



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EL SUBSUELO DEL EX-LAGO  
DE TEXCOCO.

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL  
p r e s e n t a

VICENTE ARRIAGA SOLANO



Director de Tesis:  
Dr. RAFAEL MORALES Y MONRROY

México, D. F.

1991



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

SR. VICENTE ARRIAGA SOLANO  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Rafael Morales y Monroy, y - que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero civil.

"EL SUBSUELO DEL EX-LAGO DE TEXCOCO"

- I. INTRODUCCION
- II. ANTECEDENTES
- III. GEOLOGIA DEL VALLE DE MEXICO
- IV. ESTATIGRAFIA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO
- V. DISCUSION
- VI. CONCLUSIONES
- VII. BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se - deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

A t e n t a m e n t e .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Ciudad Universitaria, D.F., a 20 de mayo de 1991.

EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/CRRC/cas\*

## EL SUBSUELO DEL EX-LAGO DE TEXCOCO.

1	Introduccion.	1
2	Antecedentes.	3
3	Geologia del valle de Mexico.	8
3.1	Tectonica.	15
3.2	Zonificacion Geotecnica.	
3.3	Sismica.	
4	Estatigrafia de la cuenca del valle de Mexico.	27
4.1	Estatigrafia del lago de Texcoco.	
4.2	Estudios geofisicos.	
5	Discusion.	83
6	Conclusiones.	89
7	Bibliografia.	94

## EL SUBSUELO DEL EX-LAGO DE TEXCOCO.

- 1 Introducción.
- 2 Antecedentes.
- 3 Geología del valle de México.
  - 3.1 Tectónica.
  - 3.2 Zonificación Geotécnica.
  - 3.3 Sísmica.
- 4 Estratigrafía de la cuenca del valle de México.
  - 4.1 Estratigrafía del lago de Texcoco.
  - 4.2 Estudios geofísicos.
- 5 Discusión.
- 6 Conclusiones.
- 7 Bibliografía.

Quien haya intentado alguna vez presentar una materia abstracta de una manera asequible al gran público, sabe las grandes dificultades que encierra tal empeño, porque o bien logra hacerse comprender soslayando el fondo del problema y presentando al lector solo los aspectos superficiales o alusiones vagas, con lo cual esté se engaña al creer ilusoriamente que lo ha comprendido, o presenta una detallada exposición del mismo en términos tales que el lector no acostumbrado es incapaz de seguir el razonamiento y no se siente con ánimos de proseguir la lectura.

ALBERT EINSTEIN.

a mis padres:

Vicente Arriaga G.  
Gabriela A. Solano de A.

a mis hermanos:

Luis.  
Gaby's.



a mis amigos:

Florentino H.M.

Alejandra D.S.

Jose Luis H.S.

Lilia P. C.M.

## INTRODUCCIÓN

El suelo de la ciudad de México, y del lago de Texcoco son muy parecidos debido a que se encuentran en la misma cuenca, aunque sus características mecánicas han cambiado con el paso del tiempo. El suelo de la ciudad de México, desde los tiempos de los aztecas tuvieron problemas de hundimientos en sus edificios, más tarde los españoles también los enfrentaron, desde entonces la baja capacidad de resistencia del suelo, es un problema, al igual que en otros países.

La mecánica de suelos nace en los E.U. y Suecia en 1913 creando sociedades para investigarlos; un poco después el profesor Karl Terzaghi publicó en 1925 su *Erdbaumechanik* (Mecánica de suelos) en Viena, entonces nace el término ahora mundialmente conocido.

El subsuelo es importante para una obra de Ingeniería Civil, porque es el que recibe todas las cargas muertas y vivas que trasmite la estructura. El subsuelo tiene diferentes formaciones lo cual hace que su capacidad de carga varíe dependiendo la composición del subsuelo, del nivel freático, de la historia de cargas que ha soportado y la forma de comportarse ante sismo, como han evolucionado sus características mecánicas con el tiempo, de aquí la importancia que tiene el subsuelo del ex-lago de Texcoco.

El subsuelo del ex-lago de Texcoco tiene características muy particulares, tanto que representa un reto a la Ingeniería, debido a su baja capacidad de carga, su alta compresibilidad, contenido de agua y límites; todas estas propiedades fueron tomadas de sondeos realizados por la comisión del lago de Texcoco en los años de 1978-1990, estos sondeos son de penetración estándar, sondeos mixtos y sondeos continuos, en los cuales se obtuvieron muestras, que fueron ensayadas en el laboratorio, obteniendo contenidos de agua, límites líquido y plástico; se presenta el perfil estatigráfico para cada sondeo.

En el subsuelo del ex-lago tiene también importancia ecológica debido a la regulación de agua pluvial, agua negra, agua tratada, y a la migración de aves desde Canadá, en el capítulo dos se detalla el proyecto Texcoco, así como sus objetivos y resultados alcanzados hasta hoy.

En el tercer capítulo se realizó una reseña de la geología de la cuenca del valle de México, la cual es de tipo endorreico, debido a la actividad, tectónica, volcánica y sedimentológica en diferentes épocas.

En este capítulo se describe la tectónica que afecta la cuenca desde principios del Mioceno, hasta el Holoceno y las etapas de como se efectúa el cierre de la cuenca convirtiéndola en endorréica. También se trata una zonificación geotécnica para la zona del lago, la zona de transición y la zona de lomas. Se comentan los coeficientes sísmicos elásticos para estructuras en las diferentes zonas así como algunos acelerogramas registrados en el mismo de 1935 para la ciudad de México.

La estratigrafía para la zona del lago está presentada en planta, en el plano número uno, donde se representa como están realizados los cortes estratigráficos, estos se encuentran en los planos 1 al 7, donde la profundidad máxima alcanzada es de 30m

Para obtener un panorama más general de la estratigrafía del lago, se anexa al inciso 1.2 de estudios geofísicos realizados en el lago, y con ayuda del pozo Texcoco, se infiere como está conformado el subsuelo a una profundidad de hasta 3000m.

En el capítulo cinco se realiza una discusión de la estratigrafía encontrada en la zona del ex-lago de Texcoco.

Las conclusiones las encontramos en el sexto capítulo donde se concluye la estratigrafía del lago.

Por último en el capítulo siete se encuentra la bibliografía consultada para realizar este trabajo.

## ANTECEDENTES.

Una serie de acontecimientos de índole geológica configuraron lo que actualmente se conoce como la Cuenca del Valle de México. El intenso vulcanismo en el Cuaternario superior formó la sierra Chichinautzin y obturó su desague hacia el sur, convirtiéndola en una cuenca endorreica. La presencia de lluvias abundantes, provocó la erosión y el arrastre de sedimentos, que combinado con las cenizas de la frecuentes erupciones, originaron el enorme relleno de la cuenca, formándose sobre éste, lagos de gran extensión entre los cuales destacaban el de México, Texcoco, Zumpango, Xochimilco, Xáltocan, Ecatepec y Chalco.

Desde la época Prehispánica, durante la Colonia y el México Independiente se presentaron inundaciones, por lo que fué necesario construir obras de drenaje, éstas fueron: el tajo de Nochistongo en el tiempo de la Colonia, el gran canal del desague y el primer tunel de Tequixquiac, en el México Independiente, el segundo tunel de Tequixquiac y el sistema de Drenaje Profundo en este siglo.

El lago de Texcoco fue uno de los más grandes en el Valle de México, pero debido a las obras mencionadas se desecó progresivamente y en su lecho surgió un escenario degradado, semidesértico, pantanoso e insalubre, donde se originaba el 40% de las "Tolvaneras", (tormentas de polvo y detritus), que periodicamente afectaban a la Ciudad Capital. Resultaba imperioso regenerar el área del antiguo lago de Texcoco, reducir la contaminación ambiental y volver aprovechables los recursos agua y suelo, para fines agrícolas, industriales y recreativos. Por ello en 1971, el gobierno federal crea la Comisión de Estudios del Lago de Texcoco ( CELT ) y en 1974 se constituye la Comisión Ejecutiva del Lago de Texcoco ( CLT ), dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. En la actualidad, luego de la creación de la Comisión Nacional del Agua en 1989, la Ex-comisión tomó el nombre de Proyecto Texcoco.

### El Proyecto Texcoco

Este proyecto, se propone alcanzar los siguientes objetivos:

- Evitar inundaciones en el sistema hidrológico del suroriente del Valle de México, reteniendo y regulando los excedentes de aguas pluviales y residuales provenientes de la Ciudad de México.

- Recuperar el agua para uso doméstico, industrial, agrícola y usos municipales, preservando el agua de calidad posible, que actualmente se destina a usos para consumo doméstico y ganadero.

- Recuperar los suelos salino-sódicos del ex-lago para su aprovechamiento con fines agropecuarios.

- Rescatar y conservar los suelos y el agua en las laderas erosionadas de la cuenca, mejorando el funcionamiento hidrológico, propiciando la recarga de los acuíferos y el desarrollo rural integral de las comunidades comprendidas en esta región.

- Recargar los acuíferos, inyectando agua con el tratamiento avanzado necesario, para su posterior aprovechamiento, en los usos que requieran de esta calidad.

- Propiciar el desarrollo intensivo de la ganadería, floricultura, acuacultura y acuarefilia.

- Erradicar las tolveneras de la zona y mejorar la ecología regional.

El área de influencia del proyecto cubre la subcuenca oriental de los ríos que convergen hacia el antiguo lago como son: San Juan Teotihuacan, Papalotla, Coxcacocaco, Xalapango, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Sta. Monica, Coatepec, y el de la Compañía. La superficie es de aproximadamente 2 000 Km. e incluye 10 000 ha. de la zona federal del ex-lago, directamente a cargo del Proyecto Texcoco.

Para almacenar y regular las crecientes del sistema hidrológico de la cuenca y los afluentes de las plantas de tratamiento, se proyectó la construcción de lagos artificiales para usos múltiples: control de avenidas y usos agrícolas, industriales, servicios y recreación.

El lago Nabor Carrillo, el mayor lago artificial dentro del Valle de México se formó en una superficie de 1 000 ha. mediante el bombeo de 180 pozos de 60m. de profundidad durante seis años, provocando el hundimiento y la consolidación del terreno. El hundimiento máximo logrado fue de 4m. con un volumen de la depresión de 12 millones de metros cúbicos; para alcanzar la

El lago de Texcoco, con una superficie de 12 000 ha. y una altura máxima de 5.2m.

Los lagos Churubusco y de Regulación Horaria, forman un sistema conjunto para controlar las avenidas máximas del Río Churubusco, que drena la zona sur del Área Metropolitana de la Ciudad de México y cuyos escurrimientos, ya controlados se incorporan al Dren General del Valle para su descarga hacia el Gran Canal del Desague.

El lago Churubusco con una superficie de embalse de 267 ha. y 5 millones de metros cúbicos de capacidad, se formó también mediante el proceso de consolidación de las arcillas. Por su parte, el lago regulación Horaria, se construyó en un lapso de 2 años, retirando 4.5 millones de metros cúbicos en un área de 150 ha. utilizando una draga marina.

Se calcula que para el año 2 000 el gasto medio de aguas residuales que cruzarán el ex-lago de Texcoco, será del orden de 24 m<sup>3</sup>/s. por lo que resultó evidente considerar su control y el aprovechamiento de los volúmenes no comprometidos en las áreas de riego localizadas aguas abajo de la zona, mediante el tratamiento y el reuso de éstas aguas para cubrir las crecientes demandas de aquellas actividades que no requieren agua de calidad potable. Dada la creciente demanda de agua, el reciclaje de las aguas servidas, sobre todo en la industria, resulta ya una imperiosa necesidad.

Para el aprovechamiento de las aguas residuales se programó la construcción de Plantas de Tratamiento, que permitirán intercambiar el agua tratada por el agua de calidad potable, que se extrae de los acuíferos y se utiliza en actividades agrícolas e industriales.

Como complemento a las acciones, se realizan diversas actividades para aprovechar integralmente el área como son:

Construcción y operación de estanquería semi-revestida para conducción piscícola con fines de consumo humano.

Para mejorar la ecología en la zona federal, se adecua el habitat y se establecen zonas de refugio y protección de las aves nativas y migratorias.

Se han establecido plantas de tratamiento de aguas residuales, construyéndose una de 900 m<sup>3</sup> para el Distrito Federal y otras en los Estados, así como una planta de tratamiento de aguas residuales para las comunidades de la región; se realizó el acondicionamiento de una superficie de 80 ha. para la reproducción de Zoncho con el fin de se lleve a cabo experimentos para la producción comercial controlada del Gusano de Maquoy.

En coordinación con el D.D.F. se establecen en la zona rellenos sanitarios como parque del aprovechamiento de los desechos sólidos que se generan en el D.F.; estas áreas se convertirán en zonas boscosas que cadyuvorán al mejoramiento ecológico de la zona. Así mismo, se realiza el depósito del material producto de excavaciones del Metro, en áreas previamente seleccionadas por la Comisión, en las cuales es factible su aprovechamiento.

Los suelos del ex-lago, desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos, representan un reto a la ingeniería mexicana; ya que están constituidos por arcillas de alta plasticidad, contenido de agua hasta de un 450%, baja capacidad de carga y de resistencia al esfuerzo cortante, alta compresibilidad y un nivel freático a poca profundidad ( 0.60 a 1.2 m ). Las aportaciones realizadas en este sentido, han sido fundamentales, sobre todo en el diseño y comportamiento de terraplenes, estabilidad de taludes y diseño de cimentaciones.

En el aspecto constructivo, las experiencias obtenidas, han permitido definir el uso de aditivos, recubrimientos epóxicos y los consumos de cementos en las mezclas, para que las obras queden debidamente protegidas contra el severo ataque de las sales (sulfatos y carbonatos).

Con el Proyecto Texcoco, se ha avanzado en el mejoramiento del sistema de drenaje, reduciendo el riesgo de inundaciones en el Area Metropolitana de la Ciudad de México.

Desde 1983 la Ciudad de México no ha padecido graves problemas de tolvaneras y el desolado paisaje del ex-lago ha dejado lugar a extensos pastizales donde prospera el ganado vacuno y lanar. Con las obras de drenaje y subdrenaje se ha avanzado en la recuperación productiva de estos suelos.

Los lagos construidos propician un uso eficiente de los escasos recursos hidráulicos disponibles en la región, han mejorado la ecología y configuran un habitat adecuado para las aves nativas y migratorias.

Se concluyeron e iniciaron su operación tres plantas de tratamiento de aguas residuales con una capacidad instalada de 155 m<sup>3</sup>/s. que permiten asegurar el abastecimiento de agua tratada

de la zona de la montaña. Constituyen además un gran laboratorio para la permanente renovación en materia de tratamiento de aguas.

Los trabajos de conservación de suelos y agua han permitido controlar la erosión de las zonas críticas, mejorar el funcionamiento hidrológico y recargar y conservar los acuíferos de la zona.

El conjunto de estas obras ha permitido avanzar en la neutralización de los efectos negativos del crecimiento urbano en el Valle de México.

En resumen, la continuidad de estas acciones y los resultados obtenidos, demuestran que la estrategia seguida a sido correcta y debe servir de ejemplo para su aplicación en toda la cuenca del Valle de México y regiones similares en el país.



Geología histórica

La cuenca de México está localizada en la parte central del eje tranvolcánico a una altitud promedio de 2000 m.s.n.m. y un área de 9000 km.2 de los cuales 2400 km.2, corresponden a la zona urbana; limitada al sur por la sierra del Chichinautzin, al norte por la sierra de Fachuca que la separa de la cuenca de Tula, al este por la sierra Nevada, y al oeste por la sierra de las Cruces que también define la cuenca de Toluca. (fig. 1).

La actual cuenca tiene una historia geológica derivada de la actividad tectónica, volcánica y sedimentológica de eventos ocurridos en distintas épocas. Desde principios del Mioceno se constituyó como un valle debido a fracturas de la corteza terrestre, por las cuales emanó material volcánico que delimitó parcialmente sus extremos Poniente y Oriente obstruyendo en gran medida el drenaje de ese entonces, la dirección de esas estructuras es NE-SW, también se produjeron fracturamientos simples perpendiculares a éstas.

Durante el Plioceno una nueva actividad volcánica, caracterizada por potentes derrames de andesitas basálticas, producen el cierre del valle en su parte norte, en este periodo los esfuerzos tectónicos dislocan la corteza en grandes bloques y como consecuencia de esto en el Plioceno superior se depositaron, sobre los flancos, Poniente y Oriente del valle potentes abanicos aluviales conocidos como formación Tarango cuya característica descollante es la ausencia de lavas. Cabe mencionar que para esta época empezaron a delimitarse pequeños cuerpos de agua que más adelante conformarían los actuales lagos.

Ya en el Pleistoceno nuevos impulsos tectónicos, con manifestaciones volcánicas que presentan lineamientos E-W, iniciaron el último ciclo de vulcanismo que culminó con el cierre de la parte sur de la cuenca ( sierra Chichinautzin ). Mediante este mecanismo, el valle se transformó en cuenca cerrada desarrollando un patrón de drenaje radial que dio como resultado

el origen de grandes lagos y propició en el Plioceno superior, el relleno de la cuenca a través de una inundación de depósitos aluvio lacustres.

El clima uniformemente cálido y a menudo desértico del Plioceno en las latitudes de la meseta central Mexicana cedió a climas cambiantes y extremos del Pleistoceno. Las causas de esta mutación que afectó toda la tierra hace dos millones de años, aún se desconocen.

Principió el cambio con ligeras mutaciones de periodos calurosos a frios, las que se fueron acentuando hasta hace un millón de años, cuando se inició una gran glaciación (Nebraska), con una duración aproximada de 100 000 años. Siguió un lapso de clima caluroso, el cual cedió renovadamente a un segundo periodo de glaciación prolongada (Kansas). Entonces se produjo un lapso extenso de clima caliente de unos 200 000 años. Este intervalo se denomina en Norteamérica el Yarmouth o el gran Interglacial; imperó de 400 000 a 600 000 años en todo el Orbe.

Siguió un tercer periodo glacial (Illinois), para el cual se han podido determinar que fue separado por un periodo de clima moderado. Esta tercera glaciación terminó al desarrollarse de nuevo un clima relativamente cálido a lo largo de 100 000 a 80 000 años: se le conoce como el tercer interglacial o Sangamon en Norteamérica. De nuevo se fue enfriando el clima, imponiéndose la cuarta glaciación (Wisconsin), caracterizada por tres oscilaciones y dos estadales de clima moderado; terminó hace 10 000 años aproximadamente. Es entonces que principia el Holoceno o Reciente, periodo climático moderado, tendiendo a caliente, o sea el actual.

### Geología física

La geología de la cuenca está compuesta básicamente de rocas volcánicas y sedimentos de origen lacustre, las rocas fueron originadas por varios aparatos volcánicos en diferentes periodos de actividad; se encontraron rocas del Mioceno-Pleistoceno (andesitas, dacitas, riodacitas) en la sierra de las Cruces y Nevada, también en el cerro del Ajusco, del Plioceno-Pleistoceno (basaltos, andesitas), en la sierra de Chichinautzin. Alrededor de las sierras existen alternancias de derrames lávicos, piroclastos y cenizas.

La cuenca de México contiene una gran zona arcillosa donde los par lles de la sierra del Chichinautzin en la cordillera, mientras que los rellenos del vaso están constituidos en su parte superior por arcillas lacustres, y en su parte inferior por elásticos derivados de la acción de rios, arroyos, glaciares y volcanes.

El conjunto de rellenos contiene además capas de ceniza y estratos de pómez producto de erupciones volcánicas menores y mayores durante el último millón de años, también se reconocen suelos, producto de la meteorización de los depósitos volcánicos, fluviales, aluviales y glaciales; estos suelos, hoy transformados en paleosuelos o tobas, llevan el sello del clima en el cual fueron formados, siendo a veces amarillos, producto de ambientes fríos y otras veces de color café y hasta rojizos, producto de ambientes moderados a subtropicales; si el viento los deposita en laderas durante periodos de clima frío, se transforman en suelos inmaduros que con el transcurso del tiempo se convierten en las tobas amarillas que tanto abundan en las lomas. Sin embargo, si se depositan en un lago, como en el antiguo vaso de Texcoco, sus partículas se hidratan, transformandose en arcillas. Por otra parte si se asientan durante un interglacial, o sea cuando impera un clima relativamente caliente, se producen suelos con coloides debido a la actividad fitológica más intensa; estos suelos con el tiempo se transforman en tobas rojizas arcillosas. Los suelos rojos, ricos en coloides, son característicos del Sangamon; abundan por Cuajimalpa. (ref. 14).

Relacionados con los periodos glaciales, especialmente a finales de ellos, están los deshielos, por los cuales crecieron arroyos y rios caudalosos. Los deshielos generaron potentes depósitos fluviales que se reconocen hoy en diferentes puntos de las Lomas, así como al pié de ellas en la transición a la planicie central, formando abanicos aluviofluviales (Deltas).

La cuenca ha pasado desde la formación de la sierra Chichinautzin por dos periodos de glaciación, el Illinois y el Wisconsin y dos interglaciales el Yarmouth y el Sangamon, como se observa en la siguiente tabla.

Años antes de hoy	Nombre del periodo
1X10E4	Holoceno-Reciente
80-10X10E3	4a. Glaciación Wisconsin 3 avances
100-80X10E3	3er. Interglacial Sangamon
300-100X10E3	2a. Glaciación Illinois 2 avances
400-600X10E3	2b. Gran Interglacial Yarmouth
?	2a. Glaciación Kansas
?	1er. Interglacial
-900X10E3	1a. Glaciación Nebraska

( ref.14.)

Uno de los productos típicos que acompaña a los glaciales son los suelos eólicos; brisas de valle o montaña que se desarrollan hoy en día en la cuenca, deben haberse acentuado en los climas glaciales, transformándose en fuertes vientos, los cuales acarreaban volúmenes grandes de partículas de polvo volcánico al lago. Este polvo llamado loess glacial se hidrata fácilmente ( alteración físico-química ) creando las conocidas arcillas lacustres del valle.

Los suelos arcillosos blandos son consecuencia del proceso de depósitos y alteración físicoquímica de los materiales eólicos, aluviales y de las cenizas volcánicas, las cuales formaron secuencias ordenadas de estratos de arcilla blanda, estratos de limo, de arena pumítica y arena basáltica; el proceso sufrió largas interrupciones durante los periodos de

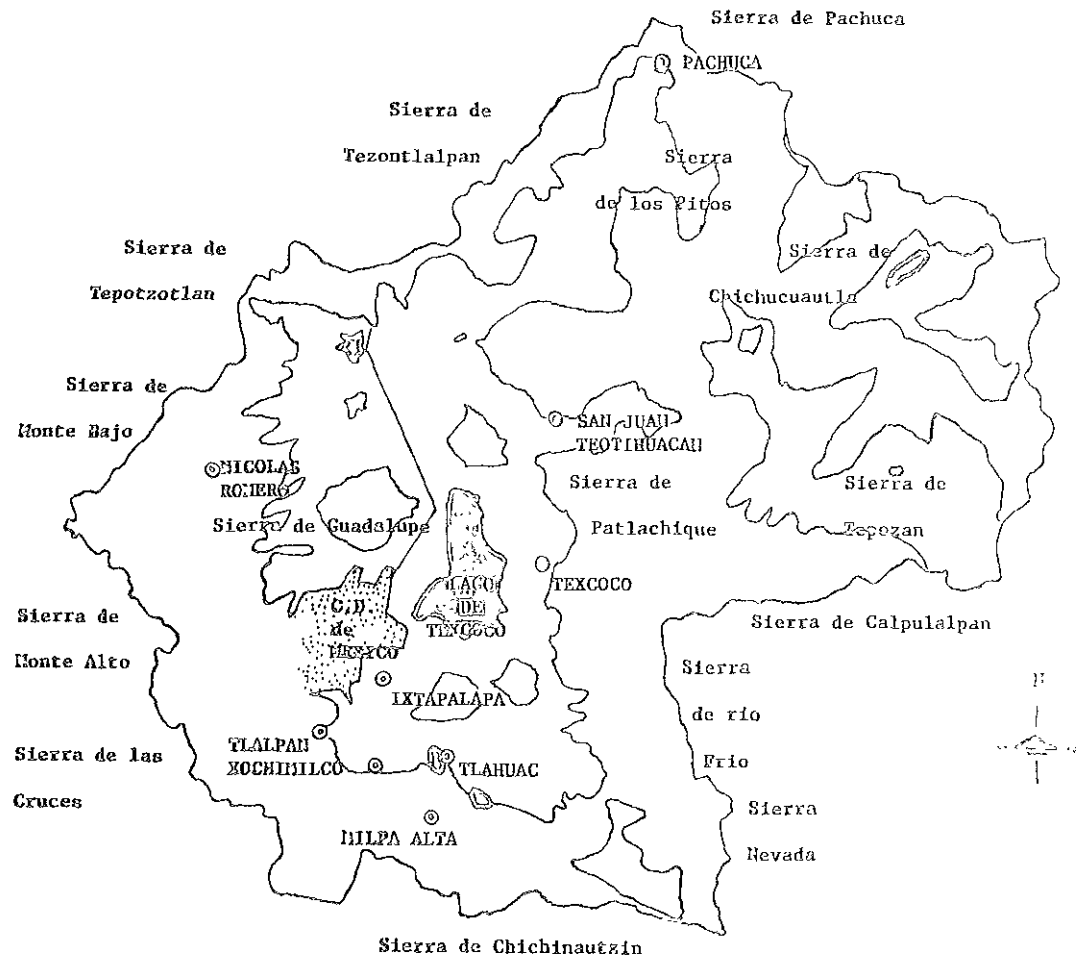
Las costras duras se forman al nivel del lago frío y se forman costras endurecidas por deshidratación o por secado solar. También en las épocas de sequía existió alguna erupción volcánica, formando costras duras cubiertas por arenas volcánicas.

Los espesores de las costras duras por deshidratación solar tienen cambios graduales debido a las condiciones topográficas del fondo del lago, alcanzan su mayor espesor a las orillas del vaso y pierden importancia y aún llegan a desaparecer al centro del mismo. Esto último se observa en el ex-lago de Texcoco, mostrando que esta región tuvo escasos y breves periodos de sequía.

De los trabajos sobre aspectos Paleolimnológicos y Paleopalindológicos que se han realizado en los sedimentos lacustres del ex-lago de Texcoco, es posible obtener información confiable de las edades de la parte superior de la arcillas.

En 1971 se reportaron edades de carbono 14 de un núcleo de la planicie lacustre; a 9 m. de profundidad se obtuvo una fecha de 27 000 años, a 17 m. de 46 000 años. Por otra parte en 1980, de un núcleo del centro del ex-lago y para 2.2 m. de profundidad, reporta 11 680 años y a los 3.2 m. una edad de 18 760 años. De un estudio inédito se reporta un núcleo de 50 m. de profundidad, también en la zona central del lago, reporta para 16.2 m. una edad de 27 100 años, para 10.6 m. de edad de 24 200 años y para 5 m. de profundidad una edad de 22 250 años. De lo anterior es posible estimar una tasa de sedimentación promedio de 0.3 mm/año. por lo que para que se deposite un espesor de 35 m. se requiere de un intervalo de tiempo de 100 000 años. (ref.8).

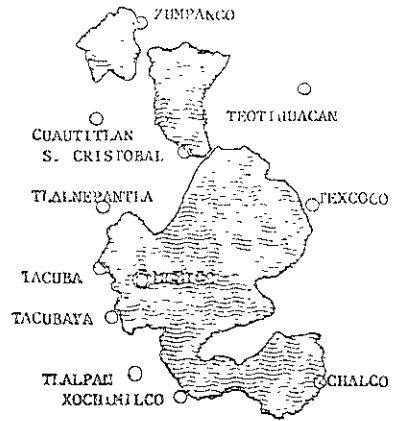
En la cuenca cerrada podía existir un lago cuando las lluvias superaban la evapo-transpiración, el que desaparecía cuando ésta superaba a las lluvias. Obviamente, el factor que dominaba dicho equilibrio era la temperatura ambiental; si el clima se enfriaba, se formaba un lago; si se calentaba, el lago disminuía y hasta desaparecía. Finalmente en la época glacial de los últimos 100 000 años, de alta pluviosidad, la masa de agua se extendió en las partes bajas llegando a formar un solo lago, el cual con la temperatura ambiental ha desaparecido nuevamente casi en su totalidad. (fig. 2).



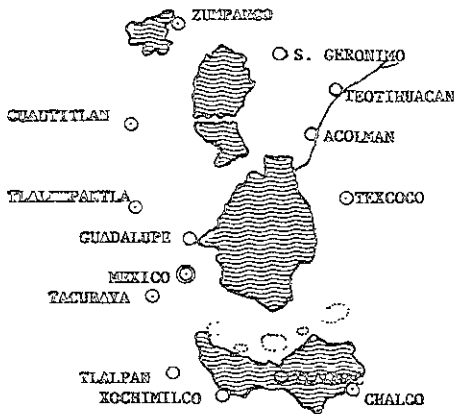
Secuencia del desarrollo de los ríos.



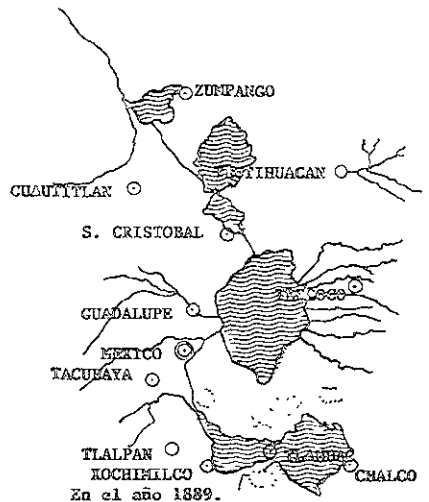
Límites aproximados durante la época Diluvial.



Al comienzo del siglo XVI.



Al comienzo del siglo XIII.



En el año 1889.

## TECTONICA.

La tectónica de placas explica gran parte de los fenómenos que ocurren sobre la corteza terrestre como terremotos, vulcanismo y orogenia.

