



5.d Reconocimiento del subsuelo y pruebas de laboratorio

Los ensayos de laboratorio que se realizaron en el periodo que corresponde a este informe se utilizaron muestras inalteradas obtenidas por la empresa GEOTEC en la campaña del año 2012 (Geotec, 2012). Esta empresa entregó al Instituto de Ingeniería parte de las muestras obtenidas en la campaña, las que no utilizó en los ensayos de laboratorio que llevó a cabo.

Personal del Instituto de Ingeniería (II-UNAM) realizó ensayos para obtener las propiedades índices del suelo e identificar, clasificar el suelo según el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y obtener sus relaciones volumétricas. Se determinaron los límites de consistencia (líquido y plástico), el contenido de agua natural y la densidad de sólidos.

Como parte de las pruebas mecánicas, se realizaron ensayos estáticos consolidados no drenados, con consolidación por incrementos y se llevaron a la falla en condiciones no drenadas, midiendo el exceso de presión de poro. Además, se ejecutaron ensayos de consolidación unidimensional con carga incremental, saturando previamente la muestra.

Enseguida se presentan parte de los resultados experimentales obtenidos.

5.d.1 Relación de muestras ensayadas

La empresa Geotec (Geotec, 2103) entregó al II-UNAM 84 muestras inalteradas de suelo de entre 10 y 48 cm de longitud, correspondientes a 14 sondeos, 6 muestras por cada uno, con profundidades que oscilaban entre los 24 y 48 m. Las muestras venían en tubo Selby (de 4” de diámetro interior), de acero dulce, cubiertas con cera y brea en los extremos para evitar la evaporación del agua.

De las muestras recibidas se realizaron en esta etapa del proyecto los siguientes ensayos (tabla 5.d.1):

- 7 determinaciones de propiedades índice y clasificación “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)”.
- 5 ensayos estáticos tipo CU y 4 que están en ejecución a la entrega del presente informe.
- 4 ensayos de consolidación unidimensional con carga incremental en suelos saturados, utilizando la Celda Rowe y dos que están en ejecución.
- 3 ensayos de consolidación unidimensional con carga incremental utilizando un consolidómetro de palanca que están en ejecución.
- 16 extracciones de agua intersticial y su obtención de análisis químico. Estos resultados también se reportan *en capítulo de salinidad del informe correspondiente al tema de Estructuras*.



Tabla 5.d.1 Relación de muestras y ensayos realizados.

Sondeo	Muestra	DATOS DE INVENTARIO				PROPIEDADES ÍNDICE					PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS						
		Profundidad		Fecha de extracción	Longitud	w _L	w _p	G _s	w _c	w	Tx. Estática	Tx. Cíclica	Col. Resonante	Consolidación	E. Laminares	Permeabilidad	Análisis químico
		Inicial	Final														
m	m		m	%	%		%	%									
1 Mi	1	2.70	3.20	nov-12	48.0											*ok, r	
	2	8.20	8.80	nov-12	44.0											*ok	
2 Mi	1	3.00	3.60	nov-12	39.0	*ok	*ok	*ok		*ok	ELE3 ok		CRw1 ok			*ok, r	
	2	9.00	9.60	nov-12	31.0	*p	*p	*p		*p	ELE4 ok						
	3	13.70	14.30	nov-12	41.0	*p	*p	*p		*p	ELE2 p		CRw2 ok				
	4	16.70	17.30	nov-12	30.5								CRw1 ok			*ok, r	
3 Mi	1	2.00	2.60	nov-12	32.5											*ok, r	
	2	6.70	7.30	nov-12	34.0											*ok, r	
4 Mi	1	2.50	3.10	oct-12	19.0											*ok, r	
	2	7.70	8.30	oct-12	32.5											*ok, r	
5 Mi	1	3.00	3.60	oct-12	27.0											*ok, r	
	2	6.20	6.80	oct-12	31.0											*ok, r	
6 Mi	1	2.40	3.00	oct-12	23.0											*ok, r	
	2	6.70	7.30	oct-12	41.0						ELE 3 p		CRw 1 p			*ok, r	
	3	11.20	11.80	oct-12	34.0						ELE 4 p		CRw 2 p				
7 Mi	1	3.00	3.60	nov-12	10.0											*ok, r	
9 Mi	1	5.00	5.60	oct-12	13.2											*ok, r	
	2	13.00	13.60	oct-12	40.0	*ok	*ok	*ok	*p	*ok	ELE1 p		CP3 p			*ok, r	
	3	20.00	20.60	oct-12	23.5	*ok	*ok	*ok	*p	*ok	ELE2, ok		CP0 p				
	5	36.50	37.10	oct-12	40.0	*ok	*ok	*ok	*p	*ok	ELE3 ok		CP1 p				
9 Mi	6	40.00	40.60	oct-12	40.0	*ok	*ok	*ok	*p	*ok	ELE4 ok		CRw2 ok				

DONDE:

Propiedades índice:

- w_L Límite líquido
- w_p Límite plástico
- w_c Límite de contracción lineal
- w Contenido de agua
- G_s Densidad relativa de sólidos
- ok Ensaye ejecutado
- p Proceso

Equipos para ensayos:

- ELE Equipo triaxial cíclico marca ELE
- CRw Celda Rowe (consolidómetro neumático)
- CP Consolidómetro mecánico de palanca

Análisis químico:

- r Se tienen los resultados del laboratorio químico.
- I Está en el laboratorio, en análisis.

