

01123
9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS GEOMECANICO DE UNA SECUENCIA LACUSTRE EN LA CIUDAD DE MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

ROSARIO PERALTA SALAZAR

DIRECTOR DE TESIS DRA. DORA C. CARREON FREYRE



MEXICO, D.F.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2003

A



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-1-607

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

SRITA. ROSARIO PERALTA SALAZAR
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora Dra. Dora Carrón Freyre y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero de Geólogo:

ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE UNA SECUENCIA LACUSTRE EN LA CIUDAD DE MÉXICO

- I INTRODUCCIÓN
 - II CONTEXTO GEOLÓGICO
 - III ANÁLISIS GEOMECÁNICO
 - IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - V CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS
- REFERENCIAS
ANEXOS

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.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 13 de junio de 2003
EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*AGC*glg

DEDICATORIAS

- ❖ *A MI MADRE: Por ser mi guía, sostén y refugio, por enseñarme día a día a ser mejor, por estar siempre conmigo y por sobre todas las cosas por tu inmenso amor.*
- ❖ *A MI PADRE: Por ser mi ejemplo, por enseñarme el valor del trabajo diario, por ser pilar inquebrantable siempre, por tu honestidad y más que todo por tu amor incondicional.*
- ❖ *AL COMPAÑERO DE MI VIDA: Por tu gran apoyo y aliento, por ser parte de mi vida cotidiana, llenándola de ilusión al brindarme tu amor y por ese par de ángeles que tenemos la dicha de compartir.*
- ❖ *A MIS DOS AMORES, XANI E IVAN: Por existir y llenarme de luz día a día.*
- ❖ *A MI HERMANO: Por los momentos compartidos de alegría y juego y por ser imprescindible en mi vida.*
- ❖ *A MI ABUELA NATALIA: Por transmitirme su experiencia y darme su cariño.*
- ❖ *A MI SUEGRA: Por alentarme y apoyarme en los momentos más difíciles, de manera incondicional*
- ❖ *A MIS PRIMOS Y SUS FAMILIAS: Especialmente a Julio y Clarita , y Rocío y Angel por siempre estar cuando los he necesitado.*
- ❖ *A MIS AMIGOS: Zulema, Miguel y Juan Carlos, por su amistad, por compartir conmigo los buenos momentos y por su apoyo técnico en este proyecto.*
- ❖ *A DIOS: por rodearme siempre de gente maravillosa.*

AGRADECIMIENTOS

❖ *A MI TUTORA, la Dr. Dora Celia Carreón Freyre, por su enorme paciencia y comprensión, por su acertada guía y por el empeño para realizar juntas este trabajo.*

❖ *A MIS PROFESORES, Alfredo Victoria, Jorge Nieto, Héctor Macías, Benjamín Márques, Miguel Vera, Carlos Garza, Roberto Uribe, Víctor Malpica, Javier Arellano y a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a mi formación.*

❖ *A MIS SINODALES:* *M. en C. Rolando de la Llata Romero*
 Ing. Héctor Macías González
 Ing. Sergio Herrera Castañeda
 Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo

Por sus valiosos comentarios para mejorar este trabajo

❖ *A LA FACULTAD DE INGENIERÍA: Por transmitirme el orgullo de ser universitaria y formarme con los mejores recursos.*

❖ *A LA UNAM: Por brindarme la maravillosa oportunidad de formar parte de ella.*

INDICE GENERAL

TEMA	Pág.
Capítulo I. Introducción	
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo	4
1.3. Metodología	5
1.4. Desarrollo	6
Capítulo II. Contexto geológico	
2. Historia geológica de la Cuenca de México	7
2.1. Estratigrafía cuaternaria	10
2.2. Evolución de la zona lacustre	11
2.3. Estratigrafía geotécnica	14
2.3.1. Zonificación Geotécnica	17
Capítulo III. Análisis Geomecánico	
3.1. Características generales	19
3.1.1. Descripción estratigráfica preliminar	20
3.2. Selección de muestras	22
3.3. Análisis físicos	24
3.3.1. Densidad de sólidos (Ss) y Densidad Real (DR)	24
3.3.2. Granulometría	27
3.3.3. Límites de consistencia	29
3.3.4. Contenido de agua (W%)	31
3.4. Análisis químicos	34
3.4.1. Determinación de óxidos totales	34
3.4.2. Determinación de Potencial Hidrógeno (pH)	37
3.4.3. Determinación de Materia orgánica (MO %)	38
3.4.4. Capacidad de intercambio catiónico (CI)	40
3.4.5. Aniones solubles	41
3.4.6. Determinación de amorfos y cristalinos de Fe, Al, Si	43
3.5. Análisis mecánicos	50
3.5.1. Compresibilidad	50
3.5.2. Resistencia al esfuerzo cortante	55

Capítulo IV. Discusión de resultados	
4.1 Redefinición de la secuencia estratigráfica	59
4.2 Relación entre los resultados del análisis geomecánico y las condiciones de formación	63
4.3 Relación entre las propiedades físico-químicas y la compresibilidad y resistencia al corte	65
Capítulo V. Conclusiones y perspectivas	
5. Conclusiones y perspectivas	69
Anexo 1. Descripción detallada de la secuencia estratigráfica	71
Anexo 2. Límites de consistencia y clasificación SUCS	75
Anexo 3. Contenido de agua natural, óxidos totales, cationes intercambiables, aniones	99
Anexo 4. Curvas de compresibilidad	107
Anexo 5. Pruebas triaxiales	117
Bibliografía	139

INDICE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1. Localización del Eje Neovolcánico Transmexicano	1
2. Límites de la Cuenca de La Cd. de México	2
3. Corte transversal de la Zona lacustre de la Cd. de México	3
4. Marco Tectónico del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) Plioceno al Cuaternario	8
5. Perspectiva del Valle de México desde el sur.....	9
6. Columna Estratigráfica de la Cuenca de México	9
7. Estratigrafía Cuaternaria (Bryan et. al., 1948; Schalaepfer, 1968)	10
8. Eventos ambientales durante el Holoceno-Pleistoceno	11
9. Máxima extensión del lago de México	12
10. Evolución de la Cuenca del Valle de México	13
11. Columnas estratigráficas de la zona centro de la Cd. de México	15
12. Estratigrafía de la Subcuenca de la Ciudad de México (Mooser, 1990)	16
13. Estratigrafía de la Cd. de México Zona Centro (Támez et al, 1992)	16
14. Zonificación de la Cuenca del Valle de México (Méndez y Auvinet, 2000) ..	18
15. Estratigrafía preliminar	21
16. Selección de muestras	22
17. Presencia de óxidos al interior de uno de los núcleos	23
18. Estructuras de inyección de arena en arcillas	23
19. Densidad de Sólidos, Densidad real respecto a la estratigrafía	26
20. Contacto entre arcillas y arena fina	27
21. Contracción en una probeta de arcillas	32
22. Relación entre los límites plástico, líquido y el contenido de agua natural.	33
23. Variación de óxidos totales	36
24. Comportamiento del contenido de MO respecto a la estratigrafía	39
25. Relación de los valores de aniones solubles respecto a la estratigrafía ...	42
26. Variación de aluminio	45
27. Variación de Sílice	47
28. Variación de Fe	49
29. Gráficas de compresibilidad	53

30. Variación del coeficiente de Compresibilidad	54
31. Variación de la Resistencia al Esfuerzo cortante.	57
32. Redefinición estratigráfica	60
33. Relación entre la Compresibilidad y las características Físico-químicas de la secuencia estratigráfica.....	66
34. Relación entre la Resistencia al esfuerzo cortante y las características Físico-químicas de la secuencia estratigráfica.....	68

INDICE DE TABLAS

TABLA	Pág.
1. Ss en suelos puros	25
2. Densidad de sólidos y densidad real	25
3. Clasificación geológica y edafológica de los sedimentos... ..	28
4. Límites de consistencia e índice de plasticidad.....	30
5. Clasificación SUCS	31
6. Óxidos totales	35
7. Potencial hidrógeno, pH	37
8. Contenido de materia orgánica %	39
9. Capacidad de intercambio catiónico.....	40
10. Variación del contenido de aniones solubles con la profundidad.....	42
11. Contenido de aluminio amorfo y cristalino	44
12. Contenido de sílice amorfo y cristalino	46
13. Contenido de hierro amorfo y cristalino	48
14. Valores de compresibilidad	55
15. Valores de pruebas triaxiales lentas consolidadas drenadas	56

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La cuenca de México, localizada en la zona más elevada de la altiplanicie central del territorio nacional, pertenece fisiográficamente a la parte media del Cinturón Volcánico Transmexicano (Demant, 1978) (fig. 1). Su morfología corresponde a una altiplanicie lacustre rodeada por sierras volcánicas y por abanicos y llanuras aluviales (Vázquez-Sánchez et al, 1989) que en conjunto conforman la llamada Cuenca de México. Las sierras que limitan a ésta altiplanicie son, al norte y noreste Las Sierras de Pachuca y Tezontlalpan respectivamente, al sur la Sierra de Chichinautzin, al oriente la Sierra Nevada, con la mayor elevación entre las que rodean al Valle y finalmente al poniente las Sierras de Zempoala y Las Cruces (Mooser, et al, 1974)(fig. 2).

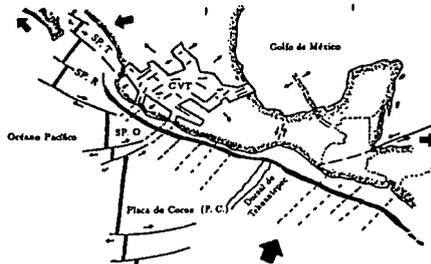


Figura 1. Localización del Eje Neovolcánico Transmexicano y mecanismos tectónicos presentes.
Demant, 1978

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PAGINACIÓN DISCONTINUA

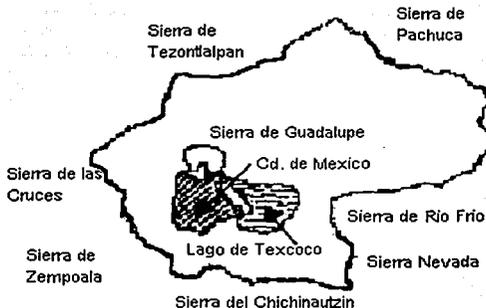


Figura 2. Límites de la Cuenca de La Cd. de México
Mooser, 1974

Gran parte de los asentamientos humanos de la Cd. de México se localizan sobre una alternancia de material lacustre, constituida por limo-arcilloso, arenas y ceniza volcánica con algunos estratos ricos en materia orgánica (Ortega et al, 1996) altamente compresibles.

Esta secuencia sobreyace un acuífero regional piroclástico aluvial (fig. 3), del cual se extrae gran parte del agua con que se abastece la Ciudad de México y área conurbada. El elevado ritmo de extracción de agua (50 m³/s) ha provocado una disminución en la presión de poro del acuífero y un aumento en los esfuerzos verticales efectivos en los sedimentos lacustres (Ortega et al, 1996).

La heterogeneidad de los materiales que conforman la cuenca y las discontinuidades presentes, tales como lentes de arena, capas duras y fracturas son determinantes en el comportamiento mecánico de los suelos (Carreón Freyre, 2001). El hundimiento de algunas zonas de la Cd. de México y sus deformaciones han sido analizados por diversos autores, (Zeevaert, 1953; Marsal y Mazari 1959; Hiriart y Marsal, 1969; Mesri, et al, 1975; Díaz, 1992; Marsal, 1992; Romo, 1995), con un enfoque básicamente geotécnico.

TESIS CON
FALLA ORIGEN



Figura 3. Corte transversal de la Zona lacustre de la Cd. de México
Ortega, 1996

Sin embargo, en un análisis geotécnico, gran parte de los parámetros se definen basándose en valores estándar obtenidos estadísticamente y que no consideran estrictamente la gran variación de las características físico-químicas y geológicas de los materiales, lo cual en algunos casos puede ser determinante en el desarrollo de obras civiles.

Esta es la razón fundamental por la cual en este trabajo se aplicará un análisis geomecánico, que complemente los datos obtenidos en pruebas mecánicas y apoye en la interpretación del comportamiento mecánico, atendiendo a las condiciones geológicas de origen y evolución.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2 Objetivo

El análisis de las propiedades intrínsecas de los sedimentos lacustres es, como ya se mencionó, un apoyo importante en las pruebas mecánicas, por lo que se justifica desarrollar este tipo de estudios mediante la aplicación de un análisis geomecánico, que consiste en cuantificar por medio de un proceso sistemático, el comportamiento y características de los materiales geológicos, atendiendo a sus variaciones espaciales y temporales.

Conforme a lo expuesto, el objetivo general de este trabajo es presentar las relaciones existentes entre las características geológicas y mecánicas de los materiales lacustres, de un sondeo de los dos a los siete metros de profundidad, en la zona centro (Alameda Central) de la subcuenca de la Cd. de México, y determinar la conveniencia de aplicar este tipo de estudios en zonas problemáticas, para ello, se establecieron tres objetivos específicos:

1. Caracterizar física y químicamente muestras representativas de los estratos definidos macroscópicamente, para establecer su probable origen y evolución.
2. Determinar las propiedades índice y mecánicas (compresibilidad, resistencia al corte y límites de consistencia) de los sedimentos provenientes del sondeo.
3. Proponer una nueva clasificación estratigráfica de la secuencia lacustre analizada basada en el análisis geomecánico desarrollado, que sirva como guía en la toma de decisiones para obra civil.

1.3 Metodología

Para la realización del presente trabajo se analizaron los materiales lacustres de la región central de la Cuenca de México, de los 2 a los 7 metros de profundidad, mediante el desarrollo de 5 etapas básicas:

- Etapa 1. Descripción macroscópica del núcleo extraído y selección de muestras para los diversos análisis.
- Etapa 2. Determinación de las características intrínsecas de los materiales por medio de pruebas físicas (contenido de agua W%, densidad y granulometría) y químicas (contenido de aniones y cationes solubles, contenido de materia orgánica MO, potencial hidrógeno Ph, conductividad eléctrica eh y densidades real y aparente)
- Etapa 3. Determinación de las propiedades geotécnicas (resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad y límites de consistencia)
- Etapa 4. Elaboración de una columna estratigráfica basada en las variaciones de los datos obtenidos.
- Etapa 5. Interpretación de la influencia del origen y evolución de los depósitos lacustres sobre su comportamiento mecánico.

1.4 Desarrollo

El presente trabajo consta de cinco capítulos:

- El primero menciona brevemente la problemática de la Zona Lacustre de la Cuenca de la Cd. de México, los estudios hasta ahora realizados al respecto y la importancia de enriquecerlos con información geológica.
- El segundo capítulo muestra la concepción de una misma región desde dos puntos de vista, el geológico y el geotécnico, utilizando en el primer caso una escala temporal reducida (centenares de años), no usual, pero apropiada para los objetivos trazados.
- El tercer capítulo incluye los análisis realizados, su importancia para el presente estudio, en algunos casos, datos reportados por otros autores y los resultados obtenidos para la secuencia lacustre de la subcuenca de la Cd. de México.
- El cuarto capítulo contiene la presentación conjunta de los resultados y su discusión, mostrando el comportamiento de las variables y referenciándolas a la estratigrafía previamente definida.
- El quinto capítulo presenta la redefinición estratigráfica basada en los datos obtenidos, las implicaciones de la nueva estratigrafía y se sugieren probables aplicaciones para este tipo de análisis.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOLÓGIA Y MINERÍA

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO

2. Historia Geológica de la Cuenca de México.

El basamento de la Cuenca, registrado del Aptiano, al Cretácico superior (119 - 65 m.a.), está conformado por calcilitas y limolitas (Fries, 1960), sobre las cuales se deposita una alternancia de calizas y dolomías (De Cserna et al, 1987), seguidas de una secuencia turbidítica de grawacas, limolitas y lutitas de aguas someras (Fries, 1960).

Durante el Cenozoico (65-1.6 m.a.) dominó la actividad volcánica dando lugar a la formación de sierras y estratovolcanes , modificando así la morfología de la cuenca. Durante este lapso se origina interdigitación y sobreposición de coladas basálticas con depósitos piroclásticos, presentando además interstratificación de materiales clásticos aluviales los cuales tienen espesores promedio de 6 m. (Vázquez-Sánchez, et al, 1990).

El vulcanismo del Oligoceno-Plioceno (36.6-1.6 m.a.) está representado inicialmente por secuencias de material clástico, seguido de brechas volcánicas, piroclásticos, tobas intercaladas y derrames lávicos cuya composición predominante es de andesita y dacita (Vázquez-Sánchez, et al, 1990). El Mioceno-Plioceno (23.7-1.6 m.a.) , se caracteriza por la formación grandes sierras, al suroriente las Cruces, Guadalupe y Río Frío, al norte Tepotztlán; Zempoala al sudoccidente, Navajas al nororiente y finalmente al occidente la Sierra de Monte Alto, todas con composición desde basáltica a riolítica (Geyne et al, 1956) con algunos derrames andesíticos (Segerstrom, 1961). Durante el Plio-cuaternario (1.6 m.a.) se registró un cambio en el ángulo de subducción de la Placa de Cocos en la zona de la Trinchera de Acapulco el cual originó la presencia de un régimen tectónico de fracturamiento cortical

representado por sistemas de fallas normales y emplazamientos de derrames lávicos, (Mooser, 1978) que controló el régimen de sedimentación clástico aluvial (fig. 4). Interdigitado con estas secuencias hay material piroclástico y depósitos fluviales constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, cuyo espesor máximo se encuentra la centro de la cuenca y se adelgaza hacia las márgenes (Vázquez-Sánchez, et al, 1990). Estos materiales son generados por una fuerte erosión fluvial ligada a los procesos de formación de las grandes sierras.

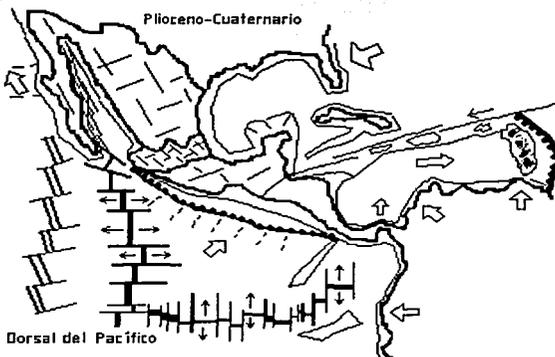


Figura 4. Marco Tectónico del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) Plioceno al Cuaternario (Mooser 1978)

La actividad volcánica más reciente en la Cuenca, durante el Cuaternario (1.6 m.a. a 10,000 años) originó la aparición de los estratovolcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl, y de la Sierra de Chichinautzin, la cual obstruyó la única salida existente en la cuenca, transformándola en una cuenca cerrada (Fries, 1960) (fig. 5).

TESIS CON
FALLA GEN

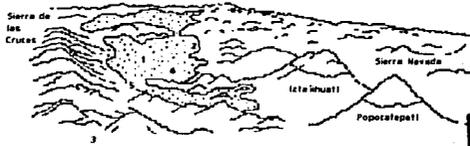


Figura 5. Perspectiva del Valle de México desde el sur.
 1) Cd. de México, 2) Texcoco, 3) Sierra Chichinautzin,
 4) Lago de Texcoco, 5) Volcán Xitle, último activo en el Valle
 Fries, 1970

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

De esta manera queda definida la estratigrafía de la Cuenca del Valle de México como una alternancia de materiales volcánicos y sedimentos aluviales determinados por procesos tectónicos y erosivos (fig. 6).

EDAD M.a.	ERA-TEMA	PERIODO	EPOCA	FORMACIÓN		
0.01	CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	ALUVIÓN	F. Chichinautzin F. Popocatepetl	
Formación Iztacmazatl						
Formación El Halcón						
Formación Llanos Grandes						
1.6		TERCIARIO	MIOCENO	PLIOCENO	Rocas volcánicas	Rinilla Navajas
5.3					Los Cruzes Zempala	Formación Otomí
23.7					Depósitos volcánicos	GRUPO PACÍFICA
36.8			PALEOCENO	MIOCENO	Rocas extrusivas	Formación Tepoztlán
57.8					Rocas volcánicas	Rinilla Tlaxcala
66.4					GRUPO PACÍFICA	
MESOZOICO	CRETÁCICO	TARDÍO	OLIGOCENO	Grupo Balsas		
				TEMPRANO	EOCENO	Granito Colotepec
		TEMPRANO	PALEOCENO			Formación Mexcala
				Formación Cuautla		
97.5	TEMPRANO	PALEOCENO	EOCENO	F. Morelos	F. El Doctor	
144				Formación Xochicalco		

Figura 6. Columna Estratigráfica de la Cuenca de México (Vázquez y Jaimes, 1989)

2.1. Estratigrafía Cuaternaria (1.6 m.a. a 10,000 años)

Durante este periodo continuó la actividad volcánica en la Cuenca, principalmente en la zona de las Grandes Sierras, formando domos andesíticos, riódacíticos y dacitas. Se presenta una reactivación tectónica que dio origen a efusiones andesíticas inicialmente y andesitas basálticas en el Cuaternario Tardío, cuya acumulación formó la Sierra de Chichinautzin provocando el cierre de la Cuenca, tras lo cual, ésta comenzó a azolverse (Zeevaert, 1953). Las partes centrales de la cuenca fueron rellenándose con depósitos limo-arenosos, que se interestratificaron con suelos y capas de cenizas y pómez provenientes de los eventos volcánicos (Mooser, 1979). Este paquete volcánico-sedimentario constituye el acuífero principal del Valle de México (Ortega, 1996).

Sobreyaciendo a esta secuencia se encuentra una capa de caliche que indica un periodo semiárido (K. Bryan, 1948). En la zona de pie de monte se localizan depósitos eólicos y aluviales, en tanto que al centro se observan además depósitos lacustres (Zeevaert, 1953). Cubriendo la secuencia se identifica una nueva capa de caliche, sobre el cual se localizan capas eólicas y lacustres, constituidas por arcilla limosa café o negra correspondientes a las formaciones Nochebuena y Totoltsingo (Arellano, 1951) que constituye el acuitardo del sistema hidrogeológico (Ortega, 1996). Finalmente se localizan materiales superficiales como arena, aluviones, sedimentos eólicos, suelos, y materiales de relleno (Zeevaert, 1953) (fig.7).

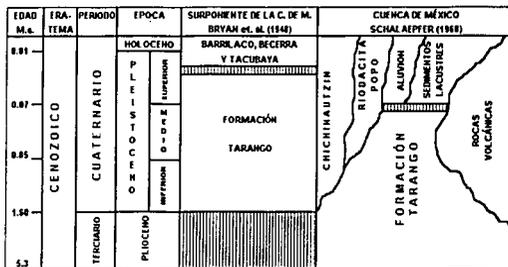


Figura 7. Estratigrafía Cuaternaria (Bryan et al., 1948; Schalaeperfer, 1968)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2.2. Evolución de la zona lacustre

La gran variedad de materiales que constituyen la Cuenca de México, es resultado tanto de las condiciones geológicas como climáticas, tales como la presencia de fuerte precipitación pluvial y periodos glaciares e interglaciares (Aguayo, 1989; Santoyo y Gutierrez 1990) (fig. 8).

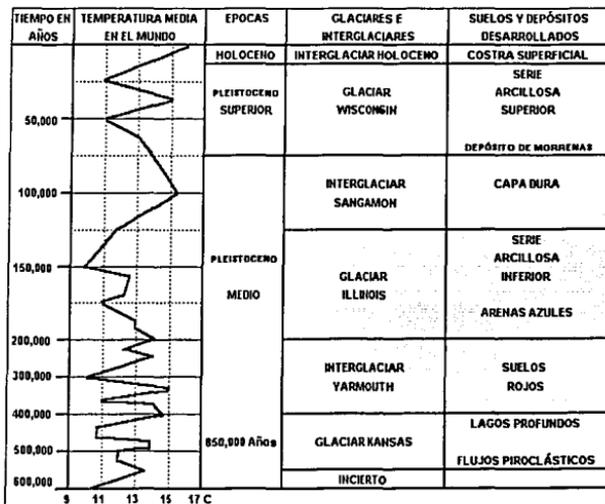


Figura 8. Eventos ambientales durante el Holoceno-Pleistoceno (Santoyo y Gutierrez, 1990)

De acuerdo con Lozano y Urrutia (1989) se registraron en la cuenca básicamente tres paleoclimas, el primero templado húmedo, donde el lago era de agua dulce y alcanzó grandes extensiones (fig. 9), en las postrimerías del Pleistoceno Superior.

El segundo comienza al inicio del Holoceno, con un enfriamiento relacionado con la glaciación Wisconsin, en la cual se detecta un gran aporte de material detrítico y

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

culmina con calentamiento gradual que permite la recuperación del nivel de agua en el lago. Finalmente se registra un clima húmedo que presenta grandes variaciones con tendencia a hacia condiciones más cálidas, lo cual provoca una mayor evaporación y un aumento de la salinidad en la zona lacustre.



Figura 9. Máxima extensión del lago de México
Finales del Pleistoceno Superior
(Lozano y Urrutia, 1989)

En esta última etapa los lagos de la cuenca se dividen en tres tipos, los de agua dulce (Xochimilco y Chalco) que se nutren de manantiales, los salobres (Xaltocan y Texcoco) que son vasos de evaporación y los intermedios (como Zumpango) que eran de agua dulce pero tenían aportes de agua salada en época de lluvias cuando los niveles de los lagos aumentaban (fig. 10).

TESIS CON
FALLA EN



Época con gran precipitación pluvial
 Pleistoceno Superior

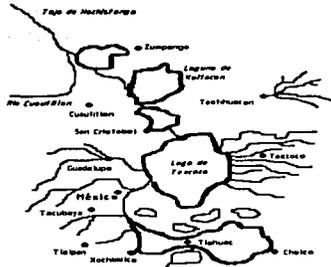


Disminución del aporte de agua y
 separación en tres grandes lagos
 Principios del Holoceno



Inicio de la formación de la red fluvial
 y evaporación de los lagos
 Holoceno medio

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**



Configuración de la Cuenca de México
 Década de los 50's

Figura 10. Evolución de la Cuenca del Valle de México
 (Lozano y Urrutia, 1989)

2.3. Estratigrafía geotécnica

La estratigrafía definida por Marsal y Mazari (1959) consta de depósitos arenos-arcillosos o limosos, con restos arqueológicos, o bien rellenos artificiales con profundidades de hasta 10 m., que sobreyacen a arcillas volcánicas de varios colores, altamente compresibles y de consistencia baja a media, intercaladas con pequeñas capas o lentes de arena, de espesor variable (15-32 m).

Bajo esta secuencia, se localiza un paquete constituido por suelos arcillosos y limo-arenosos compactos y rígidos, de aproximadamente 3 m de espesor, denominada Capa Dura I (Marsal y Mazari, 1959) y cuya localización varía de los 33 a los 50 metros de profundidad. Una nueva secuencia de arcillas volcánicas semejantes a las ya descritas, pero más comprimidas y resistentes, con un espesor de 4-14 m se ubica bajo esta capa, finalmente se presentan depósitos de arena con grava separados por estratos de limo o arcilla-arenosa. Estudios posteriores (Támez et al, 1990) han presentado variaciones en esta secuencia, básicamente en lo referente a espesores, por medio del análisis de sondeos, pero la tendencia general es la misma (fig. 11)

El trabajo de Mooser (1990) presenta una sección que incluye a la Alameda Central, y define en la zona superficial un primer depósito arcilloso correspondiente a transgresiones lacustres, subyacido por relleno clástico aluvial intercalado con derrames y material piroclástico, finalmente se localiza una serie estratigráfica formada por depósitos limo-arcillosos, interestratificados con material piroclástico (fig. 12).

Santoyo et al (1992), definen por medio de sondeos con cono eléctrico la estratigrafía del subsuelo en la zona de la Catedral Metropolitana y su periferia, registran, de la superficie hacia el subsuelo material de relleno, una costra superficial (arena fina basáltica negra, sic), la llamada FAS (Formación Arcillosa Superior), la primer capa dura (arena fina aluvial limosa intercalada con limo arcillosos gris olivo), la FAI (Formación Arcillosa Inferior) y los depósitos profundos (arena fina aluvial, limo y algunas gravas) (fig. 13)

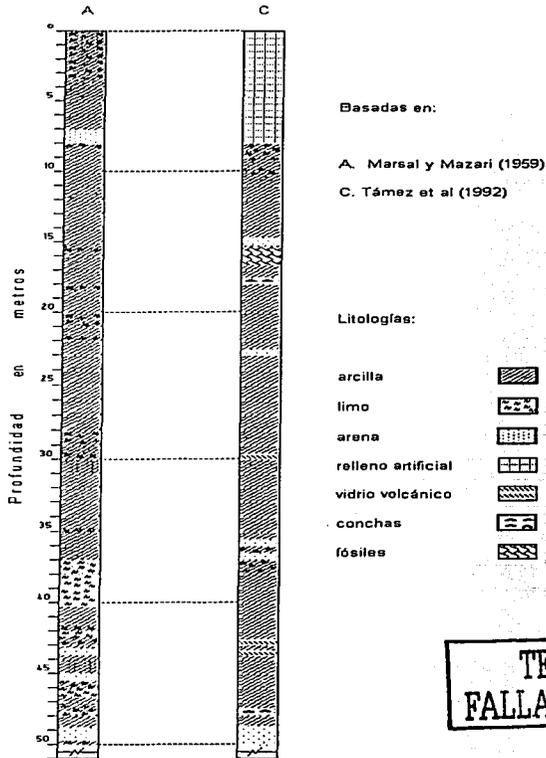


Figura 11. Columnas estratigráficas de la zona centro de la Cd. de México
A.- Zona virgen del Lago
B.- Catedral de la Cd. de México
(Marsal y Mazari, 1959 y Támez et al, 1992)

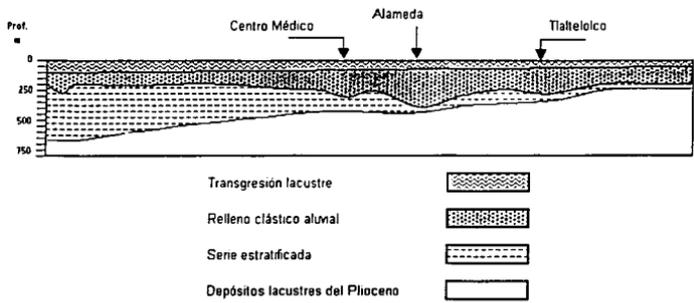


Figura 12. Estratigrafía de la Subcuenca de la Ciudad de México (Mooser, 1990)

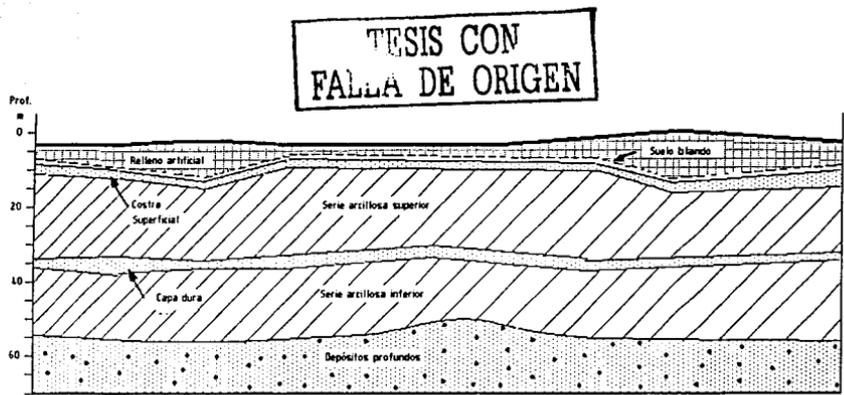


Figura 13. Estratigrafía de la Cd. de México Zona Centro (Támez et al, 1992)

2.3.1 Zonificación geotécnica

El Valle de México es una cuenca con fronteras constituidas por materiales volcánicos cuya composición varía de básica los más recientes, como la colada del Pedregal, al sur de la Ciudad (Marsal y Mazari, 1959), hasta ácida en la Sierra Navajas (Geyne et al, 1953). Debido a esta disposición estructural y a las características de los materiales dentro de la Cuenca, Marsal y Mazari (1959) definen tres zonas principales (fig. 14), numeradas I a III (Lomas, Transición y Lago).