El argumento central de esta teoría se basa en el hecho de que la mayor parte de la energía mecánica del interior de la tierra, que se disipa en la superficie, se presenta en unos cuantos cinturones orogénicos que rodean grandes áreas de superficie terrestre. En ellas se encuentra la mayor parte de la actividad sísmica y volcánica del mundo.

La corteza terrestre está dividida por doce placas principales, que chocan o se apartan entre si, o sea que están en constante movimiento.

Se ha dado el nombre de placas a las áreas de la superficie terrestre delimitadas por los cinturones orogénicos. El movimiento de dos de estas placas al ser rígidas presentan en algunos casos fenómenos de subducción. En otras, la formación de nueva corteza terrestre o sea alejamiento relativo de las dos placas, y en otras más los deslizamientos paralelos de dos placas a la vez en dirección opuesta.

Las principales placas tectónicas son las siguientes:

Indo-australiana.	Caribe.
Pacífica.	Africana.
Cocos.	Sudamericana.
Nazca.	Euroasiática.
Antártica.	Juan de Fuca.
Norteamericana.	Filipinas.

El eje Neovolcánico Transmexicano constituye una franja volcánica del Cenozoico Superior que cruza transversalmente la República Mexicana a la altura del paralelo 20 (fig. 1). Está formado por una gran variedad de rocas volcánicas que fueron emitidas a través de un importante número de aparatos eruptivos, algunos de los cuales constituyen las principales alturas del país. La actividad volcánica en esta franja ha dado lugar a un gran número de cuencas endorreicas con el consecuente desarrollo de lagos, lo que le da al paisaje geomorfológico una apariencia muy característica.



Los principales aparatos volcánicos que se localizan son estratovolcanos de dimensiones muy variables, como el Fico de Orizaba, el Popocatepetl, el Iztacihuatl, el Nevado de Toluca, y el Nevado de Colima; todos ellos fueron edificados por emisiones alternantes de productos piroclásticos y derrames lávicos. Existen, además, aparatos de tipo cono cónico que son generalmente pequeños, tales como el Parícutin y los aparatos dómicos riolíticos que se encuentran ubicados al suroeste de Guadalajara.

Para la formación de la cuenca existieron tres fases de tectónica:

La antigua; con sedimentos marinos del Cretácico en forma de plegamientos con frentes al oeste. En el norte, al este de Apaxco, aparece el Cretácico inferior cabalgando al oeste; también las calizas en el sur, en el área de Cuernavaca, revelan frentes plegados dirigidos al oeste. De lo anterior se concluye que también debajo de la cuenca los plegamientos estarán dirigidos al oeste.

La intermedia; entre 1 000 y 2 500 m. de profundidad se encuentran secuencias volcánicas del óligoceno, producto de una subducción en una trinchera antigua, frente a la costa occidental de México. Estas vulcanitas se depositaron en grábenes dirigidos al NW. (fig. 2a).

La moderna; la nueva subducción en la Trinchera de Acapulco, activa desde fines del Mioceno hasta el presente, ha reactivado e intensificado el antiguo fracturamiento Oligocénico en el oriente y poniente de la cuenca, creando así las sierras Nevada y de las Cruces. (fig. 2b) También a la nueva subducción se debe la reactivación o creación de fracturas tectónicas dirigidas al NW ( sistema Tlaloc-Apan ) y aquellas dirigidas al ENE ( sistema Santa Catarina ).

La tectónica del área urbana y su extensión a las Lomas del poniente queda reproducida en la fig. 3. Son reconocibles tres direcciones principales de fracturas y fallas: al NW, NE y ENE. Los elementos más viejos por lo general se dirigen al NW; los más jóvenes al ENE. Los que corren al NE tuvieron su actividad máxima en el Pleistoceno inferior. Parece que el hinchamiento, tan típico de Franja Volcánica Transmexicana (FVTM), mantiene en actividad los tres sistemas en los flujos piroclásticos de las arenas azules, con edad de 170 000 años.

Además se registran fallas dirigidas al E-W de la barranca de S. Fé, que afectan los suelos rojos de Cuajimalpa, y producen desplazamientos de 20m en el horizonte Yarmouth. Esto les da una velocidad de 0.05 mm. por año. Se les interpreta a esta fallas

como en Guatemala, México, Colombia, Ecuador y Chile, a las emisiones de lavas del Grupo Andino, son probablemente variantes del sistema Santa Catalina (Fig. 7).

En la República Mexicana los sismos de mayor magnitud ocurren en las costas del Pacífico como resultado de la subducción de la Placa de Cocos. La energía liberada por la ruptura o movimiento de este cuerpo se propaga en forma radial, o través de frentes de onda, alejándose del punto de emisión o foco con una velocidad que depende de las características elásticas del medio rocoso. En términos generales se calcula que un sismo producido en las costas del Pacífico llega a registrarse en la Ciudad de México aproximadamente dos minutos después.

De acuerdo con la geología del Valle de México y considerando las características estatógráficas y mecánicas que presenta el subsuelo en el área urbana, se elaboró un plano de zonificación para la Ciudad de México en el cual se diferencian tres zonas: (ref.17.).

1) Zona de Lomas, 2) Zona de Transición, 3) Zona del Lago.

Dicha zonificación, fué incorporada a los reglamentos de construcciones de 1966, 1976 y 1987 para el Distrito Federal, con objeto de servir a las normas sobre seguridad estructural de las edificaciones; únicamente se cambió la nomenclatura a las zonas y se agregó la zona IV para cubrir sitios inexplorados desde el punto de vista geotécnico.

#### ZONIFICACION GEOTECNICA (ref.14.).

##### Zona del lago.

Esta zona se caracteriza por los grandes espesores de arcillas blandas de alta compresibilidad que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable en cada sitio, dependiendo de la localización e historia de cargas. Por ello, la zona del lago, de acuerdo al nuevo reglamento de construcciones del D.F. se ha dividido en tres subzonas, atendiendo a la importancia relativa de dos factores independientes: 1) el importor y propiedades de la costra superficial y 2) la consolidación inducida en cada sitio.

##### Lago Virgen.

Corresponde al sector oriente del lago, cuyos suelos prácticamente han mantenido sus propiedades mecánicas desde su formación; sin embargo, el reciente desarrollo de esta zona de la ciudad, está incrementando las sobrecargas en la superficie y el bombeo profundo.

## Lago Centro I

Esta es asociada al sector no colonial de la ciudad, que se desarrolló a partir de principios de este siglo y ha estado sujeto a las sobrecargas generadas por construcciones pequeñas y medianas.

## Lago Centro II.

Esta subzona corresponde a la antigua traza de la ciudad, donde la historia de cargas aplicadas en la superficie ha sido muy variable; esta situación ha provocado que en esta subzona se encuentren arcillas fuertemente consolidadas por efecto de rellenos y grandes sobrecargas de antiguos edificios, parques y jardines, arcillas muy blandas correspondientes a antiguos canales. De igual forma, el intenso bombo a que ha estado sometida la ciudad, se refleja en un aumento de resistencia de los estratos de arcilla por efecto de la consolidación inducida.

## Zona de transición.

### Transición interestratificada del poniente

En la franja comprendida entre las zonas del Lago y las Lomas; depositados en esta zona se alternan estratos arcillosos en un ambiente lacustre con suelos gruesos de origen aluvial, dependiendo sus espesores de las transgresiones y regresiones que experimentaba el antiguo lago.

La frontera entre las zonas de Transición y del Lago se definió donde desaparece la serie arcillosa inferior, que corresponde aproximadamente a la curva de nivel donde la Capa Dura esté a 20 m de profundidad respecto al nivel medio de la planicie. Conviene dividir esta transición en subzonas, en función de la cercanía a las lomas y sobre todo del espesor de suelos relativamente blandos; se identifican así las transiciones alta y baja, que se describen a continuación.

### Transición Alta.

Es la subzona de transición más próxima a las cerros, presenta irregularidades estratigráficas producido por los depósitos aluviales cruzados; la frecuencia y disposición de estos depósitos depende de la concordancia o antiguas barrancas. Bajo estos materiales se encuentran estratos arcillosos que sobreyacen a los depósitos propios de Las Lomas.

### Transición Baja.

Corresponde a la transición vecina a la zona del Lago; aquí se encuentra la serie arcillosa superior con intercalaciones de estratos limoarenosos de origen aluvial, que se depositaron durante las regresiones del antiguo lago. Este proceso dió origen a una estratigrafía compleja, donde los espesores y propiedades de los materiales pueden tener variaciones importantes en cortas distancias, dependiendo de la ubicación del sitio en estudio respecto a las corrientes de antiguos ríos y barrancas.

Por lo anterior, puede decirse que las características estratigráficas de la parte superior de la transición baja son similares a la subzona del Lago Centro I o Centro II, teniendo en cuenta que: a) la costra superficial está formada esencialmente por depósitos aluviales de capacidad de carga no uniforme, b) los materiales compresibles se extienden únicamente a profundidades máximas del orden de 20 m, c) existe interestratificación de arcillas y suelos limoarenosos, y d) se presentan mantos colgados.

### Transición abrupta cercana a los cerros.

Es la transición entre las zonas del lago y los cerros aislados como el del Peñón de los Baños, en la que arcillas lacustres están intercaladas con numerosos lentes de materiales erosionados de los cerros y hasta lentes delgados de travertino silicificado.

### Zona de Lomas.

En esta formación se observan los siguientes elementos litológicos, producto de erupciones de los grandes volcanes andesíticos estratificados de la Sierra de los Cristales:

- Horizontes de cenizas volcánicas.
- Capas de erupciones pumíticas.
- Lahares.
- Avalanchas ardientes.
- Depósitos glaciales.
- Depósitos fluvio-glaciales.
- Depósitos fluviales.
- Suelos.

Eventualmente se encuentran rellenos no compactados, utilizados para nivelar terrenos cerca de las barrancas y tapar accesos y galerías de minas antiguas.

Todos estos materiales presentan condiciones irregulares de compacidad y cementación, que determinan la estabilidad de las excavaciones en esta zona; por ello, exceptuando a los cortes en lahares compactos, en los demás depósitos pueden desarrollarse mecanismos de falla.

### SISMICA.

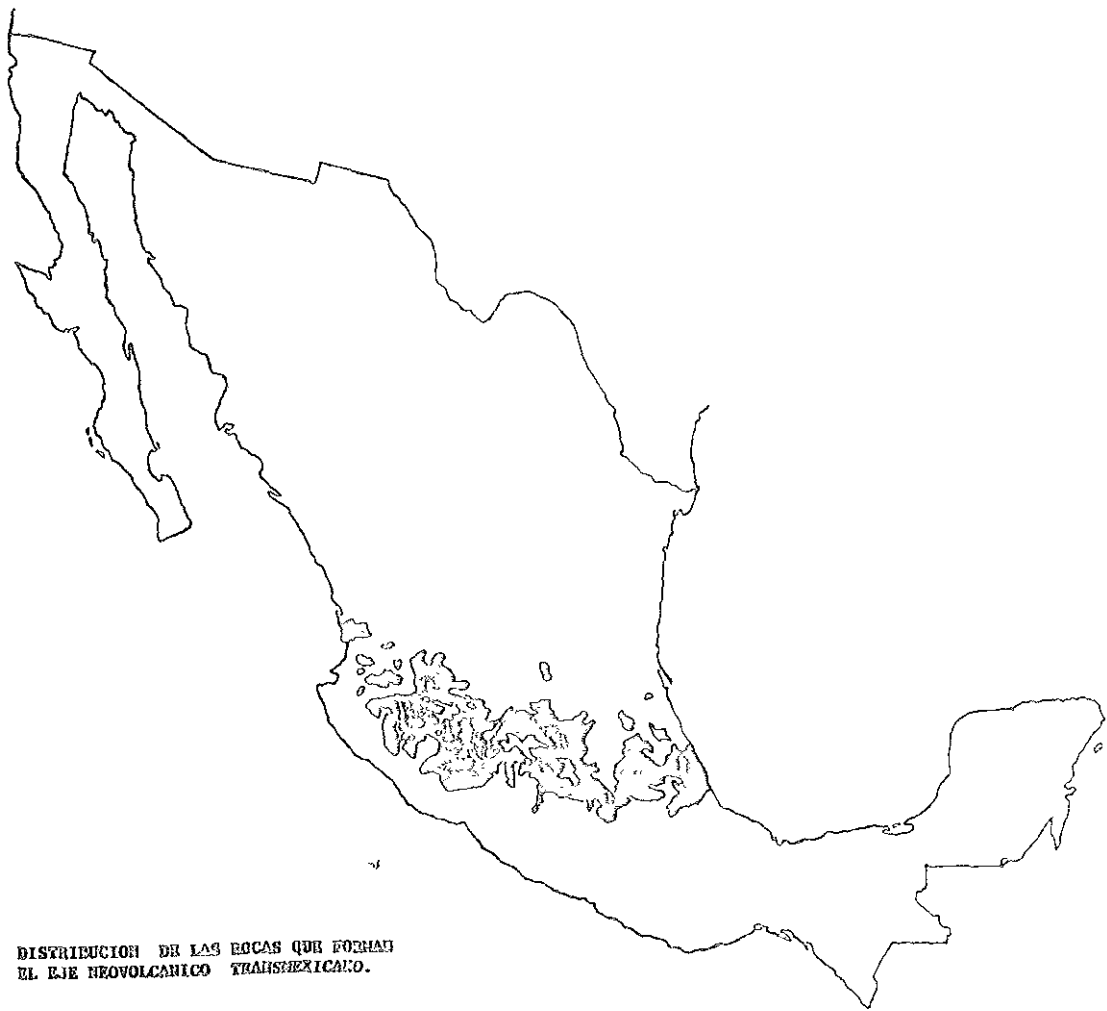
En cuanto a valores del coeficiente sísmico elástico, el reglamento de 1976 proponía valores de 0.16g para las edificaciones que se alojaran en zona de Lomas, de 0.20g para aquellas que se construyeran en la zona de Transición y de 0.24g para las ubicadas en la zona de Lago. Estos coeficientes podían reducir su valor, en función de la ductilidad que fuera capaz de desarrollar la estructura, hasta 0.06g en la zona blanda de la ciudad, valor que se consideraba adecuado para soportar futuros eventos sísmicos en las construcciones, en vista de que el sismo de 1957 había sido el más intenso en la historia de la ciudad. Sin embargo en el sismo del 19 de Septiembre de 1985 se rebasaron considerablemente esos valores razón por la cual a partir del 18 de octubre del mismo año entraron en vigor las normas de emergencia que incrementaron los coeficientes sísmicos elásticos a 0.40g para la zona de suelos blandos y a 0.27g para la zona de transición, permaneciendo sin cambio la zona de Lomas, también se

limita un factor de seguridad de 1.5. Este factor de seguridad se redujo a 1.0 en la revisión de 1976, para edificios de altura superior a 100 metros, y a 1.25 para edificios de altura menor de 100 metros. Este nuevo reglamento de construcciones, de julio de 1976, se refiere, como siempre.

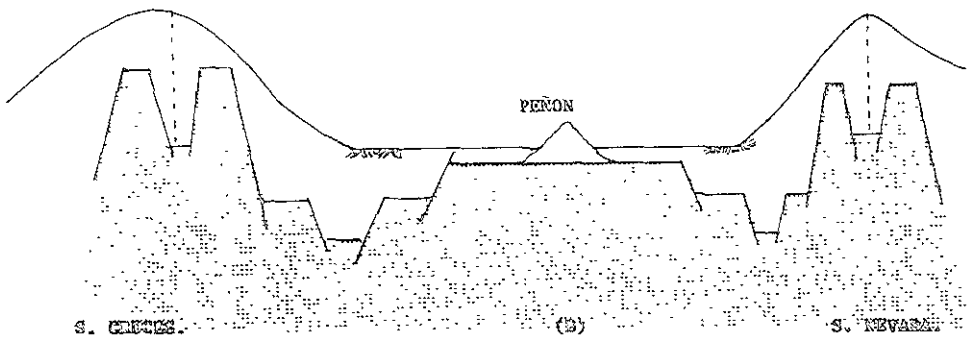
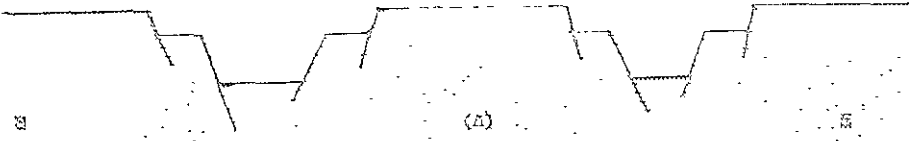
Por otro lado, se ha observado que en sismos muy fuertes, como en el acontecido en septiembre de 1985, la intensidad en la zona blanda de lago es mucho mayor que en las zonas firmes y de transición, debido a que los mantos de arcilla filtran las altas frecuencias y amplifican los movimientos telúricos del subsuelo, fenómeno que no ocurre en las otras dos zonas porque en terrenos firmes las ondas sísmicas llegan muy atenuadas a la superficie. Este comportamiento puede ser fácilmente apreciado a partir del análisis del acelerogramas del sismo de 1985, los registros de Ciudad Universitaria, Central de Abastos y S.C.T. demostraron que los coeficientes sísmicos establecidos por el reglamento eran inadecuados, ya que las máximas ordenadas espectrales, en terrenos de la S.C.T. rebasaron casi cuatro veces a las del espectro de diseño especificado por el reglamento, y en la Central de Abastos lo rebasaron en un 80%.

Con el paso del tiempo, en la Ciudad de México se ha creado una conciencia sísmica que se refleja en la revisión y actualización constante del reglamento de construcciones, el cual se ha estado modificando de acuerdo con el comportamiento de las estructuras ante diferentes eventos sísmicos. Así los reglamentos de emergencia promulgados en 1957 y 1985 tuvieron como finalidad actualizar los coeficientes sísmicos de los reglamentos de 1942 y 1976, respectivamente.

Los acelerogramas que se presentan fueron obtenidos en el sismo de 1985 para diferentes partes de la ciudad, en ellos se puede observar la intensidad para cada zona de la ciudad de México. (ref. 9, 10, 11, 12, 13).



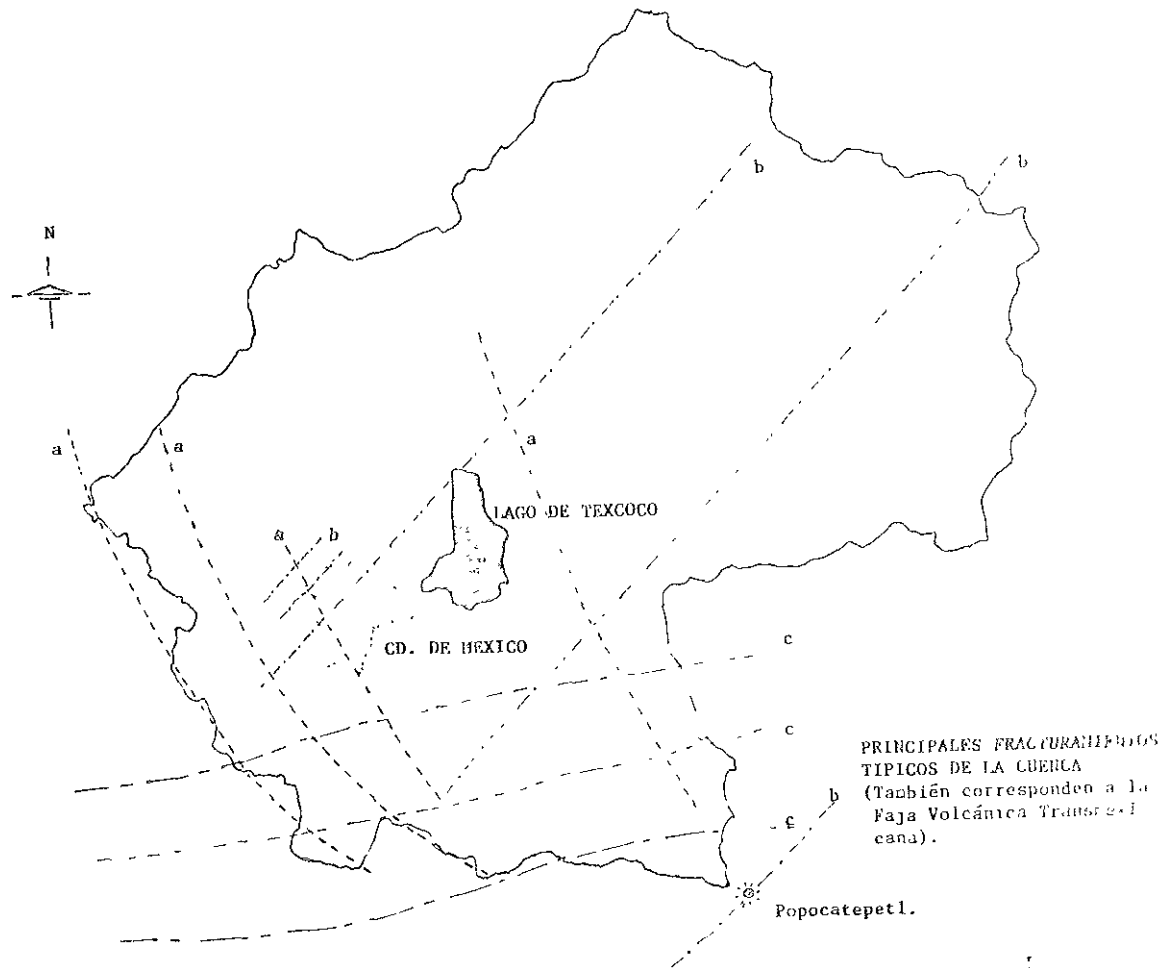
DISTRIBUCION DE LAS ROCAS QUE FORMAN  
EL EJE NEVOLCANICO TRANSMEXICANO.



FOSAS DEL OLIGOCENO (A), Y DEL PLIO-PLEISTOCENO (B), DIRIGIDAS AL NW.

FIG. 2





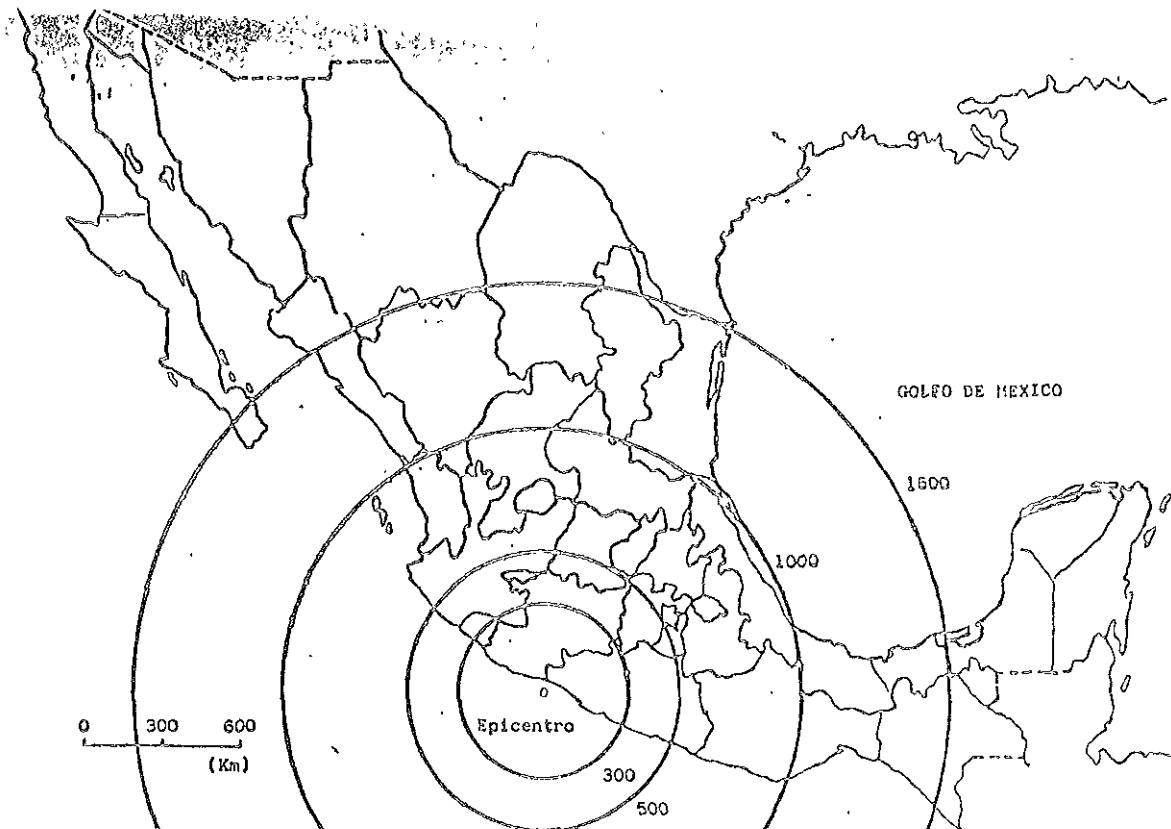


FIG. LOCALIZACION DEL EPICENTRO DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985.

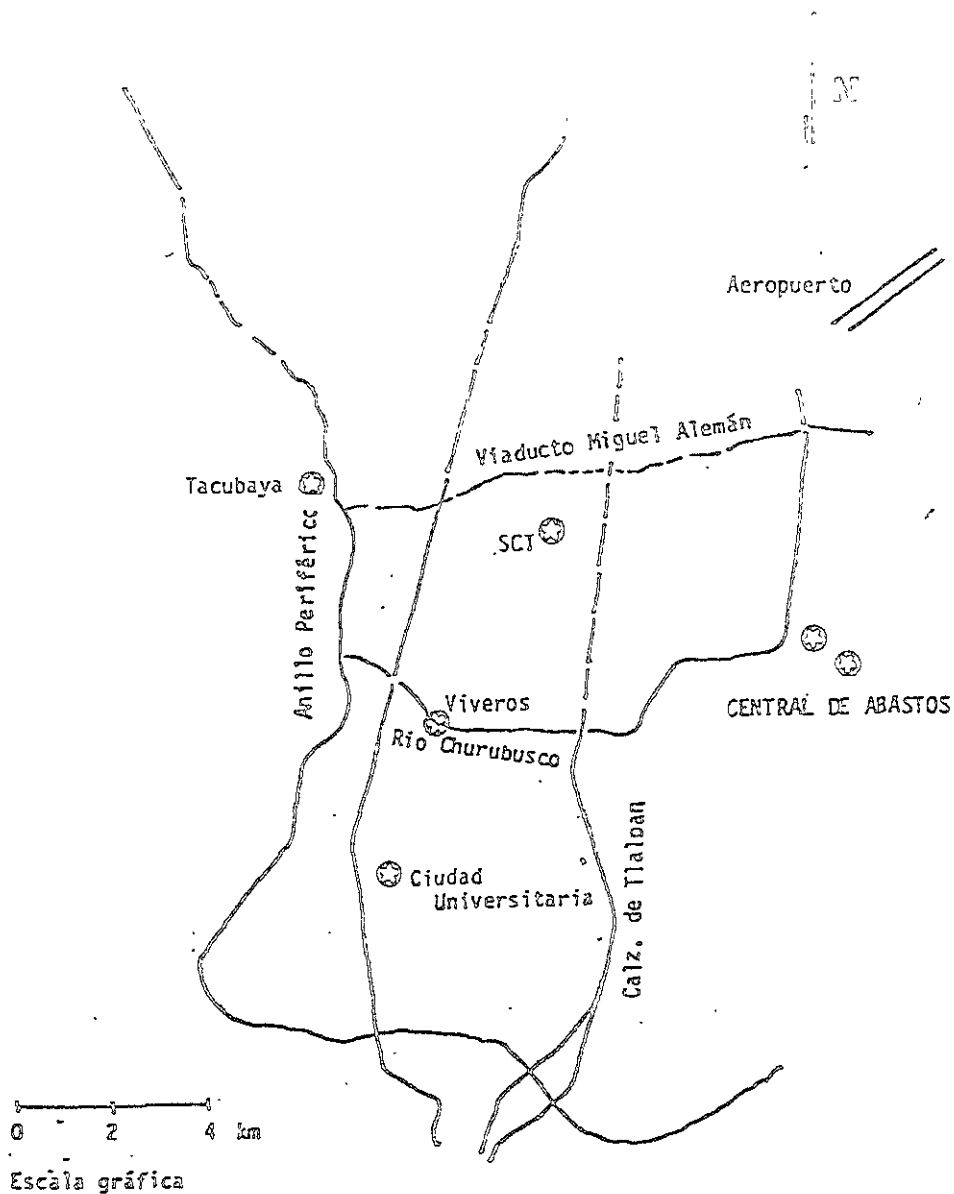


FIG. LOCALIZACION DE ACELEROGRAFOS EN LA CD. DE MEXICO

## STRATIGRAFIA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.

### Depositos del lago.

Los depósitos de la planicie del Valle de México son los que comúnmente se conocen como depósitos del lago. Hay que señalar que ello solamente es válido y correcto para ciertos tiempos geológicos con condiciones climáticas que propiciaban la existencia de un lago.

Como consecuencia de lo anterior, se presentaron transgresiones y regresiones lacustres. El resultado práctico de esta alternancia fue la depositación de arcillas o formación de suelos. El lago subsistía durante las épocas de calor (sequía) en las partes centrales de la cuenca, continuando aquí la depositación de arcillas lacustres; en las partes marginales (transición) ocurría lo contrario, donde entre arcillas lacustres se intercalaban frecuentemente suelos de pradera.

En el último medio millón de años, que corresponde al Pleistoceno Superior, se han desarrollado en el Hemisferio Norte dos glaciaciones (clima frío) con tres periodos interglaciales (clima moderado a caliente). El clima de la cuenca de México ha sido una función directa de dichos cambios, razón por la cual se puede reconocer en la secuencia estratigráfica de los depósitos del lago las grandes variaciones climáticas. Esta circunstancia, combinada con un análisis minucioso de las erupciones volcánicas, de las cuales ha sido posible fechar algunas, ha llevado a una geología climática de los depósitos del lago. Además se ha logrado establecer una correlación estratigráfica de dichos depósitos con las secuencias volcánicas de las Lomas al poniente de la ciudad.

