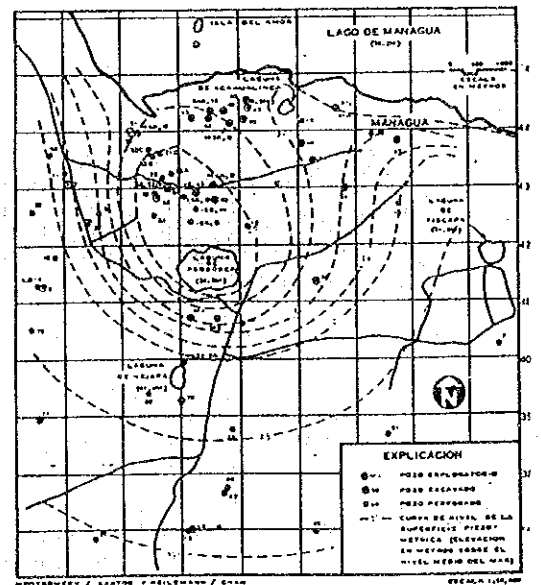


Fig. 4.4.2 Nivel del Agua Subterránea alrededor de la Laguna de Asosoca en 1963, 1970 y 1978

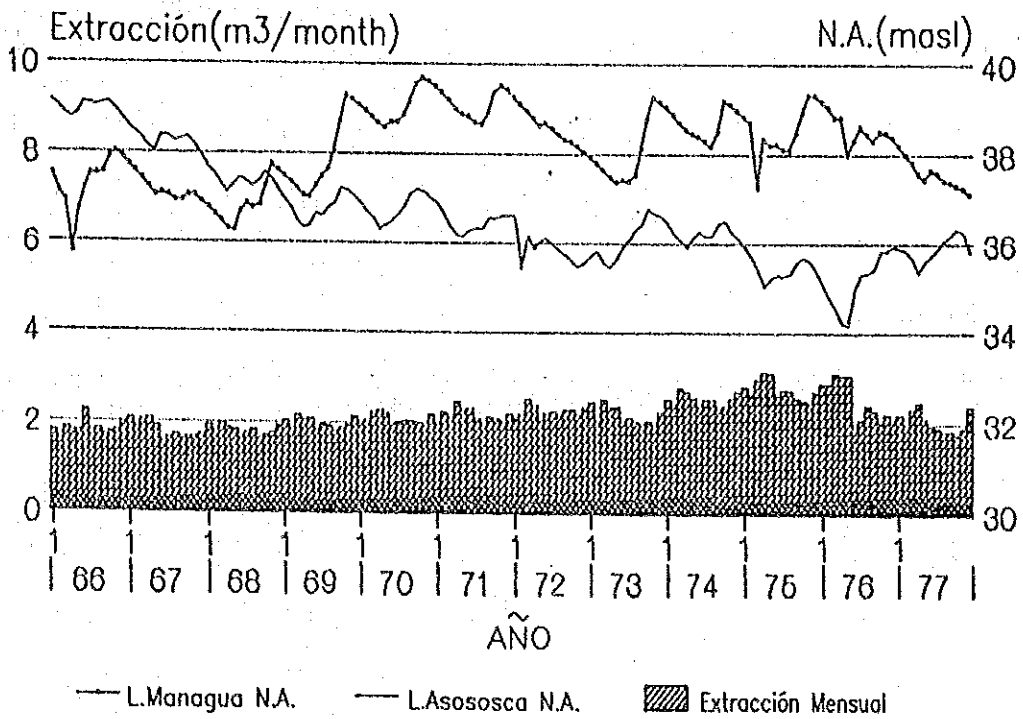
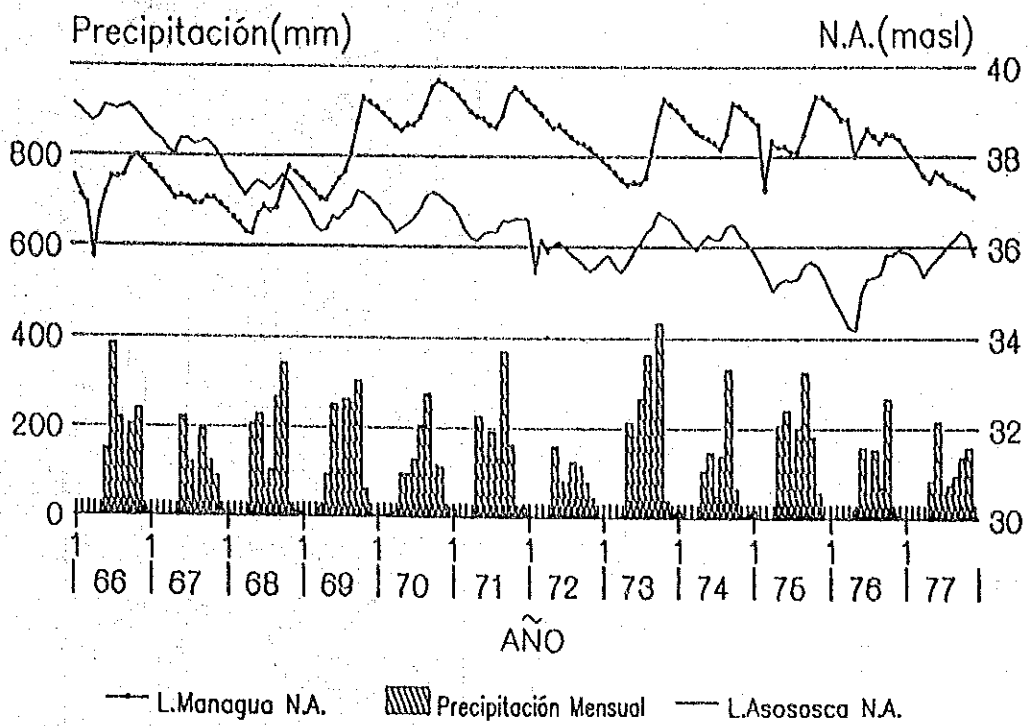