Zona I. Lomas

Ubicada en la periferia de la cuenca consta de gravas, arena-limosa, tobas bien cementadas y coladas de diversas composiciones. Mecánicamente se caracteriza por su alta capacidad de carga y baja compresibilidad. Mooser (1978) detecta en esta zona seis tipos de materiales con comportamientos geotécnicos definidos: 1) tobas resistentes no compresibles, al Norponiente; 2) tobas con material arcilloso de compresibilidad media a alta al Surponiente; 3) arenas pumíticas compresibles por rotura, intercaladas con gravas, arena-limosa, coladas y tobas bien cementadas 4) rellenos constituidos de diversos materiales mal compactados y por tanto compresibles; 5) depósitos de arena suelta, sumamente inestables al pie de la Sierra de Guadalupe, y 6) derrames basálticos sanos con gran resistencia o fracturados e inestables, en la zona Sur.

En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena, de las cuales no se llevaron registros de ubicación (Méndez y Auvinet, 2000)

Zona II. Transición

En esta zona los materiales que caracterizan los depósitos profundos se encuentran a 20 metros o menos de profundidad. Consta de suelos arcillosos o limos orgánicos, que sobreyacen a estratos de arcilla volcánica muy compresibles intercalados con capas de arena o arena limosa compacta, bajo esta secuencia se tiene potentes capas de grava y arena. Las variaciones estratigráficas son sumamente grandes de un punto a otro dentro de la misma zona.

Zona III. Lacustre

Está integrada por potentes depósitos (alrededor de 40 m) de arcilla blanda de alta compresibilidad que ha sido sometida a grandes variaciones climáticas, de nivel freático y de salinidad, lo cual las hace presentar características mecánicas especiales. Estos depósitos están separados por capas arenosas con contenido de limo y/o arcilla, cuya consistencia va de firme a muy dura y cuyos espesores varían de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales. El espesor de este conjunto puede llegar hasta los 300 metros en el centro de la zona (Ortega, 1993).

Esta división aún se conserva, pero su distribución ha sido detallada continuamente, siendo la versión más reciente presentada en 1987 y ratificada en 1995, en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (fig. 14).

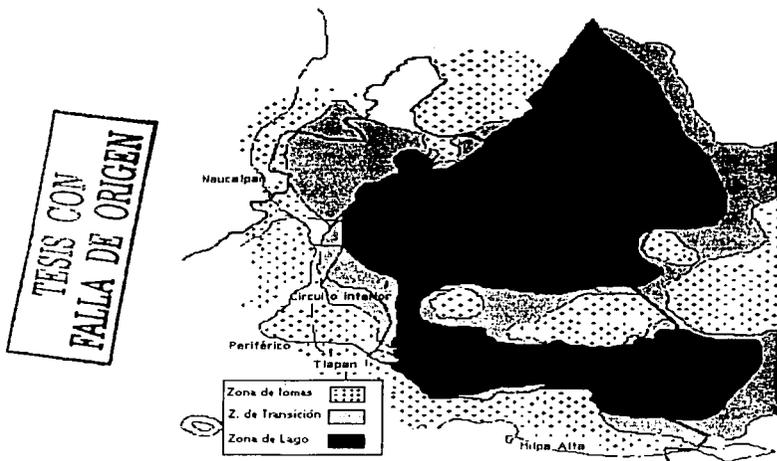


Figura 14. Zonificación de la Cuenca del Valle de México (Méndez y Auvinet 2000)

CAPÍTULO III

ANÁLISIS GEOMECÁNICO

DE LOS

DEPÓSITOS LACUSTRES

3.1 Características generales

Los parámetros geotécnicos que caracterizan a una secuencia sedimentaria, tales como la resistencia al esfuerzo cortante y la compresibilidad, dependen del tipo de material y de los esfuerzos que han actuado sobre él. Dichos esfuerzos corresponden a cambios en las condiciones físicas a las que se encuentra sometido el material, como en el caso de los abatimientos piezométricos, o a la aplicación de fuerzas externas, por ejemplo cargas de infraestructura urbana. Los materiales arcillosos, entre los que incluimos los de la zona lacustre de la Cd. de México, presentan un umbral de carga, es decir tienen la capacidad de soportar ciertos esfuerzos sin sufrir una deformación considerable, al rebasar este punto, la deformación se hace muy grande y rápida, la carga que produce este cambio en la velocidad y magnitud de deformación se denomina carga crítica. Cuando una arcilla no ha soportado cargas mayores a su carga crítica, se dice que está normalmente consolidada, cuando sobrepasa este límite se denomina preconsolidada y entonces su punto crítico cambiará al máximo esfuerzo que haya soportado, determinándose una nueva carga crítica. Las arcillas analizadas en este trabajo se consideran normalmente consolidadas.

3.1.1 Descripción estratigráfica preliminar

Se dispuso de 5.00 metros de un sondeo de 35 metros, a partir de 2.00 metros de profundidad localizado en el centro de la Cd. de México y se estableció una estratigrafía preliminar (fig. 15) para la selección de muestras con base a las características de color, consistencia y granulometría (Anexo 1).

Se identificaron cuatro estratos principales:

- a) El primer estrato, de 2.00 a 2.60 metros, es un material con muy alto contenido de materia orgánica de color gris oscuro a negro, con restos de raíces, algunos grumos y bioturbación (hoyos de lombrices y raíces).
- b) El segundo estrato, de 2.60 a 4.00 metros, es color café, con horizontes de tonos rojizos, consta de una alternancia de limos, arcillas y arena fina, con escasas raíces, abundantes grumos y tepalcates; en el contacto inferior hay lentes de arena fina dentro de arena media, manchas negras de materia orgánica, restos de conchas y vetillas de carbonatos y de limo blanco.
- c) El tercer estrato de 4 a 6.70 metros, es de color verde con matices grises, la litología predominante es de arcillas, con algunas zonas de limo arenoso (4.90 m), tiene lentes de ceniza y arena volcánica y grumos a los 5.15 y 5.95 m. A los 4.60 metros hay un lente de grava arenosa de color gris muy claro, con estructuras de inyección de arena fina en la base y en el contacto inferior existe material de ceniza volcánica gris.
- d) El cuarto estrato definido de los 6.70 a los 7.00 metros es de material arcilloso homogéneo de color pardo rojizo con moteados verdosos. Presenta lentes y grietas rellenas de arena volcánica color negro.

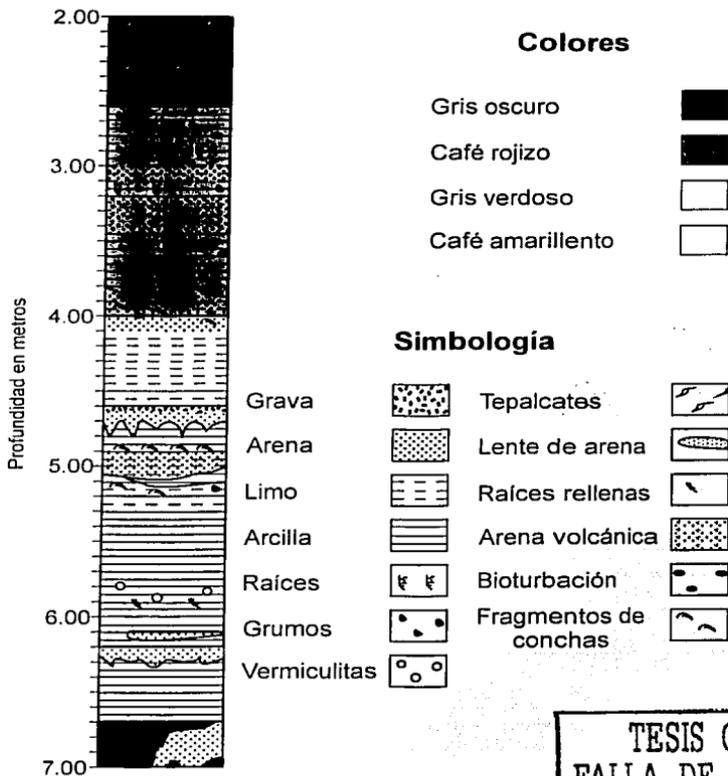


Figura 15. Estratigrafía preliminar

3.2 Selección de Muestras

Las muestras se seleccionaron de acuerdo a la estratigrafía preliminar propuesta obteniéndose muestras intactas, muestras para análisis físico-químicos y muestras para pruebas mecánicas. Se obtuvieron datos de humedad natural como puntos de control de las condiciones originales del material y se registraron las variaciones de consistencia por medio del tacto (fig. 16).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

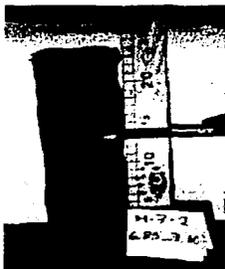


Figura 16. Selección de muestras

Para las muestras intactas se consideraron rasgos físicos observados, tales como grado de fracturamiento, consistencia, color, textura, presencia de lentes, etc. La representatividad y reflejo de las características del material in situ son básicas para esta selección, ya que se utilizan para la comparación de las características megascópicas de la secuencia con los resultados del análisis geomecánico.

Las muestras para pruebas físico-químicas se eligieron de acuerdo a los cambios de color y a la granulometría. El cambio de color es un indicador de la presencia de óxidos (fig. 17) y materia orgánica, además de que es un auxiliar para la determinación de ambientes.

La granulometría por su parte nos proporciona datos acerca del ambiente de depósito y la evolución del área a través del tiempo (fig. 18).



Figura 17. Presencia de óxidos al interior de uno de los núcleos



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 18. Estructuras de inyección de arena en arcillas

Finalmente se eligieron muestras para las pruebas mecánicas siguiendo los mismos criterios iniciales, pero tomando en cuenta también los resultados de los análisis físico-químicos.

3.3 Análisis físicos

Este tipo de análisis es determinante en un estudio geomecánico, ya que funciona como apoyo en la interpretación del comportamiento mecánico de la secuencia. Se compone de cuatro pruebas básicas que son: densidad de sólidos, granulometría, límites de consistencia y contenido de humedad.

3.3.1 Densidad de sólidos (S_s) y densidad real (peso volumétrico).

Un suelo parcialmente saturado se constituye por tres fases, la sólida, la líquida, y la gaseosa, el peso específico de un suelo o su densidad de sólidos (S_s) es un parámetro definido por la relación entre el peso volumétrico de partículas sólidas presentes en la muestra y el peso volumétrico de un volumen igual de agua. Este valor se utiliza entre otras cosas para clasificación e interviene en gran parte de los cálculos en mecánica de suelos. Permite inferir por medio de sus variaciones la presencia de arcillas, vidrio volcánico, materia orgánica y lentes de arena (los cuales provocan una disminución de la densidad).

En edafología se calcula un parámetro similar, denominado densidad real (D.R.) que se encuentra por medio de la comparación entre el peso del suelo y su volumen. En este trabajo se determinaron ambos valores, encontrando que la densidad real resulta ligeramente menor que el peso específico, una probable causa es que al considerar el volumen total de la muestra se incluyen los espacios vacíos que no aportan masa pero si incrementan el volumen de la muestra, de manera que aún cuando la masa es la misma en ambas técnicas el volumen considerado es mayor en la densidad real.

Considerando los valores manejados en geotécnica para suelos puros (tabla 1), la densidad de un material aumenta conforme la granulometría disminuye, de esta manera, un sedimento arenoso generalmente tendrá menor densidad que uno arcilloso (arcillas inorgánicas), pero en ambos casos la densidad sería mayor a 2.60. Un suelo

orgánico en cambio presenta una densidad siempre menor a 2 (Instructivo para laboratorio de geotécnia, Facultad de Ingeniería, UNAM).

De acuerdo con Marsal (1975), el valor promedio de Ss para las arcillas lacustres de la Formación arcillosa superior (FAS) es de 2.55. En nuestro análisis (Tabla 2) encontramos valores que van de los 2.31 a los 2.67. La arcillas presentan una densidad de sólidos desde 2.40 a 2.60, en tanto que su densidad real oscila entre los 2.00 y 2.20 g/cm³. Los limos presentan una densidad real de 2.20 g/cm³ y las arenas de 2.10 hasta 2.38 g/cm³ (fig. 19).

Tipo de suelo	Densidad de sólidos (Ss)
Arena	2.65 – 2.67
Arena limosa	2.67 – 2.70
Arcilla inorgánica	2.60 – 2.80
Suelos con mica o fierro	2.75 – 3.00
Suelos orgánicos	< 2

Tabla 1. Ss en suelos puros

Prof. (m)	Ss	D.R.
2.05		2.16
2.40	2.58	2.24
2.50		2.38
2.90	2.60	2.10
3.20		2.11
3.25		2.44
3.70	2.67	2.23
4.00		2.24
4.50	2.34	2.23
4.70		2.30
4.90		2.21
5.20	2.31	2.01
6.00	2.41	2.10
6.70	2.39	2.18

Tabla 2. Peso específico o Densidad de sólidos (Ss) y Densidad Real (D.R.)

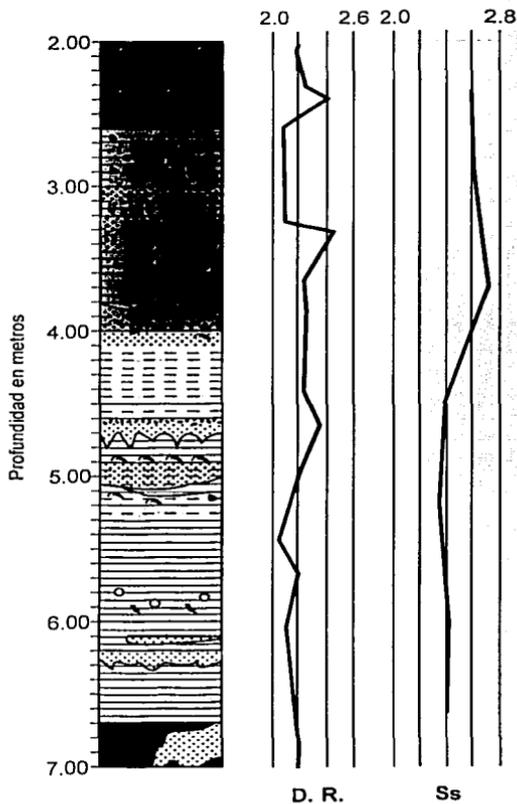


Figura 19. Densidad de Sólidos, Densidad real respecto a la estratigrafía

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.2 Granulometría

El análisis granulométrico de un sedimento consiste en separar, clasificar y cuantificar por tamaños el material que lo constituye, según la naturaleza del suelo puede determinarse por medio de mallas (para partículas mayores al tamaño de limos), o bien por medio del hidrómetro o pipeta. Un análisis granulométrico completo utilizará ambos métodos. Las diferentes clasificaciones son la de Wentworth en geología; el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, Juárez Badillo, 1990) en geotécnica y el SICS (Sistema Internacional de Clasificación de Suelos, Reyes Jaramillo, 1996) en edafología.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 20. Contacto entre arcillas y arena fina

El conocimiento de la distribución granulométrica de las partículas minerales en un suelo nos permite tener una idea aproximada de otras propiedades del mismo. La forma de hojas de partículas finas, como las arcillas, las convierte en materiales más compresibles que aquellos con forma semiesférica o esférica como las arenas y limos, también influye la buena o mala clasificación y gradación del sedimento, un material mal graduado será más compresible, ya que las partículas pequeñas tenderán a ocupar los espacios libres que dejan las partículas mayores.

Las muestras analizadas presentan predominantemente sedimentos finos y arena fina a media (Tabla 3), ya sea interestratificados o en lentes y rellenos (fig. 20).

Como se mencionaba al inicio de este punto, son tres las clasificaciones granulométricas y solamente se han presentado dos, esto se debe a que la clasificación geotécnica además de tomar en cuenta el tamaño de las partículas de un suelo, considera la consistencia de la fracción fina del mismo mediante los llamados límites de consistencia que se detallarán posteriormente.

Prof. (m)	(Contenido de material) Textura %			Clase textural Edafológica	Clasificación Geológica
	Arcilla	Limo	Arena		
2.10	7.12	77.85	14.65	Franco-limoso	Limo-arenoso
2.30	12.34	78.03	10.32	Franco limoso	Limo
2.50	8.97	80.78	10.46	Limo	Limo
2.80	10.00	65.28	24.72	Franco-limoso	Limo-arenoso
3.20	12.00	33.28	54.72	Franco-arenoso	Arena-limosa
3.25	4.00	17.28	78.72	Arena-francosa	Arena
3.80	10.12	26.56	62.72	Franco-arenoso	Arena-limosa
4.10	9.72	29.56	60.72	Franco-arenoso	Arena-limosa
4.65	3.72	9.00	87.28	Arena	Arena
4.80	4.98	59.32	36.12	Franco-limoso	Limo-arenoso
5.40	10.72	36.56	52.72	Franco-arenoso	Arena-limosa
5.80	4.00	17.28	78.72	Arena-francosa	Arena
6.10	7.15	46.25	46.60	Franco-limoso	Limo-arenoso
6.15*	1.53	2.37	96.10	Arena	Arena
6.50	6.30	35.10	58.60	Franco-arenoso	Arena-limosa
6.80	7.10	29.80	63.10	Franco-arenoso	Arena-limosa
7.00	7.62	36.44	55.94	Franco-arenoso	Arena-limosa

Tabla 3. Clasificación geológica y edafológica de los sedimentos

3.3.3 Límites de consistencia

Las propiedades de un suelo formado por partículas finas, como las arcillas, depende en gran parte de su contenido de agua, bajo estas condiciones, solamente puede presentar cuatro estados de consistencia: sólido, cuando está seco, y semisólido, plástico y líquido al agregar agua paulatinamente. Cada uno de estos estado presenta características definidas:

- Estado líquido, en el cual existe el comportamiento y la apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido, con propiedades similares a las de un fluido viscoso.
- Estado plástico, en el que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, donde el suelo a pesar de presentar la apariencia de un sólido, sufre cambios volumétricos al continuar secándolo.
- Estado sólido, en el que el volumen del suelo ya no varía aún con el secado.

La presencia de estos estados se debe a que mientras mayor sea la cantidad de agua que contiene el suelo menor será la interacción de las partículas adyacentes y más se acercará al comportamiento de un líquido.

Arbitrariamente, A. Atterberg estableció fronteras entre estos estados fijando los límites siguientes, líquido entre los estados semilíquido y plástico, plástico entre los estado plástico y semiplástico y finalmente el límite de contracción entre los estados semisólido y sólido. Los límites de consistencia, junto con la granulometría, se utilizan para clasificar los materiales finos (limos y arcillas) dentro de la tabla de clasificación SUCS (Juárez Badillo, 1990), la cual ubica el material en alguno de los grupos existentes con características mecánicas semejantes, permitiendo de esta manera tener una idea preliminar del comportamiento que puede presentarse en un material dado.

Los estudios geotécnicos realizados anteriormente (Marsal y Mazari, 1959), consideran a las arcillas de la FAS en la zona del lago, con un rango de 50 % a 500% en el límite líquido y de 40 a 80% en el límite plástico. En este análisis se determinaron

valores que se encuentran dentro de este rango con ligeras variaciones y con tendencia a aumentar con la profundidad (Tabla 4). La clasificación en el sistema SUCS se puede observar en la tabla 5.

Prof. (m)	Límite plástico LP (%)	Límite líquido LL (%)	Índice de plasticidad Ip	Límite de contracción LC(%)
2.00 – 2.10	31.95	44.90	12.95	31.87
2.20 – 2.30	33.96	65.70	31.74	33.74
2.38 – 2.44	30.87	54.60	23.73	30.73
2.60 – 2.70	44.54	51.30	6.36	44.48
2.79 – 2.85	38.29	53.75	15.46	38.17
2.95 – 3.02	47.78	60.10	12.32	47.66
3.78 – 3.22	39.65	53.8	14.15	39.53
3.63 – 3.74	44.05	70.95	26.90	31.87
3.74 – 3.85	36.87	47.00	10.13	36.79
3.92 – 3.97	39.38	58.45	19.07	39.38
4.08 – 4.13	69.69	143.00	73.31	68.68
4.40 – 4.45	56.61	92.00	35.39	56.21
4.45 – 4.50	43.04	78.00	34.96	42.74
4.70 – 4.75	58.65	96.80	38.15	58.20
4.78 – 4.83	48.53	156.40	107.87	47.50
4.87 – 4.92	44.59	67.70	23.11	44.53
5.00 – 5.05	93.46	166.80	73.34	92.11
5.05 – 5.07	55.88	119.80	63.92	55.17
5.13 – 5.24	52.04	95.06	43.56	51.59
5.24 – 5.30	81.39	151.25	69.86	80.27
5.95 – 6.00	68.33	156.00	87.67	67.15
6.06 – 6.09	112.14	327.50	215.36	107.51
6.09 – 6.14	53.30	158.00	104.70	52.20
6.61 – 6.84	144.81	352.00	207.19	139.05

Tabla 4. Límites de consistencia e Índice de plasticidad

Prof. (m)	Clasificación SUCS
2.10	OL
2.30	OH
2.50	OH
2.80	OH
3.20	SM-OH
3.25	SM-MH
3.80	SM-OH
4.10	SM-MH
4.65	GM
4.80	MH
5.40	SC-CH
5.80	SM-MH
6.10	MH
6.15*	SM
6.50	SM-MH
6.80	SM-MH
7.00	SM-MH

*Las determinaciones del sondeo se presentan en el Anexo 2

Símbolos y definición

- OL Limos orgánicos y arcillas limosas de baja plasticidad
- OH Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.
- MH Limos inorgánicos, limos micáceos, diatomeos, limos elásticos.
- CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
- SM Arenas limosas
- SC Arenas arcillosas
- GM Gravas limosas

Tabla 5. Clasificación SUCS

3.3.4 Contenido de agua w%

El contenido de agua de un suelo está determinado por la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos que contiene. Este valor se utiliza junto con los límites de plasticidad para determinar el comportamiento mecánico de un suelo, por ejemplo, si un suelo presenta un contenido de agua natural cercano al límite líquido, o bien superior, se comportará mecánicamente como un fluido, si en cambio se encuentra más cercano al valor del límite plástico se comportará plásticamente.

Los valores de éste parámetro varían teóricamente de 0% hasta ∞ , en la zona lacustre de la Cd. de México se registran valores de alrededor de 300% (Marsal y Mazari, 1959). En la secuencia estudiada los valores son menores en los primeros metros pero aumentan consistentemente con la profundidad.

En relación con los límites de consistencia, la mayor parte de las muestras presentan un contenido de agua natural cercano e incluso mayor que el límite líquido (Fig. 22), lo cual le confiere al suelo un comportamiento mecánico similar al de un fluido.

Durante el análisis se tomaron valores de humedad en varias zonas de una sola muestra, y se encontró que las más confiables eran las tomadas al interior debido a que no se encontraban contaminadas por el proceso de perforación, ni alteradas por óxidos o secas por el contacto al aire. Los datos presentados corresponden a estos valores, pero el total de determinaciones se presenta en el Anexo 3.

Prof. (m)	w%	Prof. (m)	W%
2.00 - 2.10	35	4.45 - 4.50	58
2.20 - 2.30	46	4.70 - 4.75	51
2.38 - 2.44	34	4.78 - 4.83	50
2.60 - 2.70	44	4.87 - 4.92	60
2.79 - 2.85	48	5.00 - 5.05	161
2.95 - 3.02	58	5.05 - 5.07	97
3.78 - 3.22	41	5.13 - 5.24	78
3.63 - 3.74	45	5.24 - 5.30	122
3.74 - 3.85	199	5.95 - 6.00	173
3.92 - 3.97	59	6.06 - 6.09	333
4.08 - 4.13	59	6.09 - 6.14	190
4.40 - 4.45	57	6.61 - 6.84	280

Tabla 6. Contenido de Agua Natural (w%)

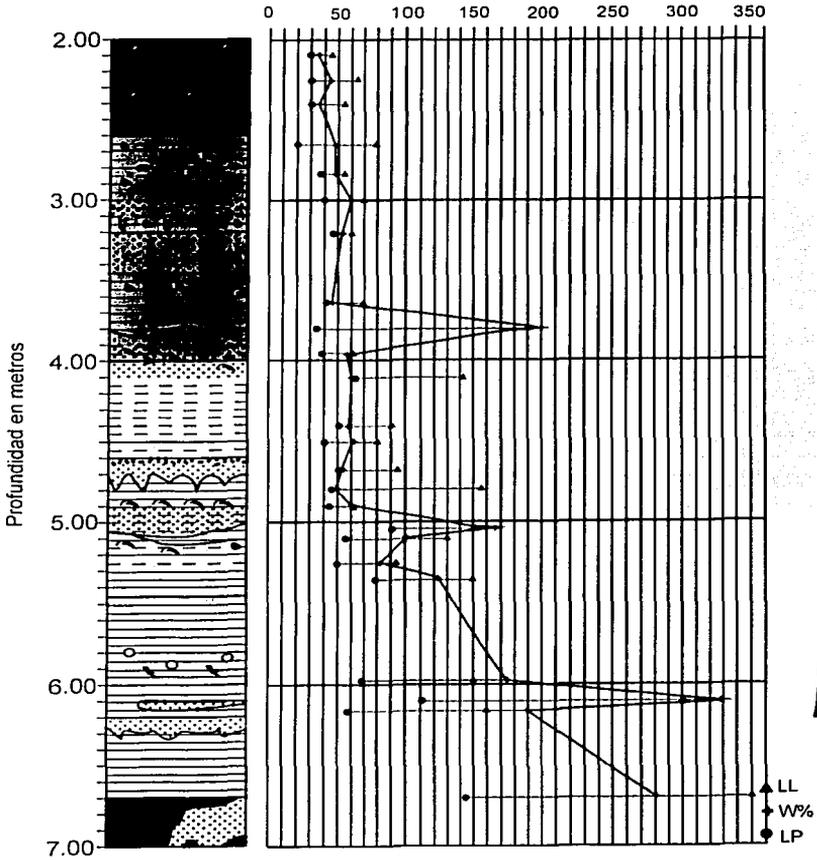


Figura 22. Relación entre los límites plástico, líquido y el contenido de agua natural.

3.4 Análisis químicos

Las características que influyen en el comportamiento mecánico de un suelo están determinadas por factores geológicos y climáticos involucrados en su origen y evolución, y pueden determinarse en gran medida por medio de análisis químicos.

En la secuencia se realizaron los siguientes análisis: análisis de óxidos totales, potencial hidrógeno (pH), capacidad de intercambio catiónico (CIC), contenido de materia orgánica (MO), contenido de aniones (CO_3 , HCO_3 , Cl^- , SO_4) y cationes (Ca, Mg, Na, K) solubles, determinación de Fe, Al, Mg y Si en estado amorfo y cristalino.

3.4.1. Determinación de óxidos totales.

Este análisis es sumamente importante debido a que sirve de guía para la realización de análisis más específicos, por ejemplo nos puede indicar cuales son los elementos predominantes en el suelo y que proporción guardan unos con otros.

En el caso particular de las arcillas lacustres de la zona centro de la Cuenca de la Cd. de México, se determinó que, además del sílice, el óxido más abundante es el de aluminio, aunque los óxidos de fierro y sodio también aparecen en cantidades apreciables. En la figura 23 se presentan los óxidos con variaciones más importantes (Tabla 7), los resultados completos se pueden consultar en el Anexo III.

Puede observarse que el comportamiento de los óxidos de calcio, magnesio y potasio (en menor grado) es similar, es decir, tienen un aumento entre los 3.20 y los 4.50 metros, en tanto que los óxidos de Al y Na, presentan los valores más altos en los primeros dos metros. De hecho, el comportamiento del calcio respecto al aluminio, se contrapone totalmente, mientras uno aumenta el otro disminuye, en todo el sondeo.

Profundidad (m)	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %
2.00-2.15	12.92	4.86	1.17	10.19	2.99
2.25-2.44	16.80	3.44	0.35	4.61	5.01
2.48-2.53	20.15	3.44	0.35	5.79	8.38
2.59-2.98	18.94	3.44	0.35	2.36	4.74
3.18-3.23	14.69	2.83	3.60	9.44	4.96
3.22-3.29	3.91	1.21	4.58	31.52	4.89
3.60-3.80	6.13	1.62	11.59	16.41	5.25
3.97-4.15	12.94	2.43	5.91	6.76	7.29
4.42-4.63	9.04	3.24	10.73	10.37	2.95
4.63-4.70	8.28	4.05	6.82	6.83	7.30
4.70-4.80	14.84	2.20	7.48	7.38	4.95
4.80-4.90	8.04	2.03	2.77	16.42	5.27
5.10-5.35	9.88	2.43	5.57	3.97	5.62
5.70-5.95	14.23	2.84	1.43	4.72	5.71
6.43-6.56	14.66	2.84	7.88	6.46	5.45

Tabla 7 . Óxidos totales

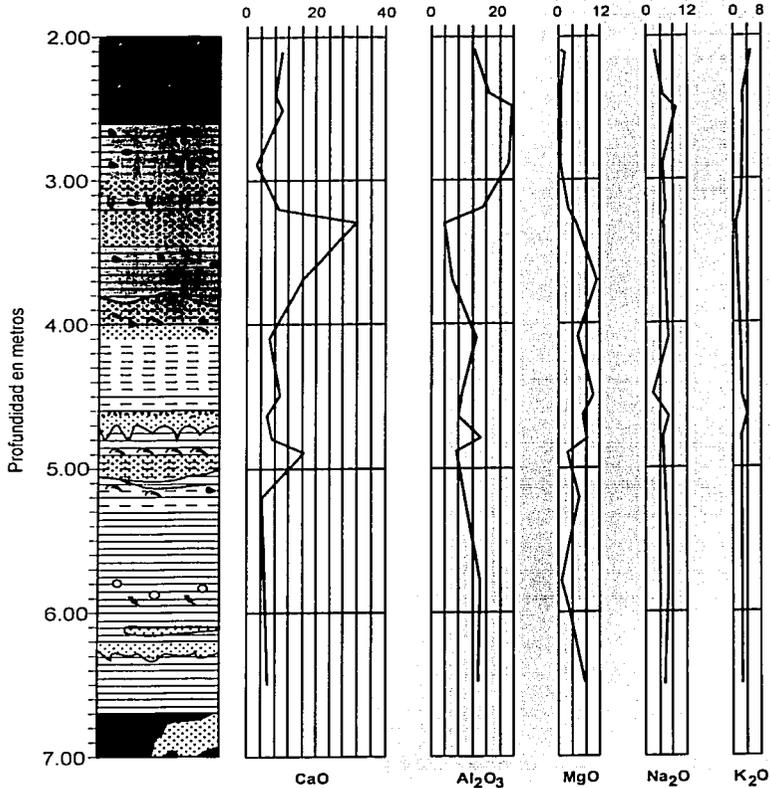


Figura 23 . Variación de óxidos totales (%)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.4.1 Determinación del Potencial Hidrógeno (pH)

El pH de un suelo se determina por medio de los iones H^+ que contiene, éste parámetro nos indica el grado de acidez, neutralidad o basicidad de un suelo, característica que afecta directamente el grado de intemperización de minerales, la formación de arcillas y la descomposición de materia orgánica.