Desde el punto de vista mineralógicos, la arcilla del valle ha sido estudiada por diferentes autores. Zeevaert la describe como arcilla limosa orgánica que contiene grandes cantidades de fósiles, ostracodos y diatomeas, así como cenizas y vidrio volcánico; estima que solo el 40% de las partículas es menor de dos micras y de estas el 50% es montmorilonita o bentonita y contiene del 5% al 10% de materia coloidal orgánica. Algunos otros (ref.) señalan que entre el 22% y el 62% de las partículas que componen la arcilla del valle es menor de 2 micras y que contiene entre 1 y 7% de materia orgánica. Sus conclusiones son similares, en general, a las de Zeevaert, excepto que clasifican a la arcilla como ilitica; sin embargo dos de sus estudios mineralógicos no son concluyentes. Leonards y Girault la clasifican como alofana; no encontraron evidencias de montmorilonita o ilita. Mesri afirma que la arcilla consiste en 5 al 10% de partículas del tamaño de la arena; 55 a 65% de diatomeas silícicas del tamaño limo; 20 a 30% de fracción

arcillosas, la cual puede ser de origen lacustre o marino, o bien de origen volcánico; finalmente hay entre 5 y 10 % de materia orgánica.

Estudios realizados a lo largo de un sondaje indican que las variaciones en la composición de la arcilla son extremas en muestras separadas de 5 a 10 cm. en profundidad. En ocasiones se encuentran lentes puros de microfósiles y de minerales arcillosos (caolín, alúpolita y amorfos). Así mismo es posible encontrarlas con manchas irregulares de ceniza volcánica. La descripción esquemática más adecuada ha sido dada por Zeevaert años antes de que se obtuvieran microfotografías. Se hace notar que al tacto la arcilla, en su estado natural, es en general frágil y quebradiza.

El agua del lago de Texcoco tiene alto contenido de sales, mientras que la del lago Xochimilco-Chalco es dulce. Se infiere que las arcillas del lago de Texcoco fueron formadas en un medio salino, mientras que las del lago Xochimilco-Chalco se sedimentaron en un medio más favorable al crecimiento de vida vegetal y animal. Esto último se corrobora por la presencia de mayor cantidad de materia orgánica en las arcillas de Xochimilco-Chalco.

En 1953 la primera interpretación de la secuencia estratigráfica de los depósitos lacustres, (ref.15.), a la cual se le ha adicionado información reciente, (ref.16.) fundamentalmente sobre la interpretación de edades geológicas y las correlaciones estratigráficas establecidas entre las Lomas y la planicie; en esta interpretación estratigráfica de la planicie ya no se habla de formaciones Tacubaya, Becerra y Tarango, ya que estas unidades litológicas, con excepción de la Tarango, no se prolongan de las Lomas al relleno lacustre aluvial.

El proceso de formación de los suelos del lago implicó que se consolidara bajo su propio peso, excepto en las costras duras, que se preconsolidaron fuertemente por deshidratación o secado solar y que en su parte inferior formaron una zona ligeramente preconsolidada. Considerando que la mesa del suelo predominante era muy blanda y normalmente consolidada, la variación de su resistencia al corte con la profundidad debió ser lineal y seguramente muy similar en cualquier punto del lago. Es factible que en el lago Texcoco, que prácticamente no sufrió etapas de sequía, (ref.14.) y donde el contenido salino de sus aguas era más alto, las arcillas fueron algo más blandas y compresibles que en el resto de la cuenca.

La evolución de la cuenca de drenaje de la zona que el lago central ocupó, durante la vida de la cuenca de Hondo en la zona central, es un proceso de consolidación, en el que se destacan los siguientes factores de influencia:

La colocación de rellenos desde la época precambriana, necesarios para la construcción de viviendas y pirámides, así como para el desarrollo de zonas agrícolas.

- La apertura de tajos y túneles para el drenaje de aguas pluviales y negras, que provocó el abatimiento del nivel freático, lo que a su vez incrementó el espesor de la costra superficial y consolidó la parte superior de la masa de arcilla.

- La extracción de agua del subsuelo, que ha venido consolidando progresivamente a las arcillas, desde los estratos más profundos a los superficiales.

- La construcción de estructuras que ha propiciado el reciente crecimiento urbano.

Las etapas del proceso de consolidación implican la evolución de la resistencia al corte de los suelos, siendo esta mayor con la consolidación.

#### Depósitos de transición.

Los depósitos lacustres del centro de la cuenca van cambiando a medida que se acercan al pie de Las Lomas; lo que ocurre es que entre las arcillas lacustres van intercalándose capas de suelos limosos, cuerpos de arenas fluviales y, en ciertos casos, en la desembocadura de arroyos y ríos, importantes depósitos de gravas y boleas. Obviamente, las aportaciones fluviales de Las Lomas al gran vaso de sedimentación, que es la planicie, se depositan especialmente en el quiebre morfológico Lomas-Planicie (fig. 6).

El lago central nunca fue profundo, de ahí que los arroyos que bajaban por las barrancas y desembocaban en la planicie no lograban formar deltas extensos que se introdujeran mucho a dicho lago.

Los clásticos fluviales y aluviales se acumulaban consecuentemente en el quiebre morfológico y se interestratificaban localmente con la serie arcillosa lacustre inferior; las aportaciones de los glaciales que bajaron en el Illinois Inferior en el río Hondo, Virreyes, Tacubaya, Barranca del Muerto y San Angel, depositando morrenas con fuertes

En la planicie aluvial.

#### Depósitos de las lomas.

En la secuencia estratigráfica de las Lomas se identifican cuatro fenómenos geológicos:

- La erupción subsiguiente de estos depósitos, formándose profundas barrancas.

- El depósito en las barrancas de morrenas, y

- El relleno parcial de esas barrancas con los productos clásticos de nuevas erupciones (flujos piroclásticos rosas y azules).

Las anteriores unidades quedan separadas unas de otras por suelos rojos, amarillos o cafés, según el clima que rigió después de su desplazamiento.

#### ESTRATIGRAFIA DEL LAGO

Para conocer la estratigrafía del lago se realizaron sondeos de penetración estándar, sondeos mixtos y sondeos continuos, con ellos se elaboraron los cortes que a continuación se presentan; todos los sondeos fueron perforados por la Comisión del lago de Texcoco, desde 1978 a 1990 con los cuales se trató de cubrir una mayor área, pero siempre limitada por la ubicación de los sondeos y la separación entre ellos, estos cortes se aprecian en planta, en el plano I A. El nivel freático del lago de Texcoco es casi superficial en la parte centro y tiende a abatirse hacia el extremo norte (caracol) hasta llegar a una profundidad de casi seis metros aproximadamente, esto es debido a la explotación de sal que realiza la compañía Sosa Texcoco S.A.

El corte estratigráfico número uno, fue realizado de norte a sur. Está formado en sus primeros diez metros de profundidad por estratos de arena y limo, en forma irregular y tienden a buzarse hacia el sur. Existen boleos y gravas en el primer metro y arcillas verde olivo de alta plasticidad en los siguientes; de diez a veinte metros se encuentran pequeños estratos de limo gris

cementada, vidrio volcánico, lentes de arena fina de color gris, arcilla volcánica con partículas de concha, arcilla de color verde olivo. En los siguientes diez metros de profundidad se encuentran estratos de vidrio volcánico, arena y limo, está último con una dureza mayor de 50 golpes y mediana plasticidad, variando su color de verde a gris en dirección norte-sur; conforma lo que se llama la primera capa dura.

Para los sondeos SM-11 y SM-12 se muestra a continuación la carta de plasticidad que se obtuvo en el laboratorio, siendo está la descripción para un limo y no para una arcilla como está representada en los cortes. Se supone que no puede haber un cambio tan repentino en la estratigrafía, además que el material no fue manejado adecuadamente, por esto se considera como una arcilla en los cortes.

Corte estratigráfico dos, realizado norte-sur, con estratos de arena pumítica, arena ligeramente limosa, limo gris y arcilla de diferentes colores alta compresibilidad y consistencia suave; después de diez metros existen grumos de limo, estratos de vidrio volcánico, arena fina, limo gris cementado y un poco de fósiles empacados en arcilla. Al llegar a veinte metros, un estrato que buza de norte a sur, limo gris obscuro altamente compacto y cementado, con dureza mayor de 50 golpes, conforma la primera capa dura. También se encontró arcilla limosa negra en la parte norte y tiende a gris en la parte sur intercalada con algunos estratos de limo y arena.

Corte estratigráfico tres, realizado de este a oeste, con algunos estratos de vidrio volcánico, microfósiles y lentes delgados de arena fina gris, y arcilla volcánica negra. En la parte este existe una arcilla gris, que cambia a gris verdoso y luego a café rojizo conforme se aleja hacia el oeste; es de alta compresibilidad y consistencia muy suave; se le llama formación arcillosa superior.

Corte estratigráfico cuatro, de norte a sur, con estratos de arena fina limosa de color gris, vidrio volcánico con conchas y arcilla café en la parte norte y cambiando a verde y gris verdosa hacia el sur en los primeros diez metros de profundidad. En los siguientes diez metros se encuentran estratos de limo gris cementado, vidrio volcánico, arena y arcilla verde olivo a gris verdosa de norte a sur, de alta plasticidad. En los últimos diez metros aflora un estrato de limo cementado de alta dureza (mayor de 50 golpes); buza de norte a sur y representa la primera capa dura.

Corte estratigráfico cinco, de este a oeste, formado por estratos de arena irregular, vidrio volcánico y contenido variable de microfósiles en la parte oeste; Arcilla gris verdosa a café rojizo al oeste, de alta plasticidad y consistencia suave, llamada formación arcillosa superior.



Corte geológico perfil, realizado en este sector con estratos superficiales de gravas, bolsones y arenas, vidrio volcánico y lóssiles en forma irregular, compactados con arcillas en colores que varían de verde olivo a gris obscuro, gris verdoso a rojizo en la parte oeste; a 34 metros de profundidad se encuentra un estrato de limo cementado, de alta dureza, se le llama la primera capa dura.

Corte estratigráfico siete, está realizado en la zona norte de Sosa Texcoco ( Caracol ), con estratos de arena fina, limo, y vidrio volcánico, con nivel freático a seis metros de profundidad, debido a la extracción de agua que realiza esta empresa para obtener sal. En los cortes anteriores el nivel de aguas freáticas se localiza superficialmente.

Con la información obtenida de los sondeos se generó un promedio para el contenido de agua, límite líquido, límite plástico, para la llamada primera capa dura, estos resultados se muestran en la siguiente tabla.

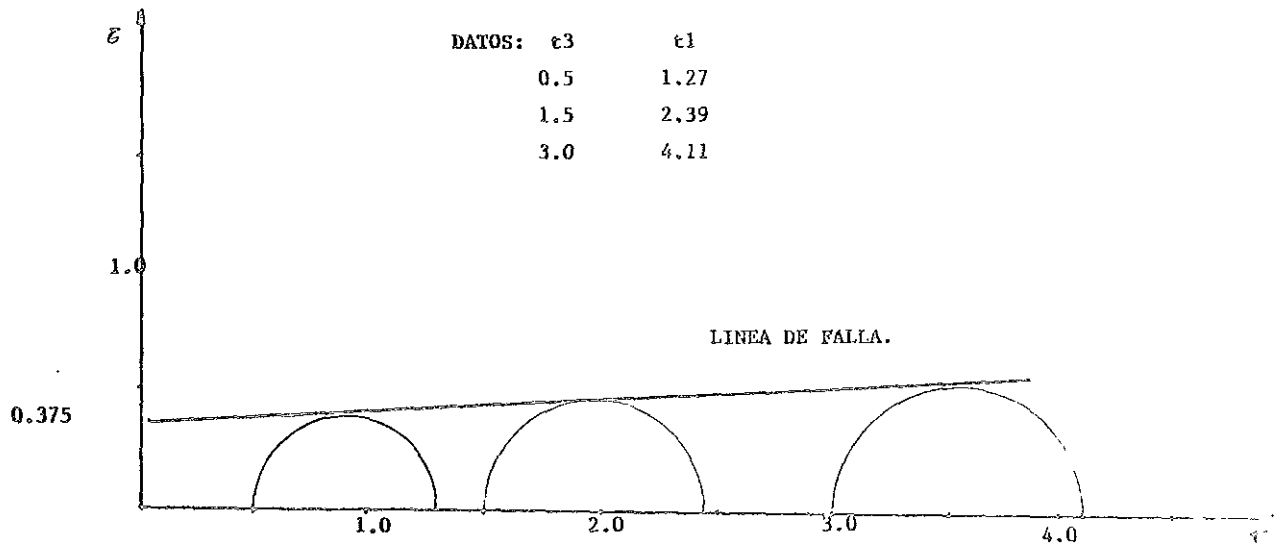
También se realizaron pruebas de compresión triaxial para obtener la cohesión que fue de 0.375 kg/cm<sup>2</sup>, esto se puede observar en la gráfica de los círculos de Mohr que a continuación se presentan.

VALORES MEDIOS DE PROPIEDADES INDICE

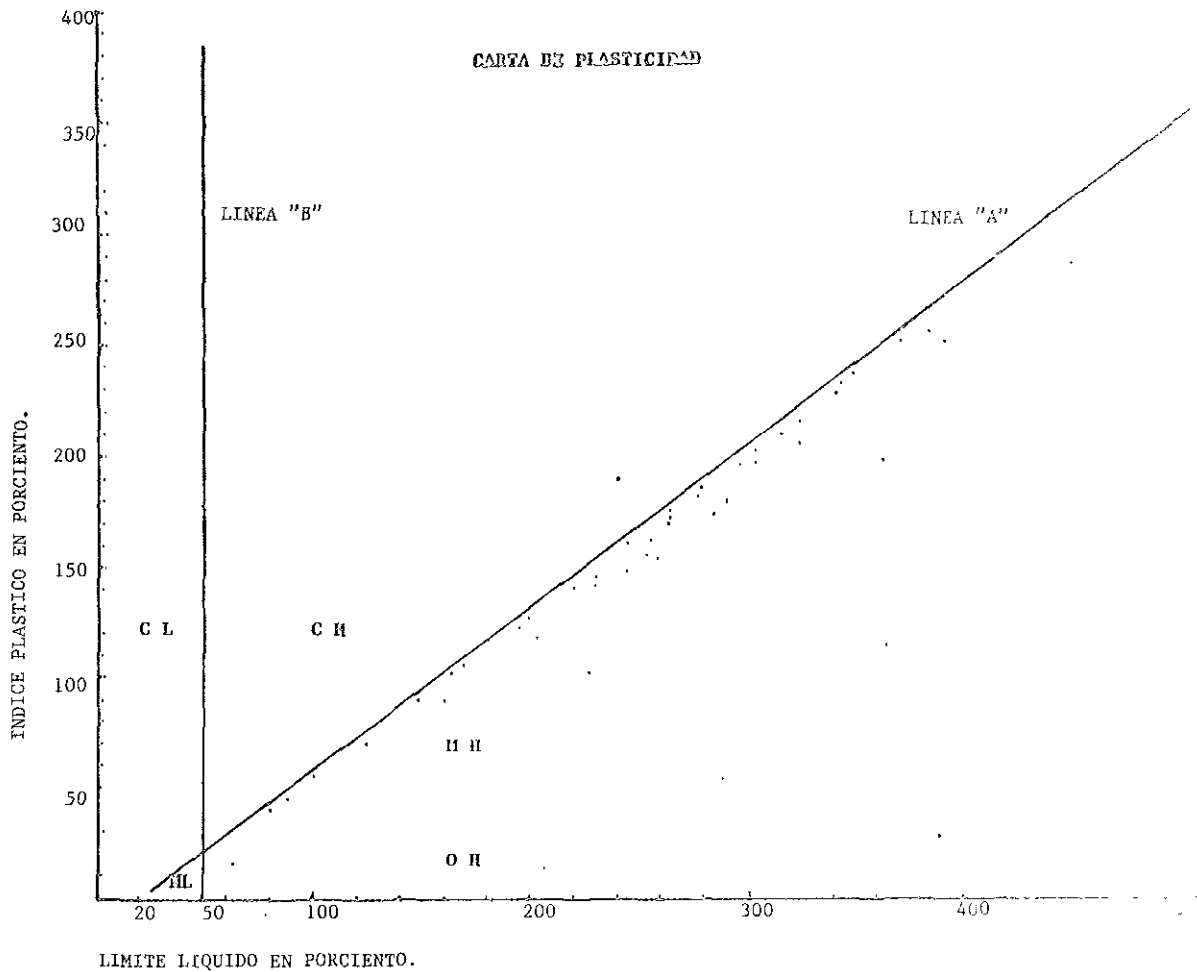
N	S O N D E O	CONTENIDO DE AGUA W(%).	N. LIMITE PLASTICO LP (%).	LIMITE LIQUIDO LL (%).
1	SM-1	255.51	60.00	282.14
2	SM-2	311.85	34.94	341.73
3	SM-3	286.13	54.60	299.60
4	SM-4	263.72	±	±
5	SM-5	279.18	61.00	376.10
6	SM-6	163.19	53.70	190.08
7	SM-7	187.46	±	±
8	SM-8	174.83	56.21	249.73
9	SM-9	124.90	42.66	173.12
10	SM-10	120.77	35.89	137.51
11	SM-11	65.08	103.77	273.25
12	SM-12	227.91	92.27	277.50
13	SC-13	296.18	65.08	326.39
14	SC-14	299.83	97.62	334.20
15	SC-15	263.65	76.27	293.00
16	SC-16	229.44	71.66	288.51
17	SC-17	232.46	77.21	314.42
18	SC-18	235.61	72.71	281.29
19	SC-19	283.32	74.29	332.88
20	SC-20	294.45	31.84	328.41
21	SC-21	304.03	61.30	396.70
22	SC-22	233.58	72.44	314.53
23	SC-23	288.72	77.78	307.35
24	SC-24	189.89	72.85	244.15
25	SC-25	220.66	65.33	275.33
26	SC-26	248.88	75.26	289.57
27	SC-27	225.62	41.69	282.44
28	SC-28	399.71	38.31	517.80
29	SPE-29	131.62	40.56	172.33
30	SPE-30	117.95	38.92	146.25
	P R O M E D I O	231.87	62.34	286.65

± Valores no definidos.

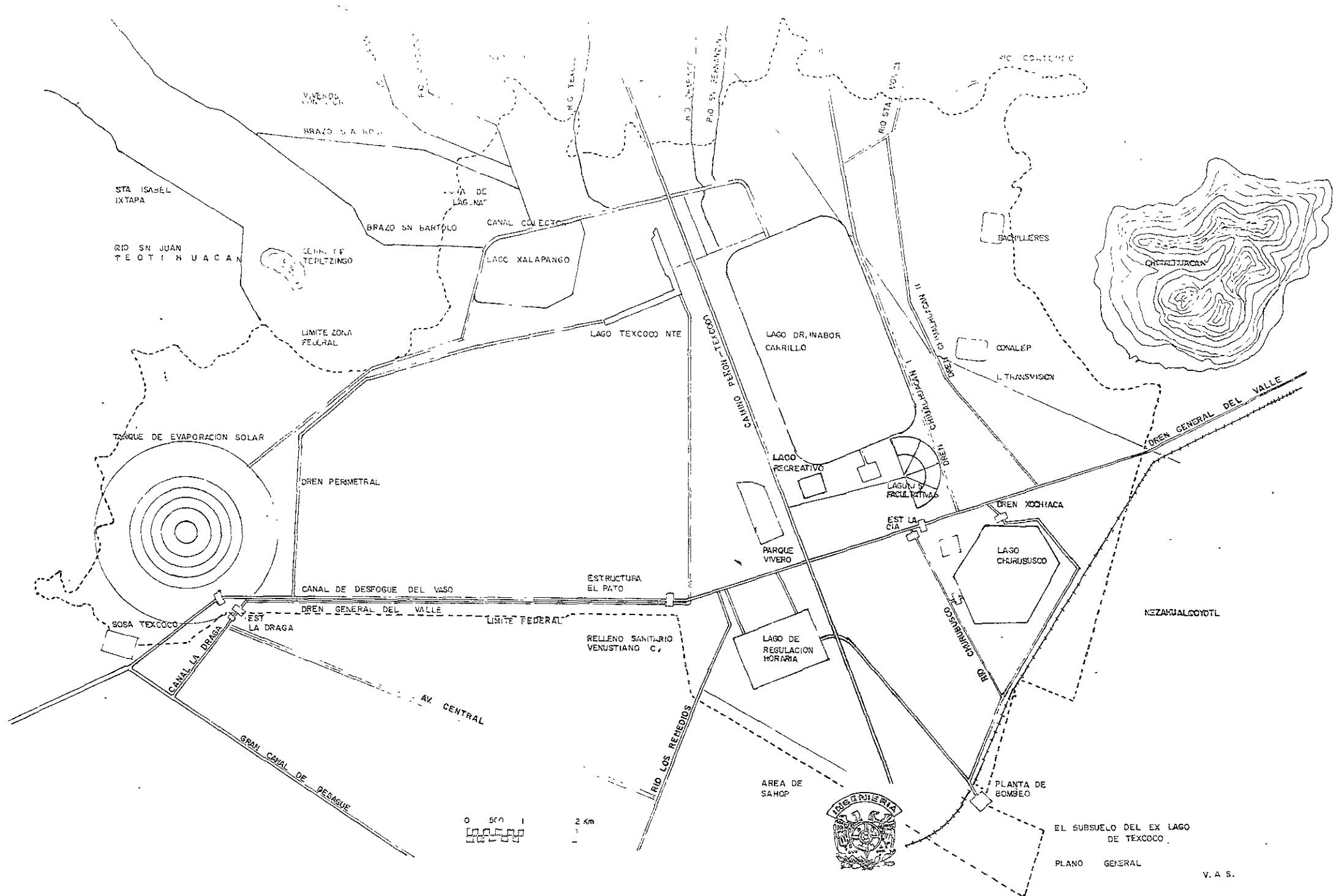
N Numero de sondeos estudiados.

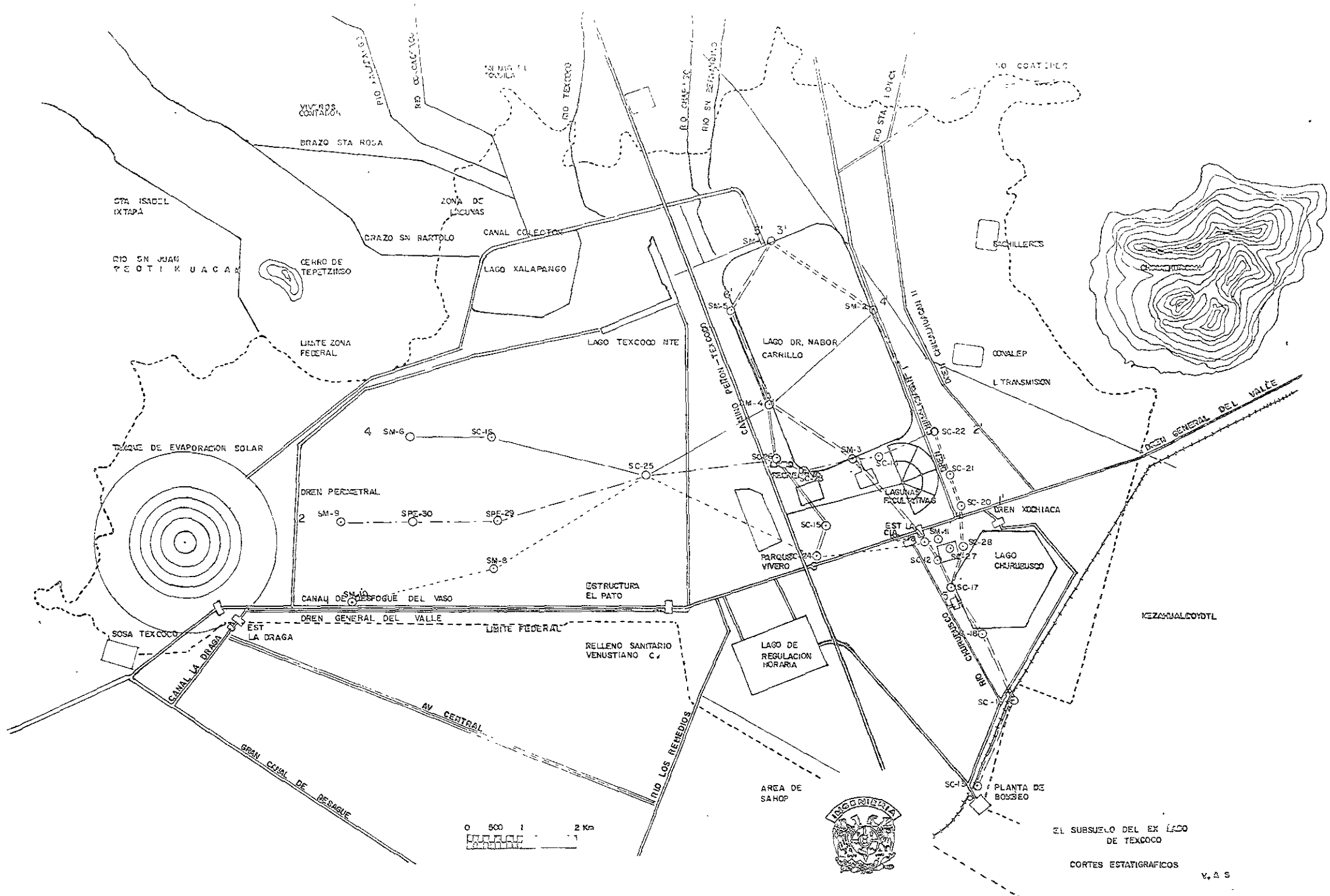


CIRCULOS DE FALLA PARA ARCILLA DEL EX-LAGO.



LIMITE LÍQUIDO EN PORCIENTO.





STA ISABEL  
IXTAPA

RIO SN JUAN  
YEOTIKUACAN

VARIOS  
CONTADORES

BRAZO STA ROSA

ZONA DE  
LAGUNAS

BRAZO SN BARTOLO

CANAL COLECTIVO

LAGO XALAPANGO

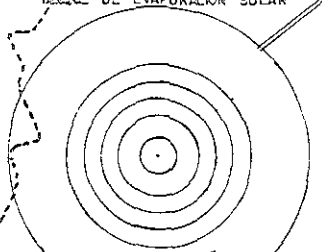
CERRO DE  
TEPETZIRMO

LISTE ZONA  
FEDERAL

LAGO TEXCOCO NTE

LAGO DR. NABOR  
CARRILLO

TECNICO DE EVAPORACION SOLAR



DREN PERIMETRAL

SM-9

SPE-30

SPE-29

SM-6

SC-15

ESTRUCTURA  
EL PATO

CANAL DE DESFOQUE DEL VASO

DREN GENERAL DEL VALLE

LMITE FEDERAL

RELLENO SANITARIO  
VENUSTIANO C.

LAGO DE  
REGULACION  
HORARIA

SOSA TEXCOCO

CANAL LA DRAGA

EST  
LA DRAGA

AV CENTRAL

GRAN CANAL DE  
DEBAGUE

RIO LOS  
REMEDIOS

AREA DE  
SAHOP

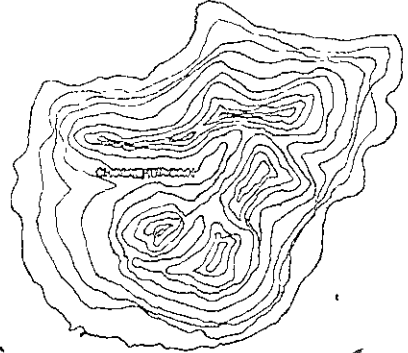
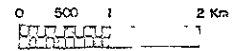


PLANTA DE  
BOLSSEO

EL SUBSUELO DEL EX LAGO  
DE TEXCOCO

CORTES ESTADIGRAFICOS

V. & S



KEZANALCOYDTL

ESCHILLERS

COVALEP

L TRANSMISON

RIO STA ROSA

RIO COATEPEC

RIO SN BARTOLO

RIO TEXCOCO

RIO DE CACATLCO

SN NIS TL  
QUILA

RIO CHALECO

CRAZO SN BARTOLO

CANAL PERIMETRAL

SM-3

SM-2

II IMPUNTADO

I IMPUNTADO

SC-22

SC-21

SC-20

SC-17

SC-15

SC-12

SC-11

SC-10

SC-9

SC-8

SC-7

SC-6

SC-5

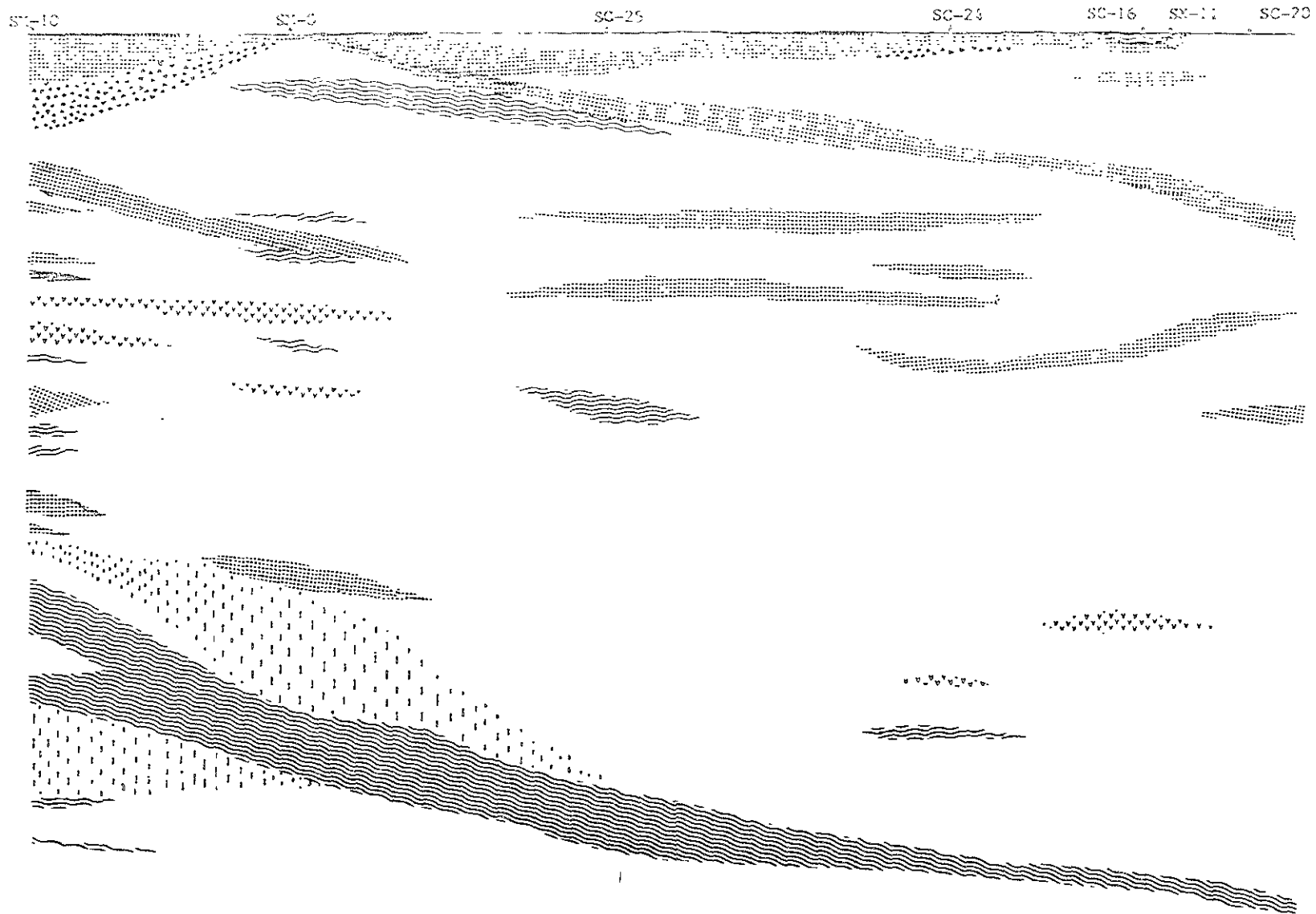
SC-4

SC-3

SC-2

SC-1

SC-0



SIMBOLOGIA

- ESTRATOS DE ARENA.
- ARCILLA VOLCANICA.
- GRAVA.
- FOSILES ARCILLOSOS.
- ESTRATOS DE LIMO.
- VIDRIO VOLCANICO.