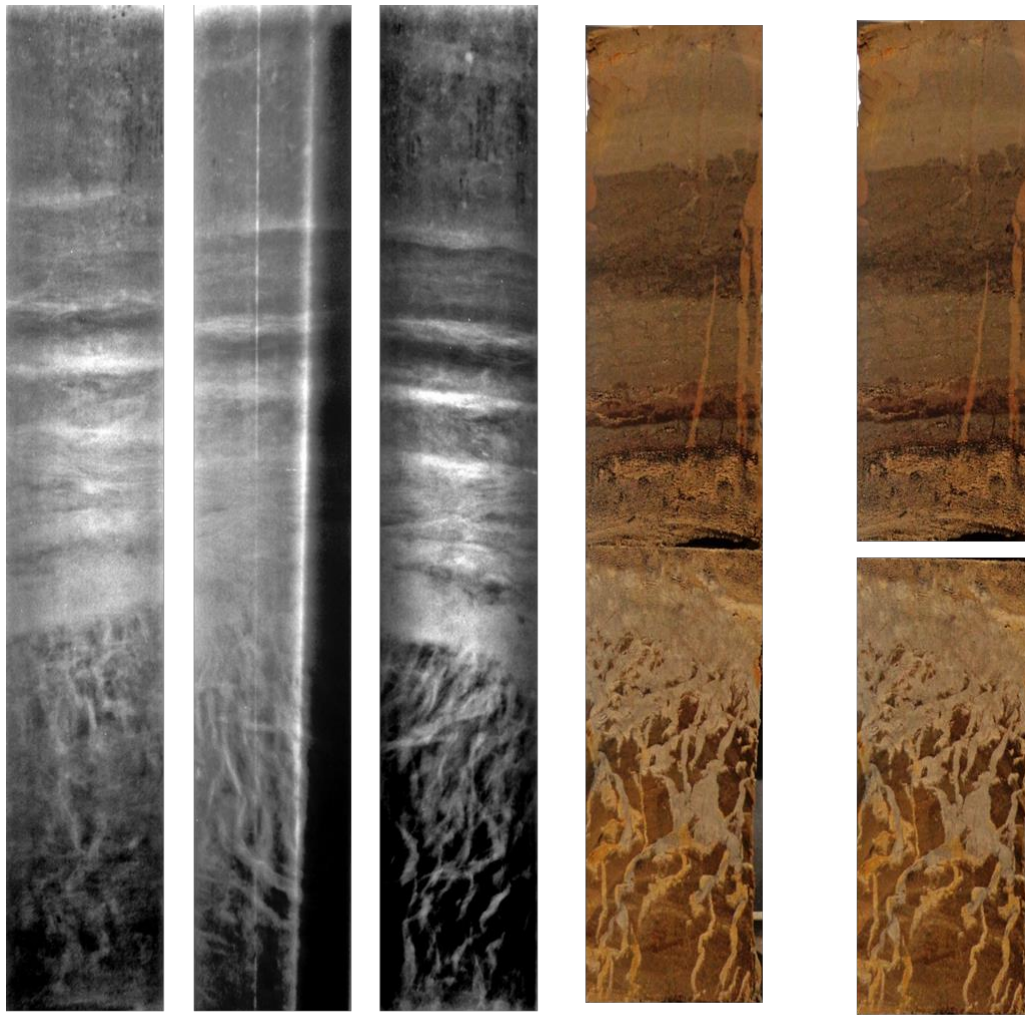
En el caso de las propiedades índice, exceptuando el contenido de agua (w), el tiempo de extracción de la probeta no afecta a los resultados obtenidos. Contrario a esto, las propiedades mecánicas sí se ven influenciadas por la variación del contenido de agua en el suelo, aunque dicha influencia no es posible cuantificarla en los resultados obtenidos

Los resultados sobre los análisis químicos del agua se muestran en el inciso 5.d.6.

5.d.2 Rayos X a muestras de suelo

Se tomaron rayos X a las muestras 2Mi-M3, 9Mi-M2 y 10Mi-M2, con el objetivo de verificar las condiciones de alteración de las misma y corroborar que está técnica es adecuada para determinar la sanidad de las muestras previo a la extracción de la misma del tubo Shelby. En la figura 5.d.1 se muestra la imagen de los rayos X de la muestra 10Mi-M2 en tres planos, girados 120° entre ellos y dos fotografías de cortes longitudinales realizados a las muestras. Se puede apreciar que en las imágenes de rayos X se identifican de forma clara las anomalías que presenta la muestra de suelo y

que reflejan los efectos de la alteración mecánica producida por operaciones de muestreo deficientes o descuidadas. De estos resultados se infiere que en futuras campañas de muestreo se deberán programar la ejecución de radiografías en una selección aleatoria de muestras. Debe señalarse que las alteraciones por muestreo se pueden minimizar empleando muestreadores seccionado de doble tubo de aluminio. No es recomendable usar muestreadores de pistón dada la gran deformabilidad de los suelos del antiguo lago de Texcoco.



a) Plano a 0° b) Plano a 120° c) Plano a 240°

Figura 5.d.1. Imágenes de rayos X. Sondeo 10Mi, muestra 2

5.d.3 Propiedades índice

De las muestras de suelo para las que se labraron probetas que se ensayaron mecánicamente, se tomaron recortes del material periférico a la muestra, con las



cuales se determinaron las propiedades índice. De estos resultados se determinó que el contenido de agua de las muestras varió entre 119 y 273%, el límite líquido entre 186 y 324% y el plástico entre 44 y 100%, con lo cual los materiales se clasifican como *CH-Arcilla de alta plasticidad* o *MH-Limo de alta plasticidad*. Los valores de relación de vacíos estuvieron entre 3.4 y 8.4, y grados de saturación entre 96 y 99%, prácticamente saturado. En la tabla 5.d.2 se muestran los resultados para cada una de las muestras ensayadas.

Tabla 5.d.2 Propiedades índice y volumétricas de los materiales ensayados

Sondeo	Muestra	Profundidad		Fecha de extracción	Longitud m	w _L %	w _p %	PI %	LI	Gs	w %	e %	Gw %	γ _m kg/m ³
		Inicial m	Final m											
2 Mi	1	3.00	3.60	nov-12	39.0	229.77	44.32	185.45	0.9117	2.89	213.4	6.267	98.788	1251
	2	9.00	9.60	nov-12	31.0	279.78	68.84	210.94	0.7329	3.02	223.43	6.712	96.352	1215
	3	13.70	14.30	nov-12	41.0	324.74	100.89	223.85	0.7233	3.15	262.8	8.311	99.601	1227
9Mi	2	13.00	13.60	oct-12	40.0	270.8	82.18	188.62	1.0117	3.06	273.01	8.469	98.64	1205
	3	20.00	20.60	oct-12	23.5	258.32	49.53	208.78	0.8178	3.04	220.28	6.779	98.888	1253
	5	36.50	37.10	oct-12	40.0	186.09	58.72	127.36	1.0863	2.83	197.08	5.643	98.793	1265
	6	40.00	40.60	oct-12	40.0	236.99	75.28	161.71	0.2746	2.79	119.69	3.478	96.26	1371

DONDE:

w_L Límite líquido

w_p Límite plástico

PI Índice de plasticidad

Gs Densidad relativa de sólidos

w Contenido de agua

e Relación de vacíos

Gw Grado de saturación

γ_m Peso específico del suelo

LI Índice de liquidez

5.d.4 Ensayes mecánicos

Para la ejecución de los ensayos mecánicos fue necesario realizar la calibración y verificación de cada uno de los sensores instalados en los equipos que se utilizaron. En cada tipo de ensaye se debe llevar un estricto procedimiento que permite garantizar la correcta ejecución de la prueba, lo cual permite validar los resultados. En seguida se describen de forma somera la calibración y procedimiento de ensaye que se llevaron a cabo.