Prof. (m)	pH
2.00 - 2.15	7.52
2.25 - 2.44	7.50
2.48 - 2.53	7.65
2.59 - 2.98	7.47
3.18 - 3.23	7.55
3.22 - 3.29	7.89
3.60 - 3.80	7.49
3.97 - 4.15	7.64
4.42 - 4.63	7.61
4.63 - 4.70	7.98
4.76 - 4.83	7.46
4.88 - 4.95	7.69
5.06 - 5.35	7.65
5.80 - 5.95	7.62
6.41 - 6.56	7.56

Tabla 8. Resultados de Potencial Hidrógeno (pH)

La acidez de un suelo depende de varios factores, por ejemplo, la presencia de cubierta vegetal, la cantidad y calidad del agua y la presencia de arcillas, además es un indicador de las condiciones óxido-reductoras del mismo. Se puede considerar que un suelo es ácido si presenta un pH entre 5.5 y 7.5, en tanto que un suelo con pH cercano a 8 o mayor es considerado un suelo alcalino (Génesis, identificación y uso de los suelos en México, SCT, 1998).

De acuerdo a los valores obtenidos en la Tabla 8, se tiene un suelo ligeramente alcalino, lo cual favorece la dispersión de ácidos húmicos y favorece la formación de alófanos y amorfos de minerales de hierro.

3.4.2 Materia Orgánica (MO%)

La materia orgánica favorece la formación de agregados alterando la estructura del conjunto de suelo, confiriéndole una naturaleza coloidal que modifica su comportamiento mecánico.

El método utilizado para esta determinación es el de Walkley y Black (Reyes Jaramillo, 1996), que consiste básicamente en la cuantificación de carbono orgánico por combustión húmeda.

Con base en resultados teóricos son los suelos de zonas áridas los que presentan menores concentraciones de materia orgánica (1%), en tanto que algunos suelos turbosos (zonas pantanosas) se aproximan al 100%. Los suelos minerales presentan valores de 0.5 a 5%.

Como puede observarse en la Tabla 9 en este caso se trata de un suelo mineral, desarrollado en condiciones de alta evaporación, tendiente a la aridez.

Las variaciones también pueden definir cambios en la granulometría, ya que en general la materia orgánica se asocia a partículas finas. Los estratos o lentes de arena se ven reflejados en una disminución de la cantidad de materia orgánica, (fig. 24). Otra aportación importante es poder discernir la causa de coloración oscura en los suelos, ya que ésta, se debe al contenido de materia orgánica, pero puede estar en forma de carbón, como se observa alrededor de los 4 metros (Anexo1).

Prof. (m)	M.O %
2.00 - 2.15	1.29
2.25 - 2.44	0.93
2.48 - 2.53	0.23
2.59 - 2.98	0.39
3.18 - 3.23	0.61
3.22 - 3.29	0.59
3.60 - 3.80	0.41
3.97 - 4.15	0.18
4.42 - 4.63	0.34
4.63 - 4.70	0.19
4.76 - 4.83	0.84
4.88 - 4.95	0.65
5.06 - 5.35	0.81
5.80 - 5.95	1.50
6.41 - 6.56	1.09

Tabla 9. Contenido de Materia Orgánica (%)

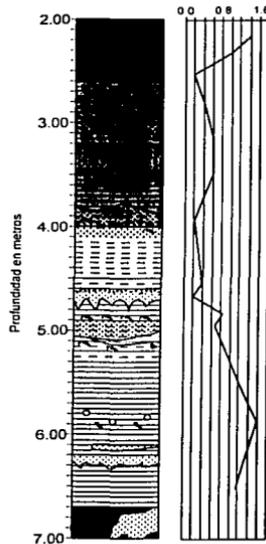


Figura 24. Comportamiento del contenido de MO respecto a la estratigrafía

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

3.4.3 Capacidad de intercambio catiónico

Una de las propiedades más importantes de las arcillas y la materia orgánica es su actividad química y su interacción con los iones libres en soluciones acuosas. Estos iones o arreglos moleculares son atraídos y/o adsorbidos por superficies cargadas, las arcillas y la materia orgánica proporcionan estas superficies. Esta capacidad de adsorción y absorción de especies iónicas se denomina Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y se mide en meq/100 g, las distintas arcillas presentan un CIC característico, de manera que este parámetro puede usarse como identificador. Por ejemplo, las arcillas del Grupo de las Esmectitas presentan CIC superiores a 25 meq/100g, de las Caolinitas de 10 a 15, la Haloisita de 15 a 25, y de las Cloritas menores a 10, aunque puede presentar en ocasiones valores cercanos a 15.

Prof. (m)	CIC (meq/100g)
2.00 - 2.15	48.7
2.25 - 2.44	26.7
2.48 - 2.53	54.2
2.59 - 2.98	64.2
3.18 - 3.23	47.1
3.22 - 3.29	61.9
3.60 - 4.15	58.5
4.42 - 4.63	28.6
4.63 - 4.70	48.1
4.76 - 4.83	77.2
4.88 - 5.35	69.4
5.80 - 5.95	74.5

Tabla 10. Capacidad de Intercambio Catiónico

La determinación del tipo de arcillas presentes es un factor que permite, al usarse en combinación con otros datos como pH, palinología, etc., suponer las condiciones climáticas existentes en un periodo determinado y sus fluctuaciones.

La fracción arcillosa del suelo analizado es del grupo de las esmectitas en toda la secuencia, ya que los valores de CIC son en todos los casos mayores a 25 meq/100g (Tabla 10).

La capacidad de intercambio catiónico se obtiene mediante la suma de la cantidad de cationes intercambiables de Ca, Mg, Na y K en meq/100gr contenidos en la muestra, estas determinaciones se presentan en el Anexo 3.

3.4.4 Aniones solubles

La acumulación de sales solubles en los suelos puede ser resultado de la lixiviación, el análisis de estos aniones (Anexo 3), en forma de sales solubles permite la determinación de costras salinas y depósitos de sales, como los de yeso, y carbonato de calcio en perfiles de suelo. La acumulación de éstos se utiliza como índice de la existencia de condiciones climáticas áridas.

En la figura 25 se observa que los incrementos y decrementos en el contenido de aniones solubles corresponde en general con los cambios de coloración, los cuales reflejan su vez cambios en las condiciones climáticas.

En el caso particular se presentan cuatro cambios (Tabla 11), el primero corresponde a un suelo básicamente orgánico que pasa a un suelo depositado bajo condiciones oxidantes alrededor de los 2.70 metros, uno de los valores más altos de aniones solubles se registra en la parte baja de esta zona, coincidiendo con un cambio

gradual de coloración a verde grisáceo, que indican un medio ambiente reductor y finalmente se vuelve a observar, aunque ligeramente, un poco de café alrededor de los 4.70 metros, para continuar con los tonos olivo. Otro punto alto de este valor se observa alrededor de los 4.60 a 4.70 metros, en la cual se identificaron fragmentos de conchas dentro de la secuencia.

Prof. (m)	Aniones (meq/l)
2.00 – 2.15	12.7
2.59 – 2.98	4.7
3.18 – 3.23	7.3
3.22 – 3.29	8.2
3.60 – 3.80	10.1
3.97 – 4.15	5.5
4.42 – 4.63	8.9
4.88 – 4.95	7
5.06 – 5.35	8

Tabla 11. Variación del contenido de Aniones solubles con la profundidad.

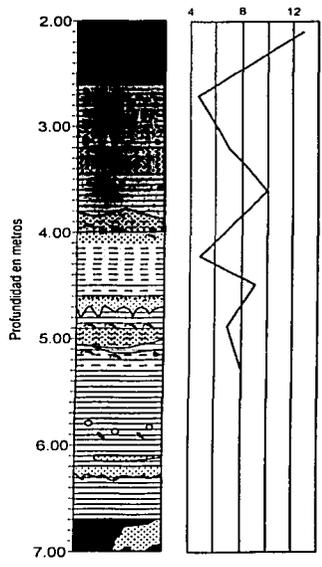


Figura 25. Relación de los valores de aniones solubles respecto a la estratigrafía (meq/l)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.4.5 Determinación de Fe, Al, y Si (amorfo y cristalinos)

Uno de los principales factores que determinan el comportamiento mecánico de un suelo, es la presencia de minerales arcillosos, coloides orgánicos y los minerales amorfo de Fe y Al.

Las arcillas del grupo de las esmectitas, en general, tienen una composición química que corresponde a la fórmula $(OH)_4Si_2Al_4O_{20}nH_2O$, la cual es una fórmula ideal, ya que siempre existe alguna sustitución de Mg^{2+} , Fe^{2+} por Al y Al por Si. Estas sustituciones y la composición interna determinan que siempre exista una carga negativa más o menos constante, siendo ésta una de las causas que favorece la hidratación de estas arcillas.

Por otro lado, en suelos derivados de materiales volcánicos los minerales de hierro se presentan como oxihidróxidos no cristalinos como la limonita (que se deposita con pH mayores a 4) y los hidróxidos de aluminio en forma de gibbsita (la cual requiere altas concentraciones de aluminio y bajas concentraciones de sílice).

Considerando estas condiciones y de acuerdo a los resultados del análisis de óxidos totales, se analizó el contenido de Al, Fe y Si.

Aún cuando el análisis de estos componentes se realizó tanto para su forma cristalina, como amorfa, se dio mayor importancia a la segunda, ya que son estas variedades las que más influyen en el comportamiento mecánico.

Las relaciones que se observan en cada uno de los elementos son las siguientes:

- El aluminio se encuentra predominantemente en estado amorfo, con dos ligeras disminuciones a los 3.25 y a los 4.65 metros aproximadamente (Tabla 12). En la Figura 26 se observa que el aluminio cristalino se mantiene constante dentro de toda la secuencia.

- En el caso del sílice predomina su forma cristalina (Tabla 13); la cual presenta una tendencia a aumentar con la profundidad, aunque presenta un ligero aumento alrededor de los 3.30 metros, puede explicarse por un lente de arena. Para el sílice amorfo se observa una tendencia general a aumentar con la profundidad, con un solo punto bajo a los 4.65 metros (fig. 27).
- Para el Fe, se presenta una tendencia a aumentar el Fe amorfo hacia la profundidad, aunque presenta disminuciones en las profundidades de 2.50, 3.30 y 4.45 metros; en tanto que el cristalino disminuye bruscamente alrededor de los 3.30 metros (fig. 28), profundidad en la que se presenta también un cambio gradual entre el Fe en estado oxidado a estado reducido. De acuerdo al color del suelo se determinó además si el Fe se encontraba bajo condiciones oxidantes o reductoras (Tabla 14).

Prof. (m)	Amorfo	Cristalino
2.00 – 2.15	1.70	0.16
2.25 – 2.44	1.84	0.23
2.48 – 2.53	1.38	0.19
2.59 – 2.98	1.90	0.30
3.18 – 3.23	1.36	0.22
3.22 – 3.29	0.82	0.08
3.60 – 3.80	1.08	0.15
3.97 – 4.15	1.35	0.14
4.42 – 4.63	1.29	0.11
4.63 – 4.70	0.73	0.06
4.76 – 4.83	2.45	0.22
4.88 – 4.95	1.86	0.19
5.06 – 5.35	2.89	0.24
5.80 – 5.95	2.32	0.30
6.41 – 6.56	2.18	0.24

Tabla 12. Contenido de Aluminio amorfo y cristalino (%)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

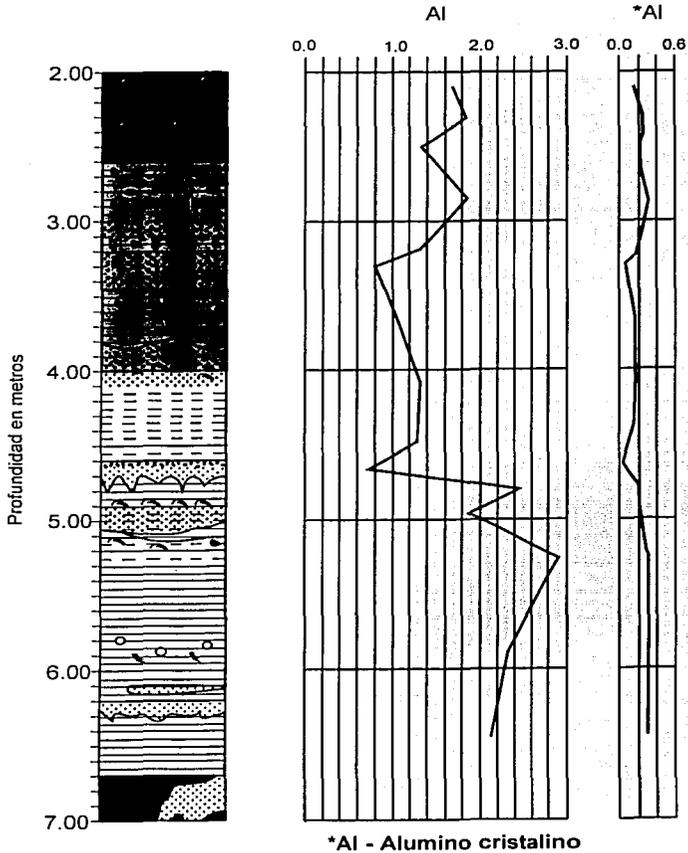


Figura 26. Variación de aluminio (%)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Prof (m)	Amorfo	Cristalino
2.00 – 2.15	0.58	1.03
2.25 – 2.44	0.51	0.98
2.48 – 2.53	0.11	1.55
2.59 – 2.98	0.23	1.72
3.18 – 3.23	0.42	1.95
3.22 – 3.29	0.39	1.95
3.60 – 3.80	1.08	2.12
3.97 – 4.15	0.82	1.89
4.42 – 4.63	1.26	1.89
4.63 - 4.70	0.23	1.66
4.76 - 4.83	1.92	1.89
4.88 - 4.95	1.05	1.83
5.06 - 5.35	1.08	1.72
5.80 - 5.95	1.14	1.66
6.41 - 6.56	1.79	2.79

Tabla 13. Contenido de Sílice amorfo y cristalino (%)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

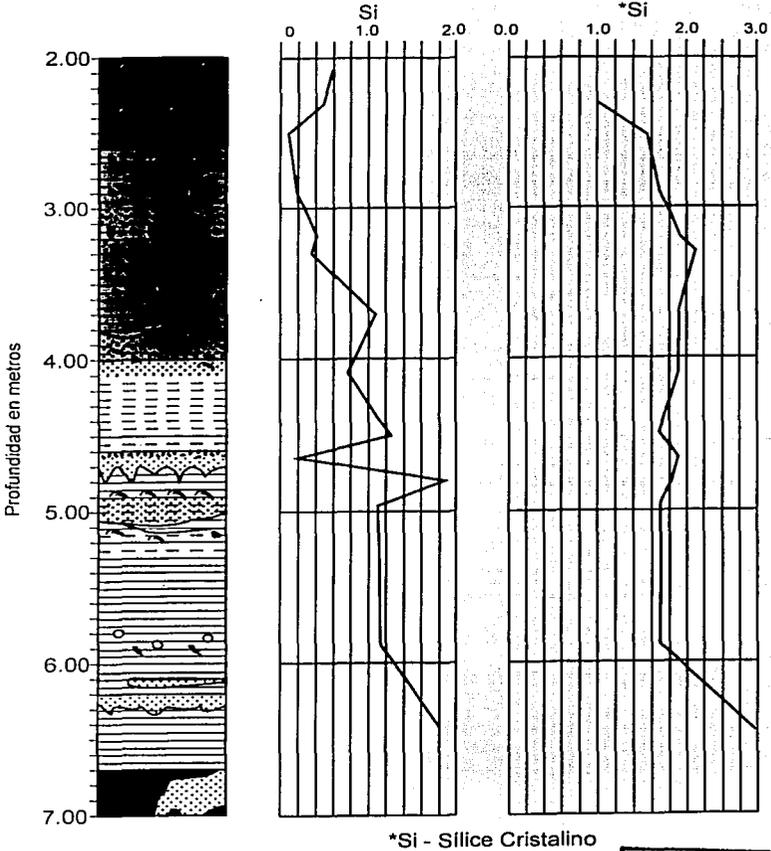


Figura 27. Variación de Silice (%)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Prof. (m)	Fe amorfo (mg/g)	Fe cristalino (mg/g)
2.00 – 2.15	0.98	0.94
2.25 – 2.44	1.15	1.5
2.48 – 2.53	0.47	1.4
2.59 – 2.98	0.82	1.76
3.18 – 3.23	1.27	1.65
3.22 – 3.29	0.41	0.16
3.60 – 3.80	0.61	0.11
3.97 – 4.15	0.87	0.09
4.42 – 4.63	0.98	0.08
4.63 – 4.70	0.42	0.15
4.76 – 4.83	0.82	0.12
4.88 – 4.95	1.16	0.22
5.06 – 5.35	0.63	0.11
5.80 – 5.95	0.63	0.15
6.41 – 6.56	1.34	0.28

Tabla 14. Contenido de Fe amorfo y cristalino (%)

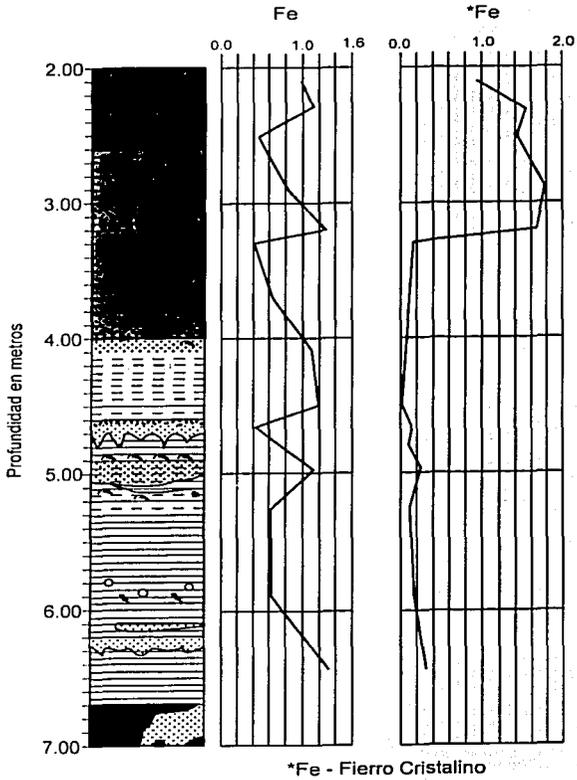


Figura 28. Variación de Fe (%)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5 Análisis mecánicos

3.5.1 Compresibilidad

Cualquier material sometido a variaciones en sus condiciones de esfuerzo sufre una deformación general que es resultado principalmente del deslizamiento entre sus partículas individuales (Lambe y Whitman, 1972) dicha deformación es irreversible y, en los suelos, apreciable aún bajo la acción de cargas pequeñas. Un proceso real de deformación tiene dos componentes:

- a) De compresión, en la cual la masa de suelo conserva su forma pero cambia su volumen y
- b) De distorsión, en la cual lo que varía es la forma, manteniéndose el volumen constante.

Quando se le aplica carga a un suelo durante un periodo determinado y se registra una disminución de volumen, se tiene un proceso de consolidación, si este cambio se realiza solamente en sentido vertical, será una consolidación unidimensional.

Al someter un suelo saturado a la acción de carga axial, se genera una presión (Δp) que actúa sobre él, y que es soportada inicialmente por el agua intersticial, pero en el instante siguiente parte de ésta se transmite a la estructura sólida del suelo, denominándosele presión efectiva (p); la presión que continúa actuando sobre el agua se conoce como presión en exceso de la hidrostática (u). De ahí que el incremento de presión sobre un suelo quede determinada por la siguiente ecuación: $\Delta p = p + u$

La presión en exceso de la hidrostática provoca que el agua intersticial drene, presentándose una reducción de volumen de la muestra, este fenómeno se conoce como consolidación primaria. Conforme el agua drene, la presión (u) disminuye y aumenta la presión efectiva, hasta que el incremento de la presión total queda soportado por la estructura sólida. Al concluir esta etapa se presenta un reacomodo en la estructura interna del suelo (flujo viscoso), las partículas en general tienden a

compactarse, pero las arcillas, por la complejidad de su estructura, además comienzan a fluir, este punto se conoce como consolidación secundaria y se caracteriza por un menor cambio volumétrico que tiende a ser nulo con el paso del tiempo, siempre que no exista un nuevo incremento de carga.

La compresibilidad de un suelo queda definida como la variación de su relación de vacíos (e) de acuerdo a la variación de presión a que se le someta, la relación de vacíos se define como la razón entre el volumen ocupado por los poros y el ocupado por los sólidos de un suelo. El cambio en este parámetro se determina mediante una prueba de consolidación completa, esto es, sometiendo una muestra de suelo, confinada lateralmente, a incrementos de carga axial, durante el tiempo suficiente para alcanzar la consolidación secundaria en cada uno de dichos incrementos. Durante el proceso de compresión se toman datos que permiten describir la relación entre el esfuerzo efectivo, la relación de vacíos o deformación y la velocidad en que puede ocurrir la compresión.

Con estos datos se obtienen tantas curvas de compresión como incrementos de carga se utilizaron, determinando para cada uno la relación de vacíos. Entonces se construye una curva de compresibilidad graficando presiones actuantes contra relación de vacíos, por medio de la cual se logra conocer el rango de presiones que puede soportar un suelo sin sufrir deformaciones considerables. Esta información se utiliza comúnmente para estimar la velocidad y magnitud del asentamiento diferencial y total, parámetro sumamente importante en evaluaciones geotécnicas.

En el desglose final de la prueba se determinan dos coeficientes el de compresibilidad (a_v) y el de consolidación (C_v), donde el primero indica como disminuye el volumen de la muestra bajo la acción de un esfuerzo axial determinado; el segundo es una relación entre la permeabilidad (k) del suelo y su compresibilidad, en términos de su variación volumétrica (m_v), lo cual nos indica que la consolidación depende de la respuesta del material a un esfuerzo, evidenciada en la variación del volumen, y de su permeabilidad. Si recordamos que en la consolidación primaria se requiere de un drenaje del agua intersticial, un material poco permeable requerirá de mayor tiempo para consolidarse que uno más permeable bajo la acción de una misma carga.

Los valores reportados por Marsal y Mazari (1959) para estos parámetros se encuentran dentro de los siguientes intervalos:

Parámetro	a_v	m_v	P_c	C_v
Unidades	kg/cm ²	Adimensional	Kg/cm ²	cm ² /seg
Intervalo de valores (Zona de lago)	0.00 - 3.50	0.20 - 0.55	0.90 - 1.40	0.020 - 0.005

- * a_v - compresibilidad
- * m_v - variación volumétrica
- * P_c - carga de preconsolidación
- * C_v - consolidación

Dentro de estos valores es importante observar los definidos entre los 6.00 a 6.06 y 6.72 a 6.77 (fig. 30), ya que se elevan mucho respecto al resto de los valores en lo referente a su compresibilidad (fig. 29). Considerando que el coeficiente de variación volumétrica se obtiene en función del coeficiente de compresibilidad, ambos presentan un comportamiento similar.

En cuanto a la carga de preconsolidación (P_c), los valores más altos se ubican entre 3.90 y los 4.70 metros. Siendo estos estratos los que presentan coloraciones verde olivo claro. Alrededor de los 6.40 metros, se observa otro valor, alto de P_c , y coincide con un nuevo estrato de color verde olivo, sólo que en este caso es más oscuro.

Los coeficientes de consolidación se podrían dividir en dos grupos de acuerdo a su orden de magnitud, el primer grupo se localiza entre los 2.30 a 3.20 y los 4.60 a 4.70 metros. El otro grupo sería el correspondiente a los metros restantes, constituidos predominantemente por partículas finas (limos y arcillas), en las que el coeficiente de consolidación es mayor. En los valores menores, se presentan en general lentes de arena y los materiales finos son predominantemente limos. Los valores determinados en el presente trabajo se presentan en la tabla 15 y su determinación se localiza en el Anexo 4.

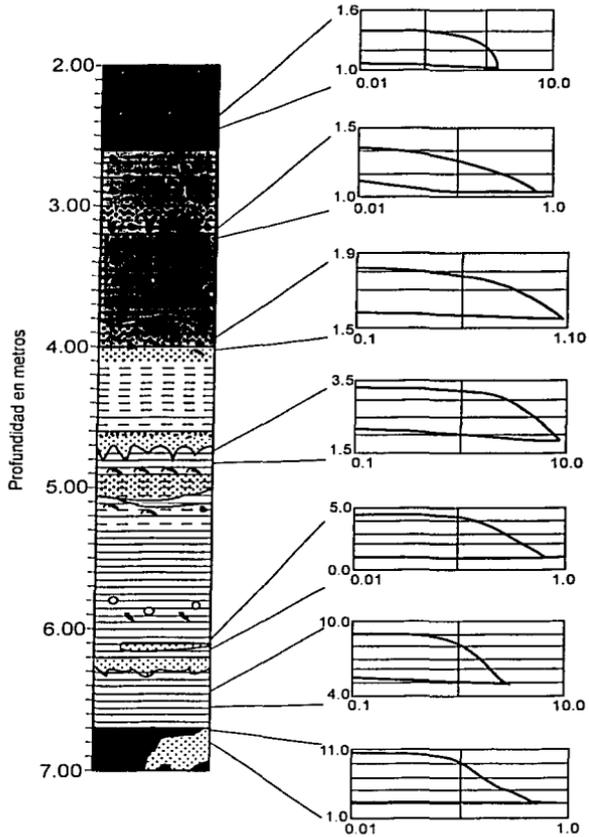


Figura 29. Gráficas de compresibilidad

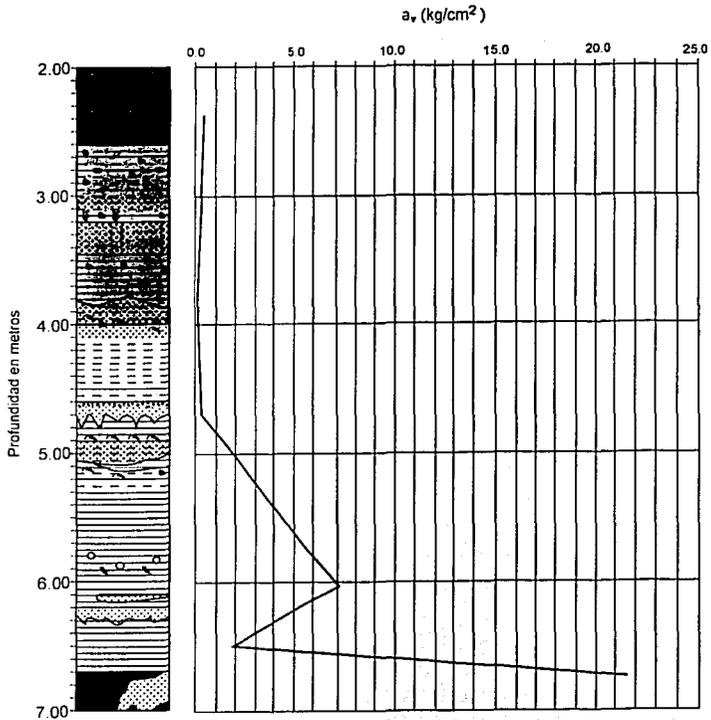


Figura 30. Variación del coeficiente de Compresibilidad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

(m)	a_v (kg/cm ²)	m_v (adim)	P_c (kg/cm ²)	C_v (cm ² /s)
2.34-2.44	0.32	0.15	0.8	8.60E-04
3.17-3.22	0.23	0.11	0.18	8.30E-04
3.92-3.97	0.03	0.02	2.7	1.06E-03
4.67-4.76	0.18	0.11	2.8	8.90E-04
6.00-6.06	7.09	3.85	0.15	1.21E-03
6.11-6.52	1.72	0.26	0.98	1.24E-03
6.72-6.77	21.62	4.90	0.09	1.85E-03

Tabla 15. Valores de Compresibilidad

3.5.2 Resistencia al esfuerzo cortante.

La resistencia de un material al esfuerzo cortante se refiere a la habilidad del mismo a soportar la acción de esfuerzos de cizalla. Cuando esta resistencia es vencida, se presenta una falla en el material, que puede definirse como un plano o bien como una deformación (abarrilamiento). La resistencia de los suelos al esfuerzo cortante depende básicamente de dos parámetros, la fricción y la cohesión interna del material. La cohesión interna del material resulta básicamente de la interacción de carga iónica superficial entre las partículas, esto es una propiedad típica de suelos arcillosos. La fricción en cambio se determina por el esfuerzo resultante de la oposición al movimiento entre las partículas, y es característica de los suelos granulares. La Ley de Coulomb es una relación matemática que define la resistencia al esfuerzo cortante mediante estos dos parámetros como sigue:

$$s = c + \sigma \tan \phi$$

donde:

s = esfuerzo cortante

c = cohesión interna

σ = presión intergranular efectiva normal (perpendicular al plano de falla)

ϕ = ángulo de fricción interna

$\tan \phi$ = coeficiente de fricción

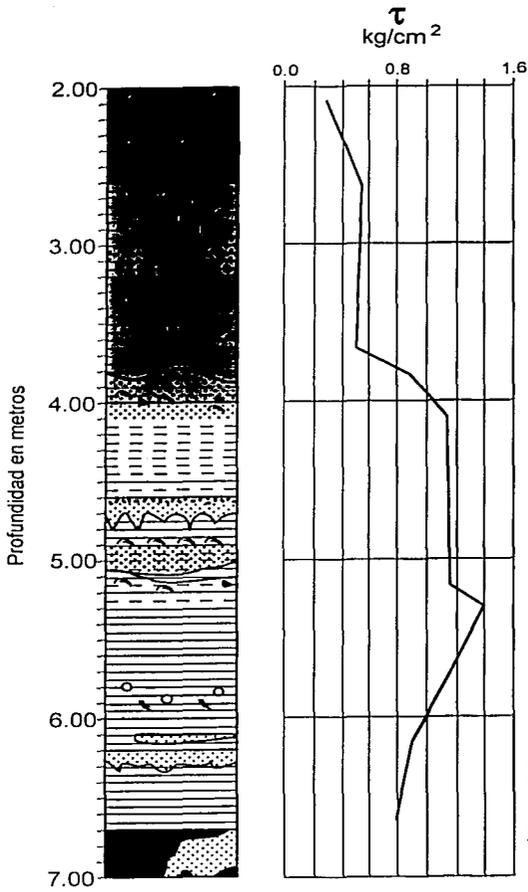
En los suelos no cohesivos, como las arenas, c resulta igual a cero, por lo que la ecuación anterior queda: $s = \sigma \tan \phi$

En los suelos cohesivos, como las arcillas, puede considerarse que ϕ es cero, por lo que solamente se tendría: $s = c$

La determinación de estos parámetros en este estudio se hizo mediante una prueba de compresión triaxial lenta consolidada, en la cual se miden los esfuerzos efectivos, es decir, aquéllos que actúan sobre las partículas sólidas del suelo. Este tipo de prueba se realiza controlando el tiempo de aplicación de carga axial y los incrementos de la misma. Con los valores obtenidos se puede construir una gráfica esfuerzo-deformación y se define la resistencia al esfuerzo cortante mediante la construcción de un círculo de Mohr (Anexo 5). Los valores determinados para las distintas profundidades se presentan en la tabla 16. Se observa en la figura 31 que los valores más altos de resistencia al esfuerzo cortante se presentan entre los 3.80 y 6.60 metros, coincidiendo con los estratos de arcillas verdes o grisáceas. La tendencia a disminuir en la parte inferior de la secuencia coincide con la aparición de tonos más oscuros, y pardos.