ESCALA.

HORIZONTAL 1:50 000  
 VERTICAL 1:200

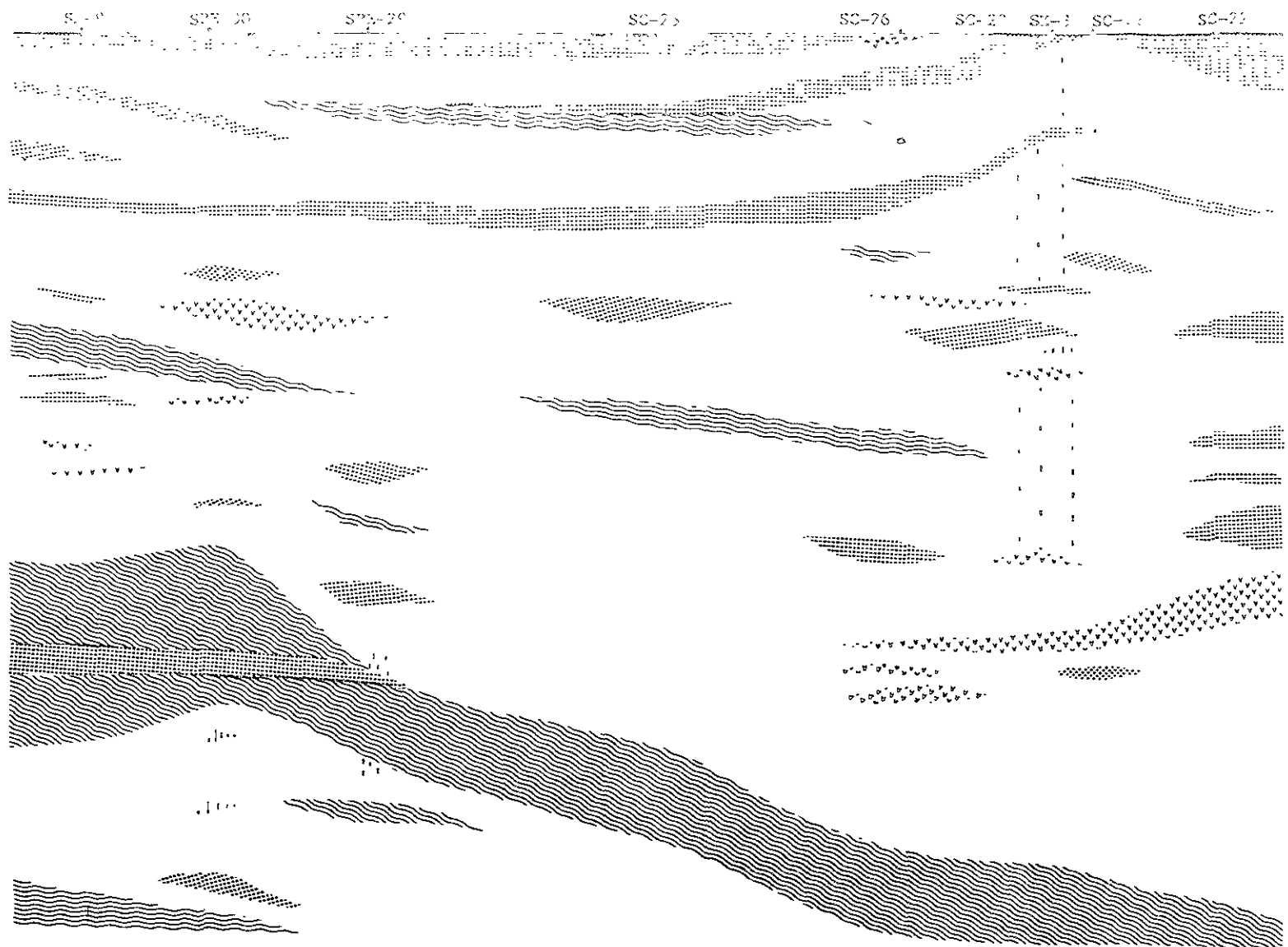


EL SUBSUELO DEL EL-LAGO  
 DE TEXCOCO







CORTE ESTADIGRAFICO N-S

V.A.S.





SIMBOLOGIA

- ESTRATOS DE ARENA. 
- ARCILLA VOLCANICA. 
- GRAVA. 
- FOSILES ARCILLOSOS. 
- ESTRATOS DE LIMO. 
- VIDRIO VOLCANICO. 

ESCALA.

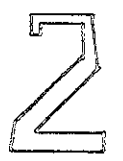
HORIZONTAL 1:50 000  
 VERTICAL 1:200



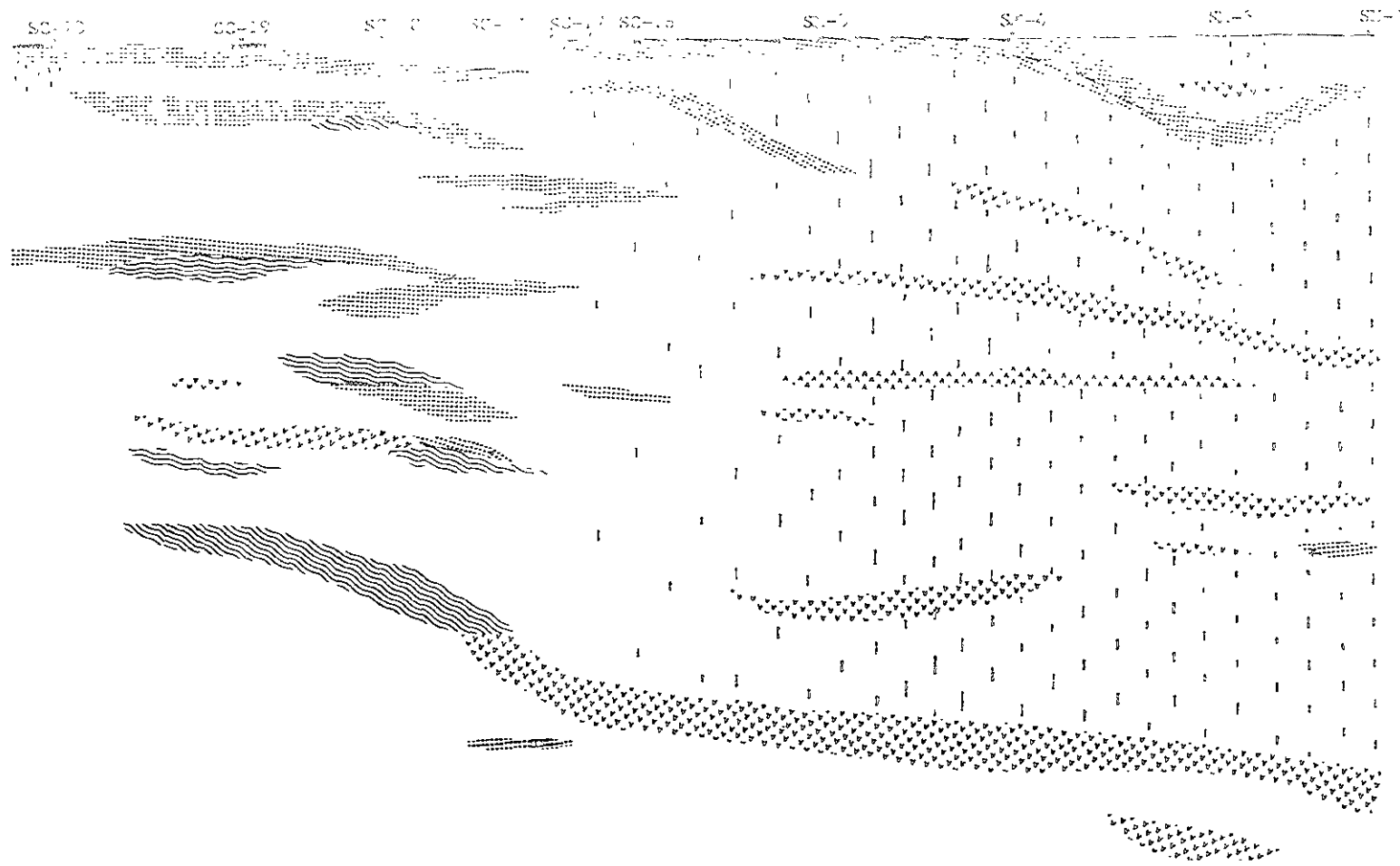
EL SUBSUELO DEL EX-LAGO  
 DE TEZCOCO

CORTE ESTADIGRAFICO E-S







V.A.S.





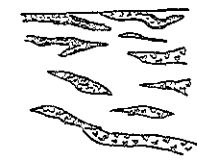


SIMBOLOGIA

- ESTRATOS DE ARENA. 
- ARCILLA VOLCANICA. 
- GRAVA. 
- FOSILES ARCILLOSOS. 
- ESTRATOS DE LIMO. 
- VIDRIO VOLCANICO. 

ESCALA.

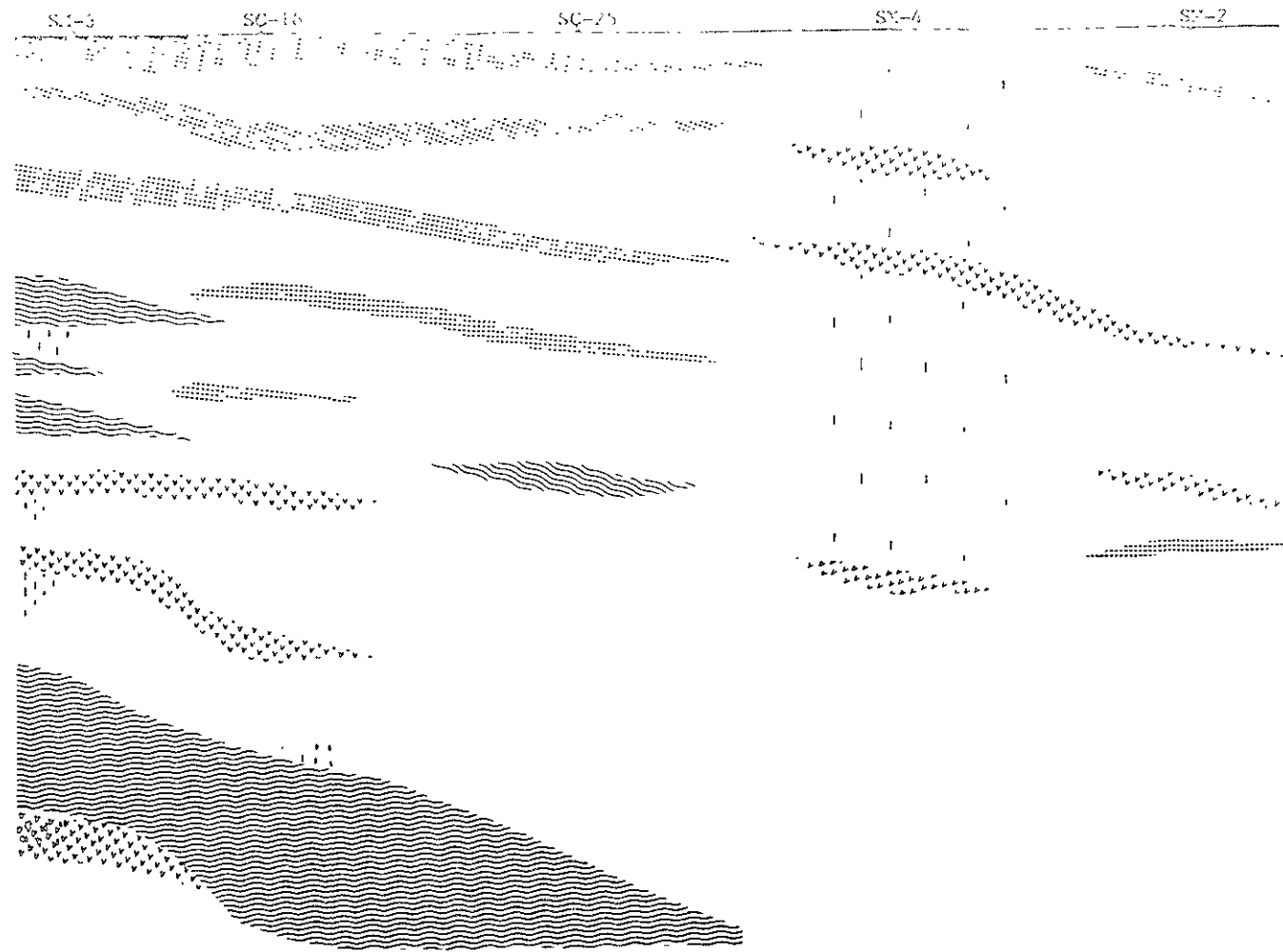
HORIZONTAL 1:50 000  
 VERTICAL 1:200









EL SUBSUELO DEL EL-LAGO  
 DE TEXCOCO  
 CORTE ESTADIGRAFICO E-W

V.A.S.





SIMBOLOGIA

- ESTRATOS DE ARENA. 
- ARCILLA VOLCANICA. 
- GRAVA. 
- FOSILES ARCILLOSOS. 
- ESTRATOS DE LIMO. 
- VIDRIO VOLCANICO. 

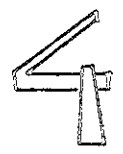
ESCALA.  
 HORIZONTAL 1:50 000  
 VERTICAL 1:200



EL SUBSUELO DEL EX-LAGO  
 DE ZERCOCC







CORTE ESTADIGRAFICO U-S

V.A.S.





SIMBOLOGIA

- ESTRATOS DE ARENA. 
- ARCILLA VOLCANICA. 
- GRAVA. 
- FOSILES ARCILLOSOS. 
- ESTRATOS DE LIMO. 
- VIDRIO VOLCANICO. 

ESCALA.

HORIZONTAL 1:50 000  
 VERTICAL 1:200



EL SUBSUELO DEL EX-LAGO  
 DE TEXCOCO  
 CORTE ESTADIGRAFICO E-W

V.A.S.

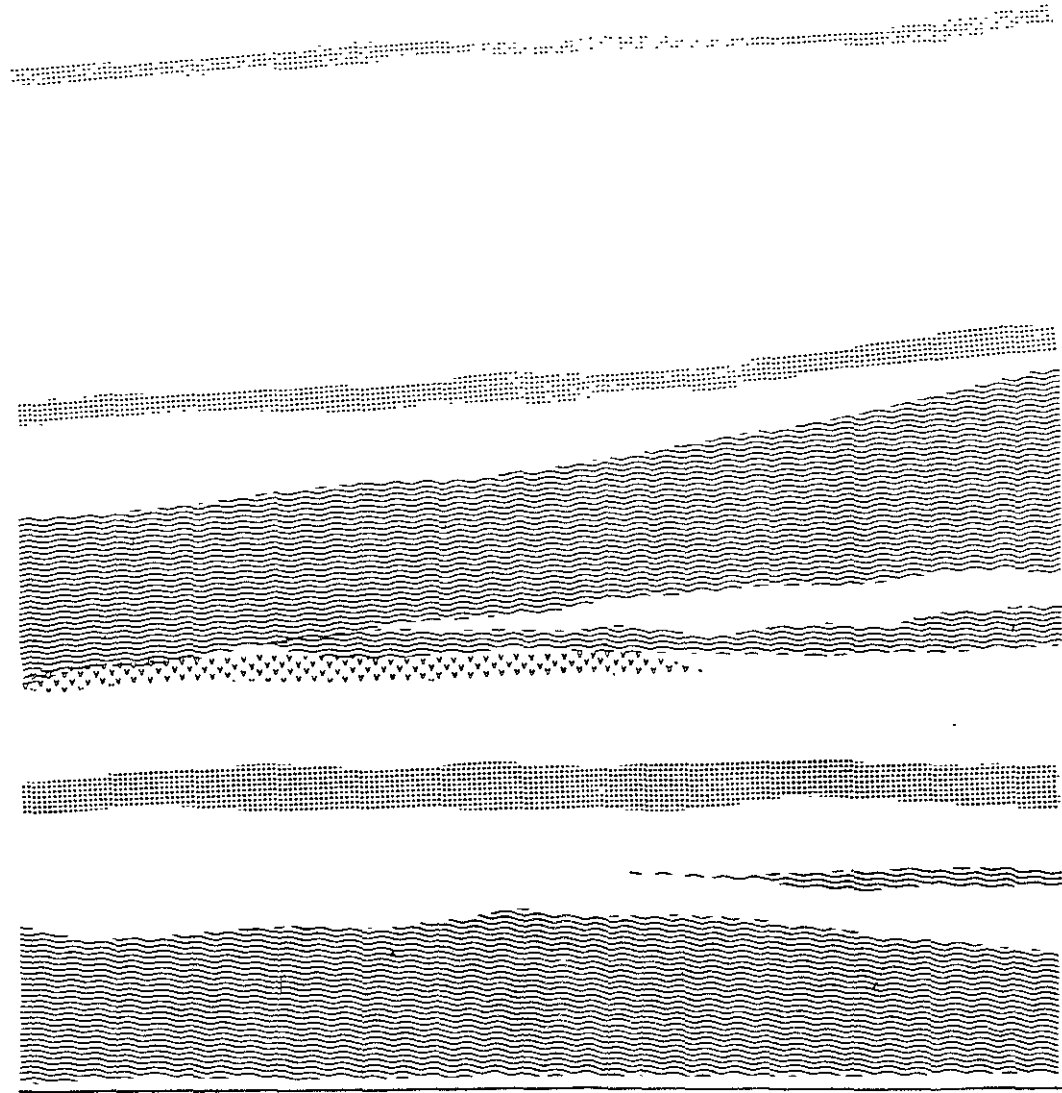


SI-31







SI-32

SI-33

SI-34

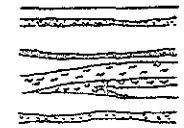


SIMBOLOGIA.

- ESTRATOS DE ARENA. 
- ARCILLA VOLCANICA. 
- GRAVA. 
- FOSILES ARCILLOSOS. 
- ESTRATOS DE LIMO. 
- VIDRIO VOLCANICO. 

ESCALA.

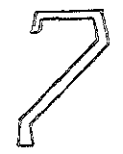
- HORIZONTAL 1:50 000
- VERTICAL 1:200



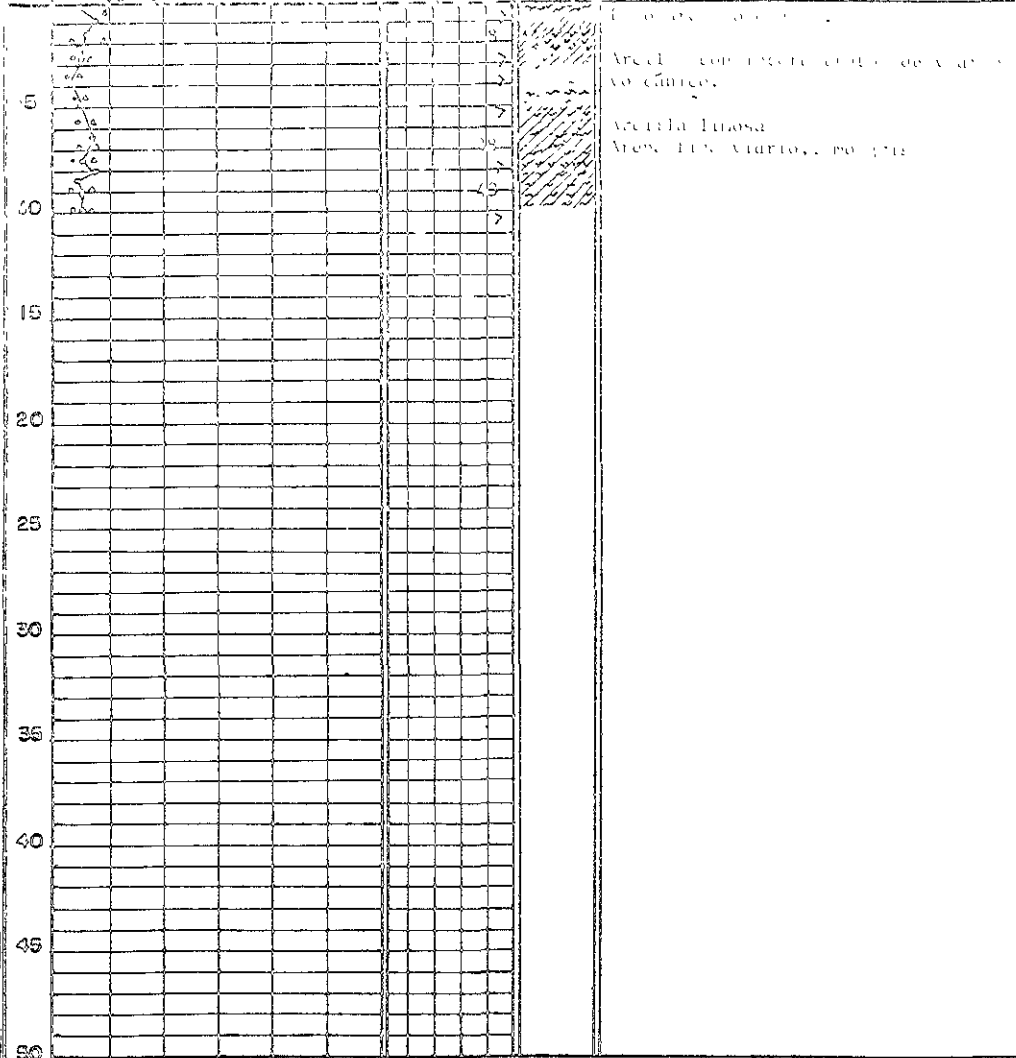
EL SUBSUELO DEL EL-LAGO DE TEXCOCO

CORTE ESTADIGRAFICO

V.A.S.



PROFUNDIDAD EN Mts.      CONTENIDO DE AGUA      NUMERO DE      PERFIL      CLASIFICACION Y DESCRIPCION  
 LIMITE LIQUIDO      DE      GOLPES



	ARCILLA		ARENA		VIDRIO VOLCANICO	SONDEO SM-10
	LIMO		GRAVA		FOSILES ARCILLOSOS	

PROFUNDIDAD  
EN METROS

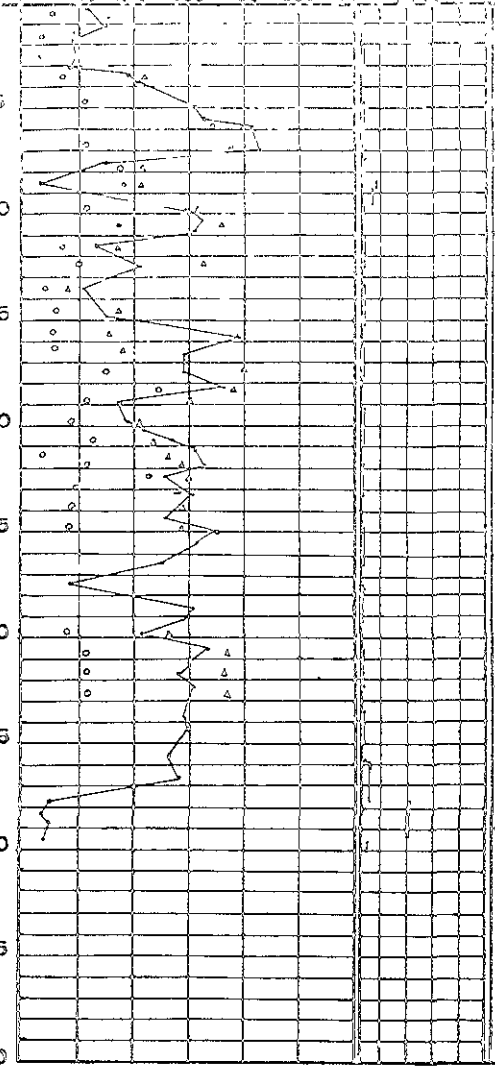
CONTENIDO DE AGUA  
LÍMITE LÍQUIDO  
LÍMITE PLÁSTICO  
ÍNDICE DE CONSISTENCIA

NÚMERO  
DE  
SOLUCIONES

ESQUEMA

CLASIFICACION Y DESCRIPCION

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50






Limo verde olivo y café obscuro con intercalaciones de arena.

Limo verde olivo y café rojizo de alta compresibilidad.

Arena negra mal graduada, ligera.

Limo verde olivo y café rojizo de alta compresibilidad con intercalaciones de arena.

Arena mal graduada con limo de color verde olivo.

- |  |         |   |       |   |                    |        |
|--|---------|---|-------|---|--------------------|--------|
|  | ARCILLA |  | ARENA |  | VIORIO VOLCANICO   | SONDEO |
|  | LIMO    |  | GRAVA |  | POCILES ARCILLOSOS | SM-II  |

PROFUNDIDAD EN METROS

CONTENIDO DE AGUA (%)

LÍMITE LÍQUIDO (%)

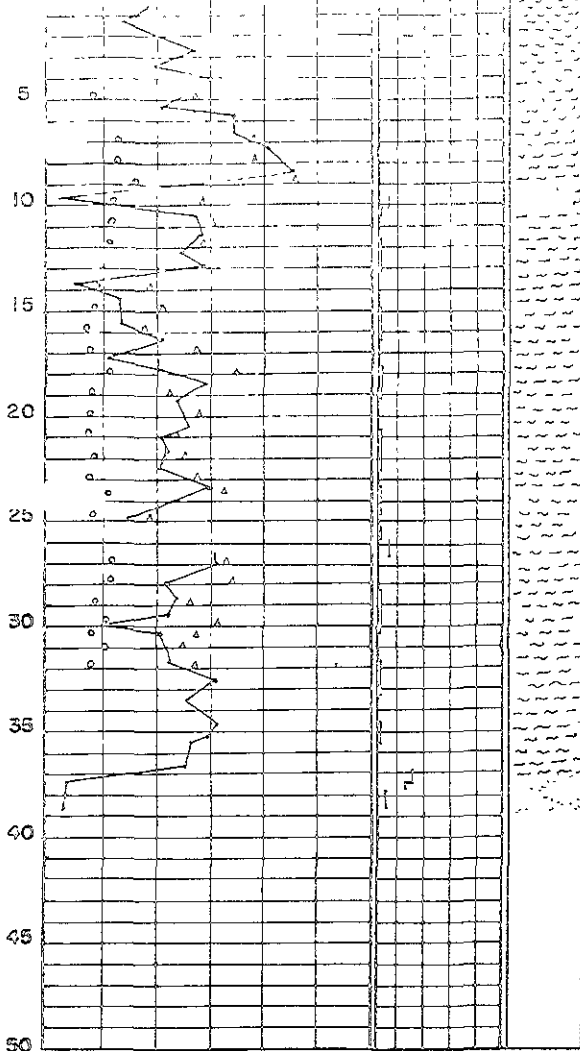
LÍMITE PLÁSTICO (%)

NÚMERO DE

GOLPES

PERFIL

CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN









Limo verde olivo y café rojizo con intercalaciones de arena.

Limo verde olivo y café rojizo de alta compresibilidad.