Fig. 4.4.3 Niveles Mensuales de Agua del Lago Managua y de la Laguna de Asososca

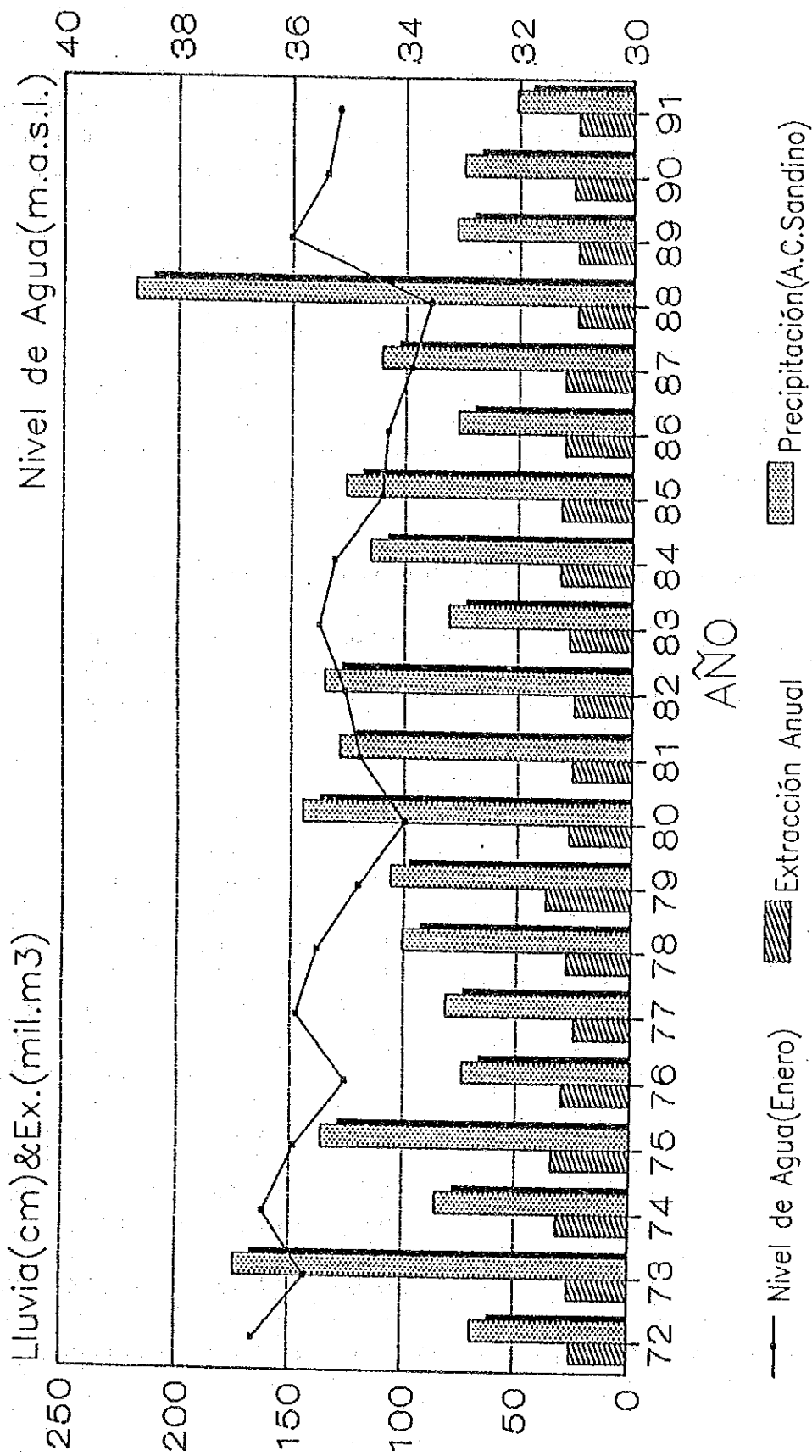


Fig. 4.4.4 Nivel de Agua de la Laguna de Asososca

4.5 Uso del Agua Subterránea

De acuerdo con los resultados de la investigación sobre el uso del agua en 1991 la extracción de INAA para el abastecimiento de agua potable representó el 90% de la producción total mientras el uso de agua para irrigación y para la industria fue muy pequeño.

Unidad: millones m³

INAA	98,01
Municipalidad	6,65
Industria	5,88
Agricultura	1,24
Total	111,82

(1) Principales Pozos de INAA Central Managua

En la siguiente tabla se resume la producción anual distribuida entre los principales campos de pozos de INAA Central Managua durante el período 1972-1991 (ver Figuras 4.5.1 y 4.5.2).

Unidad: millones m³ & (%)

Ubicación	1972	1975	1980	1985	1990	1991
Laguna Asososca	25,10 (100)	33,90 (100)	27,20 (49)	31,09 (48)	25,94 (27)	24,00 (24)
Carlos Fonseca	- (0)	- (0)	20,07 (38)	21,39 (33)	20,20 (21)	21,99 (22)
Sabana Grande	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	4,73 (5)	5,45 (5)
Veracruz	- (0)	- (0)	2,05* (4)	2,05* (3)	3,21 (3)	3,89 (4)
Otro	- (0)	- (0)	5,14 (9)	10,12 (16)	40,82 (44)	46,69 (46)
Total	25,10	33,90	55,09	64,65	97,04	102,2

* La producción anual en Veracruz se estima de acuerdo a las horas de operación.

La tabla muestra como han cambiado las fuentes de agua durante el periodo 1972-1991 desde la extracción concentrada en la laguna de Asososca hasta la expansión de la misma a los campos de pozos Carlos Fonseca, Sabana Grande, Veracruz además de otros pozos situados en el área de la ciudad.

En los últimos 20 años la descarga extraída anualmente ha aumentado rápidamente de 1,5 millones m³ en 1972 hasta 6,55 millones m³ en 1991 por la expansión de la ciudad de Managua. Además se considera que durante este periodo el sistema de abastecimiento de agua potable ha mejorado.

La producción de agua subterránea para uso industrial ha disminuido de 10,90 millones m³ en 1972 hasta 5,88 millones m³ en el año 1991 lo que significa el 50%, debido a que muchas fábricas han sido cerradas o se han cambiado al servicio de abastecimiento de agua público proveído por INAA.

El agua subterránea también se ha usado para la agricultura, principalmente para irrigación en el Centro Nacional de Producción de Semillas (CINGB) en Sabana Grande. La cantidad estimada es de 1,24 millones m³ de acuerdo con el área irrigada.