Prof.	Esfuerzo Confinante	Esfuerzo Axial	esfuerzo cortante τ (kg/cm ²)	ángulo de fricción interna (ϕ) Grados (°)
2.00-2.15	0.60	1.20	0.27	20.0
2.60-2.70	0.60	2.00	0.56	32.0
3.63-3.74	0.60	1.70	0.48	28.0
3.74-3.85	0.90	3.00	0.90	32.5
4.03-4.15	1.10	4.36	1.28	35.5
5.13-5.24	1.10	3.60	1.04	32.0
5.24-5.35	1.40	4.05	1.10	28.0
6.15-6.26	0.90	1.80	0.42	19.0
6.60-6.70	0.80	1.29	0.26	15.0

Tabla 16. Valores de pruebas triaxiales lentas consolidadas drenadas



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 31 . Variación de la Resistencia al Esfuerzo cortante.

Capítulo IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Redefinición de la secuencia estratigráfica.

La caracterización estratigráfica de la secuencia debe basarse en ciertas consideraciones generales respecto a los parámetros analizados, tales como el contenido de materia orgánica, cantidades y relaciones entre materiales amorfos y cristalinos, capacidad de intercambio catiónico, etc., la interpretación conjunta por medio de gráficas comparativas, de dichos datos nos permitirán alcanzar la meta trazada en el presente trabajo: definición de una estratigrafía de acuerdo a las características físico-químicas de la secuencia (origen y evolución) y relación entre estas y el comportamiento mecánico de los materiales.

De acuerdo con lo descrito anteriormente y basado en los resultados del análisis geomecánico se proponen seis estratos que se muestran en la figura 32, y cuya descripción es la siguiente:

Estrato uno. Localizado de los 2.00 a los 2.60 metros, se compone de una alternancia de limos y arcillas de color negro en los primeros centímetros y café oscuro al final. Se observan restos de raíces en la parte superior y cerca de la base pequeños lentes de materia orgánica y grumos. Presenta disminución de materia orgánica (1.29% a 0.23%) y de Fe amorfo oxidado a partir de la superficie, la presencia de arenas se refleja en el aumento de la densidad de sólidos. Estos resultados nos indican un medio ambiente oxidante, con aporte clástico durante la sedimentación. Presenta una compresibilidad y una resistencia al esfuerzo cortante bajas.

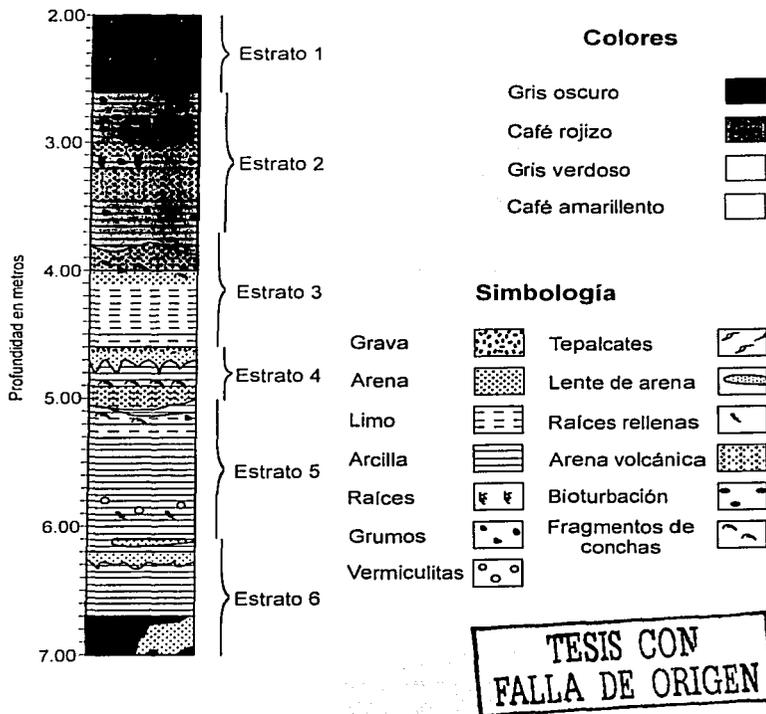


Figura 32. Redefinición estratigráfica

Estrato dos. Entre los 2.60 y 3.70 metros, está constituido por una alternancia de materiales arcillosos, limo-arcillosos y arenosos, predominando los limos y en menor grado las arenas. Su color en la base es rojo-pardo y lo demás es café rojizo, de los 2.66 y a los 3.24 metros se forman grumos de arcillas. La materia orgánica continua disminuyendo, alrededor de 30%, al igual que el Fe, pero alrededor de los 3.20 metros registra un aumento importante, para continuar con su decremento. La densidad de sólidos varía en gran medida,

dada la presencia de lentes de arena. Hay una acumulación de sales, lo cual permite suponer condiciones de aridez. La compresibilidad del material disminuye ligeramente, pero su resistencia al corte aumenta debido a una disminución en la cantidad de materia orgánica.

Estrato tres. Este estrato es una alternancia de arenas y limos, con muy poca arcilla, abarca desde los 3.70 hasta los 4.60 metros; presenta en los primeros centímetros color café, pero a partir de los cuatro metros el color es verde, de los 4.10 a los 4.20 metros se observan estructuras de hidromorfismo (moteado) y en la base se observa la formación de grumos arcillosos. La materia orgánica continua disminuyendo, al igual que los minerales amorfos de Al, Fe y Si. El hidromorfismo y la presencia de Fe reducido, implica variaciones en el nivel freático. Dado que el cambio es gradual, no se registran fuertes fluctuaciones en la compresibilidad, pero la resistencia al corte aumenta considerablemente.

Estrato cuatro. Abarca desde los 4.60 a los 5.00 metros, presenta en los primeros ocho centímetros un material granular de color pardo-banquecino bien graduado, desde arenas finas hasta gravas medias y con estructuras de inyección en su base, bajo este se localiza un espesor de 16 cm de arcillas color verde y finalmente una alternancia de limos y arenas color café. En el material granular el contenido de materia orgánica se mantiene bajo, al mismo nivel que en el estrato superior, pero en la zona arcillosa se incrementa ligeramente. Todos los amorfos analizados marcan una fuerte disminución que coincide con el material granular de los primeros centímetros. La compresibilidad comienza a aumentar gradualmente, la resistencia al esfuerzo cortante se mantiene sin variaciones.

Estrato cinco. Este estrato se define de los 5.00 a los 6.10 metros y se caracteriza por presentar tonos grises. Es un material arcilloso, con capas delgadas de limo en los primeros 20 cm. En la base presenta tonos verdes y se oscurece gradualmente. El límite inferior de este estrato está formado por un lente de ceniza volcánica color gris muy claro con estructuras de inyección en su base. La zona más oscura del estrato (5.80-5.95) presenta la más alta concentración de materia orgánica de toda la secuencia, el Fe y el Si amorfos presentan una leve disminución, en tanto que el Al amorfo presenta su valor más alto dentro de la secuencia. Su compresibilidad es alta y su resistencia al esfuerzo cortante disminuye ligeramente.

Estrato seis. Este estrato abarca de los 6.10 a los 7.00 metros, está conformado por materiales arcillosos de color verde olivo en la parte inferior y rojizo en la base, se localizan grietas rellenas de arena volcánica, disminuye la cantidad de materia orgánica y aumentan el Fe y el Si amorfos, y el Al disminuye. La compresibilidad es la mayor de toda la secuencia en la parte superior del estrato, la resistencia al esfuerzo cortante es media con tendencia a disminuir.

4.2. Relación entre los resultados del análisis geomecánico y las condiciones de formación.

Los resultados obtenidos de densidad real, marcan el cambio entre los diferentes materiales, sobre todo en lo referente a arenas y partículas finas, en general las primeras presentan una densidad real mucho mayor que las segundas, esto puede relacionarse en algunos casos al contenido de materia orgánica o amorfos de Fe, Si o Al dentro de la fracción arcillosa.

En las curvas de minerales amorfos se refleja fuertemente la presencia de un lente de arena volcánica como una sucesión de máximos y mínimos alrededor de los 4.60 metros. Éste cambio también se refleja aunque n menor grado en los datos de contenido de materia orgánica.

El contenido de agua dentro de toda la secuencia tiende a aumentar con la profundidad, pero los valores más altos se presentan en tres zonas, una de ellas a los 3.80 metros, donde se registran valores altos de Si, Al y sobre todo Fe amorfo, así como un alto contenido arcilloso, el siguiente punto alto se observa a los 5.10 metros, donde también se registran valores altos de arcillas, Fe y Al amorfos, pero además se cuenta con un alto contenido de materia orgánica, finalmente, a los 6.10 metros se tiene el mayor contenido de agua natural, y en este punto coinciden valores elevados de materia orgánica, arcillas y minerales amorfos de Fe y Si.

Uno de los datos más útiles es la determinación de la CIC, en este caso particular se determinó una CIC mayor de 25, lo cual es indicio de que las arcillas presentes pertenecen al grupo de las esmectitas, esto a su vez implica alternancias climáticas de humedad y aridez, que también se evidencian por la presencia de colores grisáceos y moteado (hidromorfismo) alrededor de los 5 metros. Algunos de los minerales que dan origen a estas arcillas son aquellos ricos en silicatos de Fe y Mg, como las provenientes de derrames andesítico-basáltico del Cuaternario en la

Cuenca del Valle de México. Asociados a las arcillas se tienen minerales tales como el alófono, (mineral no cristalino de Si-Al), el cuál a su vez se origina a partir de ceniza volcánica no cristalina, bajo condiciones húmedas y capas amorfas de gohetita, hematita y ferhidrita, las cuales tienen una muy alta capacidad de retención de humedad.

4.3. Relación entre las propiedades físico-químicas y la compresibilidad y la resistencia al corte.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los factores determinantes para la variación de la compresibilidad son:

- El contenido de agua natural en el suelo
- El contenido de arcillas.
- El contenido de materia orgánica
- La presencia de amorfos, principalmente de Fe.

De los dos a los 4.70 metros, la compresibilidad es baja y no presenta fuertes variaciones, coincidiendo con valores de contenido de humedad bajos también, el factor más determinante en estos metros parece ser la materia orgánica, que presenta en este intervalo los menores valores. A partir de este punto se incrementa ligeramente, coincidiendo con un aumento en los amorfos de aluminio y de materia orgánica, luego viene una disminución de la compresibilidad que coincide con una disminución de materia orgánica y de amorfos de aluminio. Finalmente se observa el valor más alto de compresibilidad a los 6.80 metros, en esta profundidad se tiene un valor medio de contenido de arcillas, un valor medio de materia orgánica y los valores más altos de Fe y Si amorfo (fig. 32).

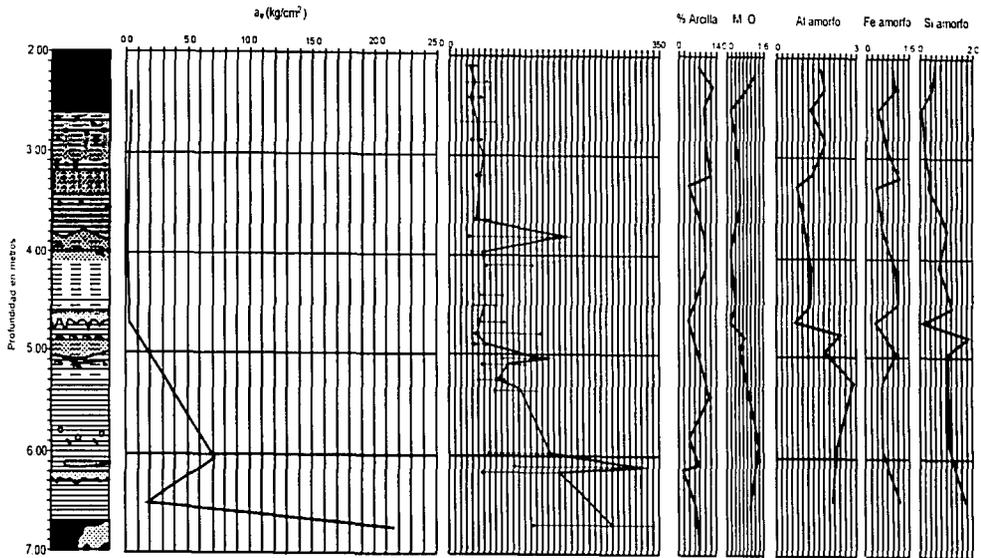


Figura 32. Relación entre la Compresibilidad y las características Físico-químicas de la secuencia estratigráfica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En lo referente a la resistencia al esfuerzo cortante, el factor determinante para las variaciones en su valor, parece ser el contenido de materia orgánica, primero se tiene una resistencia baja, determinada por el alto contenido de materia orgánica, posteriormente se observa un aumento gradual, condicionado hasta los 5.15 metros por una disminución de la materia orgánica, luego se puede ver otro aumento en la resistencia, que aunque coincide con un incremento de materia orgánica, también se relaciona con una disminución del contenido de amorfos de Si y Fe (fig. 33).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

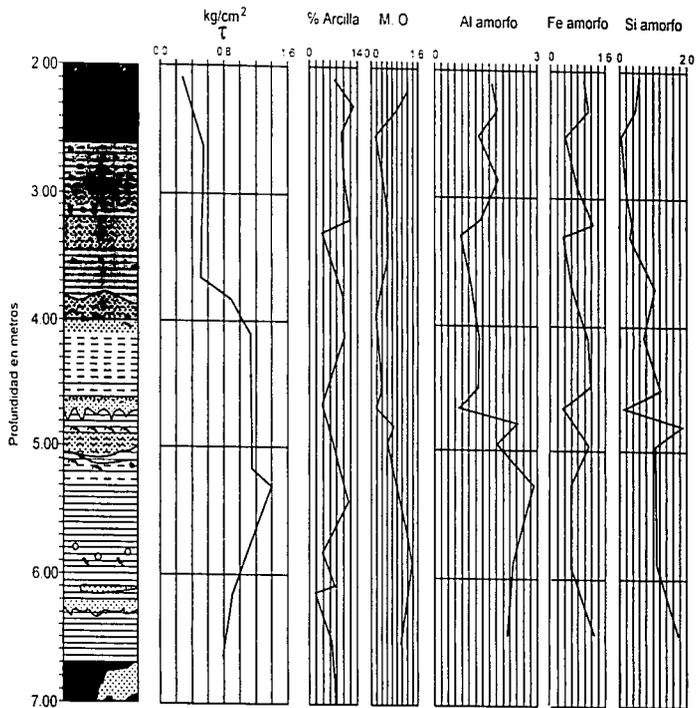


Figura 33. Relación entre la Resistencia al esfuerzo cortante y las características Físico-químicas de la secuencia estratigráfica.

Capítulo V

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

5.1. Conclusiones y perspectivas

- Los resultados obtenidos muestran la estrecha relación existente entre las propiedades físico-químicas de los materiales sedimentarios y su comportamiento mecánico. El incremento de la compresibilidad se relaciona directamente con el contenido de humedad natural de la muestra, el contenido de minerales amorfos, sobre todo de Fe en estado reducido, el contenido de materia orgánica y la proporción de minerales arcillosos. Los valores más altos de plasticidad también corresponden con los valores altos de minerales amorfos de Fe en estado reducido y materia orgánica. La determinación de la CIC permite inferir el tipo de arcillas presentes en la secuencia por medio de su actividad química. Pueden también definirse condiciones de depósito y evolución, tales como la variación en el nivel de aguas freáticas (NAF) debido a cambios estacionales en el régimen de lluvias, así como condiciones de drenaje lento o nulo, que produce coloraciones grisáceas en el suelo y en ocasiones presencia de moteado (hidromorfismo).
- Las variaciones en el comportamiento mecánico de los materiales no depende únicamente de las propiedades físicas y mecánicas determinadas en laboratorio, por lo que no es recomendable asumir que un solo valor puede representar una característica dada para toda la secuencia, aún cuando éste se halla obtenido estadísticamente. En una secuencia estratigráfica no homogénea, se requiere además tomar en cuenta las propiedades químicas que intervienen directamente en las características mecánicas del material.

-
- Las características Físico-químicas del suelo dependen de su origen y evolución. El conocimiento de dichas condiciones y una interpretación adecuada de las observaciones de campo y los datos de laboratorio permitirán su extrapolación, en futuros análisis, a sitios con características geológicas semejantes.
 - La determinación visual de las características físicas en un perfil de suelo in situ, tales como el color, textura y consistencia, son un excelente auxiliar en la caracterización mecánica de los perfiles de suelo. Su fácil determinación permite obtener una noción del comportamiento geotécnico de la secuencia y corroborarlo posteriormente por medio de análisis de laboratorio.
 - La presentación conjunta de resultados en gráficas facilita la definición de estratos geotécnicamente problemáticos, permitiendo optimizar recursos en pruebas de laboratorio.
 - El desarrollo de análisis de esta naturaleza, con un mayor banco de datos, permitirá establecer correlaciones confiables entre las propiedades analizadas, proporcionando una herramienta para la solución de problemas prácticos.

ANEXO I

DESCRIPCIÓN

DETALLADA

DE LA

SECUENCIA

Prof.	Granulometría	Color	Observaciones
2.00 – 2.30	Tierra vegetal y limo	Negro a café oscuro	Tierra vegetal con raíces y materia orgánica Limo con lentes de materia orgánica y grumos Contacto transicional Consistencia suave a media
2.30 – 2.44	Arcilla	Café oscuro	Fragmentos de carbón y tepalcates Contacto transicional de arcilla a arena fina
2.44 – 2.60	Arena fina	Café oscuro	Lente de arena
2.60 – 2.72	Limo arcilloso	Café oscuro	Raíces, bioturbación y grumos Abundantes microfracturas
2.73 – 2.99	Limo	Café oscuro	Contacto inferior altemacia de arena y limo
2.99 – 3.10	Arena limosa	Café oscuro	Contacto inferior no transicional
3.10 – 3.14	Arcilla	Café grisáceo muy oscuro	Material muy homogéneo
3.14 – 3.17	Limo	Café oscuro	Grumos y manchas negras de materia orgánica
3.17 – 3.22	Arcilla	Café rojizo claro	Raíces rodeadas con materia orgánica
3.22 – 3.45	Arena media	Café oscuro	Grumos y lentes de limo negro
3.46 – 3.78	Arcilla	Café claro	Grumos y fracturas verticales rellenas de arena Manchas irregulares de color negro (carbón)
3.78 – 3.90	Arena fina	Café oscuro	Lentes de arena café oscuro Fracturas verticales rellenas de limo café Fragmentos de roca y carbón Vetillas rellenas de limo blanco
3.90 – 4.00	Arena limosa	Café grisáceo	Fragmentos de conchas Grumos gruesos Manchas de carbón
4.00 – 4.14	Arena fina limo escaso	Gris olivo	Grumos arcillosos de color blanco Hoyos no rellenos Manchas blancas y fragmentos de conchas Fracturas rellenas de arena media
4.14 – 4.20	Limo	Gris olivo	Grumos arcillosos Fracturas rellenas de arena media Manchas irregulares de materia orgánica
4.21 – 4.60	Arcilla y limo	Olivo pálido	Manchas negras con fragmentos de conchas Vetilleo de limo gris muy claro Contacto transicional
4.60 – 4.68	Arena gruesa y grava	Gris claro	Material gradado Estructuras de inyección en el contacto inferior
4.68 – 4.86	Arcilla	Pardo grisáceo oscuro	Pequeños lentes de limo Lente de arena media a gruesa con grumos
4.86 – 4.96	Arena fina y limo	Gris oscuro	Escasos fragmentos de conchas
4.96 – 5.06	Arena fina y limo	Olivo muy claro	Cuña de arcilla gris muy fracturada verticalmente Acumulación de materia orgánica en el límite superior de la cuña

Prof.	Granulometría	Color	Observaciones
5.06 – 5.32	Arcilla limosa	Gris verdoso oscuro	Manchas irregulares de arcilla gris Grumos y fragmentos de conchas
5.32 – 5.79	Arcilla	Gris verdoso oscuro	Manchas irregulares de color negro
5.80 – 6.10	Arcilla	Gris olivo oscuro	Fracturas verticales Vermiculitas
6.10 – 6.24	Arcilla	Gris verdoso oscuro	Estructuras tubiformes verticales color gris azulado Fragmentos de tezontle y tepalcates Lente de arena blanca
6.24 – 6.56	Arcilla	Gris olivo	Mismas estructuras tubulares Arena fina gris claro formando una estructura de inyección Grietas rellenas de arena fina a media
6.56 – 6.72	Arcilla	Gris oscuro	Formas tubulares blancas al centro y negras alrededor
6.72 – 6.86	Arcilla	Pardo olivo	Manchas negras con un halo verde alrededor, alargadas verticalmente Restos de raíces (aún se observan las fibras)
6.86 – 6.94	Arcilla	Gris olivo	Lente de arena media volcánica
6.94 – 7.10	Arcilla	Pardo olivo	Fracturas rellenas con arena media volcánica
7.10 – 7.27	Arcilla	Café amarillento oscuro	Lente da arena media

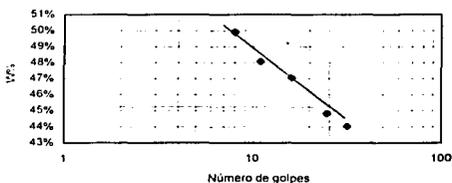
ANEXO II

LIMITES DE CONSISTENCIA Y CLASIFICACIÓN SUCS

Profundidad: 2.00 a 2.10

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	8	8	9	U-2	37 96	54 90	49 26	5 64	11 30	49 91%
2	10	11	11	C-9	37 90	43 63	41 77	1 86	3 87	48 06%
3	15	16	14	C-3	38 06	48 56	45 20	3 36	7 14	47 06%
4	26	25	26	V-8	60 25	69 49	66 63	2 86	6 38	44 83%
5	31	32	31	B-4	37 98	51 98	47 70	4 28	9 72	44 03%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	A-4	37 98	38 67	38 50	0 17	0 52	32 68%
2	M-3	38 02	38 59	38 45	0 14	0 43	32 56%
3	Y-3	38 09	38 73	38 58	0 15	0 49	30 61%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CÁP No	PESO CAPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	D-9	113 08	173 82	157 99	15 83	44 91	35 25%

W = 35.25%

LL = 44.90%

LP = 31.95%

IP = 12.95%

LC = 31.87%

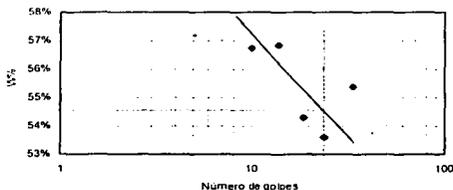
Clasificación: OL - Limos orgánicos y arcillas limosas
orgánicas de baja plasticidad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 2.38 a 2.44

LIMITE LIQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	34	34	34	C-6	37 98	49 68	45 51	4 17	7 53	55 38%
2	19	19	19	B-7	38 06	46 16	43 31	2 85	5 25	54 29%
3	24	24	24	Y-1	37 77	49 09	45 14	3 95	7 37	53 60%
4	14	14	13	A-9	38 24	46 38	43 43	2 95	5 19	56 84%
5	10	10	9	Y-5	38 09	46 82	43 66	3 16	5 57	56 73%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	U-3	38 09	39 39	39 08	0 31	0 99	31 31%
2	W-3	38 02	38 98	38 76	0 22	0 74	29 73%
3	C-4	38 09	39 34	39 04	0 30	0 95	31 58%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	B-34	37 98	63 23	56 57	6 66	18 59	35 83%
2	U-2	37 95	56 55	51 89	4 66	13 94	33 43%
3	V-8	60 24	88 02	80 98	7 04	20 74	33 94%

W= 34.40%
 LL= 54.60%
 LP= 30.87%
 IP= 23.73%
 LC = 30.73%

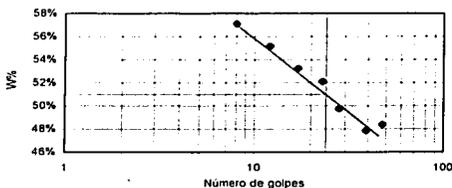
Clasificación: OH - Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 2.60 a 2.70

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	8	8	8	B-3	38 15	53 01	47 61	5 40	9 46	57 08%
2	28	28	29	U-3	38 09	49 14	45 47	3 67	7 38	49 73%
3	18	17	17	C-5	38 08	72 82	60 75	12 07	22 67	53 24%
4	24	23	23	X-5	37 95	48 81	45 09	3 72	7 14	52 10%
5	12	12	12	Y-8	38 03	50 94	46 35	4 59	8 32	55 17%
6	47	48	48	C-4	38 08	50 29	46 31	3 98	8 23	48 36%
7	39	39	40	Y-9	38 18	55 98	50 22	5 78	12 04	47 84%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	X-8	60 41	62 20	61 71	0 49	1 30	37 69%
2	Z-2	60 30	62 00	61 36	0 64	1 06	60 38%
3	U-0	60 70	62 17	61 76	0 41	1 06	38 68%
4	C-9	37 91	39 72	39 19	0 53	1 28	41 41%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	Z-5	38 11	53 08	48 11	4 97	10 00	49 70%
2	V-6	38 17	54 71	49 79	4 92	11 62	42 34%
3	X-9	37 83	51 62	47 63	3 99	9 80	40 71%

W= 44.25%
 LL= 51.30%
 LP= 44.54%
 IP= 6.76%
 LC = 44.48%

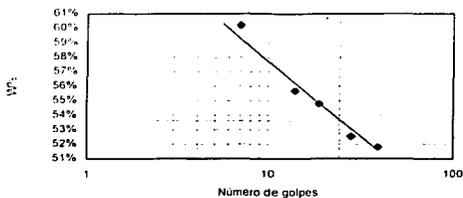
Clasificación: MH - Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 2.79 a 2.85

LIMITE LIQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	10	20	30							
1	7	7	8	B-3	38 15	46 08	43 10	2 98	4 95	60 20%
2	14	14	14	X-0	59 69	67 77	64 88	2 89	5 19	55 68%
3	27	28	28	W-5	60 08	67 28	64 80	2 48	4 72	52 54%
4	39	39	39	B-1	60 48	68 13	65 52	2 61	5 04	51 79%
5	18	19	19	Z-8	60 14	68 70	65 67	3 03	5 53	54 71%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	Z-2	60 31	61 24	60 99	0 25	0 68	36 76%
3	W-0	38 18	39 05	38 81	0 24	0 63	38 10%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)

W= 47.66%
 LL= 53.75%
 LP= 38.29%
 IP= 15.46%
 LC = 38.17%

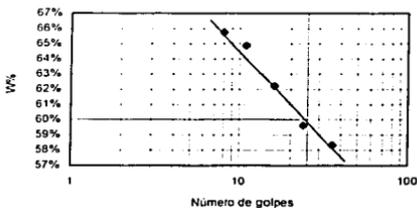
Clasificación: OH - Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de m. plasticidad.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 2.95 a 3.02

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	9	8	8	X-1	60 38	69 23	65 72	3 51	5 34	65 73%
2	12	11	11	Z-1	59 14	68 29	64 69	3 60	5 55	64 86%
3	16	16	17	V-8	60 24	67 28	64 58	2 70	4 34	62 21%
4	24	24	23	A-0	60 40	71 11	67 11	4 00	6 71	59 81%
5	36	36	35	Y-4	60 02	69 44	65 97	3 47	5 95	58 32%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	Image	CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1								
2	V-7	59 95	60 88	60 58	0 30	0 63	47 82%	
3	Z-9	60 31	61 73	61 29	0 44	0 98	44 90%	

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	Image	CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1								
2	A-35	40 08	50 26	46 75	3 51	6 67	52 82%	
3	W-5	60 08	73 42	68 31	5 11	8 23	62 08%	

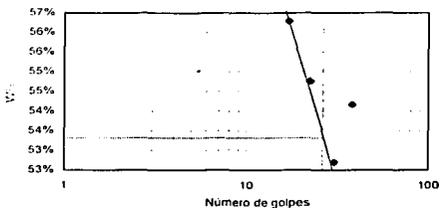
W = 57.72%
 LL = 60.10%
 LP = 47.78%
 IP = 12.32%
 LC = 47.66%

Clasificación: MH - Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N. DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELOS (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	17	17	16	Y-8	38 03	55 30	49 08	6 22	11 05	56 29%
2	22	22	21	X-5	37 95	51 46	46 68	4 78	8 73	54 75%
3	38	38	37	C-9	37 91	50 69	46 20	4 49	8 29	54 16%
4	30	30	29	X-9	37 84	47 75	44 33	3 42	6 49	52 70%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELOS (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	B-4	37 98	39 61	39 15	0 46	1 17	39 32%
2	C-5	38 08	39 29	38 95	0 34	0 87	39 08%
3	Z-5	38 10	39 66	39 21	0 45	1 11	40 54%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELOS (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	W-9	37 82	42 11	40 86	1 25	3 04	41 12%
2	A-8	60 69	67 47	65 53	1 94	4 84	40 08%