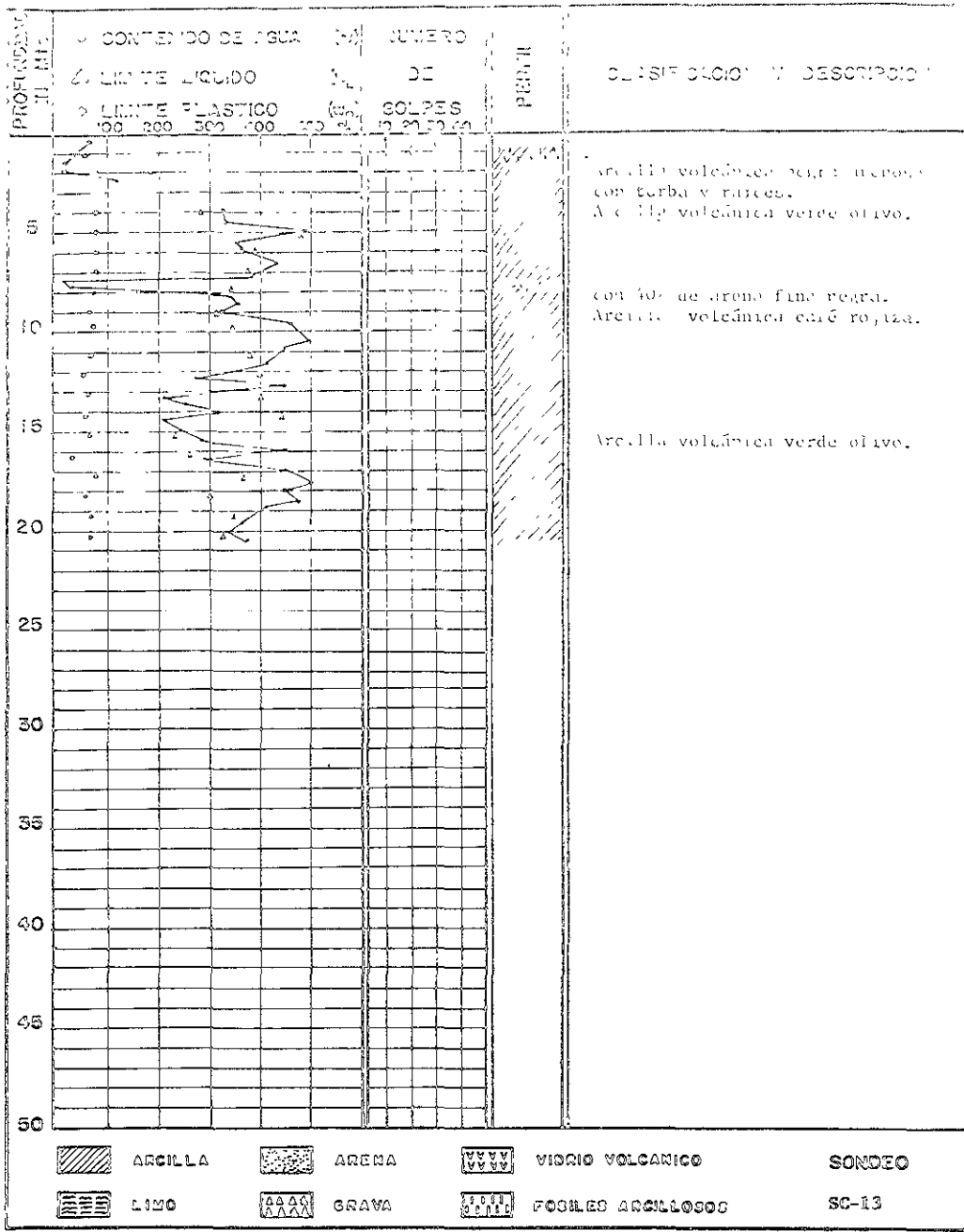
Arena normal, mal graduada, limosa.

Limo verde olivo y café rojizo de alta compresibilidad, con intercalaciones de arena.

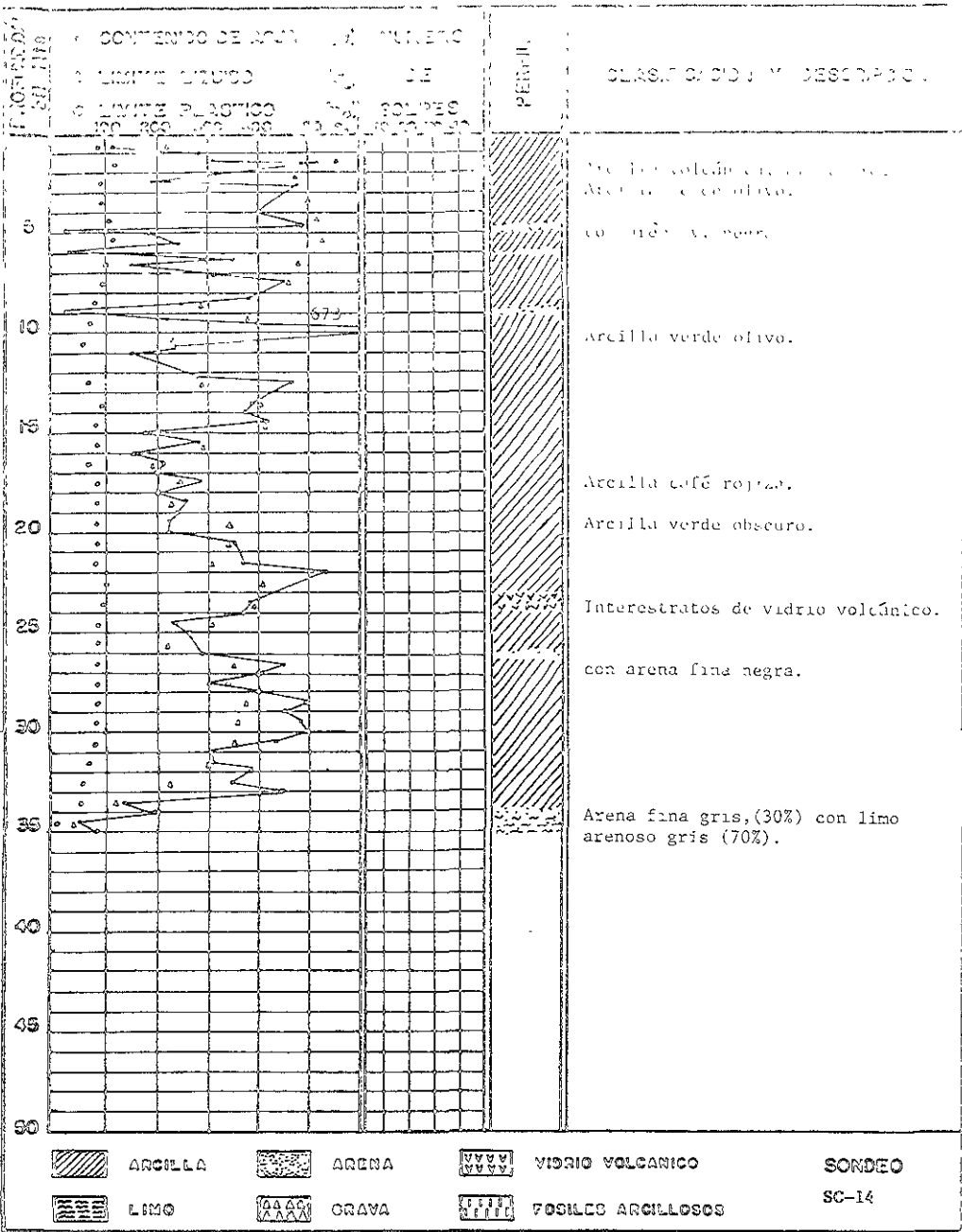
Arena mal graduada con limo de color verde olivo.

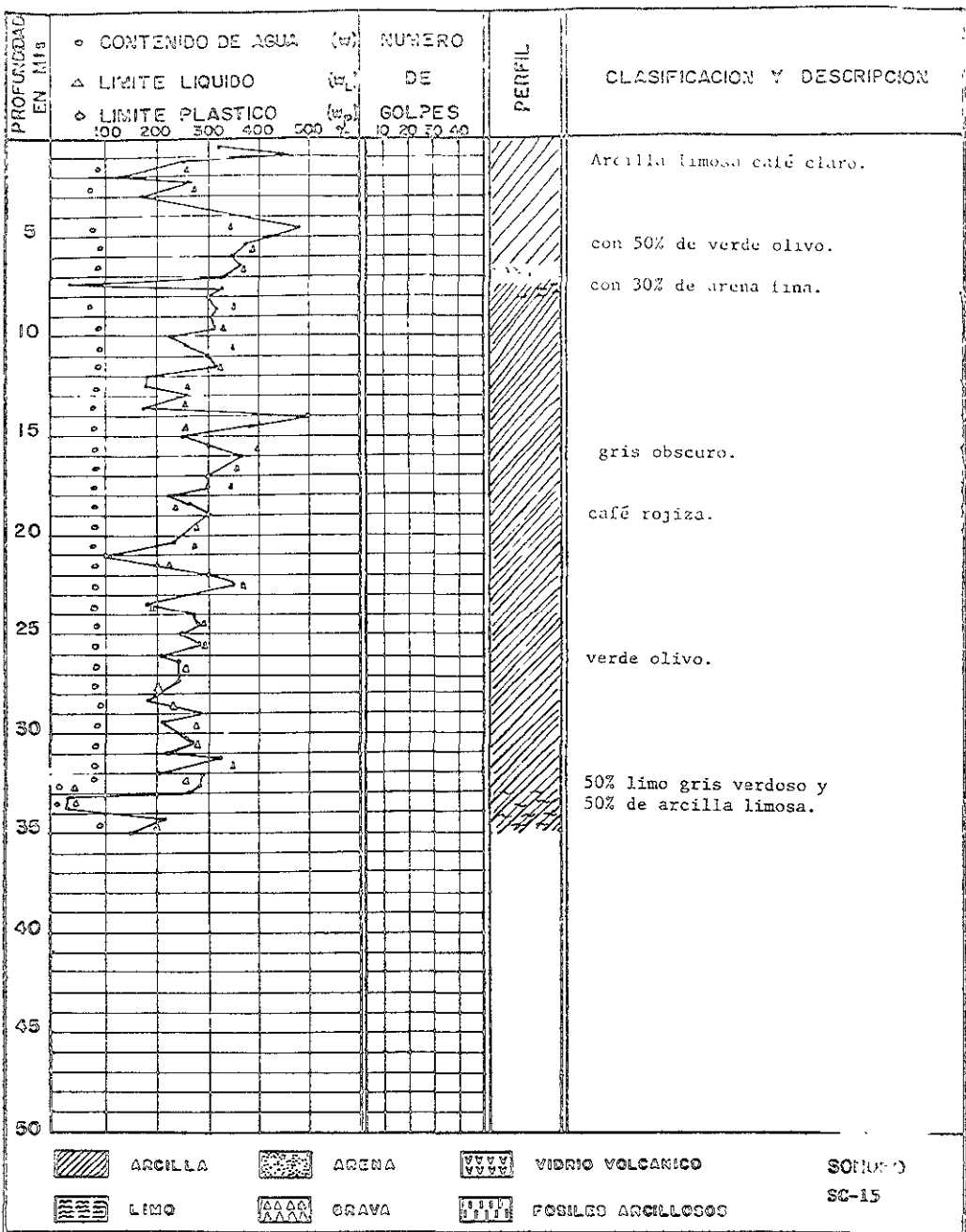
-  ARCILLA
-  ARENA
-  VIDRIO VOLCANICO
- 
-  LIMO
-  GRAVA
-  FOSILES ARCHILLOSOS
- 