DESCARGA DE BOMBEO ANUAL EN 1972-1991

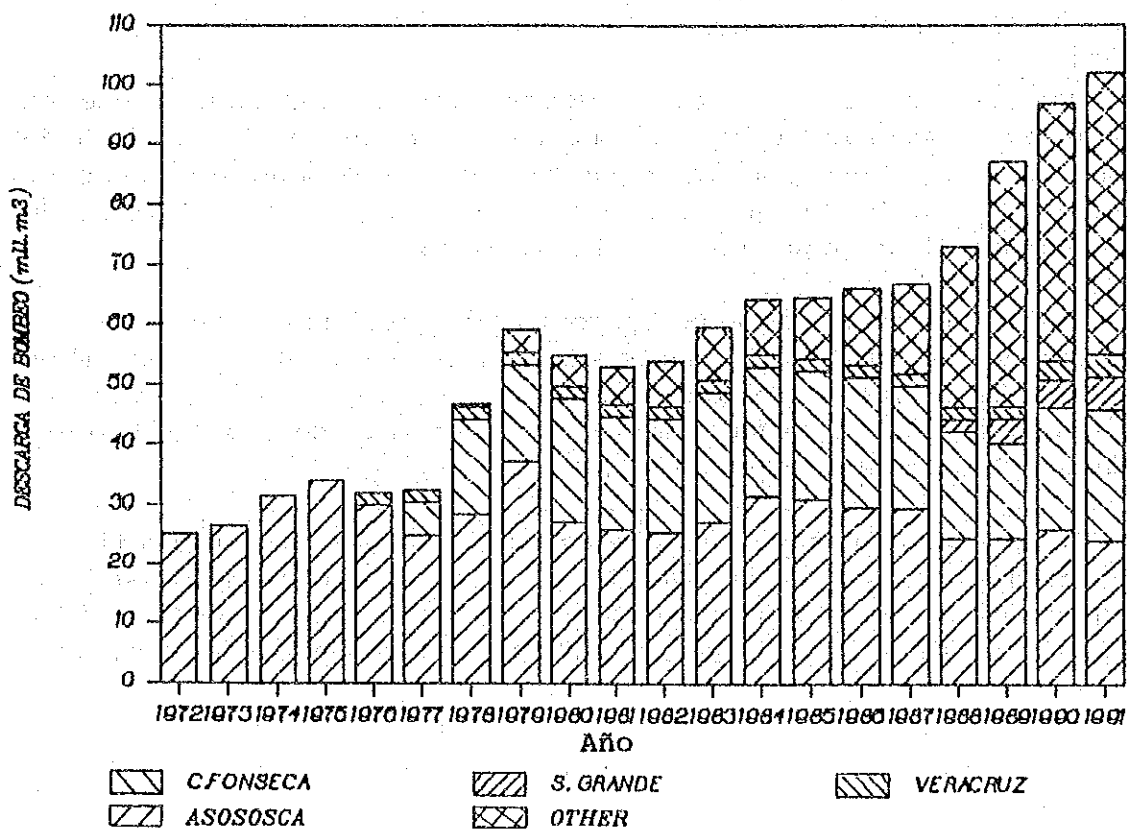
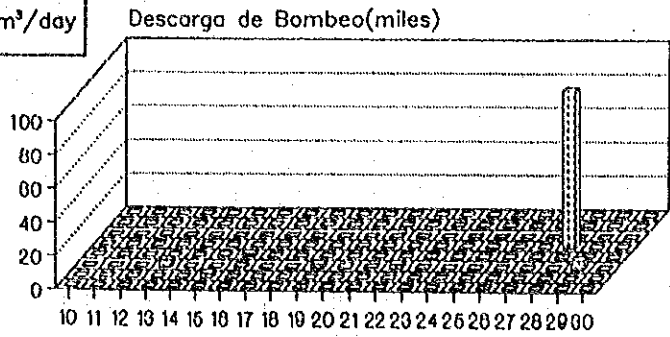


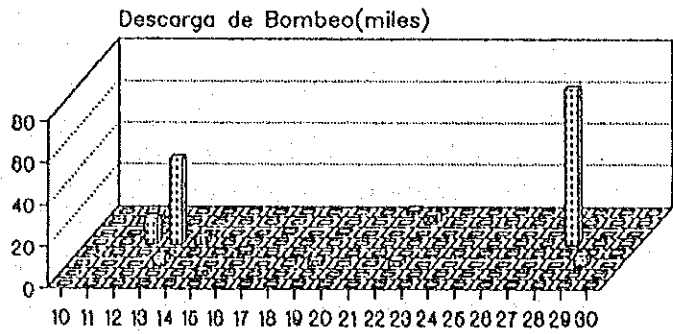
Fig. 4.5.1 Descarga Anual por Bombeo en 1972-1991