W= 40.60%
 LL= 53.80%
 LP= 39.65%
 IP= 14.15%
 LC = 39.53%

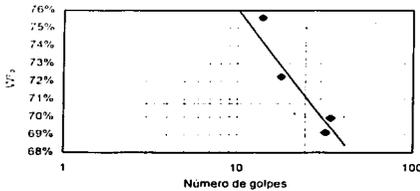
Clasificación: OH - Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limo orgánico de m. plasticidad.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 3.63 a 3.74

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	10	20	30							
1	32	32	33	Z-8	60 14	67 75	64 64	3 11	4 50	69 11%
2	34	34	35	X-8	60 40	70 12	66 12	4 00	5 72	69 93%
3	18	18	19	U-8	22 79	29 87	26 90	2 97	4 11	72 26%
4	14	14	15	B-2	59 36	66 91	63 66	3 25	4 30	75 58%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	B-7	38 05	39 85	39 31	0 54	1 26	42 86%
2	X-5	37 95	39 72	39 18	0 54	1 23	43 90%
3	Y-8	38 03	39 72	39 19	0 53	1 16	45 69%
4	A-35	40 08	42 38	41 68	0 70	1 60	43 75%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	Y-4	60 02	72 88	69 36	3 52	9 34	37 69%
2	V-8	60 24	73 15	68 05	4 50	8 41	53 51%

W= 45.60%
LL= 70.95%
LP= 44.05%
IP= 26.90%
LC = 31.87%

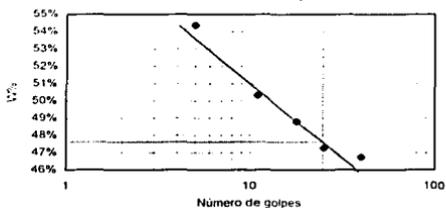
Clasificación: OH - Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limo orgánico de m. plasticidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 3.74 a 3.85

LÍMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CÁP No	PESO CAPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	5	5	6	C-6	38.04	47.24	44.00	3.24	5.96	54.35%
2	40	40	39	X-0	59.69	72.06	68.12	3.94	8.43	46.74%
3	24	25	25	Y-9	38.19	45.48	43.14	2.34	4.95	47.27%
4	18	18	19	A-8	60.69	68.68	66.06	2.62	5.37	48.70%
5	11	11	10	Z-2	60.31	69.24	66.25	2.99	5.94	50.34%



LÍMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CÁP No	PESO CAPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	Z-0	60.31	61.65	61.30	0.35	0.99	35.35%
3	W-5	60.08	61.90	61.40	0.50	1.32	37.88%
4	Z-5	38.10	39.68	39.25	0.43	1.15	37.39%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CÁP No	PESO CAPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	A-9	38.24	46.95	41.37	5.58	3.13	178.27%

$W = 199.42\%$
 $LL = 47.00\%$
 $LP = 36.87\%$
 $IP = 10.13\%$
 $LC = 36.79\%$

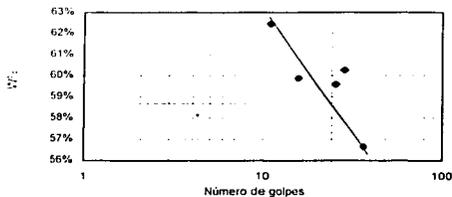
Clasificación: OL - Limos orgánicos y arcillas limosas de baja plasticidad.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 3.92 a 3.97

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)		CAP + SUELO H (g)		CAP + SUELO S (g)		PESO AGUA (g)		PESO SUELO S (g)		CONTENIDO AGUA (W%)	
	10	20	30		CAPSULA	SUELO H	SUELO S	AGUA	SUELO S	SUELO S	SUELO S	AGUA	AGUA			
1	11	11	11	Y-R	38 03	45 73	42 77	2 96	4 74	62 45%						
2	26	26	25	Y-5	38 09	45 00	42 42	2 58	4 33	59 58%						
3	37	37	38	X-9	37 84	42 68	40 93	1 75	3 09	56 63%						
4	16	16	17	C-9	37 91	45 12	42 42	2 70	4 51	59 87%						
5	29	29	28	V-2	60 61	67 02	64 61	2 41	4 00	60 25%						



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)		CAP + SUELO H (g)		CAP + SUELO S (g)		PESO AGUA (g)		PESO SUELO S (g)		CONTENIDO AGUA (W%)	
		CAPSULA	SUELO H	SUELO S	SUELO S	AGUA	SUELO S	SUELO S	SUELO S	AGUA	AGUA		
1		B-7	38 05	39 47	39 07	0 40	1 02	39 22%					
2		B-3	38 15	39 11	38 85	0 26	0 70	37 14%					
3		V-2	37 92	38 81	38 56	0 25	0 64	39 05%					
4		Y-4	60 02	61 10	60 78	0 32	0 76	42 11%					

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)		CAP + SUELO H (g)		CAP + SUELO S (g)		PESO AGUA (g)		PESO SUELO S (g)		CONTENIDO AGUA (W%)	
		CAPSULA	SUELO H	SUELO S	SUELO S	AGUA	SUELO S	SUELO S	SUELO S	AGUA	AGUA		
1		Y-9	38 19	44 13	41 93	2 20	3 74	58 82%					

W_w = 58.82%

LL = 58.45%

LP = 39.38%

IP = 19.07%

LC = 39.23%

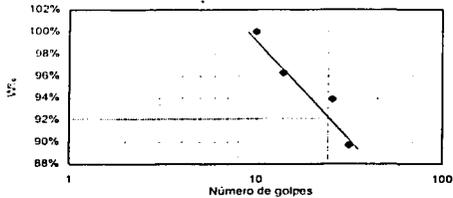
Clasificación: MH - Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeáceos, limos elásticos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 4.40 a 4.45

LIMITE LIQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	10	20	30							
1	40	40	41	Y-1	37 77	46 06	39 95	6 11	2 18	280 28%
2	26	26	25	B-4	37 98	39 88	38 96	0 92	0 98	93 88%
3	32	32	33	W-9	37 82	40 95	39 47	1 48	1 65	89 70%
4	14	14	15	B-2	59 36	62 01	60 71	1 30	1 35	96 30%
5	10	10	9	C-4	38 09	40 57	39 33	1 24	1 24	100 00%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	V-8	60 24	63 56	62 34	1 22	2 10	58 10%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CÁP + SUELO H (g)	CÁP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	W-9	37 82	44 83	42 33	2 50	4 51	55 43%

W = 57.05%
 LL = 92.00%
 LP = 56.61%
 IP = 34.95%
 LC = 56.21%

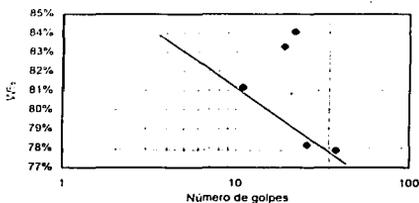
Clasificación: OH - Arcillas orgánicas de media a alta plástica, limo orgánico de m. plasticidad.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 4.45 a 4.50

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	11	11	11	Y-4	60 02	63 77	62 09	1 68	2 07	81 16%
2	25	26	26	V-5	60 27	65 49	63 20	2 29	2 93	78 16%
3	38	38	38	Y-5	38 09	44 28	41 57	2 71	3 48	77 87%
4	19	19	18	C-3	38 06	44 20	41 41	2 79	3 35	83 28%
5	22	22	21	C-5	38 08	44 78	41 72	3 06	3 64	84 07%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	X-9	37 84	38 79	38 51	0 28	0 67	41 79%
2	U-2	37 96	38 94	38 62	0 32	0 66	48 48%
3	B-3	38 16	39 22	38 91	0 31	0 75	41 33%
4	W-0	38 18	39 22	38 92	0 30	0 74	40 54%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	A-7	38 06	45 88	42 99	2 89	4 91	58 86%
2	A-35	40 09	45 82	43 75	2 07	3 66	56 56%

W = 57.71%
LL = 78.00%
LP = 43.04%
IP = 34.96%
LC = 42.74%

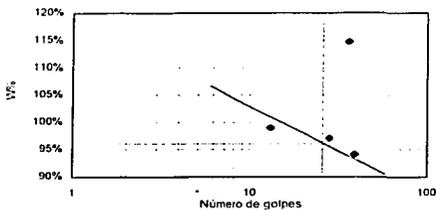
Clasificación: OH - Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limo orgánico de m. plasticidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 4.695 a 4.755

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	To	2o	3o							
1	39	39	40	Z-8	60 14	66 70	63 52	3 18	3 38	94 08%
2	28	28	27	X-8	60 40	66 41	63 45	2 96	3 05	97 05%
3	13	13	14	W-5	60 08	65 83	62 97	2 86	2 89	98 96%
4	36	36	37	X-2	60 24	69 15	64 39	4 76	4 15	114 70%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CÁP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1		38 04	40 03	39 28	0 75	1 24	60 48%
2		38 06	38 97	38 61	0 36	0 55	65 45%
3		38 08	38 71	38 50	0 21	0 42	50 00%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1		38 19	44 13	42 13	2 00	3 94	50 76%

W= 50.76%
 LL= 96.80%
 LP= 58.65%
 IP= 38.15%
 LC = 58.20%

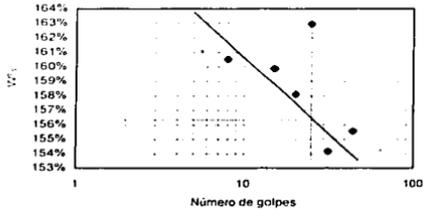
Clasificación: OH - Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limo orgánico de m. plasticidad.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 4.78 a 4.83

LIMITE LIQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	10	20	30							
1	25	25	26	V-8	60 24	62 58	61 13	1 45	0 89	162 92%
2	45	45	44	B-4	37 98	41 20	39 24	1 96	1 26	155 56%
3	32	32	33	U-7	21 83	25 49	23 27	2 22	1 44	154 17%
4	15	15	14	A-0	60 40	63 96	61 77	2 19	1 37	159 85%
5	8	8	9	V-6	38 16	41 13	39 30	1 83	1 14	160 53%
6	20	20	19	Z-4	60 08	62 79	61 13	1 66	1 05	158 10%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	U-0	60 70	61 45	61 21	0 24	0 51	47 06%
2	B-1	60 48	61 23	60 98	0 25	0 50	50 00%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	Y-9	38 19	45 21	42 87	2 34	4 68	50 00%

W= 50.00%
LL= 156.40%
LP= 48.53%
IP= 107.87%
LC = 47.50%

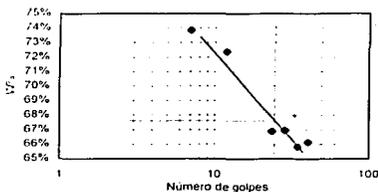
Clasificación: CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
arcillas francas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 4.87 a 4.92

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	12	12	12	Z-2	60.31	64.93	62.99	1.94	2.68	72.39%
2	24	24	25	V-2	60.61	63.33	62.24	1.09	1.63	66.87%
3	41	41	40	Y-5	38.09	41.18	39.95	1.23	1.80	66.13%
4	35	35	36	C-8	37.89	41.77	40.23	1.54	2.34	65.81%
5	29	29	30	C-5	38.08	40.05	39.26	0.79	1.18	66.95%
6	7	7	8	C-3	38.06	41.78	40.20	1.58	2.14	73.83%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	B-7	38.05	38.68	38.49	0.19	0.44	43.18%
3	Y-8	38.03	38.63	38.46	0.17	0.43	39.53%
4	A-9	38.24	38.79	38.63	0.16	0.39	41.03%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	C-6	38.04	46.97	43.41	3.56	5.37	66.29%

W= 60.32%

LL= 67.70%

LP= 44.59%

IP= 7.38%

LC= 44.53%

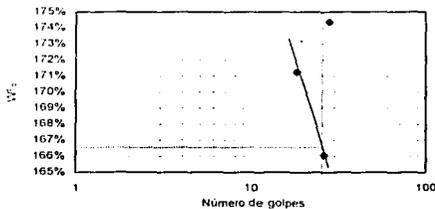
Clasificación: MH - Limos Inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 5.00 a 5.05

LÍMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	10	20	30							
1	40	40	39	A-2	22 77	44 52	27 39	17 13	4 62	370 78%
2	18	18	18	W-0	38 18	40 16	38 91	1 25	0 73	171 23%
3	26	26	25	A-8	60 69	63 59	61 78	1 81	1 09	166 06%
4	28	28	28	Y-9	38 19	43 43	40 10	3 33	1 91	174 35%



LÍMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	V-7	59 95	60 72	60 36	0 36	0 41	87 80%
3	Z-9	60 31	60 92	60 64	0 28	0 33	84 85%
4	X-2	60 24	61 07	60 67	0 40	0 43	93 02%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	Z-2	60 31	63 97	61 71	2 26	1 40	181.43%

W= 161.43%

LL= 166.80%

LP= 93.46%

IP= 73.34%

LC = 92.11%

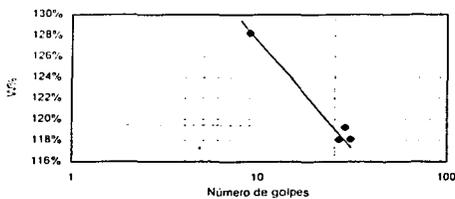
Clasificación: CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
arcillas francas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 5.05 a 5.07

LIMITE LIQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	9	9	10	A-5	60 42	69 39	64 35	5 04	3 93	128 24%
2	27	27	27	V-7	59 95	67 43	63 38	4 05	3 43	118 08%
3	31	31	30	X-0	59 69	68 24	63 61	4 63	3 92	118 11%
4	29	29	30	X-1	60 38	66 54	63 19	3 35	2 81	119 22%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	W-3	38 02	38 83	38 53	0 30	0 51	58 82%
3	Y-1	37 77	39 05	38 61	0 44	0 84	52 38%
4	W-9	37 82	38 62	38 49	0 33	0 67	49 25%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)

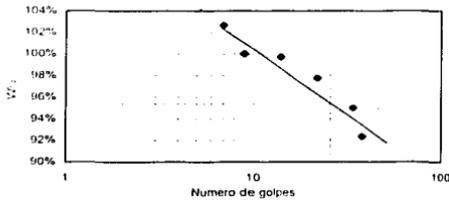
W= 97.19%
LL= 119.80%
LP= 55.88%
IP= 63.92%
LC = 55.17%

Clasificación: CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad arcillas francas

Profundidad: 5.125 a 5.235

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	22	22	21	A-9	38 24	46 21	42 27	3 94	4 03	97 77%
2	14	14	14	C-8	37 89	44 70	41 30	3 40	3 41	99 71%
3	9	9	10	Y-8	38 03	45 81	41 92	3 89	3 89	100 00%
4	7	7	7	Y-5	38 09	45 00	41 50	3 50	3 41	102 64%
5	38	38	39	Y-4	60 02	66 56	63 42	3 14	3 40	92 35%
6	34	34	35	Y-1	60 48	67 11	63 88	3 23	3 40	95 00%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	V-6	38 16	38 86	38 62	0 24	0 46	52 17%
2	X-9	37 91	38 65	38 37	0 28	0 46	60 87%
3	W-0	38 18	38 90	38 66	0 24	0 48	50 00%
4	X-0	59 69	60 43	60 20	0 23	0 51	45 10%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	B-1	60 48	66 00	63 58	2 42	3 10	78 06%
2	Z-4	60 08	64 01	62 28	1 73	2 20	78 64%

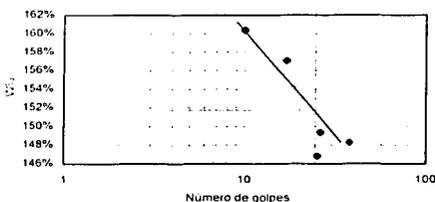
W= 78.35%
LL= 95.60%
LP= 52.04%
IP= 43.56%
LC = 51.59%

Clasificación: OH - Arcillas orgánicas de media a alta plástica, limo orgánico de m. plasticidad.

Profundidad: 5.24 a 5.30

LIMITE LIQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	25	25	24	C-9	37 91	44 50	40 58	3 92	2 67	146 82%
2	38	38	37	C-6	38 04	43 80	40 36	3 44	2 32	148 28%
3	26	26	27	Y-4	60 02	65 68	62 29	3 39	2 27	149 34%
4	17	17	16	Z-5	38 10	42 47	39 80	2 67	1 70	157 06%
5	10	10	9	X-9	37 84	45 86	40 92	4 94	3 08	160 39%



LIMITE PLASTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	X-0	59 69	61 41	60 62	0 79	0 93	84 95%
3	X-1	60 38	61 67	61 11	0 56	0 73	76 71%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	C-8	37 89	45 93	42 02	3 91	4 13	94 67%
3	Y-9	38 19	48 87	42 22	6 65	4 03	165 01%
4	A-8	60 69	68 18	63 75	4 43	3 06	144 77%

$W = 121.80\%$
 $LL = 151.25\%$
 $LP = 81.39\%$
 $IP = 69.86\%$
 $LC = 80.27\%$

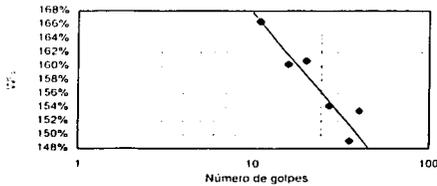
Clasificación: CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
arcillas francas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 5.95 a 6.00

LÍMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	28	27	27	B-0	60 40	65 56	62 43	3 13	2 03	154 19%
2	40	40	40	B-2	59 36	64 15	61 25	2 90	1 89	153 44%
3	34	35	35	A-35	40 08	44 19	41 73	2 46	1 65	149 09%
4	16	16	16	C-4	38 09	43 92	40 33	3 59	2 24	160 27%
5	20	20	21	W-3	38 02	42 74	39 83	2 91	1 81	160 77%
6	11	11	12	A-5	60 42	67 80	63 19	4 61	2 77	166 43%



LÍMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	C-8	37 89	38 79	38 42	0 37	0 53	69 81%
2	C-3	38 06	38 84	38 54	0 30	0 48	62 50%
3	C-5	38 08	39 09	38 67	0 42	0 59	71 19%
4	C-6	38 04	38 94	38 57	0 37	0 53	69 81%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	W-9	37 82	42 78	39 71	3 07	1 89	162 43%
2	A-0	60 40	68 22	63 41	4 81	3 01	159 80%
3	B-1	60 48	71 58	64 55	7 03	4 07	172 73%
4	B-0	60 40	66 16	62 34	3 82	1 94	198 91%

W= 172.97%
 LL= 156.00%
 LP= 68.33%
 IP= 87.67%
 LC = 67.15%

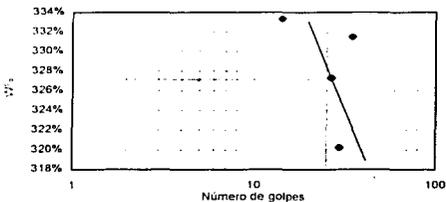
Clasificación: CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
 arcillas francas

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 6.06 a 6.09

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N. DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	14	14	15	X-9	37.84	40.57	38.47	2.1	0.63	333.33%
2	27	27	26	Z-0	60.31	63.13	60.97	2.16	0.66	327.27%
3	30	30	29	Z-5	38.10	42.05	39.04	3.01	0.94	320.21%
4	34	35	35	U-8	22.79	26.63	23.68	2.95	0.89	331.46%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	V-5	60.27	61.47	60.85	0.62	0.58	106.90%
2	X-0	59.69	60.48	60.04	0.44	0.35	125.71%
3	A-8	60.69	61.35	61.00	0.35	0.31	112.90%
4	W-5	60.08	60.75	60.41	0.34	0.33	103.03%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
1	U-2	60.61	66.04	61.98	4.06	1.37	296.35%
2	V-7	38.05	41.52	38.79	2.73	0.74	368.82%

W = 332.63%
LL = 327.50%
LP = 112.14%
IP = 215.36%
LC = 107.51%

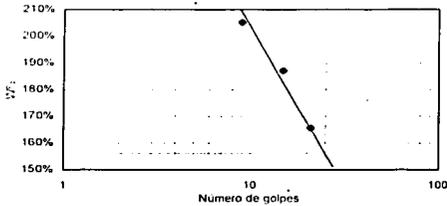
Clasificación: CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad arcillas francas

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Profundidad: 6.09 a 6.14

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N. DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
	1o	2o	3o							
1	21	21	22	V-8	60.24	65.10	62.07	3.03	1.83	165.57%
2	32	33	33	H-4	37.48	42.23	39.47	2.76	1.99	138.69%
3	13	15	15	X-1	60.38	66.41	62.48	3.93	2.10	187.14%
4	10	9	9	V-7	59.95	67.12	62.30	4.82	2.35	205.11%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CÁPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)
2	C-5	38.08	38.85	38.59	0.26	0.51	51.37%
3	Z-8	60.14	60.93	60.67	0.26	0.53	49.06%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W%)

W = 189.87%
LL = 158.00%
LP = 53.30%
IP = 104.70%
LC = 52.20%

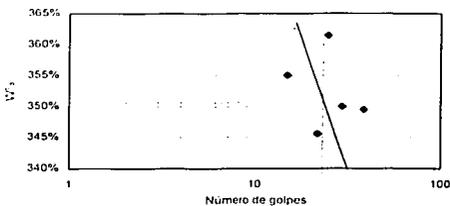
Clasificación: CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
arcillas francas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Profundidad: 6.61 a 6.84

LIMITE LÍQUIDO

PRUEBA No	N DE GOLPES			CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W-%)
	10	20	30							
1	25	25	26	X-2	60 24	64 07	61 07	3 00	0 83	361 45%
2	39	39	40	U-2	37 96	42 41	38 95	3 46	0 99	349 49%
3	30	30	30	W-0	38 18	40 88	38 78	2 10	0 60	350 00%
4	23	22	22	B-3	38 15	41 67	38 94	2 73	0 79	345 57%
5	15	15	15	B-1	60 48	64 12	61 28	2 84	0 80	355 00%
6	10	10	11	L-1	49 50	84 04	54 98	29 06	5 48	530 29%



LIMITE PLÁSTICO

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W-%)
2	A-7	38 07	38 73	38 35	0 38	0 28	135 71%
3	A-9	38 24	38 78	38 47	0 31	0 23	134 78%
4	W-3	38 02	38 76	38 31	0 45	0 29	155 17%

CONTENIDO DE AGUA NATURAL

PRUEBA No	CAP No	PESO CAPSULA (g)	CAP + SUELO H (g)	CAP + SUELO S (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO S (g)	CONTENIDO AGUA (W-%)
2	C-9	37 51	42 40	38 96	3 44	1 45	237 24%

W= 279.68%

LL= 352.00%

LP= 144.81%

IP= 207.19%

LC = 139.05%

Clasificación: CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
arcillas francas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO III

- **Contenido de agua natural w%**
- **Óxidos totales**
 - **Cationes intercambiables**
 - **Aniones**

**CONTENIDOS DE HUMEDAD w%
(DETERMINACIONES)**

PROF.	CÁPSULA NÚMERO	PESO CÁPSULA	CÁPSULA +SS	CÁPSULA +SH	PESO SS	PESO W	w% COSTADO	w% INTERIOR
2.10	D-9	113.08	157.93	173.92	44.85	15.99		35.65%
2.40	U-2	37.96	51.89	56.55	13.93	4.66		33.45%
2.44	B-4	37.98	56.57	63.23	18.59	6.66		35.83%
2.48	C-3	38.07	46.07	47.99	8.00	1.92		24.00%
2.54	V-8	60.24	80.98	88.02	20.74	7.04		33.94%
2.54	X-9	37.85	47.62	51.62	9.77	4.00		40.94%
2.62	Z-5	38.11	48.11	53.08	10.00	4.97		49.70%
2.68	V-6	38.17	49.73	54.71	11.56	4.98		43.08%
2.80	Z-1	59.14	69.84	74.94	10.70	5.10		47.66%
2.87	U-0	60.70	64.46	66.25	3.76	1.79	47.61%	
2.90	V-6	38.16	43.71	46.16	5.55	2.45	44.14%	
3.01	B-1	60.48	66.40	69.86	5.92	3.46	58.45%	
3.10	A-35	40.08	46.75	50.26	6.67	3.51		52.62%
3.14	W-5	60.08	68.31	75.42	8.23	7.11	86.39%	
3.20	W-9	37.82	40.86	42.11	3.04	1.25		41.12%
3.21	A-8	60.69	65.53	67.47	4.84	1.94		40.08%
3.29	B-5	59.35	66.68	70.97	7.33	4.29		58.53%
3.29	X-1	60.38	77.36	80.42	16.98	3.06		18.02%
3.62	X-5	37.95	122.31	186.37	84.36	64.06	75.94%	
3.62	Y-4	38.03	41.27	43.55	3.24	2.28		70.37%
3.70	V-8	60.24	68.65	73.15	8.41	4.50	53.51%	
3.83	A-9	38.24	41.37	46.95	3.13	5.58		178.27%
3.84	A-0	60.40	64.00	71.94	3.60	7.94		220.56%
3.90	Y-8	38.03	41.27	43.55	3.24	2.28	70.37%	
3.91	Y-9	38.19	41.93	44.13	3.74	2.20	58.82%	
4.01	V-5	60.27	70.43	76.15	10.16	5.72		56.30%
4.02	V-2	60.61	68.13	72.76	7.52	4.63		61.57%
4.18	A-5	60.42	65.19	67.49	4.77	2.30	48.22%	
4.40	C-4	38.09	42.30	44.77	4.21	2.47	58.67%	
4.62	W-9	37.82	42.33	44.83	4.51	2.50		55.43%
4.63	B-2	59.36	61.47	62.68	2.11	1.21		57.35%
4.65	Y-1	37.77	42.51	44.62	4.74	2.11	44.51%	
4.80	C-5	38.08	38.50	38.71	0.42	0.21	50.00%	
4.90	C-3	38.06	43.80	46.92	5.74	3.12	54.36%	
4.95	C-6	38.04	43.41	46.97	5.37	3.56		66.29%
5.00	W-0	38.18	44.06	47.51	5.88	3.45		58.67%
5.06	Z-2	60.31	61.71	63.97	1.40	2.26		161.43%
5.10	A-7	38.07	43.77	49.31	5.70	5.54	97.19%	

CONTENIDOS DE HUMEDAD w%
 (DETERMINACIONES)

PROF.	CÁPSULA NÚMERO	PESO CÁPSULA	CÁPSULA +SS	CÁPSULA +SH	PESO SS	PESO W	w% COSTADO	w% INTERIOR
5.12	V-5	60.61	63.42	66.29	2.81	2.87		102.14%
5.23	B-1	60.48	63.58	66.00	3.10	2.42		78.06%
5.23	Z-4	60.08	62.28	64.01	2.20	1.73		78.64%
5.24	Z-9	60.31	63.79	66.67	3.48	2.88		82.76%
5.32	C-8	37.89	42.02	45.93	4.13	3.91	94.67%	
5.36	Y-9	38.19	42.22	48.87	4.03	6.65		165.01%
5.47	A-8	60.69	63.75	68.18	3.06	4.43		144.77%
5.80	X-8	60.40	63.85	68.84	3.45	4.99		144.64%
5.95	A-5	60.42	61.29	63.32	0.87	2.03		233.33%
6.05	Z-5	38.10	40.37	44.68	2.27	4.31		189.87%
6.06	C-9	37.91	42.18	50.74	4.27	8.56		200.47%
6.09	A-0	60.40	63.41	68.92	3.01	5.51		183.06%
6.10	W-9	37.82	39.71	42.78	1.89	3.07	162.43%	
6.10	B-0	60.40	62.34	66.16	1.94	3.82		196.91%
6.12	B-1	60.48	64.55	71.58	4.07	7.03		172.73%
6.26	U-0	60.70	64.23	65.93	3.53	1.70	48.16%	
6.27	V-8	60.24	61.39	64.88	1.15	3.49	303.48%	
6.35	U-8	22.77	23.55	25.94	0.78	2.39		306.41%
6.38	V-7	59.95	60.99	64.48	1.04	3.49		335.58%
6.38	U-7	21.83	25.41	25.94	3.58	0.53		14.80%
6.41	V-7	38.05	38.79	41.52	0.74	2.73		368.92%
6.46	V-2	60.61	61.98	66.04	1.37	4.06	296.35%	
6.54	V-6	38.16	38.83	41.25	0.67	2.42		361.19%
6.55	Y-1	37.77	39.07	43.31	1.30	4.24	326.15%	
6.56	A-9	38.24	39.26	42.61	1.02	3.35		3.284314
6.60	X-8	60.40	61.44	64.79	1.04	3.35		3.221154
6.62	Z-4	60.08	61.29	65.47	1.21	4.18	345.45%	
6.64	Z-8	60.14	61.65	66.38	1.51	4.73		313.25%
6.72	A-7	38.07	38.85	41.77	0.78	2.92	374.36%	
6.83	Y-8	38.03	38.96	42.32	0.93	3.36	361.29%	
6.85	X-1	60.38	62.97	70.78	2.59	7.81		301.54%
6.85	C-9	37.91	38.96	42.40	1.05	3.44		327.62%
6.85	L-1	48.04	49.26	53.09	1.22	3.83	313.93%	
6.88	A-0	60.40	62.08	65.62	1.68	3.54	210.71%	
6.95	Y-5	38.09	38.43	39.60	0.34	1.17		344.12%
6.97	X-0	37.95	39.05	43.01	1.10	3.96	360.00%	

CONTENIDOS DE HUMEDAD w%

PROF.	w% COST	w% INT	w% NAT
2.15		36.65%	35.25%
2.23	45.52%		46.29%
2.30	43.97%		
2.38		48.61%	
2.40	33.45%		31.81%
2.50	33.94%		
2.44		35.83%	
2.48	24.00%		
2.54		40.94%	1684.67%
2.68		43.08%	
2.62	4970.00%		
2.80		47.66%	46.47%
2.87	47.61%		
2.90		44.14%	
3.01	58.45%		65.82%
3.10		52.62%	
3.14		86.39%	
3.20	41.12%		39.44%
3.21		40.08%	
3.29	58.53%		
3.29		18.02%	
3.62		75.94%	111.50%
3.64		70.37%	
3.70	53.51%		
3.72	220.56%		
3.83	178.27%		
3.90		70.37%	
3.91	58.82%		56.23%
4.01		56.30%	
4.02	61.57%		
4.18	48.22%		
4.40		58.67%	57.05%
4.42		55.43%	
4.63		57.35%	54.50%
4.65	44.51%		
4.80	50.00%		
4.90	54.36%		
4.95		66.29%	
5.00		54.36%	89.44%

PROF.	w% COST	w% INT	w% NAT
5.03		66.29%	
5.06	58.67%		
5.09	102.14%		
5.23	161.43%		
5.23		58.67%	
5.24		102.14%	109.71%
5.32	161.43%		
5.36		97.19%	
5.47		78.06%	
5.80		144.64%	192.08%
6.09		189.87%	
6.95		233.33%	
6.06		200.47%	
6.09	183.06%		213.60%
6.12		172.73%	
6.10	162.43%		
6.13	196.91%		
6.26		48.16%	
6.31	303.48%		
6.35	306.41%		
6.38	335.58%		
6.41		368.92%	
6.46	296.35%		
6.54	361.19%		
6.55	326.15%		
6.56		328.43%	
6.60		322.12%	335.09%
6.62	345.45%		
6.64		313.25%	
6.72	374.36%		
6.83	381.29%		
6.85		301.54%	
6.85	327.62%		
6.85		313.93%	380.02%
7.10		371.43%	
6.88	210.71%		
6.95	344.12%		
6.97		360.00%	
7.00		410.34%	