5.d.4.1 Calibraciones

La instrumentación de cada una de las cuatro cámaras triaxiales ELE está compuesta por una celda de carga sumergible OMEGADYNE, modelo LCUW-250, con un rango de 0–250 lbs (≈ 0–125 kg); un sensor de presión DRUCK LTD modelo PDCR 810, con un rango de 7 bars (≈ 7 kg/cm²), empleado para medir la presión confinante; dos sensores de presión DRUCK LTD modelo PDCR 810, con un rango de 7 bars (≈ 7 kg/cm²), para medir la contrapresión y presión de poro de la muestra; un transductor de cambio volumétrico modelo 27-1641, con un rango de 80 cm³; y un sensor de desplazamiento tipo LVDT, modelo E1000, para monitorear el



desplazamiento axial, de ± 1 ” de carrera total (≈ 50 mm de carrera total). Las constantes de calibración de los sensores se muestran en la tabla 5.d.3.

Cada una de las dos Celdas Rowe tienen instalados tres sensores de presión modelo DCR4020, con un rango de medición de 0 a 100 psi (≈ 0 a 7.5 kg/cm²) para medir la presión axial, la contrapresión y la presión de poro, además de un sensor de desplazamiento tipo LVDT modelo PCA 116-300, de $\pm 1/3$ ” (≈ 16 mm de carrera total). Estos sensores, al igual que los instalados en los equipos triaxiales, se calibraron en el rango de operación. Los resultados se muestran en la tabla 5.d.4.

Tabla 5.d.3. Parámetros de calibración de los equipos triaxiales ELE

Sensor	Unidades de calibración	Triaxial ELE 1		Triaxial ELE 2		Triaxial ELE 3		Triaxial ELE 4	
		Pendiente <i>m</i>	Ordenada <i>b</i>	Pendiente <i>m</i>	Ordenada <i>b</i>	Pendiente <i>m</i>	Ordenada <i>b</i>	Pendiente <i>m</i>	Ordenada <i>b</i>
Carga	kg	11.2674	-0.0968	7.4754	-0.5637	15.204	-0.3088	15.2040	-0.3088
Esfuerzo de confinamiento	kg/cm ²	1.4106	0.0469	1.415	0.1186	1.3968	-0.0359	1.4355	-0.0291
Esfuerzo de contrapresión	kg/cm ²	1.4191	-0.0319	1.4099	0.0293	1.4027	0.0422	1.4395	-0.0157
Presión de poro	kg/cm ²	1.4201	0.0125	1.4266	0.0436	1.435	0.1155	1.4498	-0.0004
Cambio de volumen	cm ³	23.3537	50.0992	26.4486	44.8682	-22.6119	32.6071	-22.7520	30.7650
Desplazamiento	mm	4.0168	0.2577	3.8022	-0.0107	3.7921	0.0478	3.8348	-0.0943

Tabla 5.d.4. Parámetros de calibración de las celdas Rowe.

Sensor	Unidades de calibración	Celda Rowe 1		Celda Rowe 2	
		Pendiente <i>m</i>	Ordenada <i>b</i>	Pendiente <i>m</i>	Ordenada <i>b</i>
Esfuerzo axial	kg/cm ²	0.9429	-0.0034	0.6986	-0.0056
Esfuerzo de contrapresión	kg/cm ²	0.9359	-0.0052	0.8309	-0.006
Presión de poro	kg/cm ²	0.9425	-0.0039	0.6987	-0.0023
Desplazamiento	mm	0.7768	0.0991	0.8241	0.3793

5.d.4.2 Procedimiento de ensaye

Enseguida se describe de forma general el procedimiento de ensaye de las pruebas triaxiales y de consolidación.

5.d.4.2.1 Cámara triaxial ELE

La cámara triaxial ELE permite realizar ensayos estáticos y dinámicos a desplazamiento o esfuerzo controlado en especímenes de 8.5 y 3.5 cm de altura y diámetro, respectivamente. El sistema se encuentra automatizado para ejecutar

ensayos tipo compresión no confinada (UC), no consolidada no drenada (UU), consolidada no drenada (CU) y consolidada drenada (CD). En la figura 5.d.2 se muestra una fotografía del sistema.

El procedimiento de los ensayos en especímenes de suelo con la cámara triaxial ELE se resumen en cuatro etapas generales: *montaje*, *saturación*, *consolidación isotrópica* y *falla del espécimen*.

Previamente identificada la muestra, se extrae del tubo en el que se aloja, se labra un espécimen de suelo de 8.5 cm de altura y 3.5 cm de diámetro, se registran las dimensiones iniciales del espécimen resultante y se toman testigos (de los recortes cercanos a la probeta que se labra) para determinar el contenido de agua inicial de la probeta. Al espécimen se le colocan filtros de papel en las caras superior e inferior, además de uno perimetral en forma de rejilla, con el objetivo de facilitar la saturación con agua de la muestra.