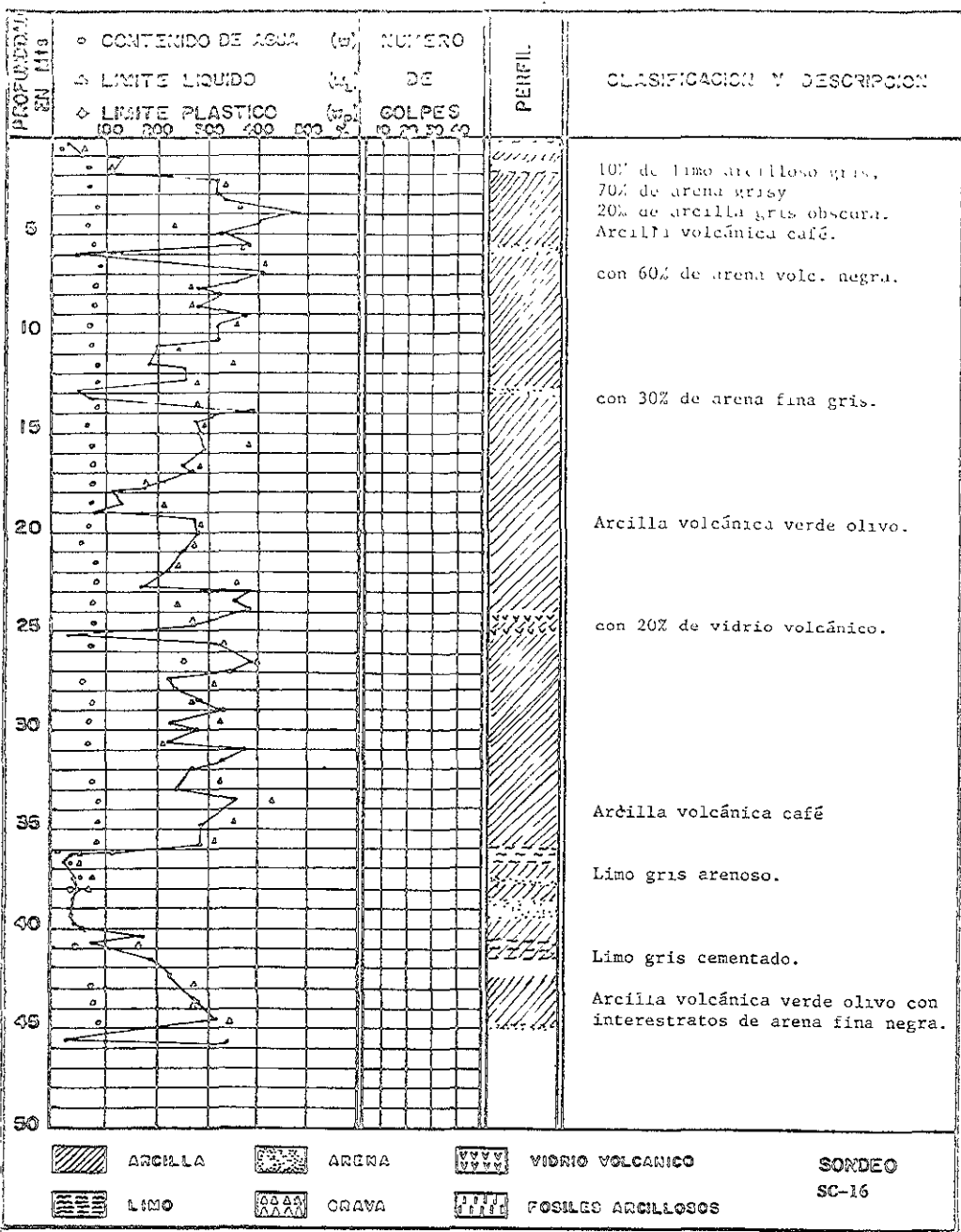
SONDEO  
SM-12



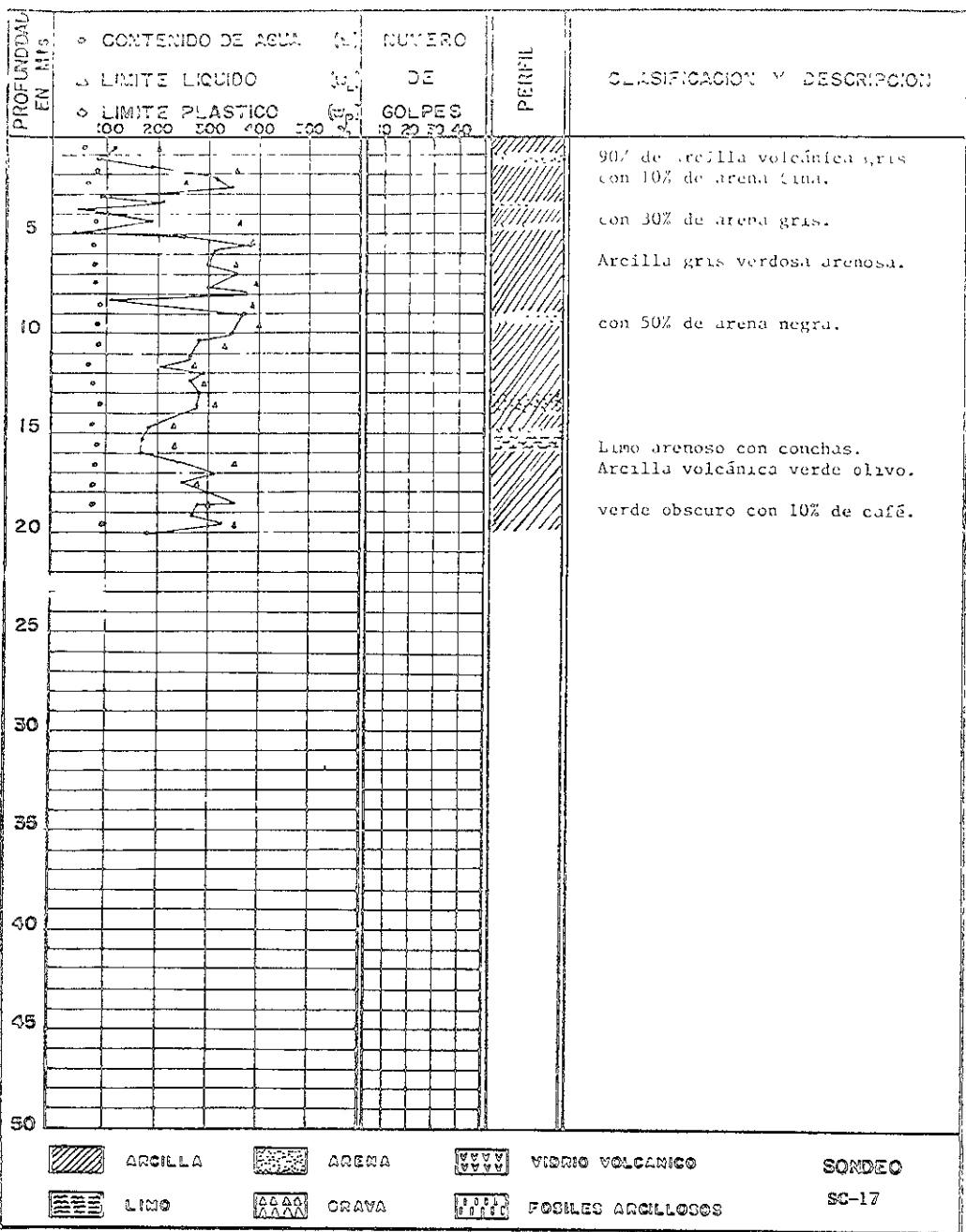


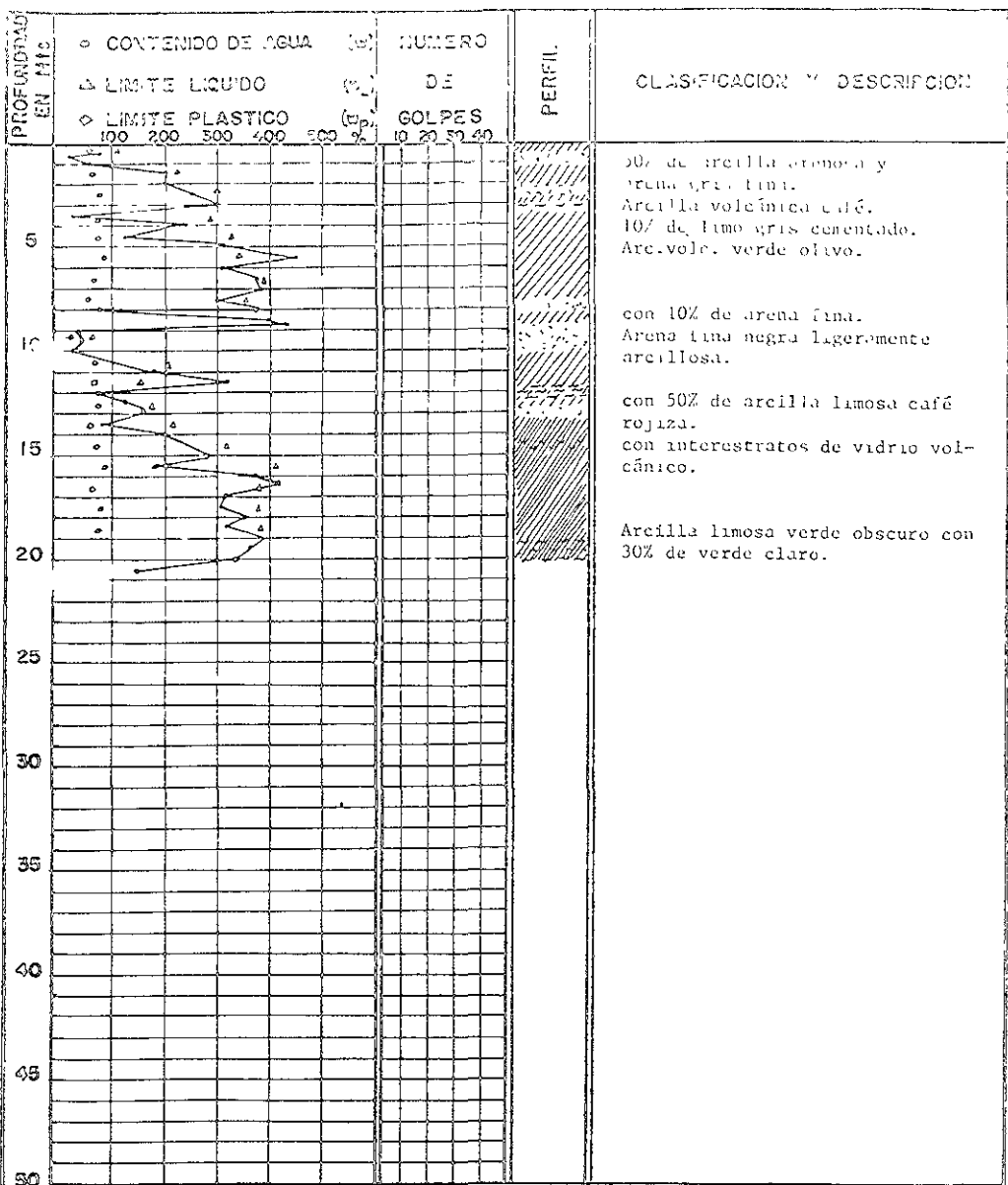




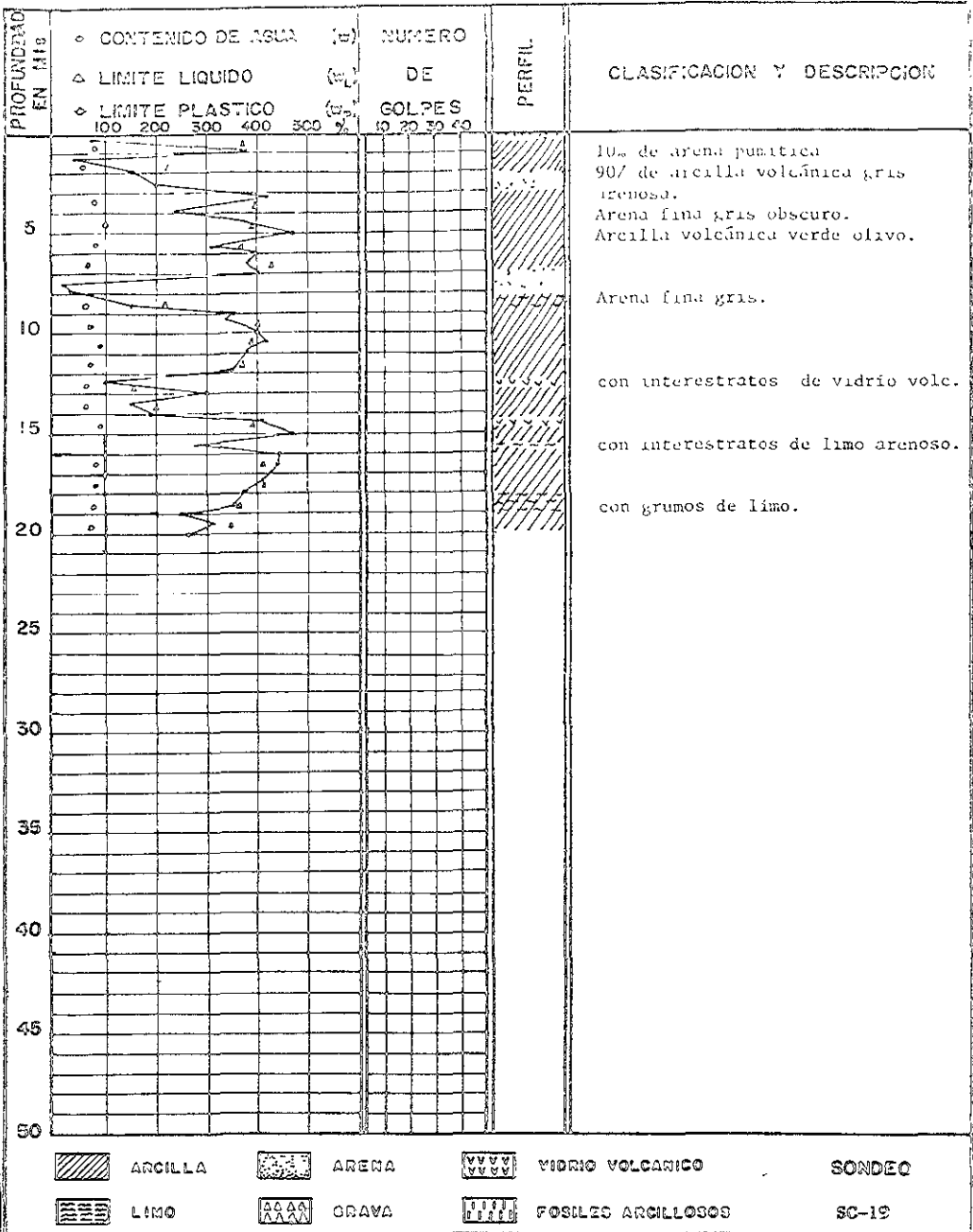


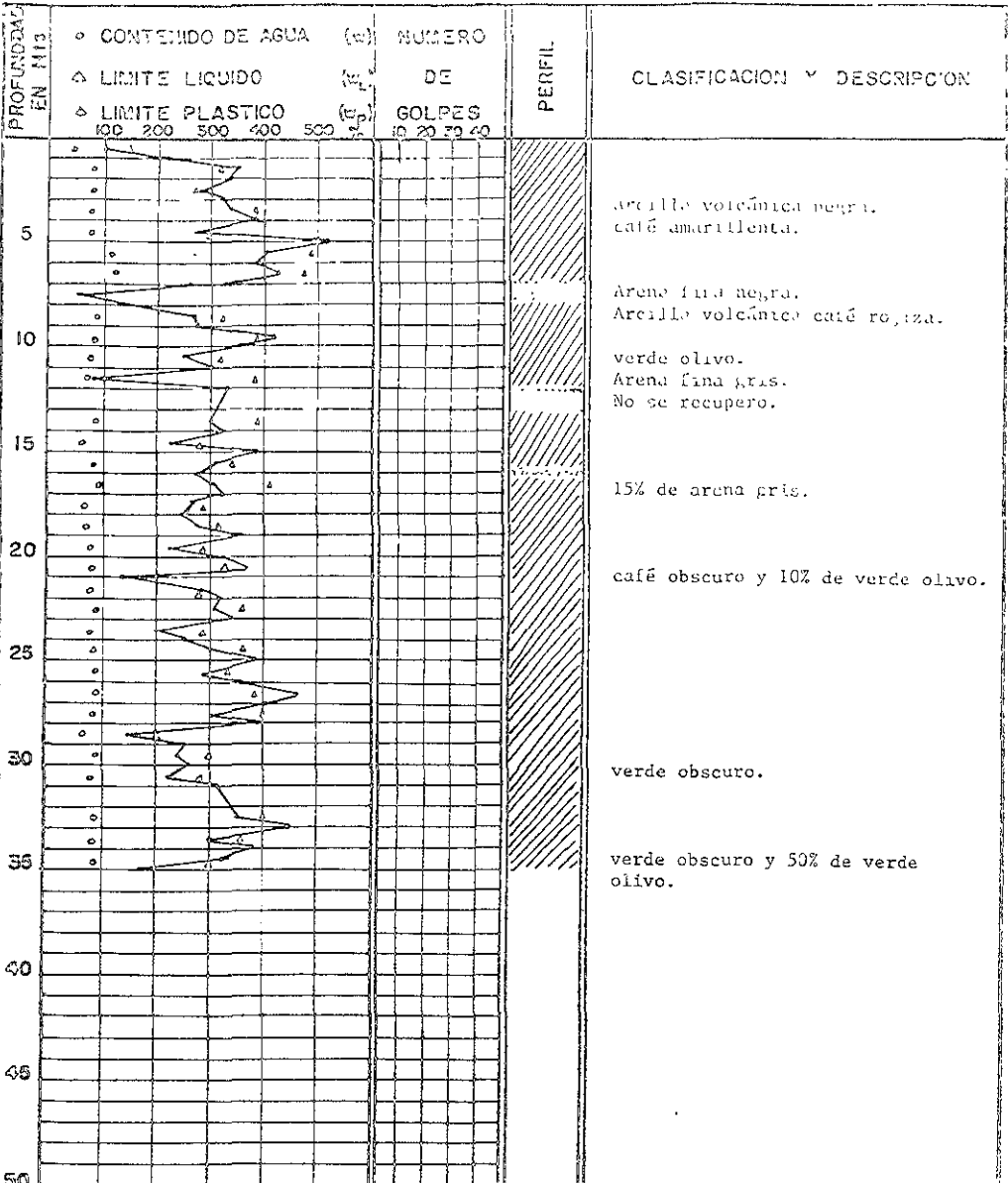
 ARCILLA	 ARENA	 VIDRIO VOLCANICO	SONDEO SC-16
 LIMO	 GRAVA	 FOSILES ARCILLOSOS	





 ARCILLA	 ARENA	 VIDRIO VOLCANICO	SONDEO
 LIMO	 GRAVA	 FOSILES ARCILLOSOS	SC-18





ARCILLA



ARENA



VIDRIO VOLCANICO



LIMO



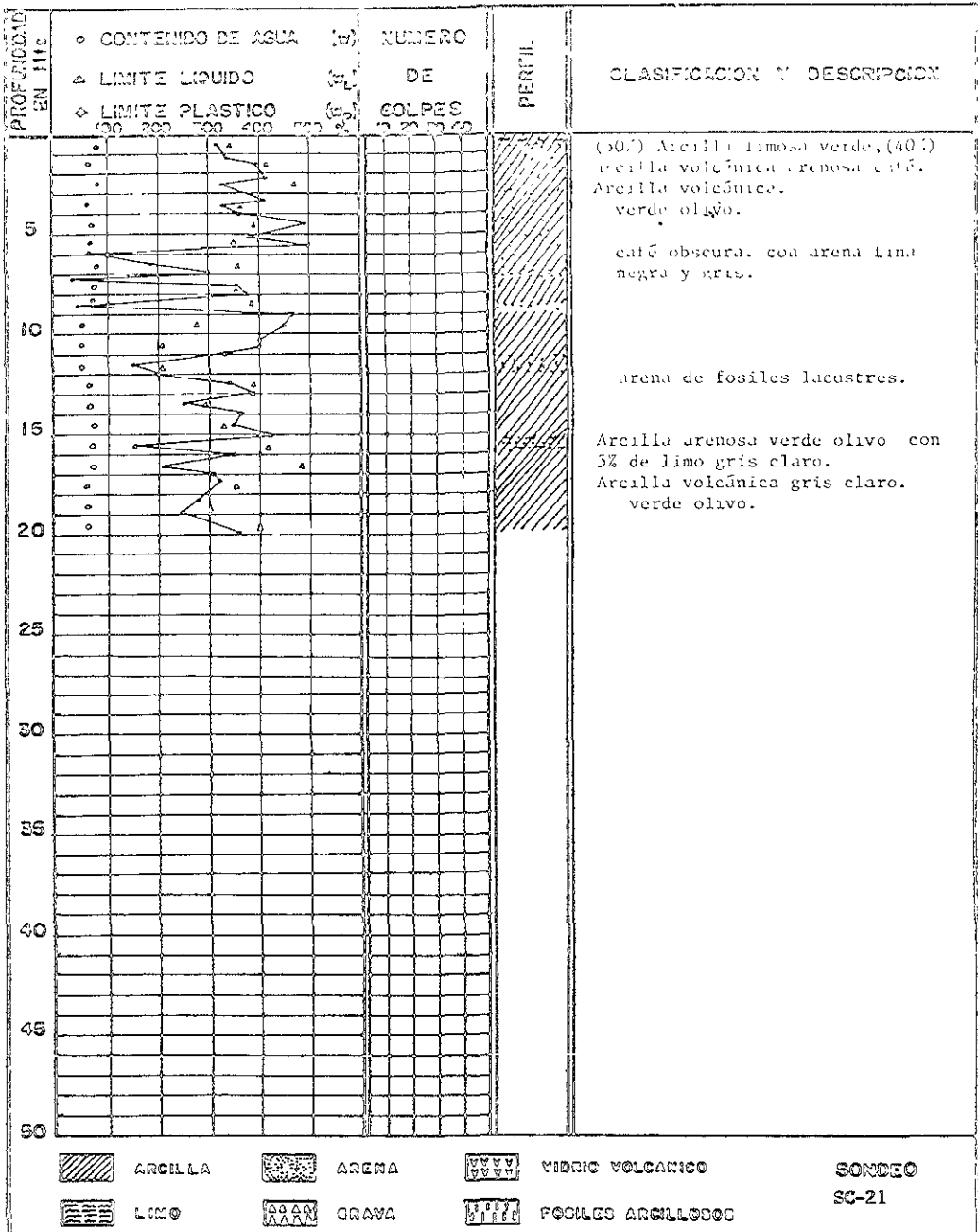
GRAVA



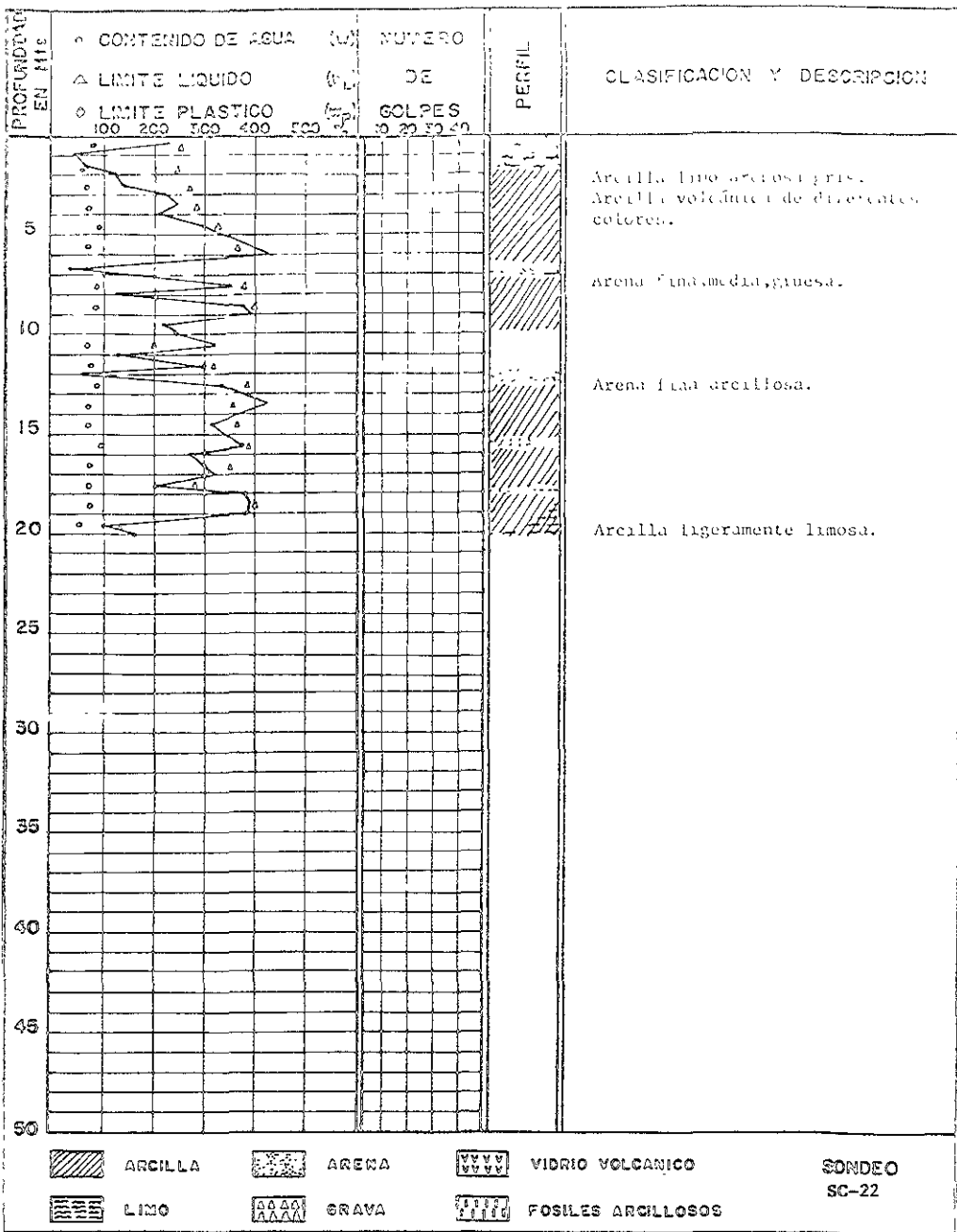
FOSILES ARCILLOSOS

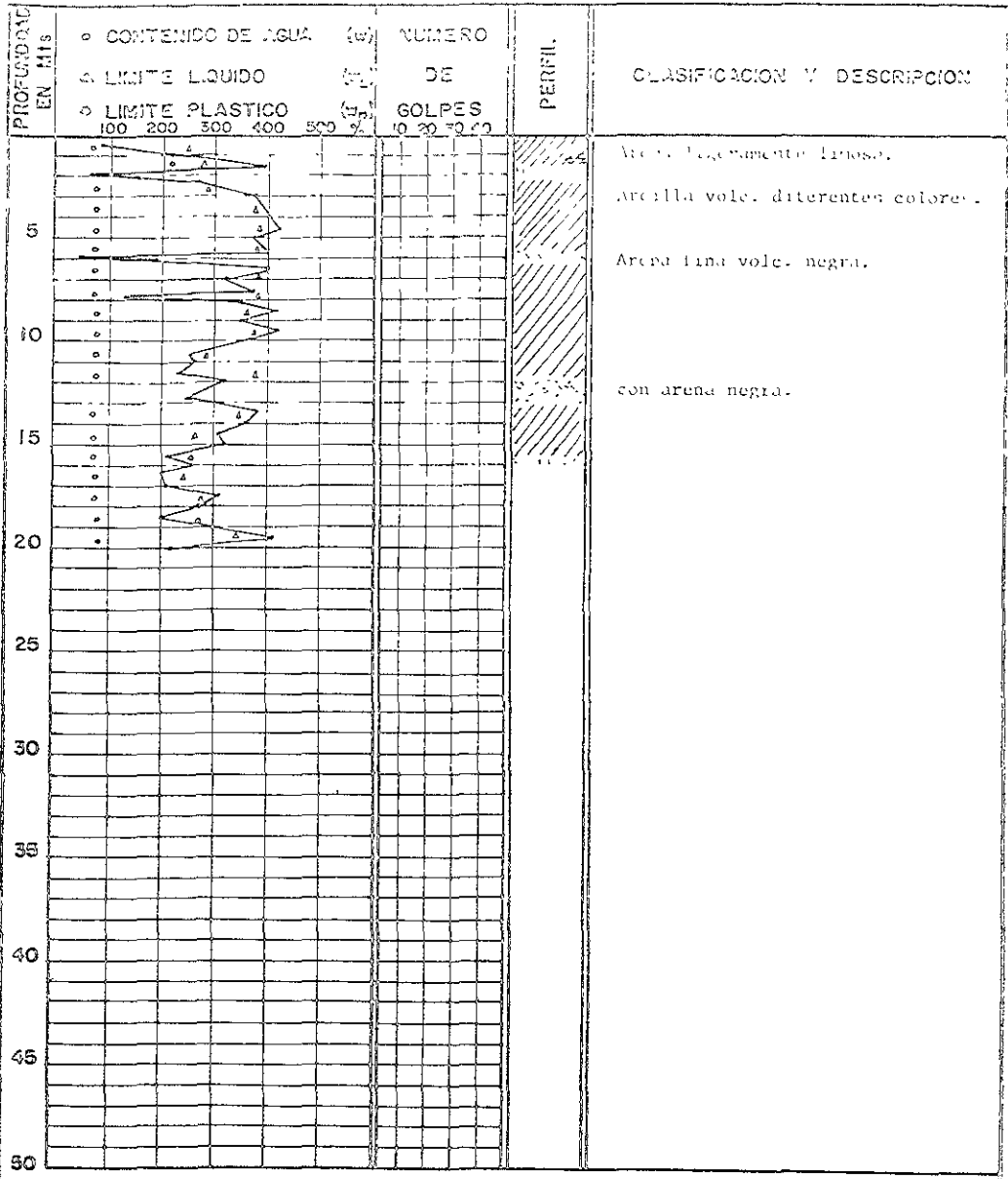
SONDEO

SC-20

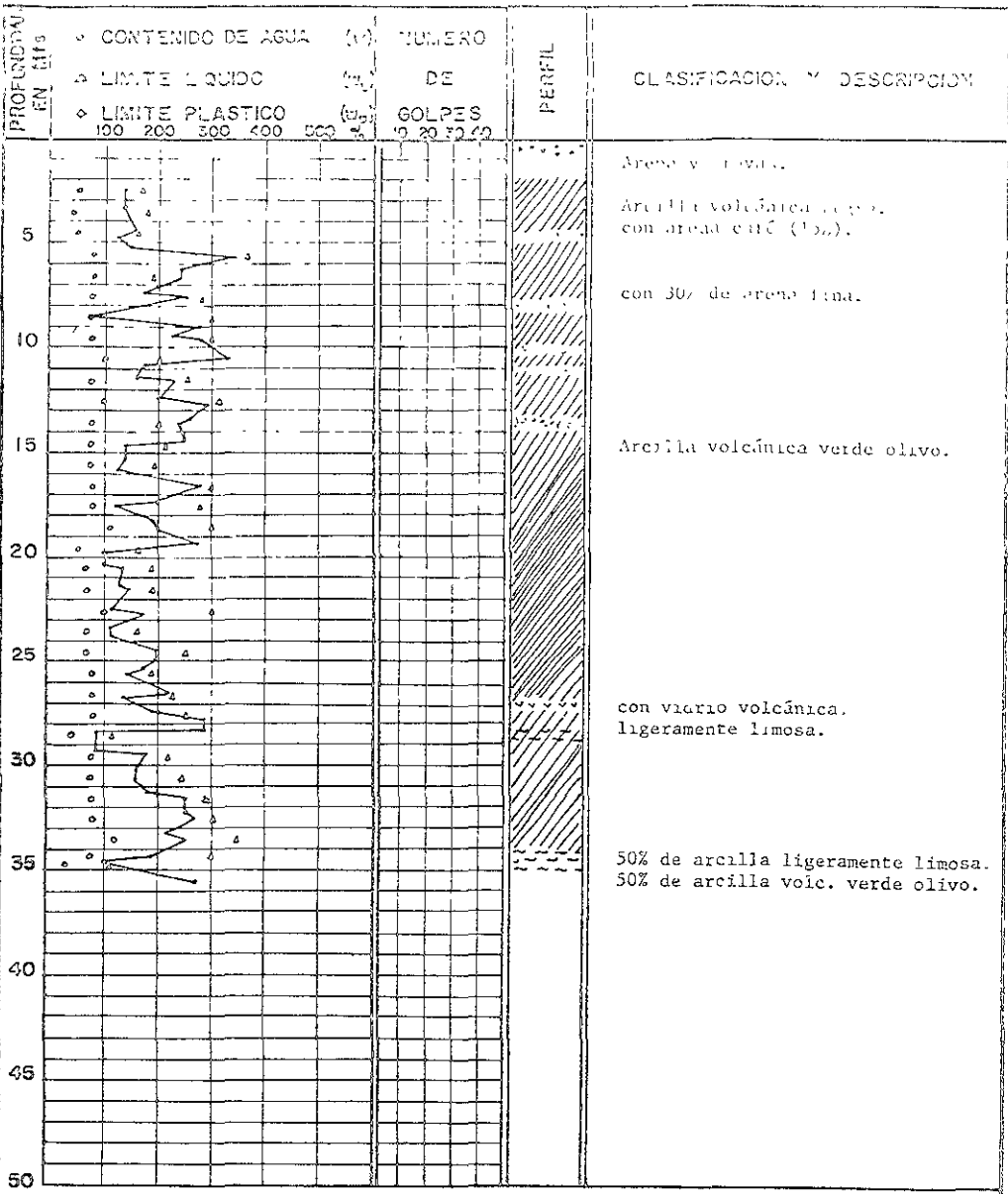






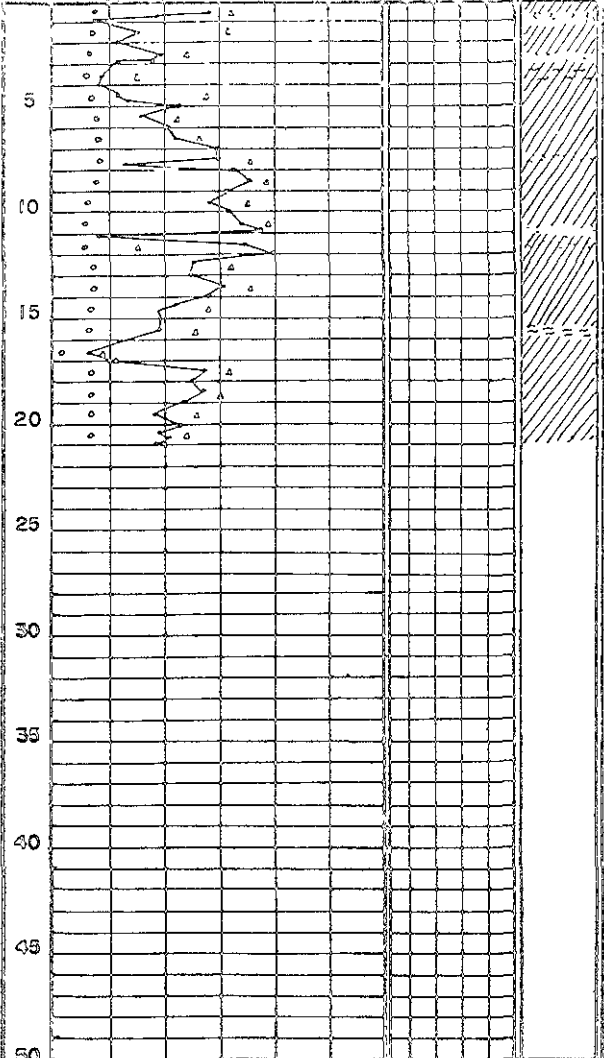


	ARCILLA		ARENA		VIDRIO VOLCANICO	SONDEO SC-23
	LIMO		GRAVA		FOJILES ARCILLOSOS	



	ARCILLA		ARENA		VIDRIO VOLCANICO	SONDEO SC-24
	LIMO		GRAVA		FOSILES ARCILLOSOS	

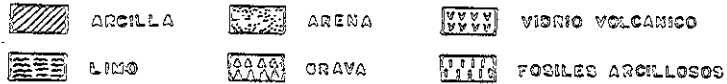
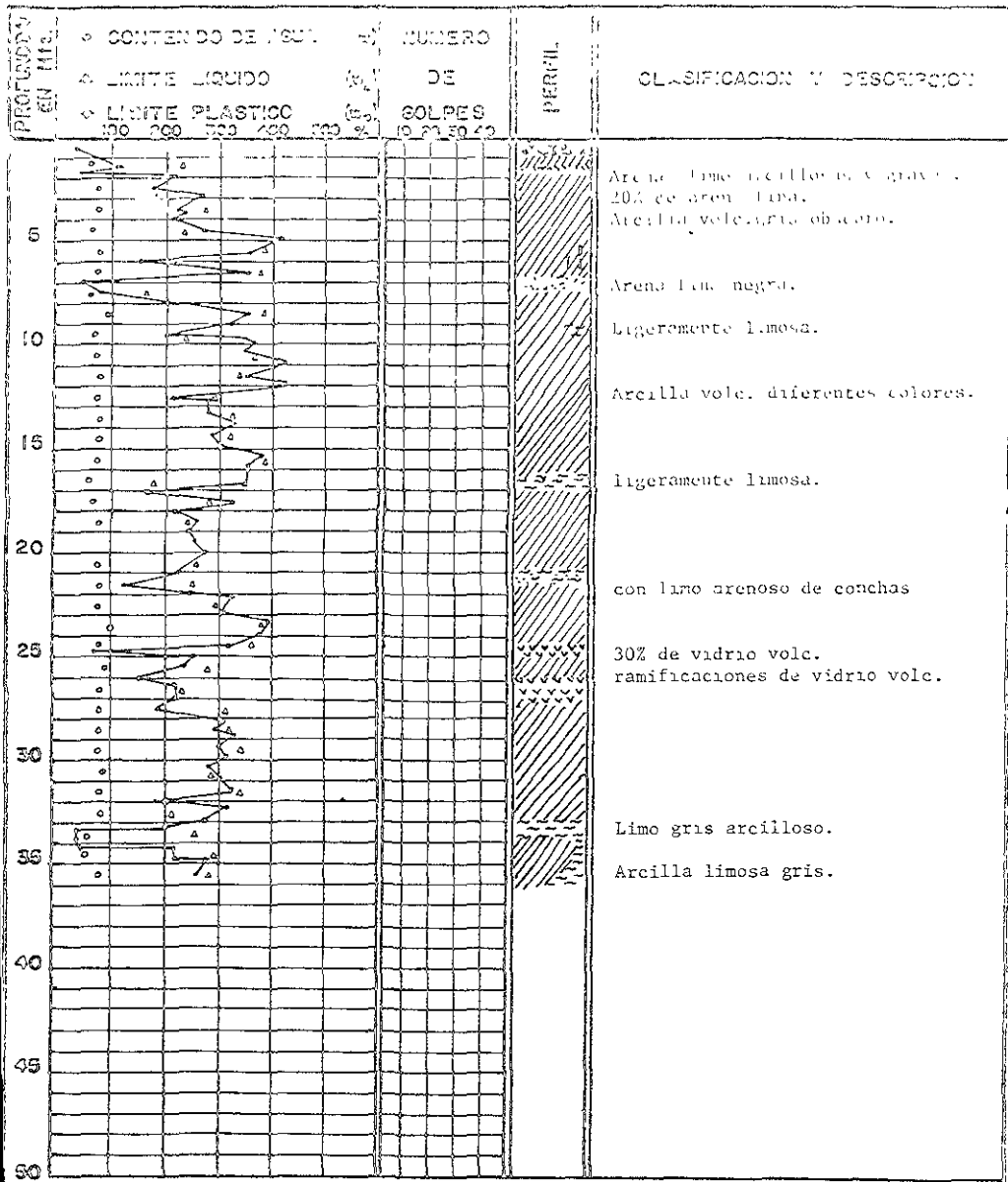
PROFUNDIDAD EN PIES: CONTENIDO DE AGUA (%), NUMERO DE SOLPES DE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO (%), CLASIFICACION Y DESCRIPCION



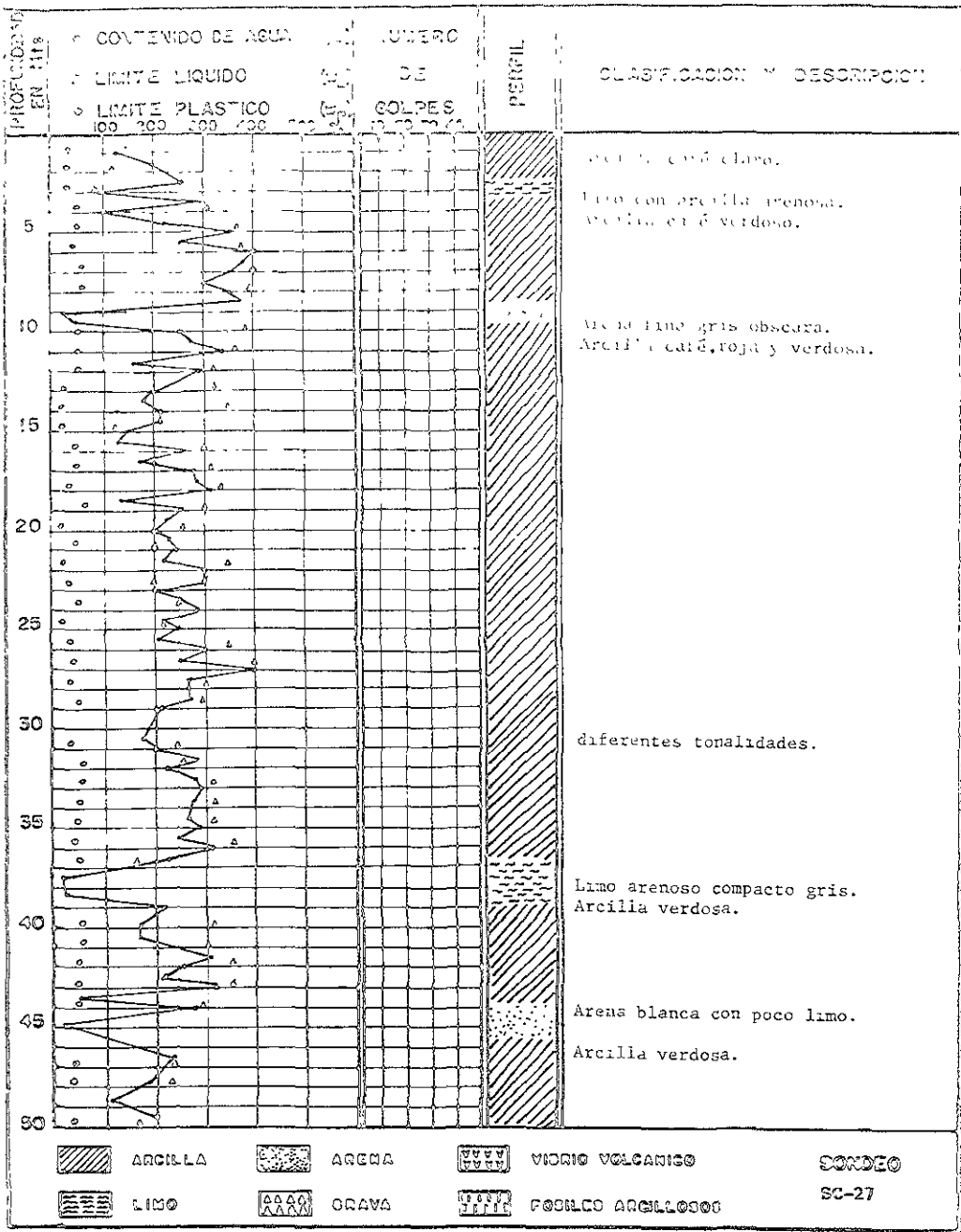
Perfil:

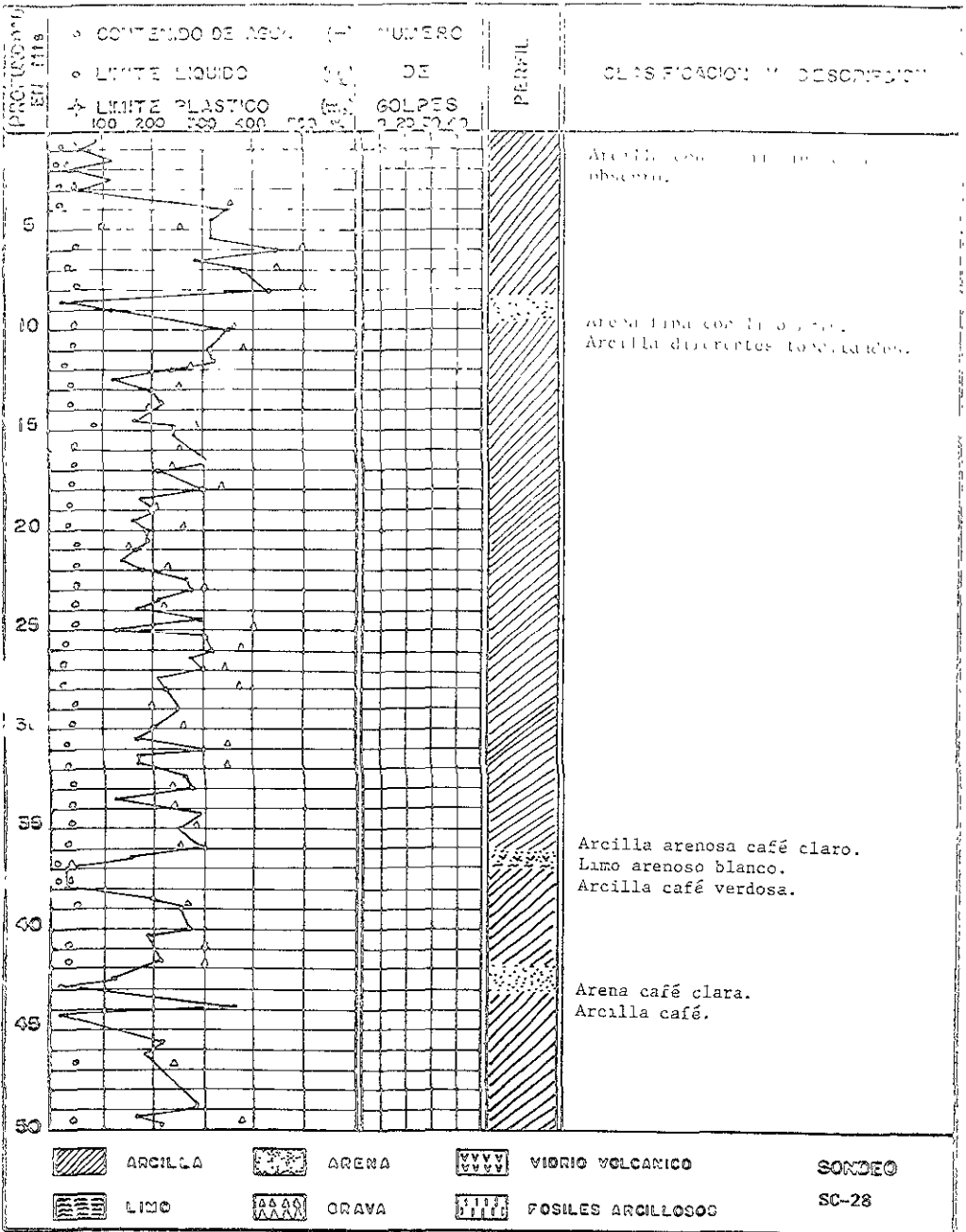
- 0 - 5 ft: Arcilla volcánica verde, con arena fina gris.
- 5 - 10 ft: con limo gris. Depósito de arcilla volcánica de diferentes colores.
- 10 - 15 ft: Interestratos de arena negra.
- 15 - 20 ft: Limo gris cementado.