ÓXIDOS TOTALES

Profundidad (m)	SiO ₂ %	TiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	FeO %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	H ₂ O a 100° C %	PXC a 1000° C %	Suma
2 00-2 15	46 26	0 62	12 92	4 86	1 78	0 07	1 17	10 19	2 99	1 70	6 33	11 60	99 49
2 25-2 44	54 86	0 79	16 80	3 44	1 04	0 08	0 35	4 61	5 01	2 01	4 71	6 16	99 86
2 48-2 53	51 81	0 79	20 15	3 44	1 43	0 05	0 35	5 79	8 38	2 03	1 50	3 57	99 29
2 59-2 98	57 47	0 79	18 94	3 44	0 52	0 05	0 35	2 36	4 74	2 06	2 80	6 31	99 83
3 18-3 23	46 51	0 50	14 69	2 83	0 52	0 05	3 60	9 44	4 96	1 71	3 49	11 49	99 88
3 22-3 29	22 30	0 25	3 91	1 21	1 04	0 05	4 58	31 52	4 89	0 66	3 26	25 66	99 33
3 60-3 80	35 88	0 36	6 13	1 62	1 43	0 05	11 59	16 41	5 25	1 06	3 13	16 71	99 62
3 97-4 15	50 72	0 57	12 94	2 43	1 69	0 05	5 91	6 76	7 29	2 73	2 64	6 09	99 82
4 42-4 63	42 15	0 43	9 04	3 24	1 30	0 05	10 73	10 37	2 95	2 02	4 22	12 80	99 48
4 63-4 70	54 40	0 82	8 28	4 05	3 65	0 11	6 82	6 83	7 30	2 44	1 18	3 63	99 51
4 70-4 80	47 78	0 61	14 84	2 02	0 78	0 04	7 48	7 38	4 95	3 37	3 40	7 04	99 69
4 80-4 90	37 77	0 41	8 04	2 03	0 91	0 05	2 77	16 42	5 27	20 50	5 22	18 88	99 82
5 10-5 35	52 71	0 50	9 88	2 43	0 78	0 04	5 57	3 97	5 62	4 14	6 97	7 09	99 70
5 70-5 95	45 72	0 58	14 23	2 84	1 17	0 04	1 43	4 72	5 71	4 68	7 68	10 37	99 17
6 43-6 56	39 76	0 58	14 66	2 84	1 30	0 04	7 88	6 46	5 45	4 02	4 88	11 81	99 68

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CATIONES INTERCAMBIABLES

Profundidad (m)	Ca meq/lt	Mg meq/lt	Na meq/lt	K meq/lt	Suma CIC	% Sat.-Na	% Sat.-K
2.25-2.44	37.23	6.21	2.94	2.34	48.70	6.00	4.80
2.48-2.53	19.83	4.32	1.35	1.20	26.70	5.00	4.50
2.59-2.98	20.68	6.42	20.80	4.33	54.20	3.80	8.00
3.18-3.23	44.41	14.14	1.56	4.07	64.20	2.40	6.30
3.22-3.29	36.90	8.86	0.53	0.77	47.10	1.10	1.60
3.60-3.80	42.87	17.26	0.66	1.10	61.90	1.10	1.80
3.97-4.15	37.75	14.28	1.61	4.85	58.50	2.70	8.30
4.42-4.63	34.67	15.23	1.95	5.11	57.00	3.40	9.00
4.63-4.70	18.63	7.10	0.87	2.03	28.60	3.00	7.10
4.70-4.80	22.22	13.78	1.05	11.04	48.10	2.20	23.00
4.80-4.90	52.08	15.23	2.47	7.43	77.20	3.20	9.60
5.10-5.35	34.62	13.13	1.86	19.82	69.40	2.70	28.50
5.70-5.95	36.90	13.94	2.38	16.72	69.90	3.40	24.00
6.43-6.56	36.73	15.36	0.32	22.13	74.50	0.40	30.00

ANIONES

Profundidad (m)	CO ₃ meq/100g	HCO ₃ meq/100g	Cl meq/100g	SO ₄ meq/100g	Suma aniones
2.00-2.15	0.50	3.25	5.30	3.70	12.70
2.59-2.98	0.00	2.00	2.20	0.51	4.70
3.18-3.23	1.00	2.70	2.70	0.94	7.30
3.22-3.29	0.50	2.70	4.60	0.42	8.20
3.60-3.80	0.50	6.00	3.10	0.51	10.10
3.97-4.15	0.50	1.70	3.10	0.17	5.50
4.42-4.63	0.50	4.00	4.10	0.34	8.90
4.88-4.95	0.50	4.20	2.10	0.17	7.00
5.10-5.35	1.00	4.00	2.70	0.34	8.00

ANEXO IV

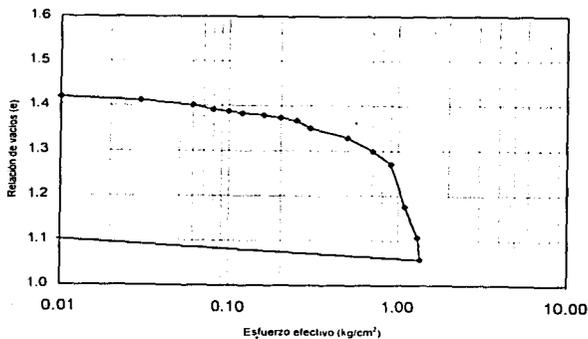
CURVAS DE COMPRESIBILIDAD

PROFUNDIDAD: 2.38 a 2.44

DATOS GENERALES.		DATOS DE PROCESO	
$\bar{Q}m = 6.350$	cm	CONTENIDO DE AGUA	
$Hm = 25.400$	mm	Inicial = 48.660	ALTURA DE SOLIDOS
AREAm = 31.6693	cm ²		10.459 mm
$\bar{W}m = 127.05$	gr	RELACION DE VACIOS	
$Ws = 85.46$	gr	Inicial = 1.428	GRADO DE SATURACION
Peso Vol = 1.57944	gr/cm ³	Final carga = 1.329	Gwin = 137.6 %
$Sa = 2.58$		Final descarga = 1.123	

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MTRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF FINAL mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFECTIVO kg/cm ²	REL DE VACIOS e	ESF MEDIO kg/cm ²	COEF Av cm ² /kg
22-Jul-97	0.000	19.985	0.000	0.000	0.000	25.400	0.000	0.000	1.428		
22-Jul-97	0.318	19.875	0.110	0.008	0.102	25.298	0.403	0.010	1.419	0.005	0.978
23-Jul-97	0.956	19.790	0.195	0.017	0.178	25.222	0.701	0.030	1.411	0.020	0.363
24-Jul-97	1.912	19.670	0.315	0.028	0.287	25.113	1.130	0.060	1.401	0.045	0.347
25-Jul-97	2.550	19.560	0.425	0.035	0.390	25.010	1.535	0.080	1.391	0.070	0.491
28-Jul-97	3.187	19.498	0.487	0.050	0.437	24.963	1.722	0.100	1.387	0.090	0.421
29-Jul-97	3.824	19.441	0.544	0.068	0.476	24.924	1.873	0.120	1.383	0.110	0.183
04-Jul-97	5.099	19.383	0.602	0.083	0.519	24.881	2.043	0.160	1.379	0.140	0.103
07-Jul-97	6.374	19.308	0.677	0.098	0.579	24.821	2.279	0.200	1.373	0.180	0.144
11-Ago-97	7.967	19.222	0.763	0.120	0.643	24.757	2.533	0.250	1.367	0.225	0.123
12-Ago-97	9.561	19.018	0.967	0.148	0.819	24.581	3.224	0.300	1.350	0.275	0.336
14-Ago-97	15.935	18.775	1.210	0.169	1.041	24.359	4.099	0.500	1.329	0.400	0.106
18-Ago-97	22.309	18.468	1.517	0.170	1.347	24.053	5.304	0.700	1.300	0.600	0.146
19-Ago-97	28.683	18.150	1.835	0.177	1.658	23.742	6.527	0.900	1.270	0.800	0.148
20-Ago-97	35.057	17.171	2.814	0.180	2.634	22.766	10.371	1.100	1.177	1.000	0.467
20-Ago-97	41.431	16.438	3.547	0.182	3.365	22.035	13.248	1.300	1.107	1.200	0.349
20-Ago-97	47.805	15.509	4.078	0.191	3.885	21.515	15.295	1.350	1.057	1.325	0.994
20-Ago-97	0.000	16.595	3.390	0.197	3.193	22.207	12.570	0.001	1.123	0.676	0.049

Compresibilidad



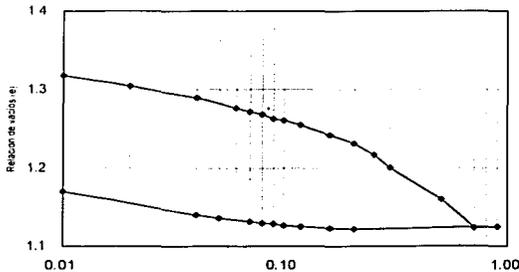
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROFUNDIDAD 3.17 a 3.22

DATOS GENERALES			DATOS DE PROCESO	
$\phi_m = 6.350$	cm		CONTENIDO DE AGUA	ALTURA DE SOLICIOS
$H_m = 25.400$	mm		Inicial = 50.117	10.88 mm
AREAM = 31.6700	cm ²		RELACION DE VAGIOS	GRADO DE SATURACION
$W_m = 134.43$	gr		Inicial = 1.336	
$W_s = 89.55$	gr		Finalcarga = 1.231	Cierre: 155.3 %
Peso Vol = 1.2115	dm ³		Finaldescarga = 1.122	
$S_s = 2.60$				

FECHA DMY	CARGA EN LA MIRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF. TOT ACUMULADA mm	DEF. EQUIPO mm	DEF. FINAL mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIOS VOL %	ESF EFECTIVO kg/cm ²	REL. DE VAGIOS e	ESF MEDIO kg/cm ²	COEF
22-Jul-97	0.000	18.167	0.000	0.000	0.000	25.400	0.000	0.001	1.336		
22-Jul-97	0.326	17.946	0.201	0.008	0.193	25.207	0.161	0.010	1.318	0.006	1.975
23-Jul-97	0.652	17.810	0.357	0.017	0.340	25.060	1.339	0.020	1.304	0.015	1.350
24-Jul-97	1.304	17.530	0.657	0.028	0.629	24.901	1.265	0.040	1.290	0.030	0.670
25-Jul-97	1.956	17.347	0.840	0.035	0.805	24.756	2.539	0.070	1.276	0.050	0.670
26-Jul-97	2.292	17.223	0.744	0.050	0.694	24.700	2.734	0.070	1.272	0.065	0.456
29-Jul-97	2.618	17.365	0.902	0.058	0.754	24.666	2.699	0.080	1.268	0.075	0.361
04-Ago-97	2.934	17.290	0.877	0.083	0.794	24.606	3.125	0.090	1.263	0.085	0.553
07-Jul-97	3.260	17.253	0.914	0.058	0.816	24.584	3.212	0.100	1.261	0.085	0.203
11-Ago-97	3.912	17.170	0.967	0.120	0.877	24.523	3.454	0.120	1.256	0.110	0.282
12-Ago-97	5.276	17.063	1.164	0.148	1.016	24.384	4.000	0.160	1.242	0.140	0.310
14-Ago-97	6.520	16.963	1.304	0.169	1.135	24.265	4.460	0.200	1.231	0.180	0.274
18-Ago-97	8.150	16.794	1.463	0.170	1.293	24.107	5.092	0.250	1.217	0.225	0.291
14-Ago-97	9.780	16.723	1.644	0.177	1.467	23.933	5.775	0.300	1.201	0.275	0.314
20-Ago-97	16.303	16.677	2.091	0.180	1.910	23.490	7.521	0.500	1.190	0.400	0.204
20-Ago-97	22.820	16.628	2.469	0.182	2.307	23.093	9.082	0.700	1.123	0.600	0.182
20-Ago-97	29.340	16.603	2.484	0.191	2.293	23.107	9.627	0.740	1.125	0.600	0.096
20-Ago-97	6.520	16.606	2.471	0.148	2.323	23.077	9.145	0.200	1.122	0.550	0.004
21-Ago-97	5.276	16.599	2.456	0.120	2.310	23.040	9.094	0.160	1.123	0.180	0.030
22-Ago-97	3.912	16.579	2.404	0.098	2.288	23.112	9.009	0.120	1.125	0.140	0.050
23-Ago-97	3.260	16.732	2.375	0.083	2.277	23.123	8.164	0.100	1.126	0.110	0.622
24-Ago-97	2.934	16.834	2.333	0.068	2.250	23.150	8.858	0.090	1.129	0.065	0.249
25-Ago-97	2.608	16.855	2.312	0.050	2.244	23.156	8.834	0.080	1.129	0.085	0.056
26-Ago-97	2.282	16.840	2.267	0.035	2.217	23.183	8.730	0.070	1.132	0.075	0.241
27-Ago-97	1.956	16.862	2.205	0.028	2.170	23.230	8.543	0.060	1.136	0.060	0.219
28-Ago-97	1.630	16.911	2.156	0.017	2.128	23.272	8.378	0.040	1.140	0.045	0.384
29-Ago-97	0.306	16.948	1.814	0.008	1.801	23.599	7.081	0.010	1.170	0.025	1.002
30-Ago-97	0.000	16.488	1.675	0.000	1.671	23.729	6.580	0.001	1.182	0.006	1.327

Compresibilidad



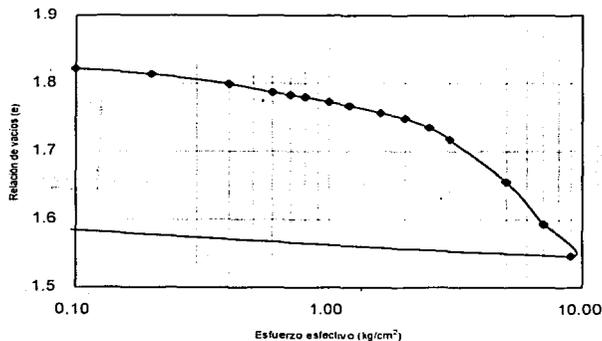
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROFUNDIDAD 3.92 a 3.97

DATOS GENERALES		DATOS DE PROCESO	
Øm = 6.340	cm	CONTENIDO DE AGUA	
Hm = 25.500	mm	Inicial = 69.979	9.0139 mm
AREAm = 31.5700	cm ²	RELACION DE VACIOS	
Wm = 129.15	gr	Inicial = 1.829	GRADO DE SATURACION
Ws = 75.98	gr	Finalcarga = 1.546	Gwjm = 153.3 %
Peso Vol = 1.60428	g/cm ³	Finaldescarga = 0.808	
Ss = 2.67			

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MTRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF FINAL mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFECTIVO kg/cm ²	REL DE VACIOS e	ESF MEDIO kg/cm ²	COEF Cv cm ² /kg
22-Jul-97	0.000	18.297	0.000	0.000	0.000	25.500	0.000	0.000	1.829		
22-Jul-97	0.319	18.221	0.076	0.008	0.068	25.432	0.268	0.100	1.821	0.050	0.076
23-Jul-97	0.637	18.139	0.158	0.017	0.141	25.359	0.554	0.200	1.813	0.150	0.081
24-Jul-97	1.275	17.998	0.299	0.028	0.271	25.229	1.063	0.400	1.799	0.300	0.072
25-Jul-97	1.912	17.881	0.416	0.035	0.381	25.119	1.494	0.600	1.787	0.500	0.061
28-Jul-97	2.230	17.833	0.464	0.050	0.414	25.086	1.625	0.700	1.783	0.650	0.037
29-Jul-97	2.549	17.782	0.515	0.068	0.447	25.053	1.752	0.800	1.779	0.750	0.036
04-Jul-97	3.187	17.705	0.592	0.083	0.509	24.991	1.995	1.000	1.773	0.900	0.034
07-Jul-97	3.505	17.639	0.658	0.098	0.560	24.940	2.106	1.200	1.767	1.100	0.028
11-Ago-97	3.824	17.523	0.774	0.120	0.654	24.846	2.566	1.600	1.756	1.400	0.026
12-Ago-97	4.780	17.421	0.876	0.148	0.728	24.772	2.855	2.000	1.748	1.800	0.020
14-Ago-97	6.374	17.277	1.020	0.169	0.851	24.649	3.338	2.500	1.735	2.250	0.027
18-Ago-97	7.967	17.121	1.176	0.170	1.006	24.494	3.946	3.000	1.717	2.750	0.034
19-Ago-97	14.341	16.552	1.745	0.177	1.568	23.932	6.149	5.000	1.655	4.000	0.031
20-Ago-97	20.715	15.988	2.309	0.180	2.129	23.371	8.350	7.000	1.593	6.000	0.031
21-Ago-97	27.089	15.562	2.735	0.182	2.553	22.947	10.011	9.000	1.546	8.000	0.023
21-Ago-97	0.000	16.295	2.002	0.191	1.811	23.689	7.102	0.001	1.628	4.501	0.009

Compresibilidad

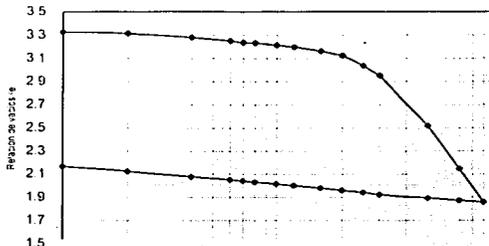


PROFUNDIDAD 4 695 a 4 755

DATOS DE HERRAMIENTAS		DATOS DE PROCESO	
Øm = 6.350	cm	CONTENIDO DE AGUA	
hm = 25.400	mm	ALTURA DE SÓLIDOS	
AREAm = 31.6700	cm²	5.9300 mm	
Vol = 164.99	gr	Índice = 142.372	
Øm = 1.8294	gr	RELACION DE VAGUÍES	
Peso Vol = 1.30792	mm³	Índice = 3.157	
Øs = 2.34		Fuerza = 1.95R	
		Fuerza/carga = 0.705	

FECHA	CARGA EN LA MIRA	E C U L I M A M I R R O	D E F T O T A C U M U L A	D E F E Q U I P O	D E F F I N A L	ALTURA FINAL	CAMBIO V R	S F E F E C T I V O	R E L D E V A C I O S	L E S F M F D O	D O L F
(MMY)	kg	mm	mm	mm	mm	mm	%	kg/cm²	e	kg/cm²	cm/kg
22 Jul 97	0.000	16.753	0.000	0.000	0.000	25.400	0.000	0.000	3.357	0.000	0.282
22 Jul 97	0.327	16.623	0.132	0.008	0.054	25.296	0.043	0.000	3.329	0.050	0.150
23 Jul 97	0.654	16.539	0.274	0.017	0.257	25.143	1.012	0.200	3.313	0.150	0.159
24 Jul 97	1.308	16.451	0.406	0.028	0.492	24.938	1.819	0.400	3.278	0.300	0.176
25 Jul 97	1.962	16.334	0.659	0.035	0.624	24.776	2.456	0.600	3.250	0.500	0.139
26 Jul 97	2.289	16.182	0.751	0.050	0.701	24.659	2.752	0.700	3.205	0.600	0.133
27 Jul 97	2.436	16.102	0.776	0.098	0.728	24.672	2.945	0.800	3.232	0.750	0.045
28 Jul 97	3.270	16.076	0.917	0.063	0.834	24.566	3.285	1.000	3.214	0.900	0.091
07 Aug 97	3.924	16.102	1.011	0.098	0.933	24.467	3.673	1.200	3.197	1.100	0.095
11 Aug 97	5.332	16.158	1.255	0.120	1.135	24.265	4.470	1.600	3.162	1.400	0.067
12 Aug 97	6.540	16.292	1.511	0.148	1.303	24.037	5.344	2.000	3.123	1.800	0.068
14 Aug 97	8.175	16.749	2.044	0.169	1.875	23.525	7.383	2.500	3.035	2.250	0.176
16 Aug 97	9.810	16.242	2.541	0.170	2.371	23.029	9.336	3.000	2.950	2.750	0.170
19 Aug 97	16.350	15.737	3.076	0.177	4.899	20.501	16.297	5.000	2.817	4.000	0.217
20 Aug 97	22.890	15.158	3.235	0.190	7.055	18.545	27.777	7.000	2.747	6.000	0.165
23 Aug 97	29.430	14.942	3.821	0.182	8.730	16.641	34.405	9.000	1.858	8.000	0.144
24 Aug 97	22.850	14.811	3.852	0.191	8.661	16.733	34.074	7.000	1.871	8.000	0.007
25 Aug 97	16.350	15.674	3.734	0.177	8.557	16.843	33.691	5.000	1.985	6.000	0.069
28 Aug 97	9.810	16.273	3.520	0.170	8.300	17.050	32.875	3.000	1.924	4.000	0.018
28 Aug 97	8.175	16.120	3.423	0.169	8.246	17.154	32.494	2.500	1.942	2.750	0.036
29 Aug 97	6.540	15.881	3.312	0.148	8.142	17.258	32.076	2.000	1.949	2.250	0.006
30 Aug 97	5.232	16.049	3.154	0.120	8.025	17.375	31.654	1.600	1.980	1.800	0.050
31 Aug 97	3.924	16.161	3.047	0.098	7.894	17.506	31.079	1.200	2.003	1.400	0.056
01 Sep 97	3.270	16.055	2.948	0.093	7.818	17.582	30.791	1.000	2.016	1.100	0.065
04 Sep 97	2.616	16.167	2.825	0.048	7.728	17.672	30.425	0.800	2.031	0.900	0.078
09 Sep 97	2.289	16.072	2.741	0.050	7.658	17.742	30.149	0.700	2.043	0.750	0.120
11 Aug 97	1.962	16.122	2.671	0.035	7.603	17.797	29.932	0.600	2.053	0.650	0.095
03 Sep 97	1.308	16.149	2.541	0.028	7.453	17.947	29.344	0.400	2.078	0.400	0.128
02 Sep 97	0.654	16.176	2.214	0.017	7.179	18.221	28.263	0.200	2.125	0.300	0.235
03 Sep 97	0.327	16.189	6.954	0.008	6.926	18.474	27.268	0.100	2.169	0.150	0.434
04 Sep 97	0.000	12.411	6.392	0.000	6.365	19.035	25.000	0.000	2.205	0.050	0.002

Compresibilidad



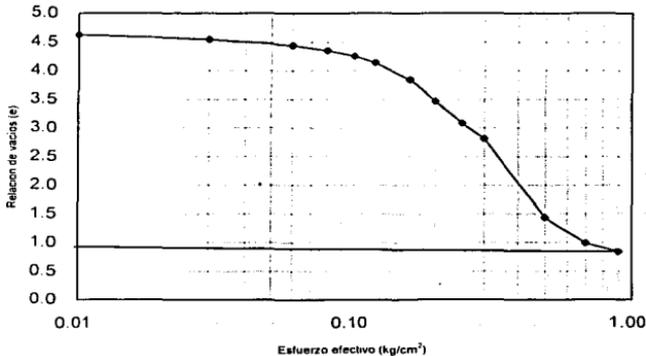
TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

PROFUNDIDAD 6.00 a 6.06

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO:	
$Q_m = 6\ 350$	cm	CONTENIDO DE AGUA	ALTURA DE SÓLIDOS
$H_m = 25\ 400$	mm	Inicial = 157 577	4 4744 mm
$ARE_m = 31\ 6700$	cm ²	RELACION DE VACIOS	GRADO DE SATURACION
$W_m = 94\ 17$	qr	Inicial = 4 677	
$W_s = 36\ 56$	qr	Final/carga = 1 433	$G_w/m^3 = 117.2\ \%$
Peso Vol = 1 17066	t/m ³	Final/descarga = 0 840	
$S_s = 2\ 58$			

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MTRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF FINAL mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFECTIVO kg/cm ²	REL DE VACIOS e	ESF MEDIO kg/cm ²	COEF Cv cm ³ /kg
22-Jul-97	0 000	20 000	0 000	0 000	0 000	25 400	0 000	0 000	4 677		
22-Jul-97	0 319	19 759	0 241	0 008	0 233	25 167	0 919	0 010	4 625	0 005	5 214
23-Jul-97	0 991	19 390	0 610	0 017	0 593	24 807	2 135	0 030	4 544	0 020	4 021
24-Jul-97	1 948	18 906	1 094	0 028	1 066	24 334	4 197	0 060	4 438	0 045	3 523
25-Jul-97	2 621	18 500	1 500	0 035	1 465	23 935	5 767	0 080	4 349	0 070	4 456
28-Jul-97	3 295	18 049	1 951	0 050	1 901	23 499	7 486	0 100	4 252	0 090	4 879
29-Jul-97	3 968	17 531	2 469	0 068	2 401	22 999	9 452	0 120	4 140	0 110	5 579
04-Ago-97	5 242	16 189	3 811	0 083	3 728	21 672	14 676	0 160	3 844	0 140	7 415
07-Ago-97	6 517	14 490	5 510	0 098	5 412	19 988	21 307	0 200	3 467	0 180	9 410
11-Ago-97	8 111	12 760	7 240	0 120	7 120	18 280	28 033	0 250	3 085	0 225	7 636
12-Ago-97	9 705	11 490	8 510	0 148	8 362	17 038	32 921	0 300	2 808	0 275	5 550
14-Ago-97	16 079	5 317	14 683	0 169	14 514	10 886	57 143	0 500	1 433	0 400	6 875
18-Ago-97	22 453	3 315	16 685	0 170	16 515	8 885	65 021	0 700	0 986	0 600	2 236
19-Ago-97	28 827	2 657	17 343	0 177	17 166	8 234	67 582	0 900	0 840	0 800	0 727
19-Ago-97	0 000	3 220	16 780	0 180	16 600	8 800	65 356	0 001	0 967	0 451	0 141

Compresibilidad

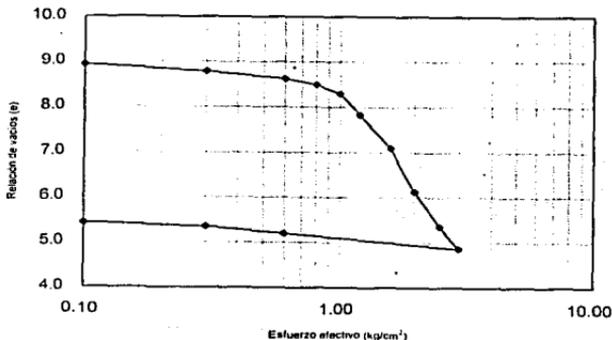


PROFUNDIDAD 611 a 652

DATOS GENERALES		DATOS DE PROCESO	
Dim = 6,350	cm	CONTENIDO DE AGUA	
Dim = 25,400	mm	Inicial = 336 771	ALTURA DE SOLIDOS
AREAm = 101,6700	cm ²		2 5395 mm
Vm = 999,3	gr	RELACION DE VACIOS	
Ws = 20,75	gr	Inicial = 9 002	GRADO DE SATURACION
Peso Vol = 1 126,65	lbm ³	Finalcarga = 5 197	(w) = 126 4 %
Sk = 2,58		Finaldescarga = 5 513	

FECHA D/M/Y	CARGA EN LA MIRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF FINAL mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFFECTIVO kg/cm ²	REL DE VACIOS e	ESF MEDIO kg/cm ²	COEF Cv cm ³ /kg
22 Jul 97	0.000	20.141	0.000	0.000	0.000	25.400	0.000	0.000	9.002		
22 Jul 97	0.327	19.951	0.190	0.008	0.182	25.218	0.718	0.100	8.930	0.050	0.718
23 Jul 97	0.981	19.569	0.572	0.017	0.565	24.835	2.225	0.300	8.779	0.200	0.754
24 Jul 97	1.962	19.142	0.999	0.028	0.971	24.429	3.823	0.640	8.620	0.450	0.533
25 Jul 97	2.616	18.797	1.344	0.035	1.309	24.091	5.153	0.800	8.487	0.700	0.665
28 Jul 97	3.270	18.289	1.852	0.050	1.802	23.598	7.096	1.000	8.292	0.900	0.972
29 Jul 97	3.924	17.102	3.019	0.068	2.971	22.429	11.056	1.200	7.832	1.100	2.300
04 Ago 97	5.232	15.213	4.508	0.083	4.845	20.555	19.074	1.600	7.094	1.400	1.845
07 Ago 97	6.540	12.739	7.002	0.098	7.304	18.066	28.756	2.000	6.126	1.800	2.421
11 Ago 97	8.175	10.763	9.338	0.120	9.258	16.142	36.540	2.500	5.356	2.250	1.539
12 Ago 97	9.810	9.454	10.487	0.148	10.539	14.861	41.492	3.000	4.852	2.750	1.009
14 Ago 97	1.962	10.309	9.832	0.169	9.663	15.737	38.044	0.600	5.197	1.800	0.144
18 Ago 97	0.581	10.688	9.453	0.170	9.283	16.117	36.548	0.300	5.346	0.450	0.499
19 Ago 97	0.327	10.878	9.203	0.177	9.086	16.314	35.771	0.100	5.424	0.200	0.388
20 Ago 97	0.000	11.102	9.039	0.180	8.859	16.541	34.879	0.010	5.513	0.055	0.991

Compresibilidad

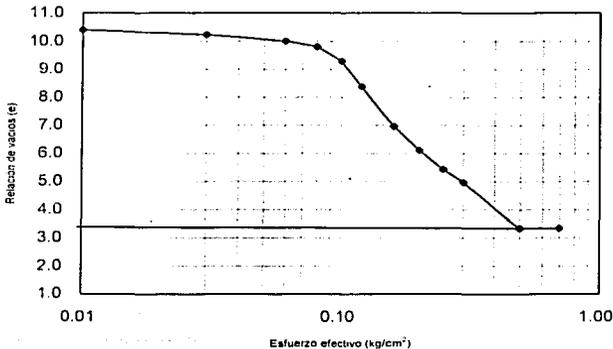


PROFUNDIDAD 6 72 a 6 77

DATOS GENERALES		DATOS DE PROCESO	
$Q_m = 6.350$	cm	CONTENIDO DE AGUA	
$H_m = 25.400$	mm	Inicial = 401.548	ALTURA DE SÓLIDOS
AREAm = 31.6700	cm ²		2.2140 mm
$W_m = 90.73$	gr	RELACION DE VACIOS	
$W_s = 18.09$	gr	Inicial = 10.473	GRADO DE SATURACION
Peso Vol = 1.12790	t/m ³	Final/carga = 3.325	$G_w(\text{ini}) = 129.0 \%$
$S_s = 2.58$		Final/carga = 3.414	