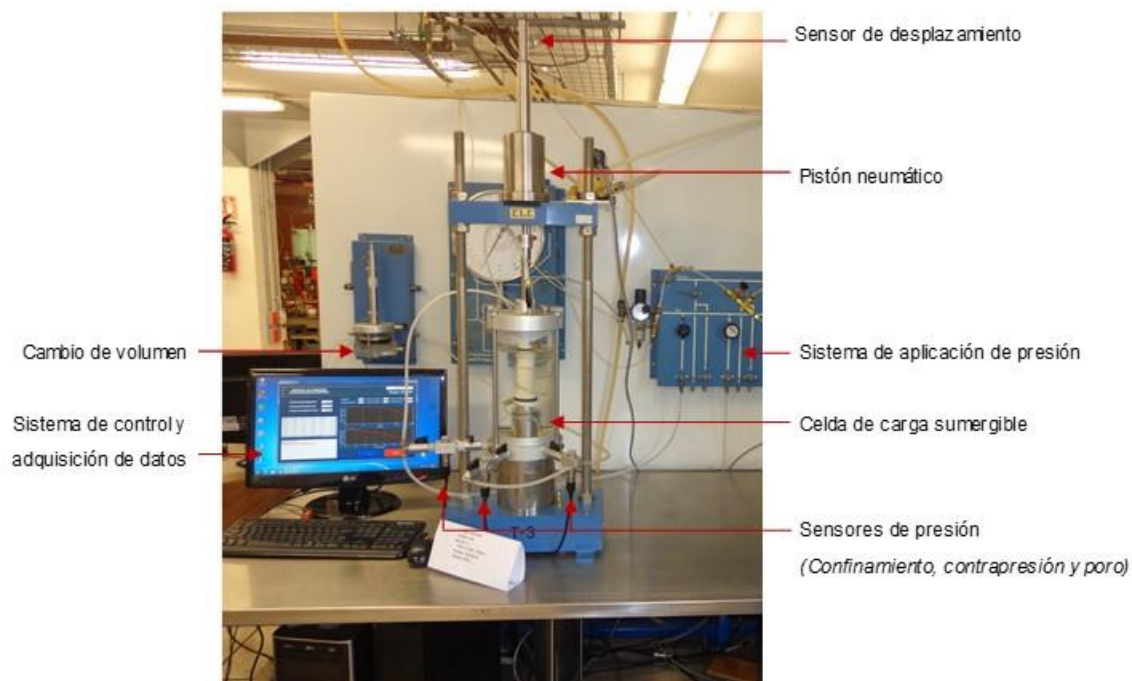


Figura 5.d.2. Cámara triaxial ELE.

Para realizar el **montaje**, previamente se saturan las líneas de drenaje de la cámara triaxial para garantizar que no tenga burbujas de aire atrapadas. Se coloca el espécimen de suelo en el pedestal, se colocan el cabezal y una membrana de látex, que funciona como interfaz entre la probeta y el elemento confinante (agua en estos ensayos). Se verifican las condiciones iniciales de todos y cada uno de los sensores.



Una vez montada la probeta de suelo en la cámara triaxial estática, se inicia la etapa de **saturación** por contrapresión, aplicando incrementos de presión confinante y contrapresión, de tal forma que el esfuerzo efectivo aplicado a la probeta sea de 10 kPa ($\approx 0.10 \text{ kg/cm}^2$) en todos los incrementos, permitiendo que entre agua al espécimen para que sature los vacíos ocupados por aire.

Ya saturado el espécimen se mide la **B de Skempton**, aplicando un incremento de esfuerzo de confinamiento ($\Delta\sigma_3$), sin permitir el drenaje y se registra el incremento en la presión de poro (Δu). La B de Skempton se obtiene con la relación de incremento de presión de poro entre el de confinamiento (Ec. 5.d.1). Cuando $B \geq 0.96$ se considera que la probeta de suelo está saturada.

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_3} \quad (5.d.1)$$

donde:

Δu – Incremento de la presión de poro medido en el espécimen de suelo al incrementar la presión confinante.

$\Delta\sigma_3$ – Incremento de presión confinante.

Ya saturado el espécimen se inicia la etapa de **consolidación** que consiste en aplicar, por etapas, incrementos de esfuerzo efectivo de consolidación. En cada incremento de esfuerzo efectivo se mide el cambio volumétrico que experimenta la probeta con el tiempo, el cual al graficarlo se obtiene una curva de consolidación. Una vez que el suelo alcanza el 100% de consolidación primaria definido con el criterio de Casagrande y/o de Taylor, se aplica el siguiente incremento de esfuerzo. Este procedimiento se repite hasta obtener en la curva de compresibilidad en la que se defina de forma clara la rama virgen.

Durante la etapa de falla se aplica un esfuerzo desviador al espécimen de suelo, con una velocidad de deformación de 0.0417 mm/min, hasta alcanzar la resistencia residual de la probeta. En esta etapa no se permite el drenaje y en su lugar se mide el incremento en la presión de poro (ensaye tipo CU).

5.d.4.2.2 Celda Rowe

El procedimiento general consta de las etapas de *montaje, saturación y consolidación del espécimen con carga incremental*.

Previo al montaje se alivian la presión existente en los conductos y se saturan los drenes. Se labra un espécimen de suelo con 7.5 cm de diámetro por 3 cm de espesor y se **monta** en la cámara, se coloca la piedra porosa en la cara superior y la placa de acrílico para transmitir los esfuerzos axiales, se coloca la tapa de la cámara con la membrana vulcanizada y se sella la cámara, de tal forma que la muestra queda en condiciones adecuadas para el inicio de la etapa de saturación por contrapresión. En

la figura 5.d.3 se muestra el esquema de la celda, indicando la posición de la probeta de suelo y los sensores.

La **saturación** por contrapresión se realiza aplicando incrementos de presión axial y contrapresión, manteniendo un esfuerzo efectivo de 0.05 a 0.10 kg/cm², con el objetivo de que el agua llene la mayor cantidad de espacios ocupados por aire.

Al igual que se describió para los ensayos triaxiales, al espécimen saturado se le determina la **B de Skempton** , aplicando un incremento de esfuerzo axial ($\Delta\sigma_3$), sin permitir el drenaje y se registra el incremento en la presión de poro (Δu). La B de Skempton se obtiene como la relación del incremento de presión de poro y el confinamiento (Ec. 5.d.1). Cuando $B \geq 0.96$ se considera que la probeta de suelo está saturada