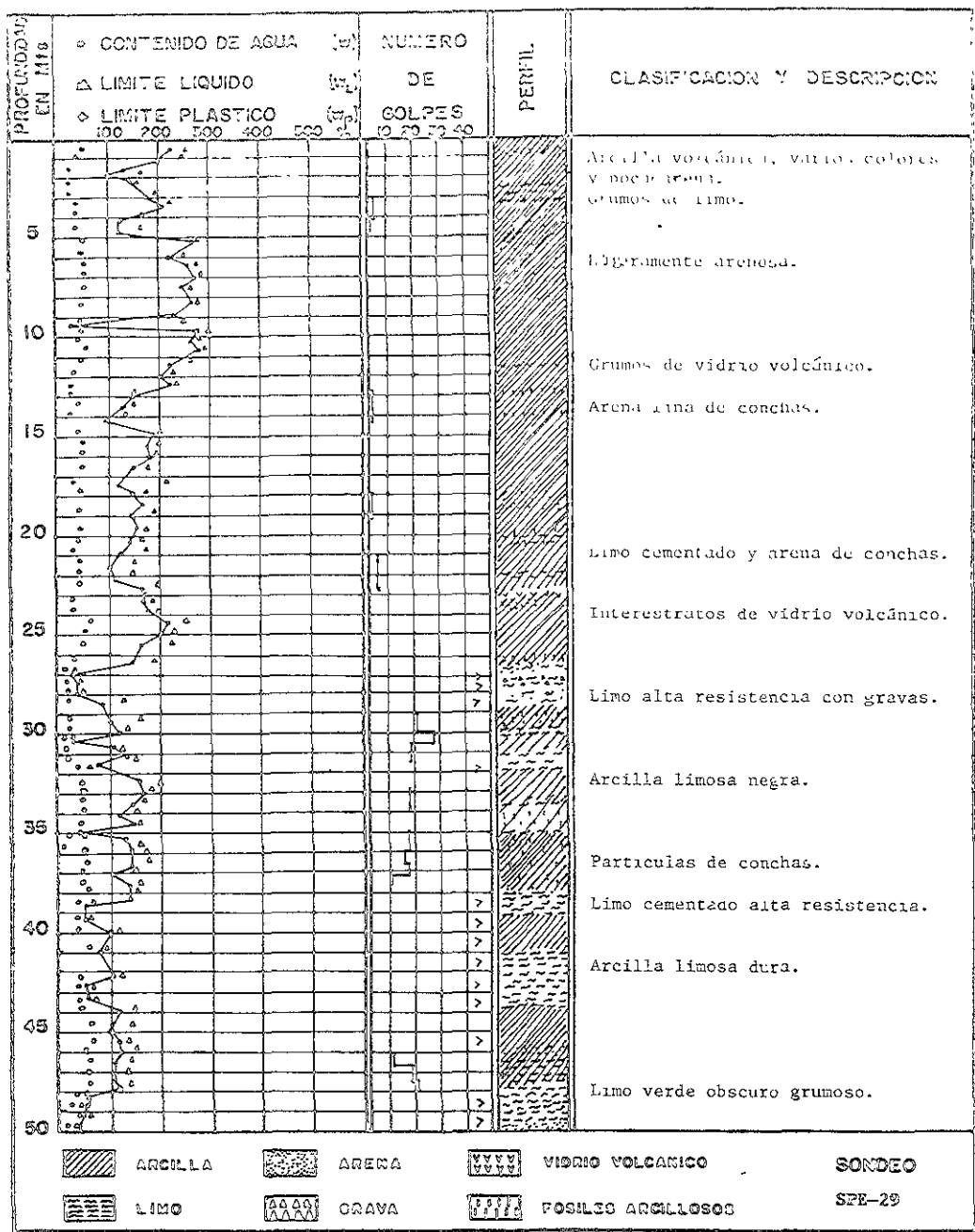
	ARCILLA		ARENA		VIDRIO VOLCANICO	SONDEO SC-25
	LIMO		GRAVA		FOCILES ARCILLOSOS	



SONDEO  
SC-26









PROFUNDIDAD EN PIES	CONTENIDO DE AGUA (%)					NUMERO DE GOLPES				PERFIL	CLASIFICACION Y DESCRIPCION
	100	200	300	400	500	10	20	30	40		
0	10	15	20	25	30	10	20	30	40		Arena fina arenosa, vidrio volcánico L. mo. verdoso compacto.
10											
15											
20											
25											
30											
35											
40											
45											
50											



ARCILLA



ARENA



VIDRIO VOLCANICO



LIMO



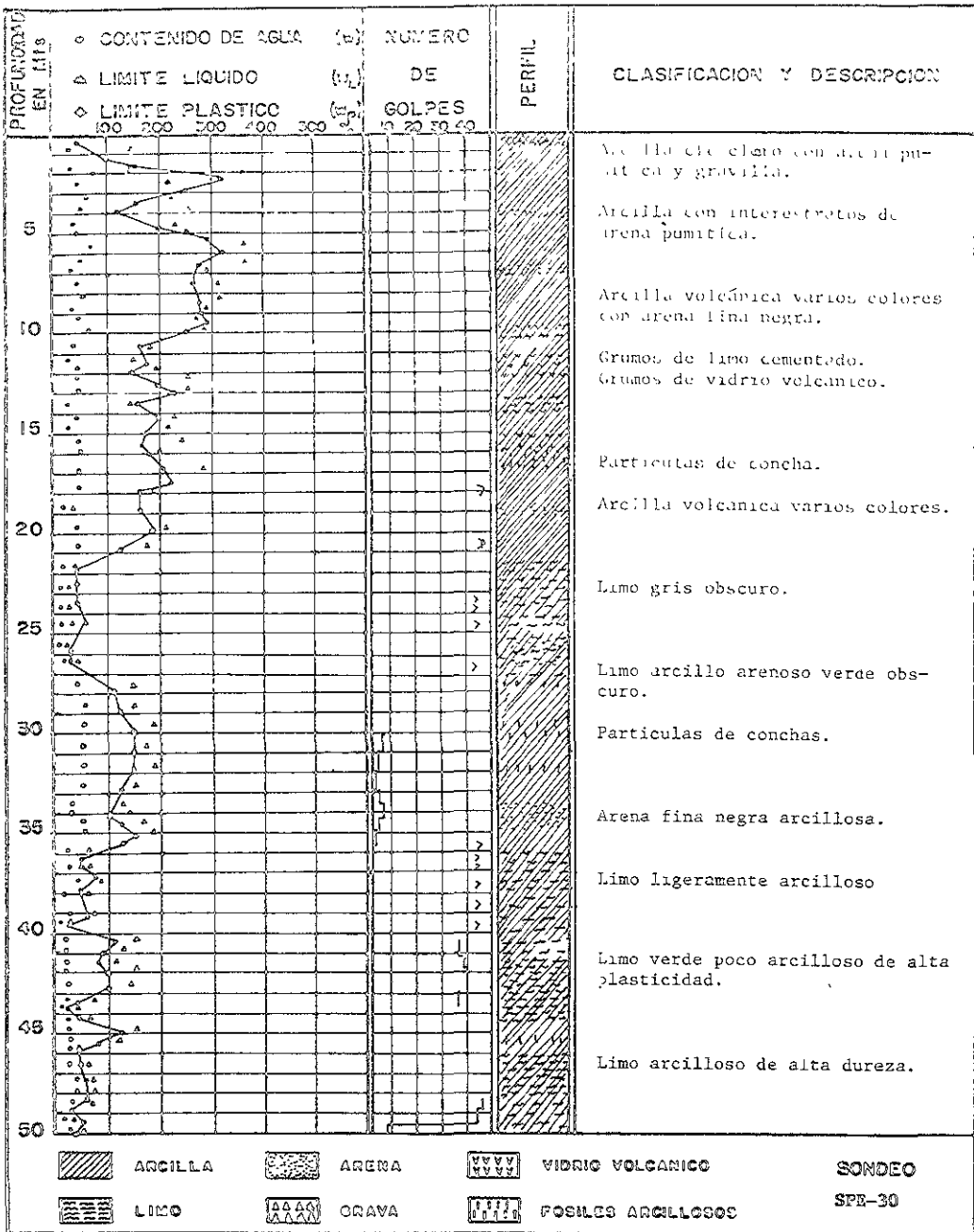
GRAVA



FOSILES ARGILLOSOS

SONDEO

SPE-29



PROFUNDIDAD EN Mts	CONTENIDO DE AGUA (%)					NUMERO DE GOLPES (20 F2 20)	PERFIL	CLASIFICACION Y DESCRIPCION
	100	200	300	400	500			
0								Limo gris verdoso cementado.  Limo arcilloso duro con rarefacciones de arena.
5								
10								
15								
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								



ARCILLA



ARENA



VIDRIO VOLCANICO

SONDEO



LIMO

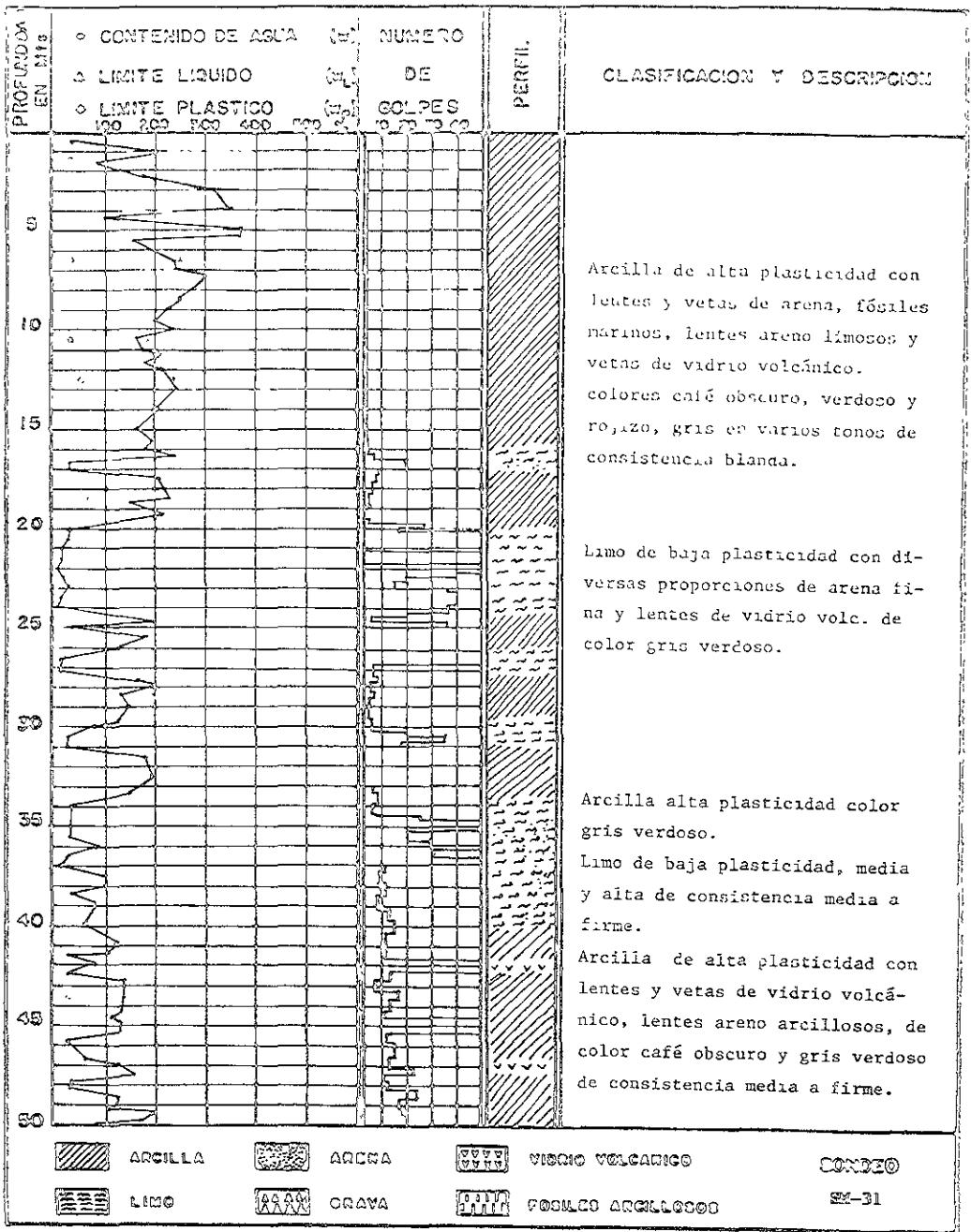


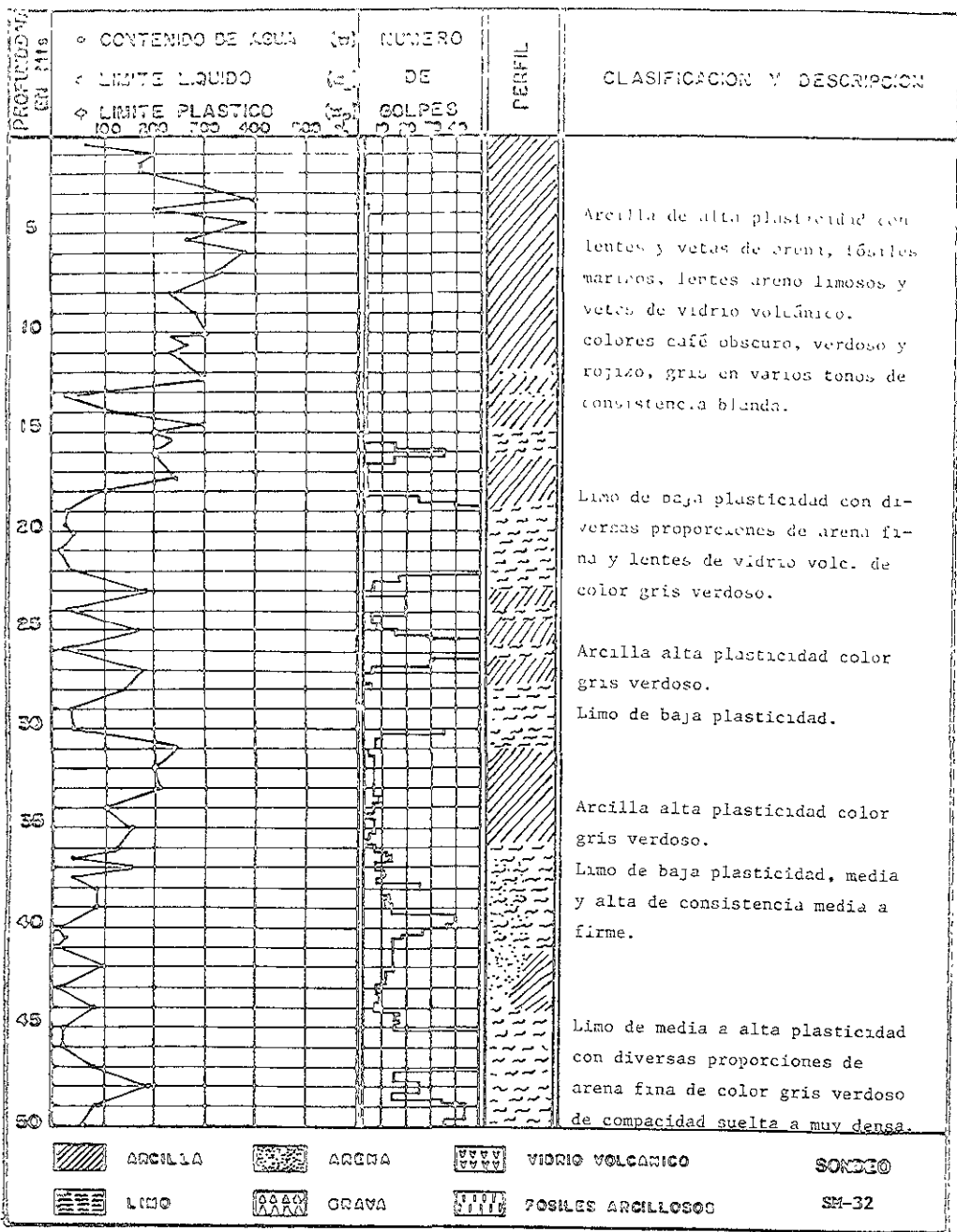
GRAVA



FOSILES ARCILLOSOS

SPE-30





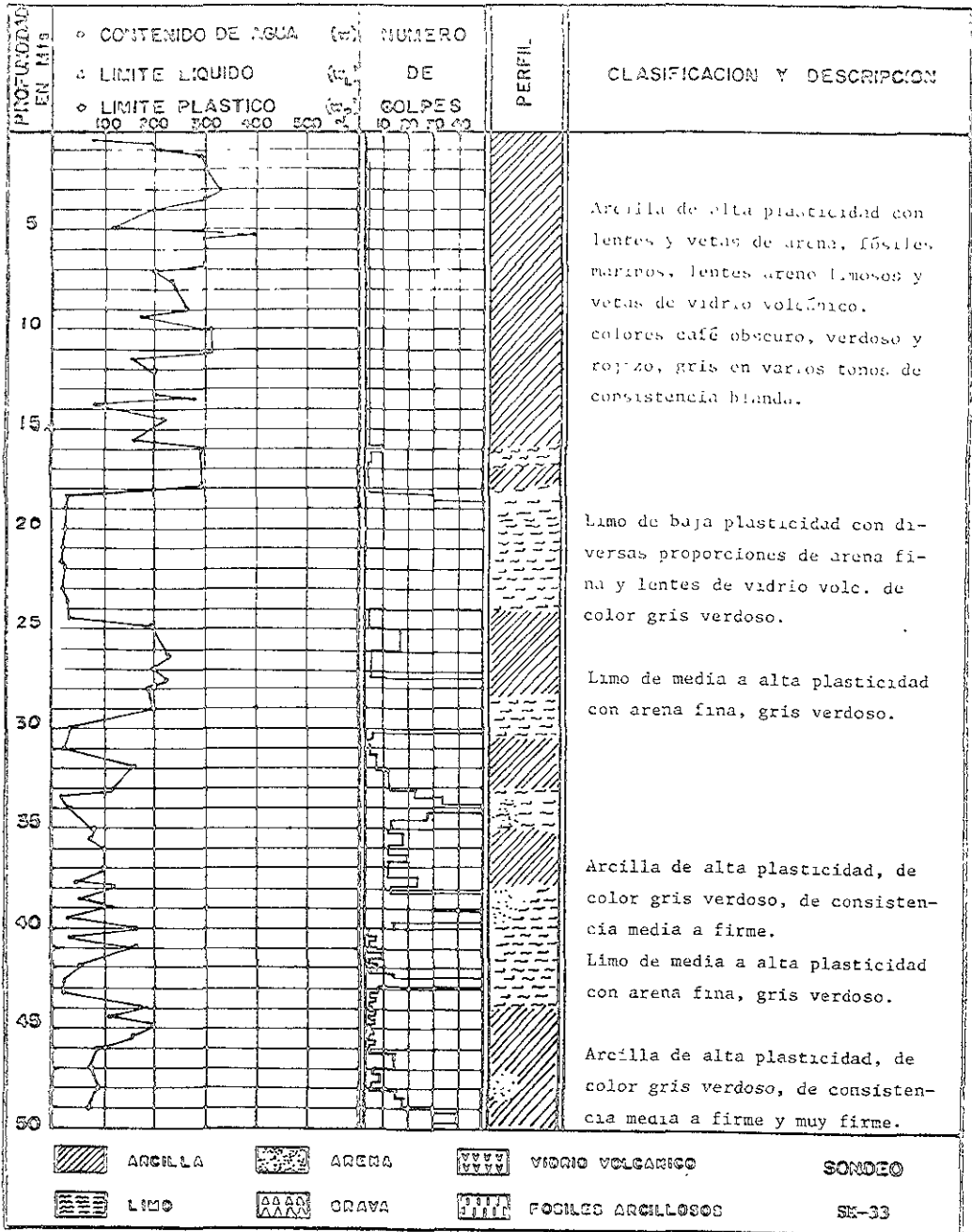
Arcilla de alta plasticidad con lentes y vetas de arena, láminas maricas, lentes arenos limosos y vetas de vidrio volcánico. colores café obscuro, verdoso y rojizo, gris en varios tonos de consistencia blanda.

Limo de baja plasticidad con diversas proporciones de arena fina y lentes de vidrio volc. de color gris verdoso.

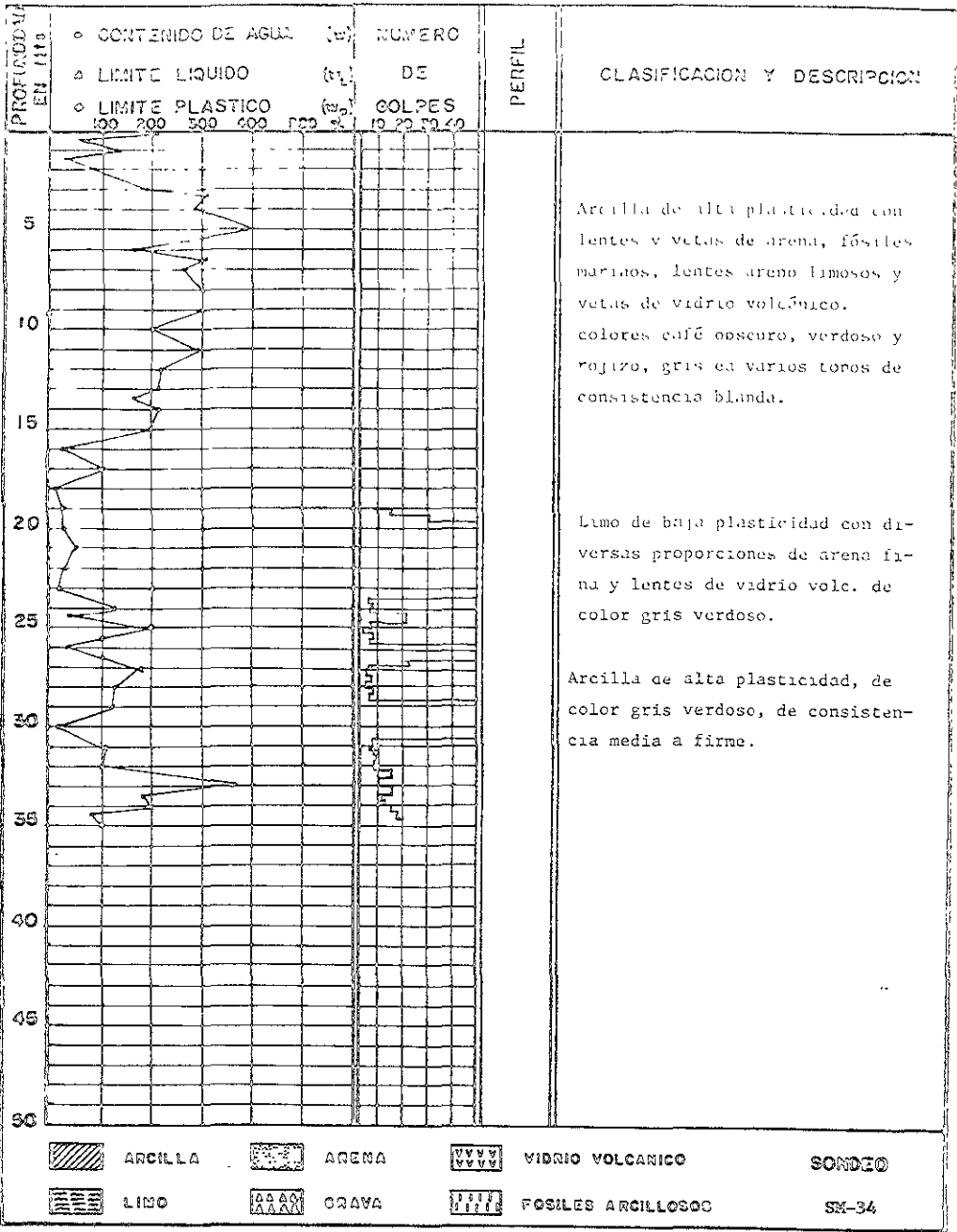
Arcilla alta plasticidad color gris verdoso.  
Limo de baja plasticidad.

Arcilla alta plasticidad color gris verdoso.  
Limo de baja plasticidad, media y alta de consistencia media a firme.

Limo de media a alta plasticidad con diversas proporciones de arena fina de color gris verdoso de compactidad suelta a muy densa.



[Diagonal lines]	ARCILLA	[Dotted pattern]	ARENA	[Wavy pattern]	VIDRIO VOLCANICO	SONDEO
[Horizontal lines]	LIMO	[Cross-hatch]	GRAVA	[Vertical lines]	FOSILES ARCILLOSOS	



## ESTUDIOS GEOFISICOS. (nes. 2,3,4).

Los estudios de geofísica de resistividades que fueron realizados en la Zona Federal del Ex-Lago de Texcoco durante el año de 1983 se busco el conocimiento de su subsuelo y de sus acuíferos.

El levantamiento gravimétrico regional realizado en esta zona en los años de 1952-53, divide, la cuenca subterránea de México en varias subcuencas, como son: Teotihuacan, Texcoco, Ciudad de México y Chalco.

Dentro de la cuenca de Texcoco se perforó el Pozo Texcoco, PP-1, que está constituido por capas de arcillas, limos y arenas, de 0 a 180 m; de 180 a 505 m, arcillas, lutitas, arcillas arenosas, arenas, areniscas y calizas lacustres (probablemente de origen termal); de 505 a 1 437 m, tobos y rocas ígneas, brechas y conglomerados; de 1 437 a 1 980 m, tobos liticas, rocas ígneas y arenas; de 1 980 a 2 045 m, anhidritas arcillosas y margas; de 2 045 a 2 065 m, arcillas, margas y conglomerados calcáreos. Este pozo sirve como base para correlacionar entre la resistividad encontrada por los SEVs y el material obtenido a esa profundidad.

De los estudios Geosísmicos realizados se obtuvieron dos estratos refractores, A y B, los cuales tienen una fuerte pendiente hacia el sureste, hacia Chimalhuacán, a una distancia de 3 km al noroeste del Pozo Texcoco (PP-1); se llegó a las profundidades de 770 m para el primer refractor y de 1 850 m para el segundo. Sobre el refractor A se depositaron, aparentemente, los derrames del volcán de Chimalhuacán. Los perfiles de los refractores muestran su mayor profundidad en las cercanías del PP-1; el primer manto arriba del refractor A es menos compacto en dirección del Peñón de los Baños que hacia Texcoco.

La sismología de refracción determinó cuatro mantos caracterizados por distintas velocidades de propagación, que pueden correlacionarse con el corte geológico del PP-1 como sigue: El primer manto, de 600 m/seg, corresponde a la capa superficial intemperizada y poco compacta, con un espesor de 30 m cerca del PP-1, que disminuye hacia el Cerro de Huatepec.

El segundo manto, con una velocidad de propagación de 1 700 m/seg, incluye a capas de baja densidad, coincidiendo su contacto interior con la base de la caliza lagunar a los 480 m en el PP-1. Lo anterior parece indicar la presencia del fondo de



en un punto 1000 m/s. En el cerro de Huatepec, la velocidad de propagación en el ESE. El contacto de la roca ígnea con el estrato debe corresponder a la cima de una emisión lávica.

El tercer manto tiene una velocidad de propagación de 2 900 m/seg en el extremo sur-oeste, que disminuye a 2 200 m/seg y luego vuelve a incrementarse hasta 3 100 m/seg hacia el nor-este. Abarca una serie de derrames lávicos, estratos polvosos de tobas y material piroclástico, coincidiendo su contacto inferior con la cima de una emisión ígnea y su frontera superior con el Cerro de Huatepec. Entre las capas que integran el tercer manto hay corrientes lávicas separadas por tobas y aglomerados, pero su velocidad promedio es muy semejante y su espesor no es suficiente para ser detectadas sísmicamente.

El cuarto manto tiene una velocidad de 4 500 m/seg al sur-oeste y de 4 600 m/seg al nor-este. No fue posible determinar su frontera inferior.

La profundidad de la roca ígnea entre los cerros de Huatepec y Tepetzingo es del orden de 50 m.

Se realizaron 63 sondeos eléctricos verticales (SEV), con una profundidad máxima de exploración de 1 000 metros, se ubicaron equidistantes a un kilómetro entre sí. (fig. 1).

Para la interpretación se utilizaron dos formas: la cualitativa, se utilizaron isorresistividades, realizándose para ellos ocho perfiles y la configuración en planta de varios mapas a distintas profundidades: 22, 46, 100, 147, 215, 316, 464, 680 y 1 000 metros.

La cuantitativa se hizo interpretando las ocho secciones geoelectricas obtenidas, deduciendo de ellas su profundidad, espesor y resistividad verdaderas. Con esto se realizaron isopacas, que contienen cuatro unidades identificadas en la zona: la capa superficial con agua muy salada, con más de 10 000 mg/lit, la del acuitardo de agua salada comprendida entre 5 000 y 10 000 mg/lit, la del estrato acuífero con valores de alrededor de 2 000 mg/lit y a profundidad se encontró la roca impermeable.

Con base en los sondeos SEVs, se realizaron ochos secciones geoelectricas en la zona federal, y una novena fuera de ella. En todas ellas se encontraron cuatro unidades geoelectricas, cuyas características se presentan resumidas a continuación. (fig. 2).

Con los resultados geofísicos obtenidos y aprovechando su ubicación en forma de cuadrícula, se elaboró un diagrama isométrico que ilustra la posición de los diferentes cuerpos de roca detectados en el subsuelo.

La capa de arcillas lacustres correspondientes a la unidad dos, presenta un espesor de alrededor de 60 metros y su distribución es muy homogénea. Se observa un ligero engrosamiento hacia el oeste, así como un adelgazamiento rumbo al este, donde incluso llega a desaparecer en las secciones V, VII y VIII. Hacia el sur también tiende a adelgazarse, mientras que hacia el norte su espesor no presenta variaciones.