FECHA D/M/a	CARGA EN LA MIRA kg	LECTURA MICRO mm	DEF TOT ACUMULA mm	DEF EQUIPO mm	DEF FINAL mm	ALTURA FINAL mm	CAMBIO VOL %	ESF EFECTIVO kg/cm ²	REL DE VACIOS e	ESF MEDIO kg/cm ²	COEF Cv cm ³ /kg
22-Jul-97	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	25.400	0.000	0.000	10.473		
22-Jul-97	0.318	19.817	0.183	0.008	0.175	25.225	0.090	0.010	10.393	0.005	7.918
23-Jul-97	0.956	19.449	0.551	0.017	0.534	24.866	2.103	0.030	10.231	0.020	8.104
24-Jul-97	1.912	18.936	1.064	0.028	1.036	24.364	4.079	0.060	10.005	0.045	7.557
25-Jul-97	2.550	18.471	1.529	0.035	1.494	23.906	5.882	0.080	9.798	0.070	10.339
28-Jul-97	3.187	17.325	2.675	0.050	2.625	22.775	10.337	0.100	9.287	0.090	25.555
29-Jul-97	3.824	15.288	4.712	0.068	4.644	20.756	18.282	0.120	8.375	0.110	45.580
04-Jul-97	5.099	12.134	7.866	0.083	7.783	17.617	30.641	0.160	6.957	0.140	35.447
07-Jul-97	6.374	10.251	9.749	0.098	9.651	15.749	37.906	0.200	6.114	0.180	21.094
11-Ago-97	7.967	8.707	11.293	0.120	11.173	14.227	43.989	0.250	5.426	0.225	13.752
12-Ago-97	9.561	7.653	12.347	0.148	12.199	13.201	48.027	0.300	4.963	0.275	9.265
14-Ago-97	15.935	4.025	15.975	0.169	15.806	9.594	62.229	0.500	3.333	0.400	8.147
18-Ago-97	22.309	4.006	15.994	0.170	15.824	9.576	62.300	0.700	3.325	0.600	0.041
19-Ago-97	0.000	4.195	15.805	0.177	15.628	9.772	61.527	0.001	3.414	0.351	0.127

Compresibilidad



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO V

PRUEBAS TRIAXIALES

PROFUNDIDAD: 2.00-2.15

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
D _s =	3.500 cm	D medio =	3.585 cm
D _m =	3.580 cm	h media =	6.877 cm
D _r =	3.690 cm	Area =	10.094 cm ²
H1 =	6.880 cm	Volumen =	69.414 cm ³
H2 =	6.870 cm	Peso vol =	1.462 g/cm ³
H3 =	6.500 cm	W% =	50.00 %
W _o =	101.51 gr	Saturación =	95.00 %
		E. Confinante =	0.00 kg/cm ²

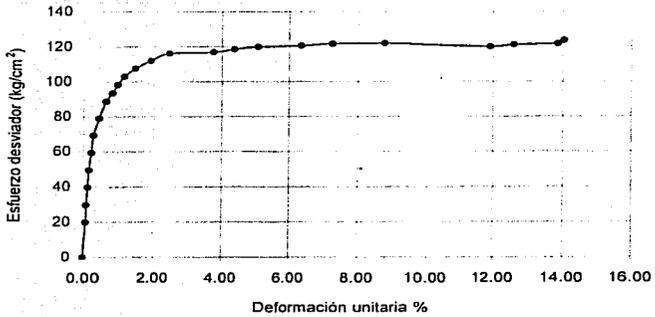
TIEMPO (mn)	INC PRESSION (kg)	P TOTAL (kg)	MICROMETRO (mm)	DEF LINEAL (mm)	AREA CORR (cm ²)	DEF UNITARIA %	ESF. DESVIADOR (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	19.825	0.0000	10.0941	0.0000	0.0000
2	2.00	2.00	19.775	0.0500	10.1015	0.0727	19.7991
4	1.00	3.00	19.765	0.0600	10.1029	0.0873	29.6944
6	1.00	4.00	19.735	0.0900	10.1073	0.1309	39.5752
8	1.00	5.00	19.715	0.1100	10.1103	0.1600	49.4546
10	1.00	6.00	19.675	0.1500	10.1162	0.2181	59.3109
12	1.00	7.00	19.635	0.1900	10.1221	0.2763	69.1557
14	1.00	8.00	19.535	0.2900	10.1369	0.4217	78.9199
17	1.00	9.00	19.415	0.4100	10.1547	0.5962	88.6293
20	0.50	9.50	19.295	0.5300	10.1725	0.7707	93.3889
23	0.50	10.00	19.195	0.6300	10.1874	0.9161	98.1600
26	0.50	10.50	19.065	0.7600	10.2069	1.1052	102.8714
30	0.50	11.00	18.845	0.9800	10.2400	1.4251	107.4214
35	0.50	11.50	18.515	1.3100	10.2901	1.9050	111.7575
40	0.50	12.00	18.125	1.7000	10.3500	2.4721	115.9423
55	0.25	12.25	17.245	2.5800	10.4876	3.7518	116.8047
70	0.25	12.50	16.805	3.0200	10.5578	4.3917	118.3961
85	0.25	12.75	16.335	3.4900	10.6338	5.0751	119.9008
110	0.25	13.00	15.445	4.3800	10.7808	6.3694	120.5850
127	0.25	13.25	14.825	5.0000	10.8856	7.2710	121.7204
145	0.25	13.50	13.785	6.0400	11.0661	8.7833	121.9944
165	0.25	13.75	11.635	8.1900	11.4588	11.9098	119.9947
170	0.25	14.00	11.165	8.6600	11.5484	12.5933	121.2284
200	0.25	14.25	10.295	9.5300	11.7181	13.8585	121.6072
207	0.25	14.50	10.175	9.6500	11.7418	14.0330	123.4900

Resistencia al esfuerzo cortante: 0.27 kg/cm²

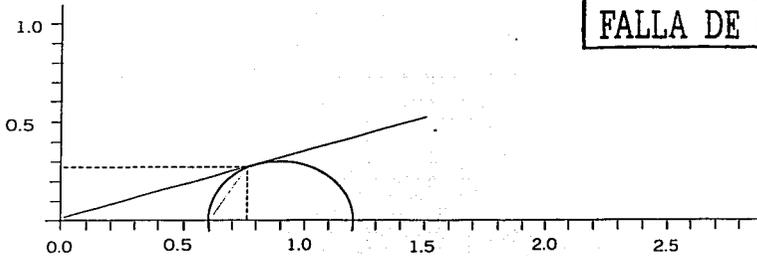
Engulo de fricción interna: 20°

Esfuerzo normal: 0.79 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación



Círculo de Mohr



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esfuerzo confinante: 0.6 kg/cm^2

Esfuerzo axial de falla: 1.2 kg/cm^2

PROFUNDIDAD: 2.60-2.70

DATOS GENERALES.		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3.550 cm	D medio =	3.543 cm
Dm =	3.535 cm	h media =	8.914 cm
Dh =	3.570 cm	Area =	9.861 cm ²
H1 =	8.890 cm	Volumen =	87.901 cm ³
H2 =	8.900 cm	Peso vol =	1.481 g/cm ³
H3 =	8.915 cm	W% =	50.00 %
Wo =	130.15 gr	Saturación =	50.00 %
		E Confinante =	0.60 kg/cm ²

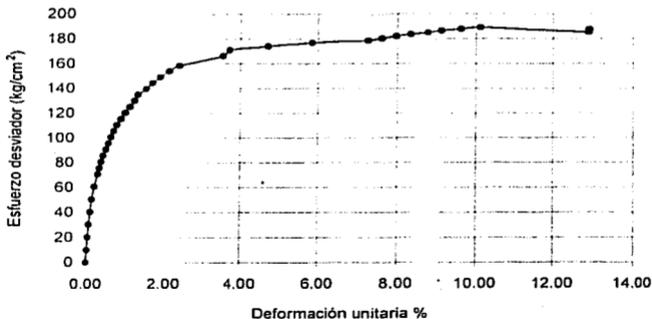
TIEMPO (min)	INC. PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MICRÓMETRO (mm)	DEF LINEAL (mm)	AREA CORR (cm ²)	REF UNITARIA (%)	EGF. DESVIADOR (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	18.828	0.0000	9.8608	0.0000	0.0000
5	1.00	1.00	18.803	0.0250	9.8636	0.0280	10.1383
10	1.00	2.00	18.785	0.0430	9.8648	0.0482	20.2725
15	1.00	3.00	18.759	0.0590	9.8685	0.0774	30.3998
20	1.00	4.00	18.729	0.0900	9.8718	0.1111	40.5194
25	1.00	5.00	18.692	0.1360	9.8759	0.1526	50.6283
30	1.00	6.00	18.639	0.1890	9.8818	0.2120	60.7177
35	1.00	7.00	18.569	0.2590	9.8907	0.3018	70.7737
40	0.50	7.50	18.521	0.3070	9.8949	0.3444	75.7965
45	0.50	8.00	18.462	0.3460	9.8993	0.3881	80.8141
50	0.50	8.50	18.439	0.3890	9.9041	0.4364	85.8234
60	0.50	9.00	18.376	0.4520	9.9111	0.5071	90.8073
70	0.50	9.50	18.317	0.5110	9.9177	0.5732	95.7884
80	0.50	10.00	18.258	0.5700	9.9243	0.6394	100.7628
90	0.50	10.50	18.195	0.6330	9.9314	0.7101	105.7257
100	0.50	11.00	18.126	0.7020	9.9391	0.7875	110.6739
115	0.50	11.50	18.031	0.7970	9.9490	0.8941	115.5802
120	0.50	12.00	17.942	0.8860	9.9598	0.9939	120.4839
145	0.50	12.50	17.847	0.9810	9.9706	1.1005	125.3690
160	0.50	13.00	17.744	1.0840	9.9822	1.2100	130.2314
180	0.50	13.50	17.669	1.1950	9.9947	1.3002	135.1252
200	0.50	14.00	17.470	1.3580	10.0134	1.5234	139.8129
220	0.50	14.50	17.323	1.5050	10.0302	1.6883	144.5637
240	0.50	15.00	17.148	1.6800	10.0503	1.8846	149.2500
260	0.50	15.50	16.940	1.8880	10.0742	2.1180	153.8582
280	0.50	16.00	16.714	2.1140	10.1004	2.3715	158.4100
360	0.50	17.00	15.688	3.1460	10.2209	3.5225	160.3264
375	0.50	17.50	15.522	3.2050	10.2405	3.7087	170.8878
390	0.50	18.00	14.628	4.2000	10.3484	4.7116	173.9097
410	0.50	18.50	13.622	5.2060	10.4724	5.8401	178.6541
430	0.50	19.00	12.335	6.4930	10.6355	7.2839	178.6466
460	0.25	19.25	12.032	6.7500	10.6747	7.6238	180.3337
470	0.25	19.50	11.722	7.1060	10.7150	7.9716	181.9880
480	0.25	19.75	11.388	7.4420	10.7588	8.3463	183.5707
490	0.25	20.00	10.900	7.8380	10.8115	8.7527	184.9888
500	0.25	20.25	10.678	8.1500	10.8531	9.1428	186.5824
510	0.25	20.50	10.260	8.5680	10.9094	9.6117	187.9111
520	0.25	20.75	9.810	9.0180	10.9707	10.1165	189.1404
530	0.25	21.00	7.340	11.4880	11.3196	12.8874	195.5182
540	0.25	21.25	7.225	11.5030	11.3218	12.9042	187.6905
945	0.25	21.50	7.307	11.5210	11.3245	12.9244	189.8546
975	0.25	21.75	7.281	11.5470	11.3282	12.9535	191.9579
990	0.25	22.00	7.242	11.5860	11.3339	12.9973	194.1072
1005	0.50	22.50	7.171	11.6570	11.3443	13.0760	198.3370
1035	0.50	23.00	7.091	11.7370	11.3561	13.1667	202.5361
1065	0.50	23.50	6.934	11.8940	11.3791	13.3428	206.5183
1095	0.50	24.00	6.730	12.0980	11.4093	13.5717	210.3553

Resistencia al esfuerzo cortante: 0.56 kg/cm²

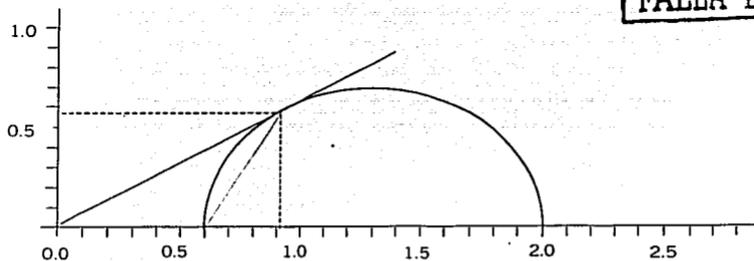
Engulo de fricción interna: 32°

Esfuerzo normal: 0.94 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación



Círculo de Mohr



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Esfuerzo confinante: 0.6 kg/cm²

Esfuerzo axial de falla: 2.0 kg/cm²

PROFUNDIDAD: 3.63-3.74

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3 970 cm	D medio =	3 508 cm
Dim =	3 850 cm	h medio =	9 058 cm
Di =	3 920 cm	Alfa ₁ =	11 997 cm
H1 =	9 040 cm	Volumen =	108 673 cm ³
H2 =	9 060 cm	Peso vol =	1 457 g/cm ³
H3 =	9 060 cm	W% =	54 00 %
Wo =	158 30 gr	Saturacion =	58 95 %
		E. Contraste =	0 50 kg/cm ³

TIEMPO (min)	INC. PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MICROMETRO (mm)	DEF. LINEAL (mm)	AREA CORR (cm ²)	DEF. UNITARIA E %	ESF. DESVIADOR (kg/cm ²)
0	0 00	0 00	19 940	0 0000	11 997 0	0 0000	0 0000
10	1 00	1 00	19 640	0 0200	11 6667	0 0221	8 3335
20	1 00	2 00	19 910	0 0500	12 0036	0 0552	16 6616
30	1 00	3 00	19 870	0 0600	12 0089	0 0694	24 9814
40	1 00	4 00	19 840	0 1200	12 0120	0 1325	33 2975
50	1 00	5 00	19 710	0 1700	12 0196	0 1877	41 5988
60	1 00	6 00	19 680	0 2800	12 0342	0 3031	49 8579
80	1 00	7 00	19 510	0 4500	12 0569	0 4098	58 0950
100	1 00	8 00	19 360	0 6000	12 0770	0 6024	66 2416
120	1 00	9 00	19 090	0 9000	12 1174	0 9006	74 2723
140	1 00	10 00	18 830	1 1300	12 1899	1 2475	82 3143
160	1 00	11 00	18 660	1 3200	12 1744	1 4572	90 3534
180	0 50	12 00	18 300	1 6600	12 2210	1 8325	98 1919
200	0 50	12 50	18 130	1 8200	12 2430	2 0092	102 0092
220	0 50	13 00	18 000	1 9900	12 2623	2 1639	106 0157
240	0 50	13 50	17 850	2 1100	12 2831	2 3203	109 9369
260	0 50	14 00	17 700	2 2600	12 3040	2 4949	113 7842
280	0 50	14 00	17 620	2 3300	12 3137	2 5722	113 6941
300	0 50	14 50	17 500	2 4600	12 3319	2 7157	117 5811
320	0 50	15 00	17 360	2 6000	12 3515	2 8703	121 4424
340	0 50	15 50	17 210	2 7500	12 3726	3 0359	125 2765
360	0 50	16 00	17 040	2 9200	12 3966	3 2236	129 0674
380	0 50	16 50	16 860	3 1000	12 4221	3 4243	132 8275
400	0 50	17 00	16 680	3 2800	12 4477	3 6240	136 5710
420	0 50	17 50	16 470	3 4900	12 4778	3 8528	140 2896
440	0 50	18 00	16 230	3 7300	12 5122	4 1178	143 8692
460	0 50	18 50	15 980	3 9800	12 5484	4 3637	147 4297
475	0 50	19 00	15 730	4 2300	12 5847	4 6697	150 9772
490	0 50	19 50	15 450	4 4700	12 6198	4 9347	154 5196
510	0 50	20 00	15 290	4 6900	12 6549	5 1666	158 0652
530	0 50	21 50	14 910	5 0500	12 7053	5 5750	169 2203
530	0 50	22 00	14 300	5 6600	12 7596	6 2484	171 9208
540	0 50	22 50	13 870	6 0900	12 8617	6 7231	174 9378
540	0 50	22 50	13 120	6 8300	12 9714	7 5400	173 4057
570	0 50	23 00	12 200	7 7600	13 1211	8 5497	175 2008
580	0 50	23 50	10 760	9 2000	13 3532	10 1164	175 5876
565	0 50	24 00	8 540	11 4600	13 7346	12 6513	174 7409
610	0 50	24 50	6 210	13 7500	14 1440	15 1794	173 2185
630	0 50	25 00	2 300	17 0400	14 9324	19 4569	167 7587

Resistencia al esfuerzo cortante: 0 48 kg/cm²

Engulo de fricción interna: 28°

Esfuerzo normal: 0 88 kg/cm²

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3.970 cm	D medio =	3.508 cm
Dm =	3.970 cm	h media =	9.058 cm
Di =	3.920 cm	Area =	11.997 cm ²
H1 =	9.000 cm	Volumen =	108.673 cm ³
H2 =	9.000 cm	Peso vol =	1.457 g/cm ³
H3 =	9.000 cm	W% =	54.00 %
Wo =	158.30 gr	Saturacion =	98.95 %
		E. Confinante =	0.00 kg/cm ²

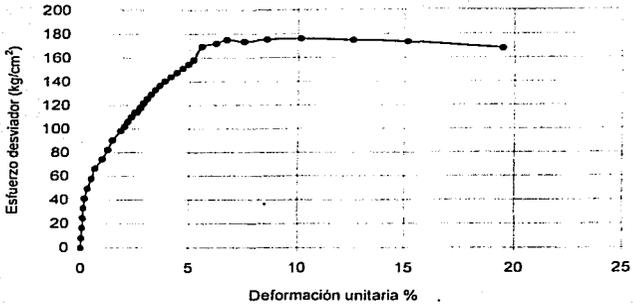
TIEMPO (mn)	INC. PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MICROMETRO (mm)	DEF LINEAL (mm)	AREA CORR (cm ²)	DEF UNITARIA (%)	ESF DESVIADOR (kg/cm ²)
0	1.00	0.00	18.985	0.0000	11.9970	0.0000	0.0000
10	1.00	1.00	18.965	0.0200	11.9997	0.0021	8.3336
20	1.00	2.00	18.935	0.0500	12.0036	0.0052	16.6616
30	1.00	3.00	18.895	0.0900	12.0089	0.0094	24.9814
40	1.00	4.00	18.865	0.1200	12.0129	0.0125	33.2975
50	1.00	5.00	18.815	0.1700	12.0196	0.0177	41.5988
60	1.00	6.00	18.705	0.2800	12.0342	0.0301	49.8579
80	1.00	7.00	18.535	0.4500	12.0669	0.0668	58.0580
100	1.00	8.00	18.385	0.6000	12.0770	0.0624	66.2416
120	1.00	9.00	18.085	0.9000	12.1174	0.0936	74.2733
140	1.00	10.00	17.855	1.1300	12.1496	0.1245	82.3143
160	1.00	11.00	17.665	1.3200	12.1744	0.1457	90.3534
180	0.50	12.00	17.325	1.6600	12.2210	0.18326	98.1919
200	0.50	12.50	17.165	1.8200	12.2430	0.20002	102.0992
220	0.50	13.00	17.025	1.9600	12.2623	0.21638	105.0157
240	0.50	13.50	16.875	2.1100	12.2831	0.23293	109.9069
260	0.50	14.00	16.725	2.2600	12.3040	0.24949	113.7842
280	0.50	14.00	16.655	2.3300	12.3137	0.25722	113.6941
300	0.50	14.50	16.525	2.4600	12.3319	0.27157	117.5811
320	0.50	15.00	16.385	2.6000	12.3515	0.28703	121.4424
340	0.50	15.50	16.235	2.7500	12.3726	0.30359	125.2765
360	0.50	16.00	16.065	2.9200	12.3966	0.32236	129.0674
380	0.50	16.50	15.885	3.1000	12.4221	0.34223	132.8275
400	0.50	17.00	15.705	3.2800	12.4477	0.36210	136.5710
420	0.50	17.50	15.495	3.4800	12.4778	0.38528	140.2496
440	0.50	18.00	15.255	3.7300	12.5122	0.41178	143.8592
460	0.50	18.50	15.005	3.9800	12.5484	0.43937	147.4297
475	0.50	19.00	14.755	4.2300	12.5847	0.46697	150.9772
490	0.50	19.50	14.515	4.4700	12.6198	0.49347	154.5196
510	0.50	20.00	14.305	4.6800	12.6506	0.51665	158.0952
520	0.50	20.50	14.135	4.8500	12.6757	0.53542	161.7269
540	0.50	21.00	13.765	5.2200	12.7306	0.57626	164.9564
560	0.50	21.50	13.155	5.8300	12.8223	0.64361	167.6771
580	0.50	22.00	12.135	6.8500	12.9785	0.75621	169.5117
600	0.50	22.50	10.885	8.1000	13.1751	0.93120	170.7762

Resistencia al esfuerzo cortante: 0.48 kg/cm²

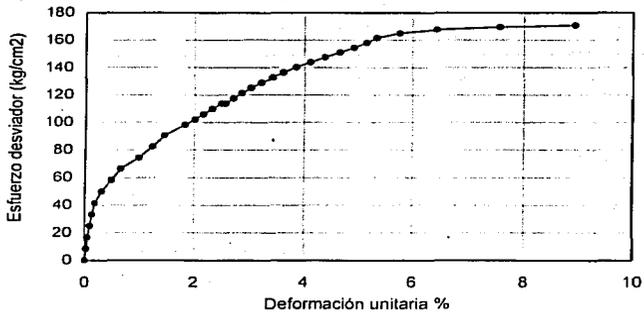
Ángulo de fricción interna: 28

Esfuerzo normal: 0.88 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación (1)

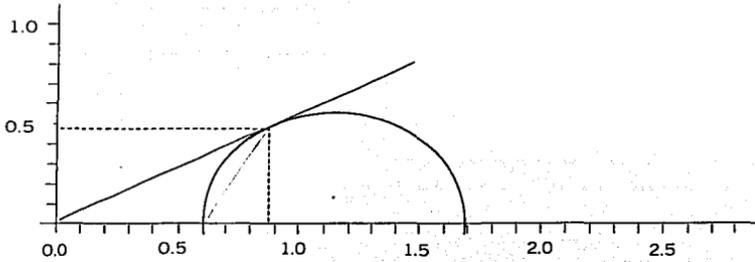


Gráfica Esfuerzo-deformación (2)



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Círculo de Mohr



Esfuerzo confinante: 0.6 kg/cm^2

Esfuerzo axial de falla: 1.7 kg/cm^2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROFUNDIDAD: 3.74-3.85

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3.760 cm	D neta =	3.762 cm
Dm =	3.760 cm	h neta =	7.450 cm
D1 =	3.770 cm	Area =	11.113 cm ²
H1 =	7.450 cm	Volumen =	82.756 cm ³
H2 =	7.450 cm	Peso vol =	1.673 g/cm ³
H3 =	7.450 cm	W% =	54.00 %
Wo =	130.20 gr	Saturacion =	98.90 %
		E. Coeficiente =	0.00 kg/cm ³

TIEMPO (min)	INC PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MICROMETRO (mm)	DEF LINEAL (mm)	AREA CORR (cm ²)	DEF UNITARIA E%	ESF. DESVIADOR (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	20.985	0.0000	11.1135	0.0000	0.0000
10	1.00	1.00	20.899	0.0860	11.1263	0.1154	8.9877
20	1.00	2.00	20.968	0.1170	11.1310	0.1570	17.9579
30	1.00	3.00	20.828	0.1570	11.1370	0.2107	26.9373
40	1.00	4.00	20.780	0.2050	11.1442	0.2752	35.8533
50	1.00	5.00	20.720	0.2650	11.1532	0.3557	44.8303
60	1.00	6.00	20.641	0.3440	11.1650	0.4617	53.7391
70	1.00	7.00	20.557	0.4280	11.1777	0.5745	62.6247
80	1.00	8.00	20.465	0.5200	11.1916	0.6980	71.4821
90	1.00	9.00	20.369	0.6160	11.2061	0.8268	80.3131
100	1.00	10.00	20.276	0.7090	11.2203	0.9517	89.1244
110	1.00	11.00	20.189	0.7960	11.2335	1.0685	97.9213
120	1.00	12.00	20.102	0.8830	11.2468	1.1852	106.6971
130	1.00	13.00	20.019	0.9660	11.2595	1.2966	115.4582
140	1.00	14.00	19.933	1.0520	11.2727	1.4121	124.1942
150	1.00	15.00	19.853	1.1320	11.2850	1.5195	132.9203
160	1.00	16.00	19.764	1.2210	11.2987	1.6389	141.6006
170	1.00	17.00	19.667	1.3180	11.3136	1.7691	150.2611
180	1.00	18.00	19.561	1.4240	11.3301	1.9114	158.8695
190	0.50	18.50	19.486	1.4990	11.3417	2.0121	163.1149
200	0.50	19.00	19.412	1.5730	11.3532	2.1114	167.3536
210	0.50	19.50	19.345	1.6400	11.3636	2.2013	171.5999
220	0.50	20.00	19.275	1.7100	11.3746	2.2953	175.8308
230	0.50	20.50	19.202	1.7830	11.3860	2.3933	180.0458
240	0.50	21.00	19.122	1.8630	11.3985	2.5007	184.2343
250	0.50	21.50	19.041	1.9440	11.4113	2.6094	188.4105
260	0.50	22.00	18.951	2.0340	11.4254	2.7302	192.5530
270	0.50	22.50	18.859	2.1260	11.4400	2.8537	196.6791
280	0.50	23.00	18.751	2.2340	11.4570	2.9987	200.7498
290	0.50	23.50	18.640	2.3450	11.4747	3.1477	204.7989
300	0.50	24.00	18.609	2.3760	11.4795	3.1893	209.0664
310	0.50	24.50	18.367	2.6180	11.5183	3.5141	212.7059
320	0.50	25.00	18.210	2.7750	11.5435	3.7248	216.5727
335	0.50	25.50	17.968	3.0170	11.5825	4.0497	220.1589
350	0.50	26.00	17.740	3.2450	11.6196	4.3557	223.7597
365	0.50	26.50	17.529	3.4560	11.6541	4.6389	227.3875
380	0.50	27.00	17.291	3.6940	11.6933	4.9584	230.9017

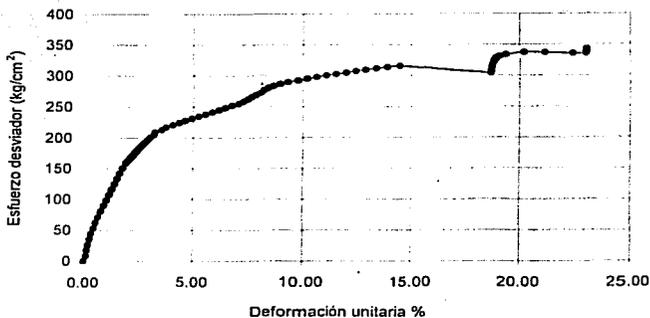
TIEMPO (min)	INC. PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MICRÓMETRO (mm)	DEF. LINEAL (mm)	ÁREA CORR (cm ²)	DEF. UNITARIA E%	ESF. DESVIADOR (kg/cm ²)
395	0.50	27.50	17.057	3.9280	11.7321	5.2725	234.4004
410	0.50	28.00	16.818	4.1670	11.7719	5.5933	237.8540
425	0.50	28.50	16.571	4.4140	11.8134	5.9248	241.2511
440	0.50	29.00	16.340	4.6450	11.8525	6.2349	244.6745
455	0.50	29.50	16.119	4.8660	11.8901	6.5315	248.1056
470	0.50	30.00	15.899	5.0860	11.9278	6.8268	251.5136
485	0.50	30.50	15.667	5.3180	11.9678	7.1383	254.8509
500	0.50	31.00	15.500	5.4850	11.9967	7.3624	258.4035
510	0.50	31.50	15.341	5.6440	12.0244	7.5758	261.9664
520	0.50	32.00	15.214	5.7710	12.0467	7.7463	265.6337
530	0.50	32.50	15.060	5.9250	12.0737	7.9530	269.1798
540	0.50	33.00	14.888	6.0970	12.1041	8.1839	272.6354
545	0.50	33.50	14.780	6.2050	12.1232	8.3289	276.3293
550	0.50	34.00	14.640	6.3450	12.1481	8.5168	279.8787
555	0.50	34.50	14.458	6.5270	12.1806	8.7611	283.2362
560	0.50	35.00	14.252	6.7330	12.2177	9.0376	286.4703
565	0.50	35.50	14.010	6.9750	12.2615	9.3624	289.5251
570	0.50	36.00	13.692	7.2930	12.3195	9.7893	292.2202
575	0.50	36.50	13.408	7.5770	12.3718	10.1705	295.0268
580	0.50	37.00	13.092	7.8930	12.4305	10.5946	297.6561
585	0.50	37.50	12.751	8.2340	12.4944	11.0523	300.1340
590	0.50	38.00	12.390	8.5950	12.5629	11.5369	302.4790
595	0.50	38.50	12.045	8.9400	12.6290	12.0000	304.8547
600	0.50	39.00	11.716	9.2690	12.6927	12.4416	307.2641
605	0.50	39.50	11.380	9.6050	12.7584	12.8926	309.6004
610	0.50	40.00	11.015	9.9700	12.8305	13.3826	311.7560
615	0.50	40.50	10.632	10.3530	12.9072	13.8966	313.7795
620	0.50	41.00	10.205	10.7800	12.9936	14.4698	315.5389
1375	0.50	41.50	7.041	13.9440	13.6726	18.7168	303.5278
1380	0.50	42.00	7.031	13.9540	13.6748	18.7302	307.1341
1395	0.50	42.50	7.019	13.9660	13.6775	18.7463	310.7288
1410	0.50	43.00	7.003	13.9820	13.6811	18.7678	314.3014
1425	0.50	43.50	6.981	14.0040	13.6861	18.7973	317.8404
1440	0.50	44.00	6.951	14.0340	13.6929	18.8376	321.3343
1455	0.50	44.50	6.908	14.0770	13.7026	18.8953	324.7548
1470	0.50	45.00	6.841	14.1440	13.7179	18.9852	328.0395
1485	0.50	45.50	6.734	14.2510	13.7422	19.1289	331.0964
1500	0.50	46.00	6.520	14.4650	13.7912	19.4161	333.5459
1515	0.50	47.00	5.912	15.0730	13.9323	20.2322	337.3455
1525	0.50	47.50	5.205	15.7800	14.1001	21.1812	336.8782
1540	0.50	48.00	4.255	16.7300	14.3319	22.4564	334.9167
1555	0.50	48.50	3.800	17.1850	14.4457	23.0671	335.7401
1570	0.50	49.00	3.797	17.1880	14.4465	23.0711	339.1836
1585	0.50	49.50	3.796	17.1890	14.4467	23.0725	342.6387