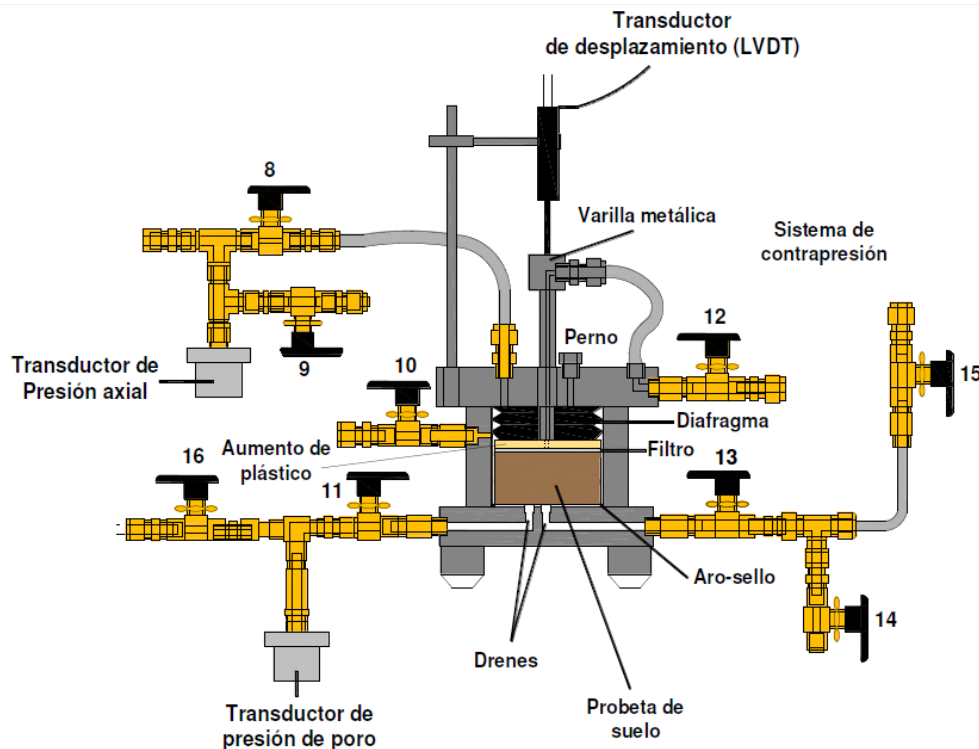


Figura 5.d.3. Esquema de la Celda Rowe.

En la etapa de **consolidación** se aplica cada uno de los incrementos y decrementos de esfuerzo efectivo previamente diseñado por el usuario. En cada incremento de esfuerzo se registra la deformación axial a diferentes tiempos predefinidos, hasta alcanzar la consolidación primaria o en un tiempo mínimo de 24 hrs. En la figura 5.d.4 se muestra una curva de consolidación experimental.

Con los valores de deformación axial de cada uno de los incrementos se construye la curva de compresibilidad (relación de vacíos vs. el logaritmo del esfuerzo efectivo). De la curva de compresibilidad se determina el esfuerzo de preconsolidación (esfuerzo efectivo máximo al que ha estado sometido el suelo en su vida geológica) y el índice de compresión (pendiente de la rama virgen, en escala semilogarítmica). En la figura 5.d.5 se muestra una curva de compresibilidad, identificando el *esfuerzo de preconsolidación* y la determinación del *índice de compresión*.

Con los resultados obtenidos en esta investigación y los reportados por otros autores indicados en la figura 5.d.6 para las arcillas lacustres del valle de México (de los ensayos reportados en la figura, más de la mitad corresponden al ex lago de Texcoco) se obtuvo la variación del índice de compresión, C_c , con la relación de vacíos, e , como se muestra en la figura 5.d.6. Se aprecia que conforme se incrementa la relación de vacíos el valor de C_c se incrementa, con una variación prácticamente lineal. Para valores de e cercanos a 2, el valor de C_c es de 1 y para e de 14, C_c está alrededor de 10.

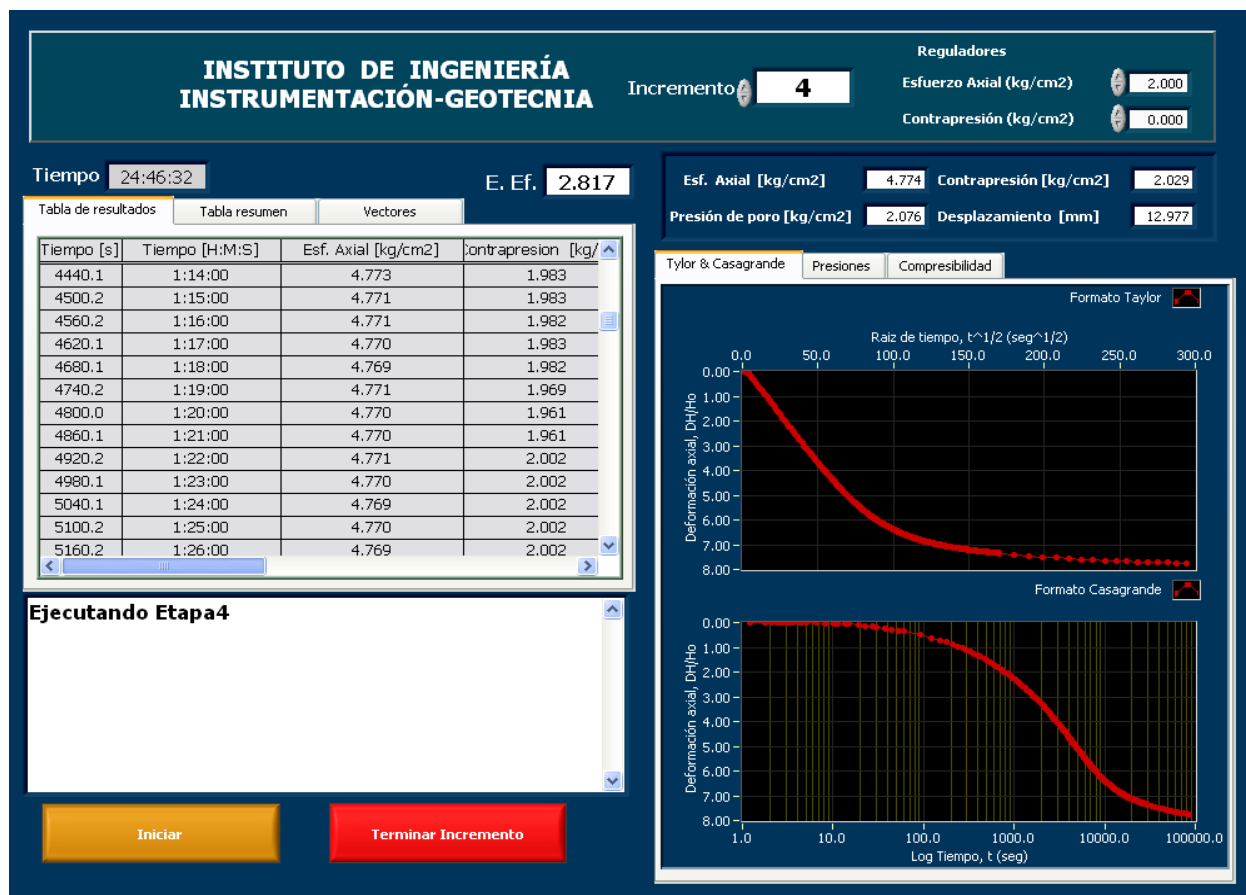
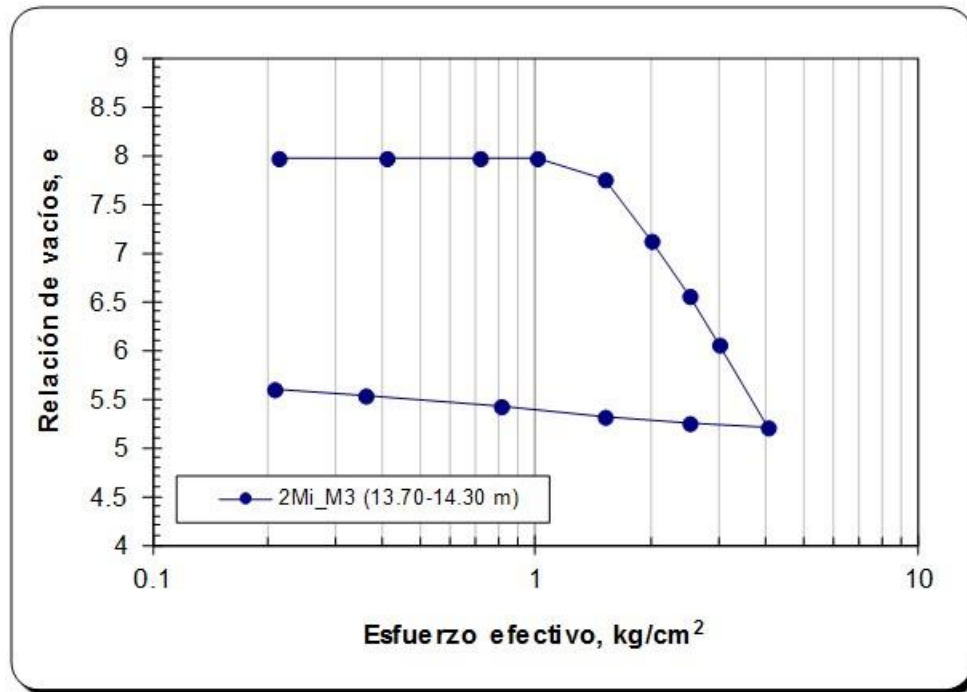