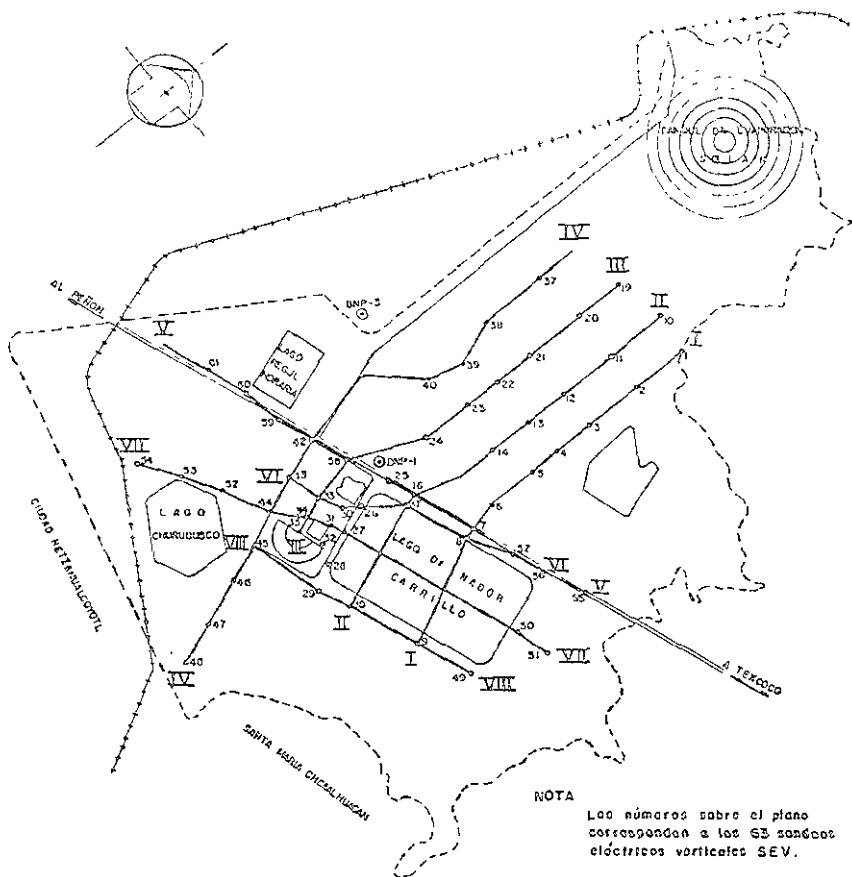
La distribución de la capa arcillosa indica que el Lago de Texcoco tuvo su límite oriental coincidiendo aproximadamente con el límite de la actual zona federal. También indica que otro límite se encuentra al sur, rumbo a Chimalhuacán, mientras que rumbo al norte y oeste se continúa más allá del área de trabajo.

Por lo que respecta a la unidad 3 correspondiente al principal acuífero, se observa que su mayor espesor se localiza hacia la zona de la planta de tratamiento. Disminuye ligeramente rumbo al norte; se mantiene su espesor hacia el oeste; tiende a disminuir en forma notable rumbo al sur y este donde seguramente se acuña al llegar a las elevaciones topográficas de Chimalhuacán y Chicoloapan de Juárez, respectivamente.

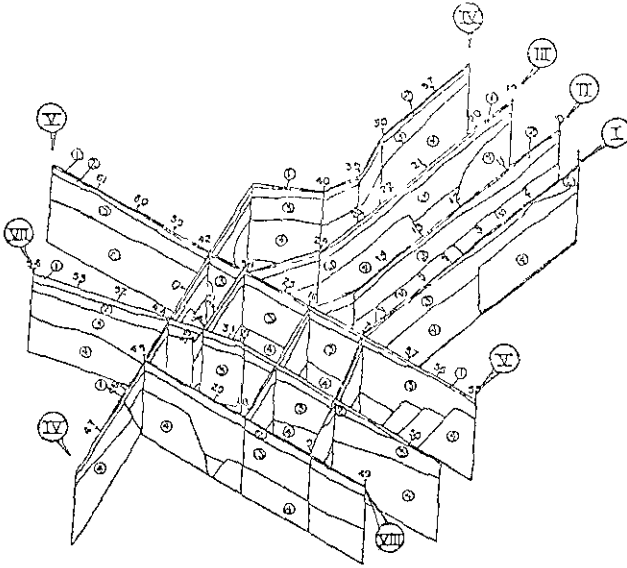
La unidad 4 se interpretó en forma de bloques afallados, ya que es el tipo de tectónica que predomina en la región. Es notable la presencia de esta unidad cerca de la superficie en el sur y este de la zona de estudio secciones IV, VII y V, donde sigue con una tendencia a aflorar en los flancos de las elevaciones topográficas.

TABLA III

SECCION GEOELECTRICA	NUMERO DE SONODOS	ORIENTACION	REGION	UNIDAD	RESISTIVIDAD OHM-CM	ESPESOR (M)	NOTAS
I	9: 1 a 9	NS	ORIENTE	1	0.45 - 26	10 - 30	1
				2	0.09 - 1.6	30 - 100	
				3	1.72 - 5.5	90 - 100	
				4	28 - 61		
II	9: 10 a 19	NS	CENTRO ORIENTE	1	0.22 - 21	20	
				2	0.16 - 1.3	30 - 100	
				3	4.1 - 7.1	300	
				4	10.5 - 39		
III	10: 19 a 24 58 y 31 a 35	NS	CENTRO	1	0.12 - 9	20	
				2	0.21 - 9.7	60	
				3	1.4 - 9.7	90 - 140	
				4	25.2		
IV	13: 36 a 48	NS	OESTE	1	0.08 - 2.4	40	
				2	0.017 - 2.8	30 - 90	
				3	3.3 - 9.8		
				4	18 - 91		
V	12: 55 a 62 42, 25, 16 y 7	N70E	CAMINO PERON TEXCOCO	1	0.08 - 17	20	3
				2	0.017 - 2.5	80	
				3	1.6 - 10.5	100 - 320	
				4	12.8 - 01.5	PROP. VARIA BLE ENTRE 130 Y 420	
VI	0: 8, 17, 26 56 y 57	NE-SW	AL SUR Y PARALELA AL PERON TEXCOCO	1	0.09 - 25	10 - 30	4
				2	0.63 - 3.7	70	
				3	2.3 - 9.3	350	
				4	12.8 - 35		
VII	9: 50 a 54 31, 34, 46, 27	N70E	SUR	1	0.04 - 23	50	
				2	1.7 - 3.8	100	
				3	3.8 - 9	300	
				4	20.5 - 75		
VIII	5: 9, 18, 29 45, 49	NE-SW	MARGEN SUR LAGO NABOR CARRILLO	1	0.58 - 3.7	10	6
				2	0.29	70	
				3	1.4 - 9.9	230 - 500	
				4	18.9 - 164		
IX	5: 15, 36, 62 61, 63		NORMAL AL ALBARRADON	1	3.6 34		7
				2	1.0 - 3.1	0 - 80	
				3	2.1 - 6.3	100	
				3*	1.1 - 2.2		
4	119	50					



PLANTA DE LA ZONA FEDERAL DEL EX-LAGO  
 DE TEXCOCO CON LAS SECCIONES GEOELECTRICAS  
 QUE SE REALIZARON



UNIDADES GEOELECTRICAS

- ① Capa de dilatación superficial predominantemente arcillosa y saturada con agua salada de más de 10 000 mg./L.
- ② Zona arcillosa con agua salada que contiene entre 5 000 y 10 000 mg./L. de sales, funciona como acuífero.
- ③ Aluviones arcillo-arenosos saturados con agua de mediana calidad que contiene alrededor de 2 000 mg./L. de sales, corresponden al principal acuífero de la zona.
- ④ Material semicompacto asociado a tobas y margas, se considera el basamento del acuífero.

NOTA: Los números en círculo corresponden a unidades geoelectricas  
 Los otros números a sondas SEVs.

Fig. 3 ISOMETRICO GEOELECTRICO

## DISCUSION

El interior del valle de México ha sufrido actividad tectónica y volcánica, desde el Mioceno cuando se presentaron fracturamientos en la parte oriental y poniente. Ya en el Plioceno una actividad volcánica cerró la parte norte, creando fracturamientos en grandes bloques. Esto provocó que con el transcurso del tiempo, y ya en el Pleistoceno se acumularán sedimentos, en el oriente y poniente; En el cuaternario nuevamente la actividad tectónica creó fracturas en dirección W-E, formándose en el sur la sierra Chichinautzin, dando como resultado una cuenca endorreica.

Todo está actividad tectónica y volcánica se debe a que la cuenca del valle, se encuentra situada sobre el eje neovolcánico, el cual por sus características, tiene muchas fallas geológicas, debido al empuje y subducción de las placas Pacífica, Cocos, Norteamericana y del Caribe.

Los cambios de clima afectaron con una desintegración mecánica y química, de rocas ígneas, producto de erupciones volcánicas, que al enfriarse se fracturaron y se intemperizaron con el tiempo, creando diferentes tipos de suelos; es posible que por una alteración físico-química del polvo llamado loess glacial, al hidratarse hayan resultado las arcillas lacustres del valle de México, dado que éstas están compuestas por minerales, en su mayoría silicatos.

Cuando el clima cambiaba, el tipo de suelo adquiriría otro color y otras propiedades, por ejemplo, existían suelos de color café y hasta rojizo, producto de ambientes moderados a subtropicales o amarillos de clima frío, todo esto debido a descomposición química.

Existen en los sondeos realizados para el lago de Texcoco muestras en las cuales las arcillas cambian de verde claro, a verde olivo, café y hasta rojizo; esto podría deberse a cambios de clima registrados en intervalos pequeños, dado que existen estratos de igual tamaño de varios colores. No se realizó un corte estratigráfico de los colores de la arcilla porque en algunos sondeos no se tiene esta información.

Haciendo una comparación de los periodos de glaciación contra el tiempo y con base en los estudios de paleolimnología y paleopalinoología, realizados en el ex-lago de Texcoco, se dice que la sedimentación de las arcillas es en promedio de 0.3mm/año. Con base en esto se obtiene el cuadro siguiente:

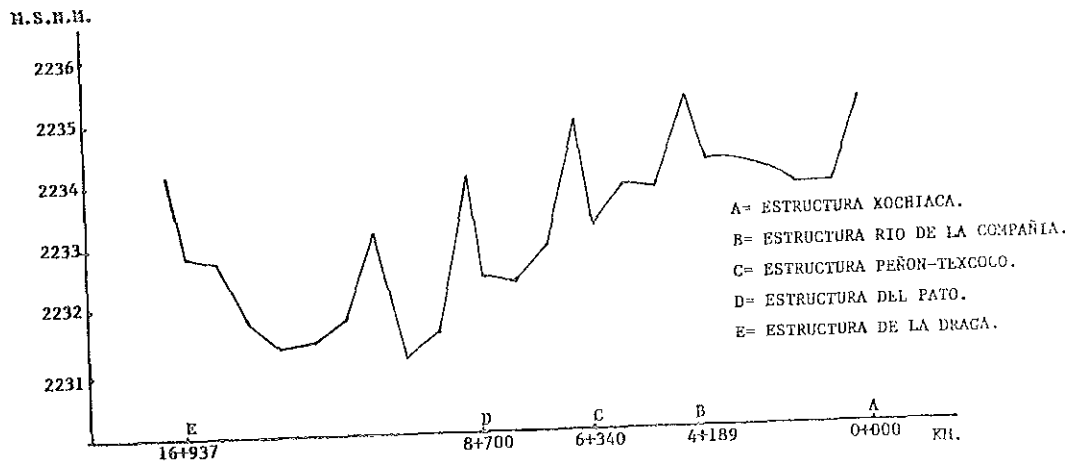
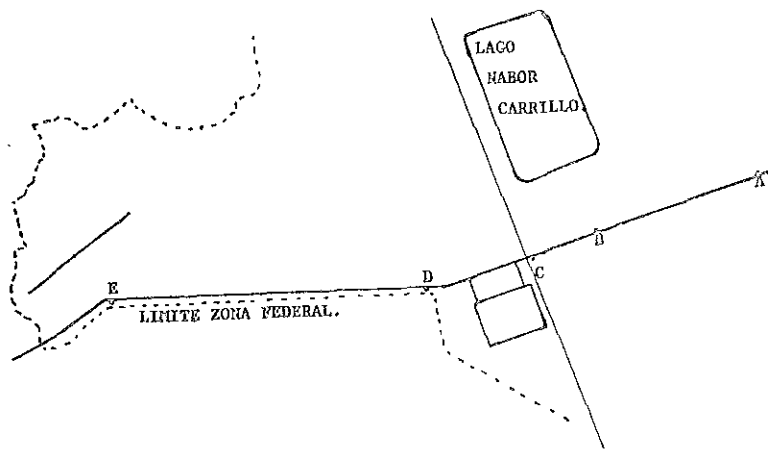


FIG. 2 PERFIL DEL DREN GENERAL.

Los contenidos de agua, límite plástico, límite líquido, los en promedio para la formación arcillosa superior (F.A.S.) como sigue:

PROPIEDADES INDICE PARA F. A. S.					
VALORES 1978			VALORES 1970		
CONTENIDOS DE AGUA.	L.P.	L.L.	CONTENIDOS DE AGUA.	L.P.	L.L.
303	71	301	232	62	287

Como se observa en la tabla anterior los contenidos de agua bajaron. El valor 232 se obtuvo de un promedio de valores que se tienen para cada uno de los sondeos al igual que los límites líquido y plástico.

La baja en los valores de contenido de agua y límites se deben a la extracción de agua que se realiza por una parte la compañía Sosa Mexco para obtener sal y por otra parte el continuo hombre para abastecer al área Metropolitana de agua potable; la perforación de túneles para dar salida a las agua fluviales y a las residuales que genera la ciudad, la cual registraba inundaciones en épocas de lluvias; todo esto ocasiona un incremento alta en la resistencia al corte del suelo, pero también aumenta la consolidación de la formación arcillosa superior hecho que se refleja en la fig. 1.

Tabla III. Relación de sondeos y su Ubicación.

Base de datos para la fig. 1.

Numero de sondeo : coordenadas UTM. : Profundidad  
 : valor X : valor Y : valor Z

SM-9	100.25	60.75	21.40
SM-10	98.75	60.47	22.00
SM-6	101.75	59.45	22.40
SPE-30	100.25	59.40	20.60
SM-8	99.25	58.00	28.00
SPE-29	100.20	57.90	25.00
SC-14	101.80	58.00	25.20
SC-25	100.67	55.12	29.00
SC-24	99.12	52.20	34.00
SC-15	99.75	52.35	34.00



SC-16	101.15	52.00	37.00
SC-17	101.02	52.37	33.20
SM-4	102.20	52.00	34.00
SM-5	107.90	53.78	33.70
SC-13	95.25	49.30	39.50
SM-3	101.70	51.50	34.00
SM-1	105.10	52.90	27.00
SC-14	101.25	52.12	34.00
SC-15	96.85	48.60	36.00
SC-18	98.05	49.20	35.00
SC-17	98.80	49.80	35.00
SC-12	99.20	50.00	34.70
SC-27	99.40	49.75	34.70
SC-16	99.60	50.15	34.50
SM-11	99.65	50.00	34.70
SC-28	99.53	49.50	34.70
SC-20	100.20	49.50	35.40
SC-21	100.75	49.75	35.00
SC-22	101.60	50.10	35.00
SM-2	103.75	51.19	33.00
SCE-3	96.57	52.80	40.00
SCE-4	96.73	52.37	44.00
SCE-5	96.80	52.12	41.00
SCE-6	97.25	51.98	40.00
S-1	95.20	49.20	39.50
S-3	94.70	50.70	37.30
S-4	94.85	50.75	38.00
S-5	95.50	50.90	39.00
S-6	96.90	53.33	38.50
S-7	98.45	62.50	37.00
S-8	99.30	54.77	36.00
S-9	100.87	55.70	31.50
S-10	103.80	57.85	24.00
S-11	105.29	59.80	20.00
S-12	106.90	59.85	10.75
S-13	107.12	59.85	9.30
S-14	108.55	60.30	7.25
S-17	108.83	60.90	3.10

Como se observa en los cortes estatigráficos del 1 al 7, la formación arcillosa superior en general tiene una capa dura a una profundidad promedio de 28m, la cual está constituida por pequeños lentes de arena volcánica con una profundidad de 0 a 10m aproximadamente; también se encuentra estratos de arena fina negra ligeramente arcillosa, y en algunos casos se encuentran estratos pequeños de 6 a 10 cm. de largo por 0.5 a 1.0 cm. de espesor, estos estratos pueden ser debidos a un agente de transporte como viento o pequeñas corrientes de agua superficial que depositaron estas arenas finas.

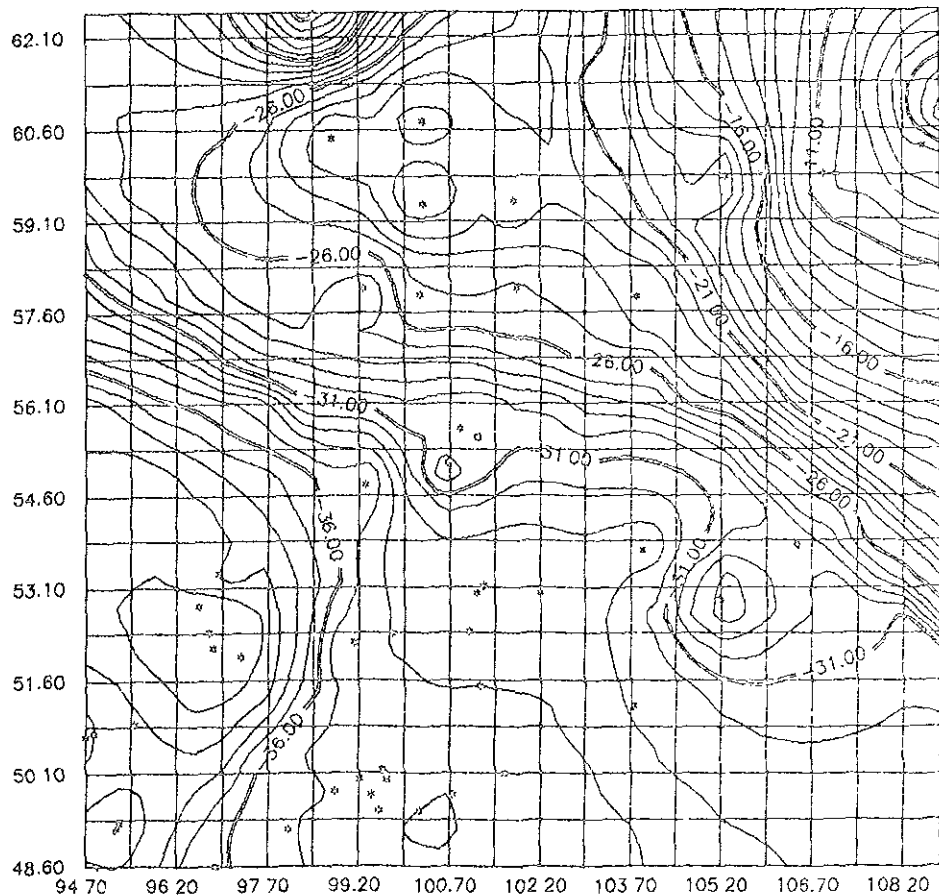
Los fósiles en la zona de la vertiente occidental del lago están entre 10 y 20m de profundidad; existen algunos pequeños fósiles de limo gris obscuro muy compactos, en algunos casos cementados, y en otros con arena. La primera capa que la conforman, limos verde olivo de alta resistencia a la penetración.

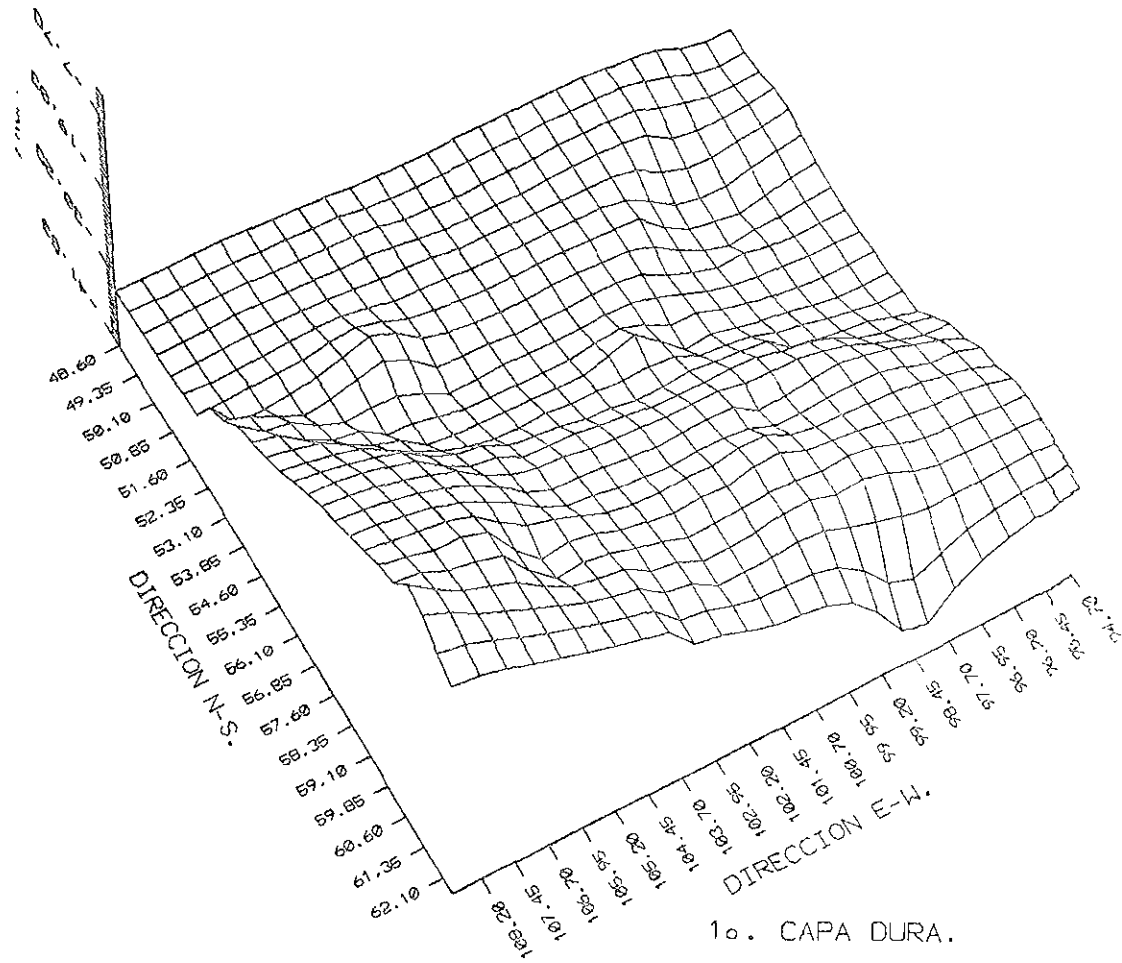
Existen también estratos de fósiles arcillosos entre 20 y 30m de profundidad, en la parte norte y al oeste se encuentran los fósiles arcillosos desde los 2 metros hasta los 26m. de profundidad.

Las arcillas de la formación arcillosa superior, F.A.S., cambian de color: existen gris verdoso, café rojizo, café, verde olivo, verde oscuro, y todas son de alta plasticidad.

Todas las arcillas del lago tienen baja resistencia al corte, por lo tanto, la fricción entre las partículas es baja. Esto se puede apreciar en pruebas de resistencia al corte con cámara triaxial y realizando sus círculos de Mohr.

CURVAS DE NIVEL PARA LA 10. CAPA DURA.





1o. CAPA DURA.

## CONCLUSIÓN

El estudio del subsuelo del ex-lago de Texcoco puede ser tan complejo como se quiera, existen muchas variables naturales que están involucradas en la formación del subsuelo del lago, además estos eventos se repiten varias veces, que no se tiene información confiable, para saber como se formó; Algunas de las variables son el tiempo de duración de una glaciación, un interglacial, la zona exacta donde esto ocurre, la intensidad del viento, de la lluvia, para saber que tamaño de partículas ha transportado, la temperatura ambiente y algunas que dependen de las anteriores como son la descomposición Química, desintegración Mecánica y los agentes de transporte, etc.

El subsuelo del ex-lago de Texcoco, tiene una historia geológica que viene desde el terciario cuando se creó el eje neovolcánico, dando origen pormedio de tectónica de placas (Cocos, Pacífica, Norteamericana, y la de Caribo) a una serie de levantamientos orogénicos que conformaron valles o cuencas endorreicas, como lo es la del valle de México, donde pormedio de un proceso de cambios de temperatura, viento, lluvia, etc. se formó una sedimentación en la parte baja de la cuenca, donde existía el lago de Texcoco, esta sedimentación tiene una profundidad de 40m que corresponde a la formación arcillosa superior (F.A.S.) y a la formación arcillosa inferior (F.A.I.) con un espesor de 30m aproximadamente para cada una, están divididas por la primera capa dura.

La formación arcillosa superior que básicamente se estudio aquí, presenta características muy peculiares como son altos valores en contenidos de agua, límites de consistencia, y como consecuencia su alta plasticidad.

Sin embargo podemos suponer como esta formado el subsuelo, echando mano de todos los estudios realizados en el lago como son sondes de penetración estándar, geoelectrónicos, estudios de paleolimnología, y paleopalinología, perforación de pozos, y estudios geológicos realizados para la cuenca del valle de México.

La formación del subsuelo, en su formación arcillosa superior (F.A.S.), tiene un comportamiento, en el corto tiempo que se ha estudiado, y comparándolo con los 100 000 años que tardó en crearse, de compresión y tensión, en algunas zonas del lago; en la parte norte, existe una depresión muy marcada que en 1978 no existía por lo tanto hay una baja en valores de contenido de agua y límites, aumento en la resistencia al corte, la consolidación en esta zona es de 2m aproximadamente. Al noreste encontramos un incremento en los valores de las curvas de nivel

para un mismo punto, esto podría ser incongruente si se piensa que la formación arcillosa superior debería sufrir consolidación, sin embargo aquí el estrato de arcilla crece, una forma de comprobar sería realizar una zonda para esta zona. Al noroeste se seguira afirmando que la capa tiende a subir rápidamente, ya que en esta zona no se tiene información de 1978. En la zona centro las curvas de nivel para la primera capa dura casi corresponden, de 1978 a 1990, aquí existe una consolidación de un metro aproximadamente. En la zona sur y sureste existen consolidación del estrato de arcilla, esto debido a cargas impuestas como el lago Nabor Carrillo y el relleno sanitario, respectivamente.

En general el subsuelo del ex-lago de Texcoco ha sufrido consolidación, con valores de contenidos de agua, límites de consistencia, bajos, comparados con los de 1978, las razones por las cuales se ha tenido esta consolidación, son el continuo bombeo de agua, el no recargar el acuífero para mantener el nivel freático de agua y así evitar la consolidación, la cual está afectando con hundimientos a las estructuras aquí instaladas. Este problema se observa en varios puntos de la ciudad de México, en algunas partes los hundimientos son diferenciales, creando muchos problemas para las estructuras, así como para el sistema de drenaje superficial (dren general) otro de los problemas es la consolidación debida a cargas como las del relleno sanitario y las del lago Nabor Carrillo.

Este es un tipo de suelo que no es recomendable para la construcción unidades habitacionales ya que los edificios tendrían problemas en la estructura, como son cuarteaduras, por hundimientos diferenciales, y su comportamiento ante un movimiento sísmico podría ocasionar muchas bajas personales como las del 19 de septiembre de 1985, además de que el costo para realizar una estructura que resistiera movimientos telúricos sería muy elevado.

Este tipo suelos deberían utilizarse como parques ecológicos, recreativos, centros deportivos, es decir lugares donde el riesgo ante un movimiento sísmico sea el menor, y a la vez tener áreas verdes dentro de la ciudad las cuales ayudarían a combatir la contaminación.

## REFERENCIAS.

1. El subsuelo y la Ingeniería de cimentaciones en el Área Urbana en el Valle de México.  
R. Murillo F. y D. García A.  
Simposio 10 de Marzo de 1978 SMMS.
2. Estudios Geofísicos  
M. Benhumea L. y A. Vasquez.  
C.F.E. 1988.
3. Resistividades en el Lago de Texcoco.  
R. Morales et all  
Simposio la cuenca del valle de México.  
Tópicos geológicos, SMMS 23 Julio 1989.
4. Lasser y Asociados, S.A. (1988)  
Estudio Geofísico de resistividad en la zona federal del ex-lago de Texcoco Edo. Mex.
5. Modulo experimental de recarga de acuíferos en el ex-lago de Texcoco.  
Un enfoque geohidrológico.  
R. Morales M. y N. Piñon.  
Memorias del VI Congreso Nacional.  
S.M.I.S.A. Quertaro Oro.
6. Proyecto Texcoco.  
S.H.C.P. (1969)  
Memoria de los trabajos realizados y conclusiones.
7. El hundimiento de la ciudad de México y proyecto Texcoco.  
S.H.C.P. Nabor Carrillo.  
Contribución del proyecto Texcoco al VII congreso Internacional de Mecánica de Suelos e ingeniería de Cimentaciones.
8. Palinología y Paleambientes Pleistocénicos de la cuenca de México.  
S. Lozano - García. (1989).  
Geofísica Internacional.  
Simposio realizado en la Ciudad de México 1989.
9. Sismicidad en la cuenca del Valle de México.  
G. Figueroa.
10. J. Prince, et all  
Acelerogramas de C.U. 19/9/85.

11. E. Medina, et al.  
Acelerograma central S.C.O.P.
12. R. Quass, et al.  
Acelerograma central de abasco.
13. J. Prince, et al.  
Acelerograma viveros de Coyacan y Tacubaya.
14. Manual de exploración geotécnica.  
Secretaría General de Obras del D.D.F. (1988).
15. Outline of the stratigraphical and Mechanical characteristics of the unconsolidated sedimentary deposits in the basin of the valley of México.  
Zeevaert L. 1985.
16. Estudio Geológico del Valle de México.  
Mooser F. 1985.  
Trabajo no publicado.
17. El subsuelo de la ciudad de México.  
Raúl J. Marsal.  
Marcos Mazari.  
Contribución del I. de ingeniería al primer congreso panamericano de M. de Suelos y Cimentaciones.  
Sep. 1959.