Resistencia al esfuerzo cortante: 0.9 kg/cm²

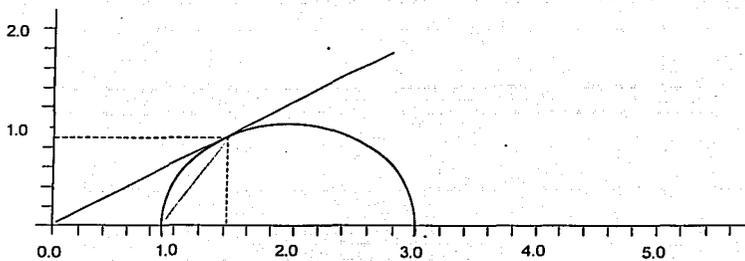
Ángulo de fricción interna: 32.5°

Esfuerzo normal: 1.42 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación



Círculo de Mohr



Esfuerzo confinante: 0.9 kg/cm^2

Esfuerzo axial de falla: 3.0 kg/cm^2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROFUNDIDAD: 4.03-4.15

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3.650 cm	D medio =	3.682 cm
Dim =	3.700 cm	h media =	9.395 cm
Di =	3.640 cm	Área =	10.646 cm ²
H1 =	9.320 cm	Volumen =	100.017 cm ³
H2 =	9.410 cm	Peso vol =	1.613 g/cm ³
H3 =	9.410 cm	Wp =	56.00 %
Wo =	161.32 gr	Saturación =	68.89 %
		E. Confinante =	1.10 g/cm ³

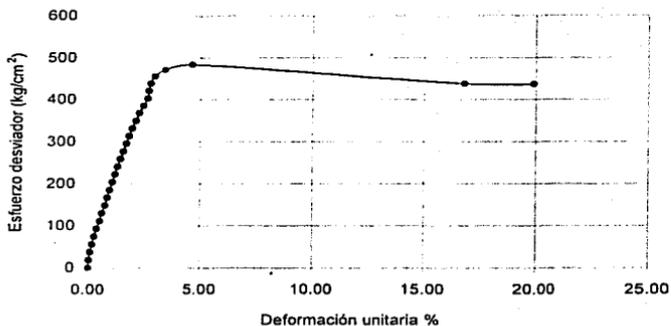
TIEMPO (min)	INC PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MACRÓMETRO (mm)	DEF LINEAL (mm)	ÁREA CORR (cm ²)	DEF UNITARIA E %	ESF DESVIADOR (g/cm ²)
0	0.00	0.00	19.903	0.000	10.6458	0.0000	0.0000
30	2.00	2.00	19.871	0.0320	10.6494	0.0341	18.7803
60	2.00	4.00	19.819	0.0840	10.6553	0.0894	37.5399
90	2.00	6.00	19.740	0.1630	10.6643	0.1735	56.2624
120	2.00	8.00	19.650	0.2530	10.6746	0.2493	74.9446
150	2.00	10.00	19.544	0.3560	10.6866	0.3521	93.5747
191	2.00	12.00	19.422	0.4810	10.7006	0.5120	112.1433
212	2.00	14.00	19.332	0.5710	10.7109	0.6028	130.7078
240	2.00	16.00	19.211	0.6920	10.7248	0.7366	149.1848
265	2.00	18.00	19.112	0.7910	10.7362	0.8419	167.6570
290	2.00	20.00	19.011	0.8920	10.7470	0.9344	186.0836
315	2.00	22.00	18.901	1.0020	10.7466	1.0965	204.4500
340	2.00	24.00	18.792	1.1110	10.7432	1.1855	222.7748
365	2.00	26.00	18.686	1.2170	10.7395	1.2994	241.0638
390	2.00	28.00	18.573	1.3300	10.7347	1.4156	259.2909
415	2.00	30.00	18.451	1.4520	10.7189	1.5455	277.4457
440	2.00	32.00	18.338	1.5800	10.7025	1.6860	295.5709
460	2.00	34.00	18.222	1.6810	10.6878	1.7892	313.6600
480	2.00	36.00	18.094	1.8090	10.6824	1.9255	331.6499
500	2.00	38.00	17.945	1.9590	10.6724	2.0841	349.5088
515	2.00	40.00	17.803	2.1000	10.6692	2.2352	367.3361
530	2.00	42.00	17.621	2.2820	10.6618	2.4250	384.9386
1371	2.00	44.00	17.444	2.4590	10.6519	2.6173	402.4103
1384	2.00	46.00	17.405	2.4970	10.6365	2.6578	420.6106
1401	2.00	48.00	17.332	2.5710	10.6193	2.7366	438.5429
1416	2.00	50.00	17.162	2.7410	10.6057	2.9175	455.9656
1431	2.00	52.00	16.711	3.1920	11.0202	3.3976	471.8995
1461	2.00	54.00	15.563	4.3400	11.1614	4.6195	483.8098
1476	2.00	56.00	4.150	15.7530	12.7434	16.7674	437.6270
1491	2.00	58.00	1.204	18.6990	14.2912	19.0231	436.3796

Resistencia al esfuerzo cortante: 1.28 kg/cm²

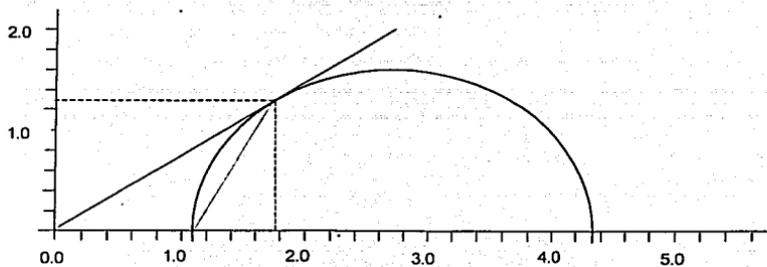
Ángulo de fricción interna: 35.5°

Esfuerzo normal: 1.78 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación



Círculo de Mohr



Esfuerzo confinante: 1.1 kg/cm²

Esfuerzo axial de falla: 4.36
kg/cm²

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROFUNDIDAD: 5.13-5.24

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3.620 cm	D medio =	3.717 cm
Dm =	3.780 cm	h media =	9.732 cm
Di =	3.560 cm	Area ₀ =	10.849 cm ²
H1 =	9.710 cm	Volumen =	105,581 cm ³
H2 =	9.740 cm	Peso vol =	1.393 g/cm ³
H3 =	9.720 cm	W% =	79.00 %
Wo =	147.09 gr	Saturación =	98.70 %
		E. Confinante =	1.10 kg/cm ²

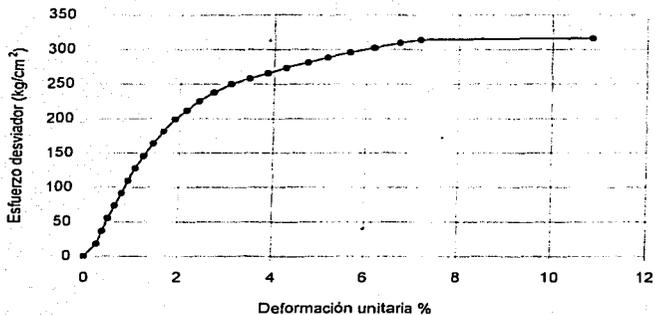
TIEMPO (min)	INC. PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MICROMETRO (mm)	DEF. LINEAL (mm)	AREA CORR (cm ²)	DEF. UNITARIA E%	ESF. DESVIADOR (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	20.269	0.0000	10.8492	0.0000	0.0000
25	2.00	2.00	20.018	0.2510	10.8772	0.2579	18.3870
50	2.00	4.00	19.913	0.3560	10.8890	0.3658	36.7343
75	2.00	6.00	19.789	0.4800	10.9030	0.4932	55.0309
100	2.00	8.00	19.659	0.6100	10.9176	0.6268	73.2761
125	2.00	10.00	19.512	0.7570	10.9342	0.7779	91.4558
150	2.00	12.00	19.377	0.8920	10.9496	0.9166	109.5936
175	2.00	14.00	19.219	1.0500	10.9679	1.0790	127.6497
200	2.00	16.00	19.051	1.2180	10.9867	1.2516	145.6307
225	2.00	18.00	18.864	1.4050	11.0081	1.4437	163.5138
250	2.00	20.00	18.653	1.6160	11.0324	1.6605	181.2845
275	2.00	22.00	18.409	1.8600	11.0600	1.9113	198.9045
300	1.50	23.50	18.173	2.0940	11.0880	2.1538	211.9409
325	1.50	25.00	17.913	2.3560	11.1184	2.4210	224.8534
350	1.50	26.50	17.614	2.6550	11.1536	2.7282	237.5941
375	1.50	28.00	17.265	3.0040	11.1947	3.0688	250.1173
400	1.00	29.00	16.863	3.4060	11.2427	3.4999	257.9469
425	1.00	30.00	16.495	3.7740	11.2869	3.8781	265.7949
450	1.00	31.00	16.110	4.1590	11.3336	4.2737	273.5243
475	1.00	32.00	15.663	4.6060	11.3882	4.7330	280.9929
503	1.00	33.00	15.233	5.0360	11.4413	5.1749	288.4299
525	1.00	34.00	14.764	5.5050	11.4977	5.6568	295.6599
550	1.00	35.00	14.272	5.9970	11.5617	6.1624	302.7248
575	1.00	36.00	13.740	6.5280	11.6294	6.7090	309.5601
600	0.75	36.75	13.288	6.9810	11.6876	7.1735	314.4360
645	0.75	38.50	9.730	10.5390	12.1668	10.8296	316.4349
716	0.75	39.25	9.687	10.5820	12.1728	10.8738	322.4394
741	0.75	40.00	9.689	10.6600	12.1838	10.9539	328.2051
788	0.75	40.75	9.513	10.7560	12.1973	11.0526	334.0003
811	0.75	41.50	9.365	10.9040	12.2180	11.2047	339.6575
816	0.75	42.25	9.135	11.1230	12.2472	11.4297	344.9195
841	0.75	43.00	8.873	11.3960	12.2882	11.7102	349.9305
866	0.75	43.75	8.470	11.8390	12.3518	12.1654	354.1982
891	0.75	44.50	7.763	12.5060	12.4490	12.8508	357.4589
916	0.75	45.25	6.800	13.4690	12.5920	13.8404	359.3563
941	0.75	46.00	5.010	15.2590	12.8666	15.6797	357.5137
966	0.75	46.75	1.100	19.1690	13.5104	19.6026	346.0296

Resistencia al esfuerzo cortante: 1.04 kg/cm²

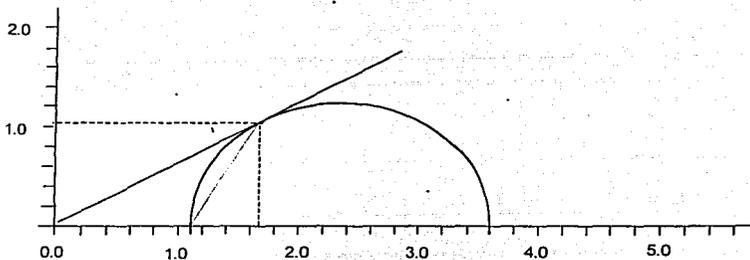
Ángulo de fricción interna: 32°

Esfuerzo normal: 1.7 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación



Círculo de Mohr

Esfuerzo confinante: 1.1 kg/cm²Esfuerzo axial de falla: 3.60 kg/cm²

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

PROFUNDIDAD: 5.24-5.35

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3550 cm	D medio = 3582	cm
Dm =	3580 cm	h media = 9568	cm
Di =	3580 cm	Area = 10 075	cm ²
H1 =	9580 cm	Volumen = 56 404	cm ³
H2 =	9570 cm	Peso vol = 1 370	g/cm ³
H3 =	9550 cm	W% = 218 (s)	%
Wo =	132 12 gr	Saturación = 97.89	%
		E. Confinante = 1.40	kg/cm ²

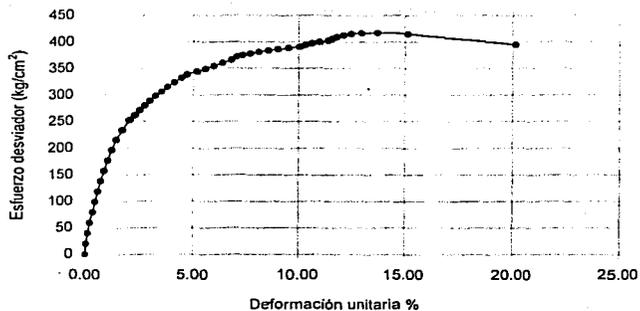
TIEMPO (min)	INC PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MICROMETRO (mm)	DEF LINEAL (mm)	AREA CORR (cm ²)	DEF UNITARIA 1%	ESF DESVIADOR (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	19.296	0.0000	10.0754	0.0000	0.0000
20	2.00	2.00	19.239	0.0570	10.0818	0.0246	19.8896
40	2.00	4.00	19.154	0.1420	10.0933	0.1488	19.6419
60	2.00	6.00	19.053	0.2430	10.1010	0.2540	19.4060
80	2.00	8.00	18.942	0.3540	10.1128	0.3700	19.1079
100	2.00	10.00	18.827	0.4660	10.1290	0.4932	18.7656
120	2.00	12.00	18.710	0.5860	10.1378	0.6128	118.3731
140	2.00	14.00	18.582	0.7160	10.1511	0.7462	137.9161
160	2.00	16.00	18.451	0.8450	10.1651	0.8811	157.4010
180	2.00	18.00	18.291	1.0560	10.1824	1.0664	176.7773
200	2.00	20.00	18.110	1.1860	10.2038	1.2396	194.0438
220	2.00	22.00	17.909	1.3670	10.2235	1.4349	215.1895
240	2.00	24.00	17.671	1.6250	10.2508	1.6983	234.1596
260	1.00	25.00	17.381	1.9150	10.2811	2.0314	252.8508
280	1.00	27.00	17.169	2.1270	10.3044	2.2230	262.0236
300	1.00	28.00	16.962	2.3360	10.3273	2.4193	271.1270
320	1.00	29.00	16.749	2.5470	10.3509	2.6619	280.1698
340	1.00	30.00	16.515	2.7810	10.3770	2.9665	289.1022
360	1.00	31.00	16.261	3.0360	10.4068	3.1719	297.9222
380	1.00	32.00	15.992	3.3040	10.4367	3.4531	306.6376
400	1.00	33.00	15.703	3.5980	10.4685	3.7551	315.2329
420	1.00	34.00	15.492	3.8660	10.5039	4.0801	323.6885
440	1.00	35.00	15.265	4.2510	10.5438	4.5428	331.9890
460	0.75	35.75	14.799	4.4920	10.5722	4.6999	338.1499
480	0.75	36.50	14.333	4.9630	10.6265	5.1869	343.4796
500	0.75	37.25	13.967	5.3290	10.6936	5.5698	349.1232
520	0.75	38.00	13.578	5.7180	10.7157	5.9760	354.6192
540	0.75	38.68	13.183	6.1140	10.7630	6.3888	360.0326
560	0.75	39.50	12.779	6.5170	10.8117	6.8110	365.3436
570	0.75	40.25	12.531	6.7650	10.8419	7.0702	371.2451
580	0.75	40.75	12.251	7.0450	10.8761	7.3628	374.6732
590	0.75	41.25	11.912	7.3660	10.9179	7.7171	377.8193
600	0.75	41.75	11.517	7.7390	10.9670	8.1259	380.6489
610	0.50	42.25	11.070	8.2260	11.0230	8.5971	383.2891
620	0.50	42.75	10.633	8.6630	11.0784	9.0538	385.8872
630	0.50	43.25	10.169	9.1270	11.1378	9.5388	388.3188
640	0.50	43.75	9.680	9.6160	11.2010	10.0498	390.5889
645	0.50	44.25	9.430	9.8660	11.2337	10.3111	393.9263
650	0.50	44.75	9.133	10.1630	11.2727	10.6215	396.9775
655	0.50	45.25	8.854	10.4920	11.3162	10.9653	399.8668
660	0.50	45.75	8.419	10.8770	11.3676	11.3677	402.4601
662	0.50	46.25	8.239	11.0610	11.3923	11.5600	405.9799
664	0.50	46.75	8.023	11.2730	11.4209	11.7816	409.3367
666	0.50	47.25	7.718	11.5780	11.4623	12.1003	412.2198
668	0.50	47.75	7.378	11.9180	11.5069	12.4557	414.8979
670	0.50	48.25	6.890	12.4060	11.5763	12.9657	416.7939
672	0.50	48.75	6.158	13.1890	11.6790	13.7407	417.4175
674	0.50	49.25	5.803	14.0930	11.8191	15.1468	418.7564
676	0.50	49.75	5.214	15.2960	12.0296	20.1666	394.2012

Resistencia al esfuerzo cortante: 1.10 kg/cm²

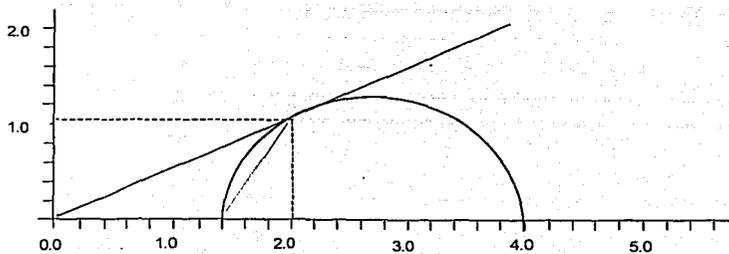
Ángulo de fricción interna: 28°

Esfuerzo normal: 2.10 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación



Círculo de Mohr



Esfuerzo confinante: 1.4 kg/cm^2

Esfuerzo axial de falla: 4.05 kg/cm^2

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

PROFUNDIDAD: 6.15-6.26

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3.670 cm	D medio =	3.648 cm
Dm =	3.640 cm	h media =	9.357 cm
Di =	3.660 cm	Area _o =	10.454 cm ²
H1 =	9.370 cm	Volumen =	97.814 cm ³
H2 =	9.360 cm	Peso vol =	1.224 g/cm ³
H3 =	9.330 cm	W% =	99.00 %
Wo =	119.69 gr	Saturación =	98.90 %
		E. Confinante =	0.90 kg/cm ²

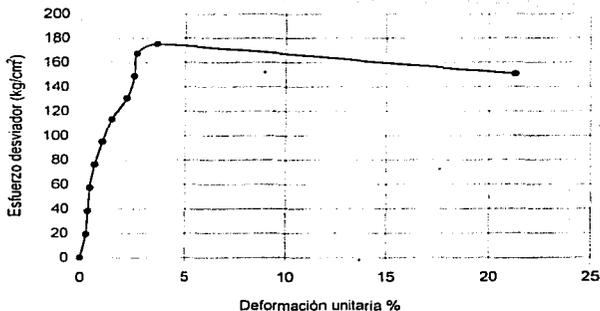
TIEMPO (mn)	INC PRESION (kg)	P TOTAL (kg)	MICROMETRO (mm)	DEF LINEAL (mm)	AREA CORR (cm ²)	DEF UNITARIA E%	ESF DESVIADOR (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	19.9600	0.0000	10.4539	0.0000	0.0000
20	2.00	2.00	19.6790	0.2810	10.4854	0.3003	19.0741
40	2.00	4.00	19.6020	0.3580	10.4941	0.3826	38.1168
60	2.00	6.00	19.5200	0.4400	10.5033	0.4703	57.1249
80	2.00	8.00	19.3050	0.6550	10.5276	0.7000	75.9907
100	2.00	10.00	18.9750	0.9850	10.5651	1.0527	94.6509
120	2.00	12.00	18.5680	1.3920	10.6118	1.4877	113.0818
140	2.00	14.00	17.8800	2.0800	10.6916	2.2230	130.9441
160	2.00	16.00	17.5400	2.4200	10.7315	2.5864	149.0942
180	2.00	18.00	17.4150	2.5450	10.7462	2.7200	167.5009
200	1.00	19.00	16.5100	3.4500	10.8541	3.6872	175.0486
220	1.00	20.00	FALLA	19.9600	13.2887	21.3324	150.5037

Resistencia al esfuerzo cortante: 0.42 kg/cm²

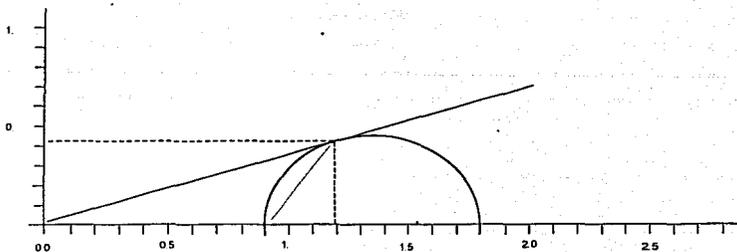
Ángulo de fricción interna: 19°

Esfuerzo normal: 1.2 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación



Círculo de Mohr



Esfuerzo confinante: 0.9 kg/cm²

Esfuerzo axial de falla: 1.8 kg/cm²

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

PROFUNDIDAD: 6.60-6.70

DATOS GENERALES:		DATOS DE PROCESO	
Ds =	3.640 cm	D medio =	3.602 cm
Dm =	3.590 cm	h media =	8.503 cm
Di =	3.610 cm	Area _{av} =	10.188 cm ²
H1 =	8.500 cm	Volumen =	86.634 cm ³
H2 =	8.500 cm	Peso vol =	1.133 g/cm ³
H3 =	8.520 cm	W% =	377.00 %
Wo =	98.12 gr	Saturación =	97.50 %
		E. Confinante =	0.80 kg/cm ²

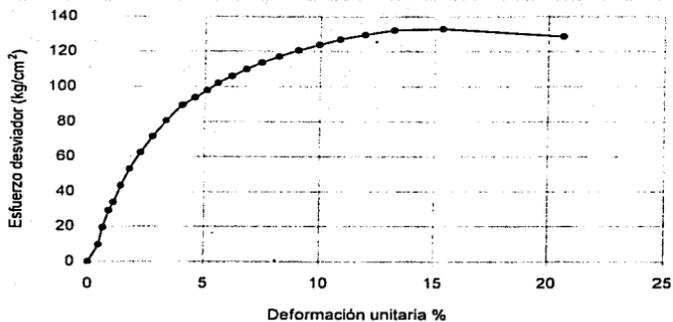
TIEMPO (min)	INC. PRESION (kg)	P.TOTAL (kg)	MICROMETRO (mm)	DEF. LINEAL (mm)	AREA CORR. (cm ²)	DEF. UNITARIA E%	ESF. DESVIADOR (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	17.5530	0.0000	10.1882	0.0000	0.0000
10	1.00	1.00	17.1530	0.4000	10.2363	0.4704	9.7691
20	1.00	2.00	16.9990	0.5540	10.2550	0.6515	19.5027
30	1.00	3.00	16.7840	0.7690	10.2812	0.9044	29.1796
40	0.50	3.50	16.6150	0.9380	10.3018	1.1031	33.9746
50	1.00	4.50	16.3310	1.2220	10.3367	1.4371	43.5341
60	1.00	5.50	15.9900	1.5630	10.3790	1.8381	52.9918
70	1.00	6.50	15.5910	1.9620	10.4288	2.3073	62.3273
80	1.00	7.50	15.1500	2.4030	10.4845	2.8260	71.5344
90	1.00	8.50	14.6550	2.8980	10.5477	3.4081	80.5866
100	1.00	9.50	14.0780	3.4750	10.6223	4.0866	89.4347
110	0.50	10.00	13.6400	3.9130	10.6796	4.6017	93.6362
120	0.50	10.50	13.2050	4.3480	10.7372	5.1133	97.7908
130	0.50	11.00	12.7840	4.7690	10.7935	5.6084	101.9129
140	0.50	11.50	12.2520	5.3010	10.8655	6.2340	105.8391
150	0.50	12.00	11.7320	5.8210	10.9369	6.8456	109.7205
160	0.50	12.50	11.1720	6.3810	11.0147	7.5041	113.4842
170	0.50	13.00	10.5350	7.0180	11.1047	8.2532	117.0677
180	0.50	13.50	9.8430	7.7100	11.2041	9.0670	120.4920
190	0.50	14.00	9.0850	8.4680	11.3150	9.9584	123.7297
200	0.50	14.50	8.3080	9.2450	11.4310	10.8722	126.8482
210	0.50	15.00	7.3900	10.1630	11.5711	11.9518	129.6328
220	0.50	15.50	6.3010	11.2520	11.7419	13.2325	132.0055
230	0.50	16.00	4.5010	13.0520	12.0356	15.3493	132.9394
240	0.50	16.50	FALLA	17.5530	12.8383	20.6425	128.5213

Resistencia al esfuerzo cortante: 0.26 kg/cm

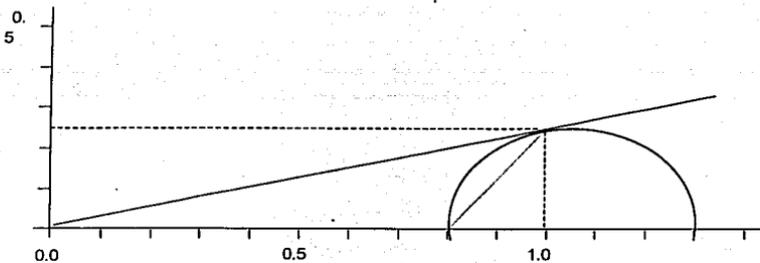
Ángulo de fricción interna: 15°

Esfuerzo normal: 1.0 kg/cm²

Gráfica Esfuerzo-deformación



Círculo de Mohr

Esfuerzo confinante: 0.8 kg/cm^2 Esfuerzo axial de falla: 1.29 kg/cm^2

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

1. Alegría Celaya N., Zamora Millán F. 1985 "Instructivo para el laboratorio de geotécnica (1ª. Parte)" F.I. UNAM.
2. Arellano A.R.V., 1953 "Estratigrafía de la cuenca de México". Memorias del congreso científico mexicano. Vol. 13
3. Bryan, Kirk, 1984. " Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie México en relación a los cambios climáticos" Boletín de la S.G.M.. Tomo XIII.
4. Carreón Freyre, D. " Propiedades y clasificación de los suelos residuales de México" Comunicación personal.
5. Carreón Freyre, D. "Origen y estructura de los minerales arcillosos en cuencas lacustres de la cuenca del valle de México". Comunicación personal.
6. CFE, 1988 "Estudios geofísicos del valle de México"
7. Davis, 1992. "Depositional Systems". Prentice Hall.
8. De Terra, H., 1948. " Historia del valle de México en las postrimerías del Cuaternario en relación con el hombre prehistórico" Boletín de la Sociedad Geofísica Mexicana. Tomo XIII.
9. Drever, J. I., 1985 " The Chemistry of Weathering" NATO ASI Series. Serie C: mathematical and physical sciences. Vol. 149.
10. Gamma, C. y Carreón Freyre, D., 1998 " Génesis, identificación y uso de los suelos en México" IMT, UNAM. Doc. Técnico N. 19 Sanfandila, Qro.
11. Gerald, A. Cole, 1988 " Manual de limnología". Edit. Hemisferio Sur.
12. Goodman, Richard E., 1989 "Introduction to rock mechanics" Edit. John Wiley and sons, New York. Chapter 3.
13. Haff , P. K., 1983. "Grain Flow as a fluid- mechanical phenomenon" Journal Fluid Mechanics. Vol. 134.
14. Jaime, A., Reséndiz, D. y Romo M. P., 1989 " El subsuelo del valle de México: Propiedades dinámicas y zonificación" Revista Ingeniería de la Facultad de Ingeniería UNAM, Vol LVIII, N. 2.
15. Juárez Badillo, E. , 1982. "Mechanical Characterization of Mexico City Clay" Simposio Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cementaciones.
16. Juárez Badillo, E. , 1990. "Mecánica de suelos I y II" Editorial Limusa, México.
17. Juárez Badillo, E. , y Auvinet, G., 2000 "Caracterización geoestratigráfica del subsuelo del valle de México" Reunión Nacional de Mecánica de Suelos.
18. Lozano García, 1989. "palinología y paleoambientes pleistocénicos de la cuenca de México" Geofísica internacional. Vol. 28-2.
19. Marsal y Mazari, 1969 " El subsuelo de la Cd. de México" Tomos I y II. Facultad de Ingeniería UNAM.
20. Marsal, 1978. " La estratigrafía y sus implicaciones". El Subsuelo y la Ingeniería de Cementaciones. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
21. Méndez, E. y Auvinet, G., 2000 "Aplicación de las tecnologías de información a la zonificación del subsuelo e la cuenca de México". XX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Vol. 2. SMMS.
22. Mooser, F., et al., 1974 " Paleomagnetic Investigations of Tertiary and Quaternary Igneous Rocks: paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico" Geologische Rundschau. Vol. 63 N. 2
23. Mooser, 1978 " Geología del relleno cuaternario de la cuenca de México" el subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México. SMMS.

24. Mooser, et al, 1986. "Caracterización geológica y geotécnica del valle de México" COVITUR. Sría. Gral. de Obras DDF. Serie 100 km de metro. N 1.
25. Mooser, 1990 "Estratigrafía y estructura del valle de México". El subsuelo de la cuenca del valle de México y su relación con la Ingeniería de cimentaciones a 5 años del sismo. SMMS
26. Palmer, G. R. Y Troeh, R. F., 1989. " Introducción a la ciencia del suelo" Manual de Laboratorio. Edit. AGT.
27. Rodríguez y Ochoa, 1989. 2 Estudio geoelectrico del sistema acuífero de la cuenca de México" Geofísica Internacional Vol. 28-2.
28. Ruiz V.M., Vázquez E. y Jaimes, R., 1988 "Modelo geológico de la cuenca de México" IGF-UNAM, vol. 28.
29. Skempton, A.W. and Northey, R.D. 1952 "the sensitivity of clays" Geotechnique 3. No. 1.
30. Solleiro, E. et al , 1997 "Cristalografía de suelos" Apuntes de curso. Sociedad Mexicana de Cristalografía.
31. Taméz, E., Santoyo, E. y Cuevas, A. 1992. "La catedral y el sagrario de la Ciudad de México" Vol. Raúl J. Marsal.
32. Taylor, D.W., 1948 "Fundamentals of soil mechanics", New York.
33. Wilding, L. y Puentes, R. 1988 "Vertisols: Their Distribution, Properties, Classification and Management".
34. Zeevaert, L. 1952 "Estratigrafía y problemas de ingeniería en los depósitos de arcilla de la Cd. de México" Revista Ingeniería, vol. 25, tomo 1.
35. Zeevaert, 1953 "Pore pressure measurements to investigate the main surce of surface subsidence in Mexico City" Simposio Internacional de mecánica de suelos e ingeniería de cimentaciones.
36. Zeevaert, 1957 "Consolidation of Mexico City volcanic clays" Proc. Conf. Solis Engng. Purposes ASTM, STP no. 32.