Figura 5.d.4. Curva de consolidación unidimensional. Formato Taylor (*superior*) y Casagrande (*Inferior*). Imagen tomada del programa de operación.



a) *Curva de compresibilidad*

Figura 5.d.5. Curva de compresibilidad. Sondeo 2Mi, muestra M3 (13.70-14.30 m).

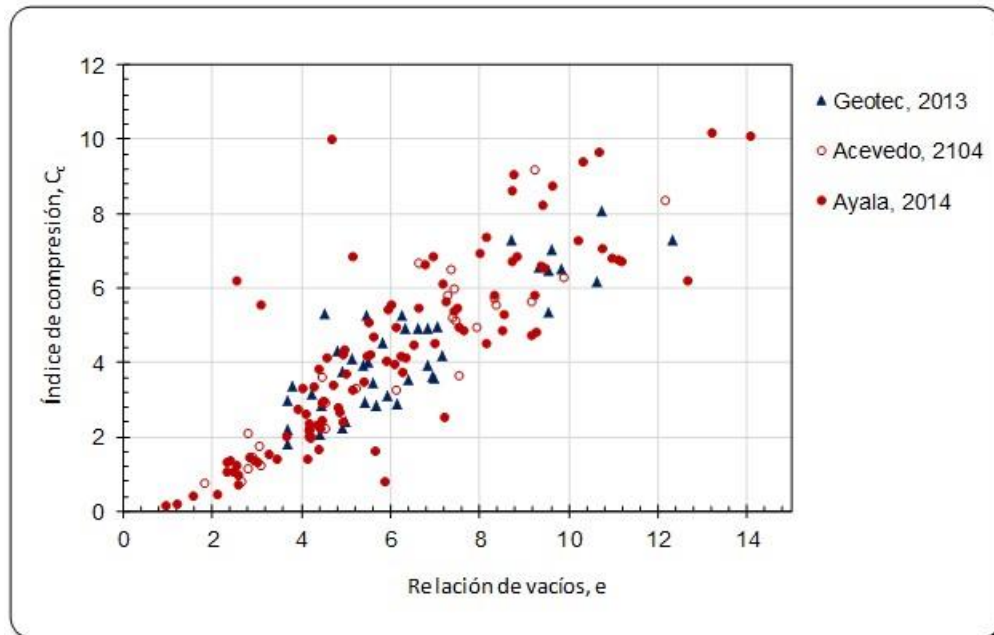
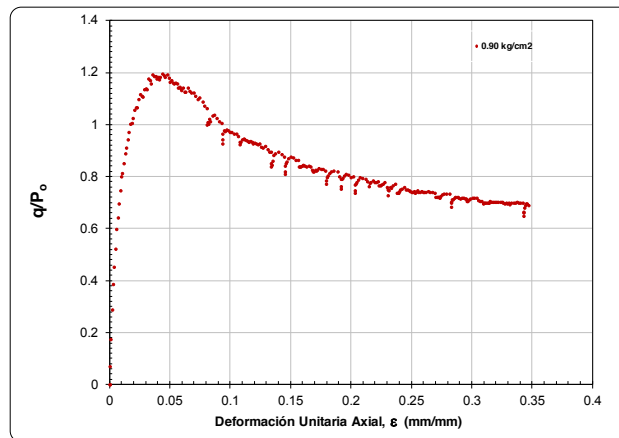


Figura 5.d.6. Variación de índice de compresión con la relación de vacíos.