Descarga
Unidad :1000m³/day

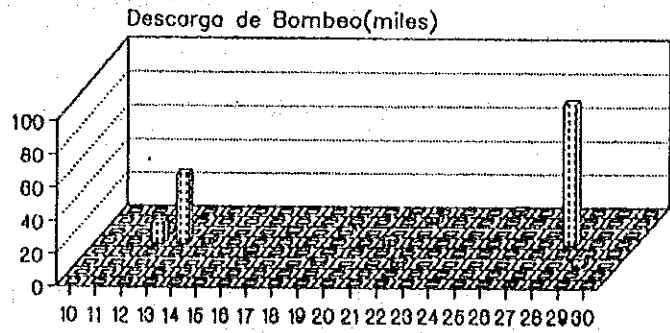
1975



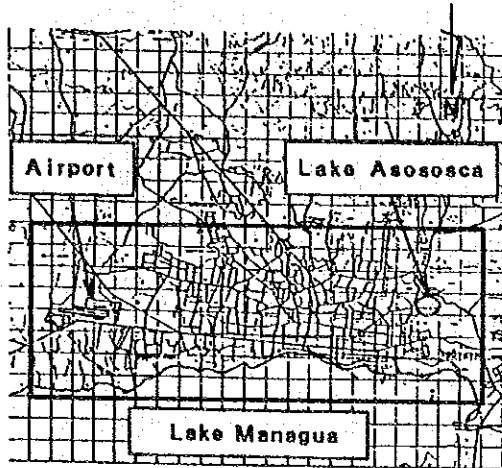
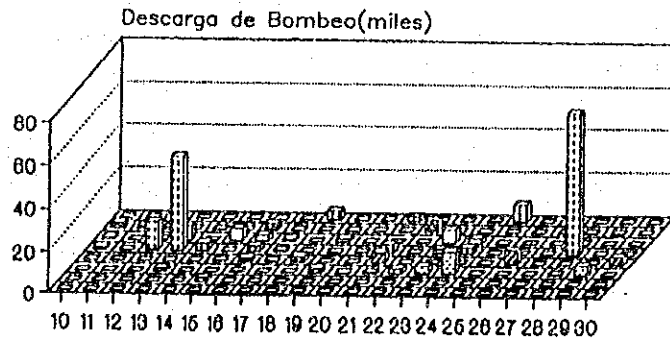
1980



1985



1991



Área Ilustrada

Fig. 4.5.2 Historia de la Descarga Anual por Bombeo en 1km x 1km

4.6 Perforaciones y Pruebas de Bombeo Exploratorias

En este Estudio se realizaron 5 perforaciones exploratorias, a una profundidad cumulativa de 1.266 metros, también se llevaron a cabo pruebas de bombeo en 7 sitios, las cuales tuvieron los siguientes propósitos:

- a) Investigar la forma de Ocurrencia de Aguas Subterráneas, establecer las características hidráulicas del acuífero y evaluar el potencial de los recursos de aguas subterráneas en el área de Estudio.
- b) Examinar la calidad Físico-Química del agua subterránea para determinar su idoneidad para fines de consumo; así como también para aclarar el mecanismo de descarga. Lo antedicho se logró comparando los componentes químicos de las aguas subterráneas de diferentes sub-áreas geohidrológicas y de acuíferos diferentes.
- c) Seleccionarlas áreas de prioridad y formular un plan de desarrollo de aguas subterráneas para las mismas.

Los resultados de las perforaciones exploratorias y de las pruebas de bombeo están resumidas en los Cuadros 4.6.1, 4.6.2 y 4.6.4.

De las perforaciones exploratorias se obtuvieron los siguientes resultados:

(1) Pozo JI-1

Esta perforación exploratoria se perforó para investigar la ocurrencia de las aguas subterráneas y las características hidráulicas del acuífero presente en el Grupo Medio Las Sierras, así como para confirmar la existencia de una capa basal hidrogeológica impermeable, estimada de los resultados de la prospección eléctrica.

Inicialmente, se pensó llevar esta perforación hasta la profundidad de 400 metros; pero debido a difíciles condiciones de inestabilidad mostradas por los flujos de cenizas muy sueltas existentes en el subsuelo del área, de más de 220 metros de espesor, se dejó en 300 metros.

Basados en la información y en datos geológicos existentes se sabe que el Grupo Medio Las Sierras está compuesto,