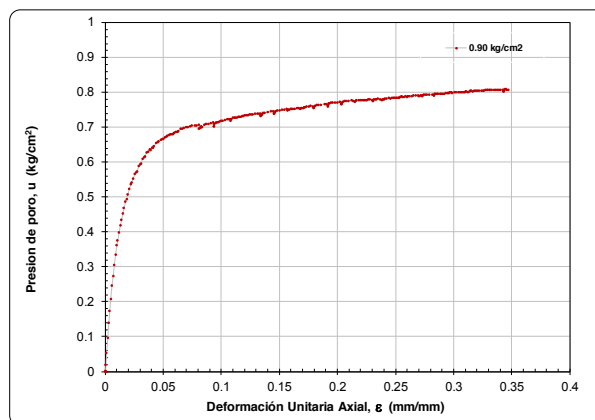
5.d.5 Ensayes triaxiales estáticos tipo CU

De los ensayos realizados con el procedimiento descrito en el inciso 5.d.3.2, en la etapa de falla se obtienen los valores de tiempo, deformación y carga axial y con éstos se calcula y grafica el esfuerzo desviador y la presión de poro vs. la deformación unitaria axial (curvas q vs. ε y u vs. ε , respectivamente) y la curva esfuerzo desviador vs. esfuerzo octaédrico (curva p' vs. q). En la figura 5.d.7 se presentan los resultados de uno de los ensayos realizados.

De los tres ensayos concluidos se puede ver que los ángulos de fricción en términos de esfuerzos efectivos oscilan entre 24 y 43°. Los valores del módulo de elasticidad secante al 50% del esfuerzo desviador máximo oscilan entre 38 y 94 kg/cm². Al normalizar el esfuerzo desviador máximo y la presión de poro respecto al esfuerzo efectivo de consolidación se tiene que éstos alcanzan valores entre 0.67 y 1.2 para el esfuerzo y de 0.79 y 0.90 para la presión de poro. En la Tabla 5.d.5 se muestran los valores obtenidos por ensaye.



a) Esfuerzo desviador



b) Presión de poro

Figura 5.d.7. Etapa de falla del ensaye triaxial estático tipo CU. Sondeo 2Mi, muestra M1 (3.00-3.60 m).



Tabla 5.d.5. Parámetros mecánicos obtenidos de los ensayos triaxiales.

Sondeo	Muestra	Profundidad		M	ϕ' grados	E_{50} kg/cm ²	$q_{m\acute{a}x}/P_o$	$u_{m\acute{a}x}/P_o$
		Inicial m	Final m					
2 Mi	1	3.00	3.60	1.78	43.30	94.87	1.20	0.90
	2	9.00	9.60	1.22	30.51	48.66	0.73	0.78
9Mi	3	20.00	20.60	0.97	24.70	38.69	0.67	0.79

DONDE:

- M** Pendiente de la línea M de la curva p' vs q
 ϕ' Ángulo de fricción (efectivo)
 E_{50} Módulo de elasticidad secante al 50% de $q_{m\acute{a}x}$
 $q_{m\acute{a}x}$ Esfuerzo desviador máximo
 $u_{m\acute{a}x}$ Presión de poro máxima
 P_o Esfuerzo efectivo de consolidación

En la figura 5.d.8 se muestran las curvas de compresibilidad obtenidas en la etapa de consolidación por incrementos. Se puede ver que las tres probetas tienen valores de relación de vacíos inicial muy semejantes, entre 6 y 7. Se consolidaron a valores diferentes debido a la diferencia de profundidades. Para normalizar el comportamiento de las muestras 2Mi-M2 y 9Mi-M3 se utilizó la presión máxima de consolidación y como se observa en la figura 5.d.9, las trayectorias normalizadas de ambas muestras son muy parecidas. En el caso de la muestra 2Mi-M1 el estado del material después de aplicar el esfuerzo de consolidación no llegó al tramo virgen de la curva, es decir, la muestra quedó preconsolidada después de su etapa de consolidación. Por esta razón el factor de normalización fue la presión equivalente, p'_e , definida por Hvorslev, según lo describe Wood (Wood, D. M., 1990). En el caso de los materiales normalmente consolidados $p'_e = p'_o$. Estos resultados sugieren que el comportamiento de estas arcillas puede interpretarse utilizando el marco de referencia de la Teoría del Estado Crítico lo que implica, a su vez, que el enfoque SHANSEP también pudiera ser aplicable. No obstante, esta aseveración deberá corroborarse posteriormente conforme se disponga de más resultados experimentales.

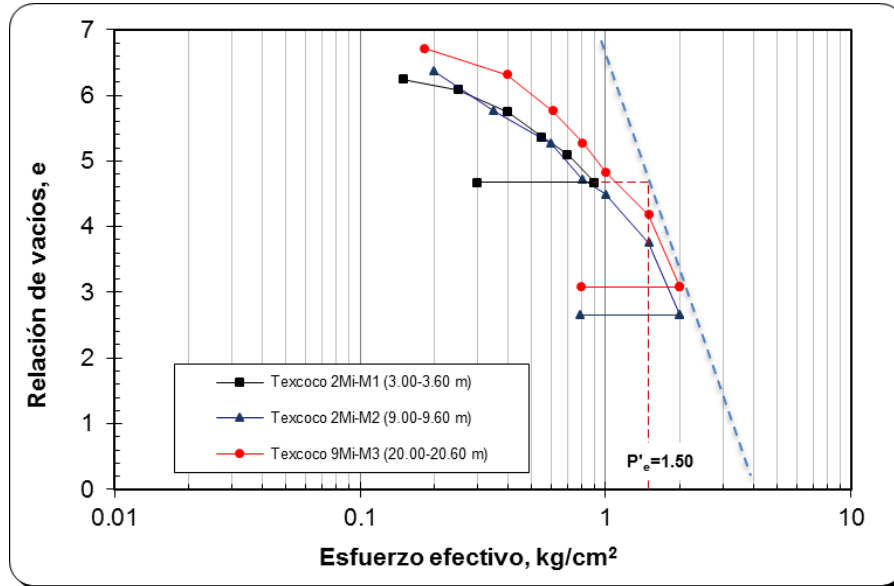


Figura 5.d.8. Curvas de compresibilidad.

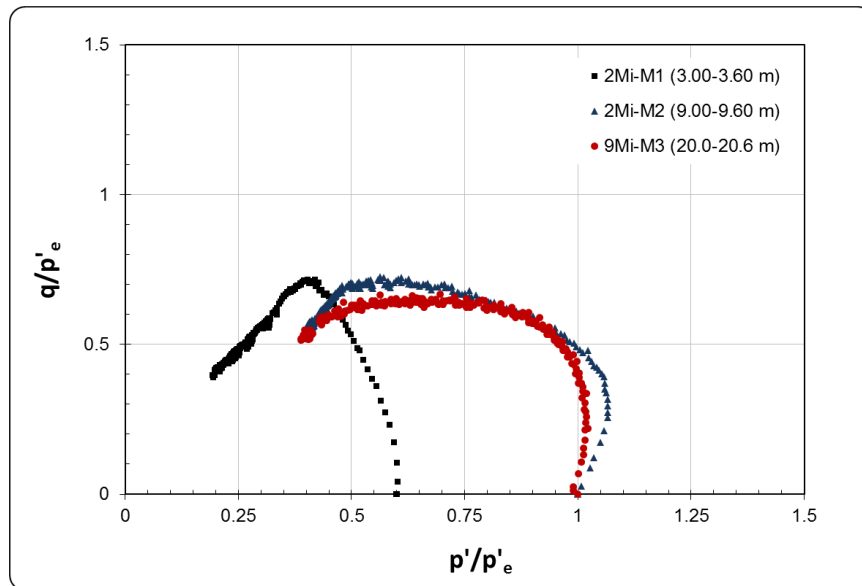


Figura 5.d.9. Trayectorias de esfuerzos.

5.d.6 Análisis químico del agua

Como se indica en la tabla 5.d.1, 15 probetas se montaron en una cámara de acrílico y se sometieron a presión confinante para extraer el agua intersticial. En la figura 5.d.10 se presenta una muestra de suelo montada en la cámara y el agua recolectada en un recipiente. El volumen que se extrajo de cada muestra oscila entre 250 y 400 ml, el cual es suficiente para realizar los análisis químicos. El agua recolectada se envió a un

laboratorio de análisis químicos y se obtuvo de cada muestra las concentraciones (miligramos por litro, mg/L) de calcio, cloruros, magnesio, potasio, silicio, sodio, sulfatos y el valor de Ph (acidez), respecto al volumen total analizado. Los parámetros con valores más altos fueron los cloruros y el sodio, y le siguieron el potasio y los sulfatos, mientras que el resto de los componentes presentan concentraciones muy pequeñas.

En las figuras 5.d.11 y 5.d.12 se muestran de forma esquemática las relaciones, respecto al total de agua analizada por muestra, de los diferentes componentes identificados. En éstas se aprecia la predominancia de los cloruros y el sodio en el agua.

Respecto a la alcalinidad del agua, se puede ver que ésta es de tipo básico, con valores de Ph que oscilan entre 10 y 11.

En el informe presentado a ASA por Mendoza, C. J. (2013) se hace un análisis más completo de estos resultados, relacionándolos con el deterioro del concreto al contacto con el agua intersticial.



Figura 5.d.10. Probeta de suelo en la etapa de extracción de agua intersticial.

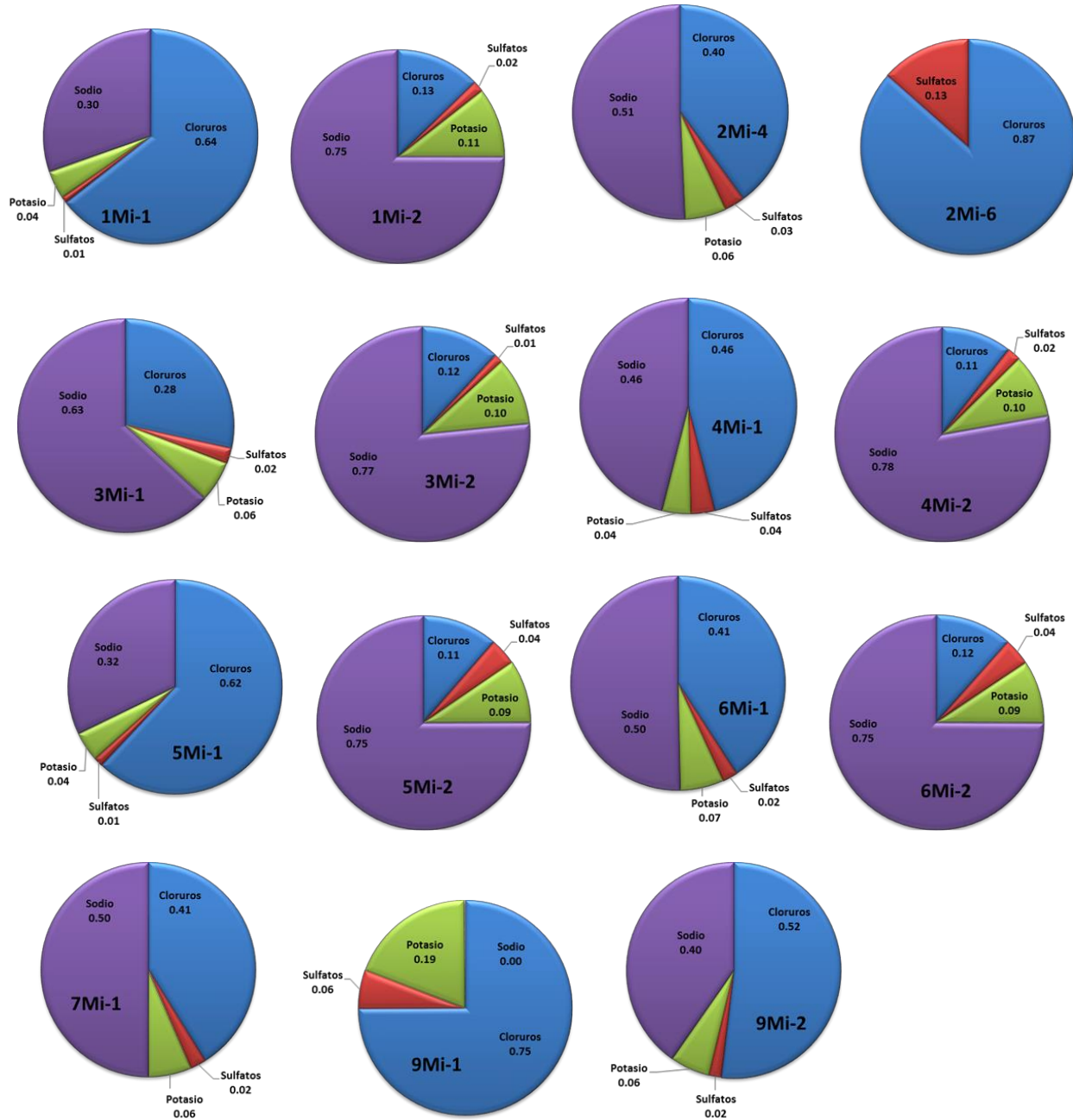
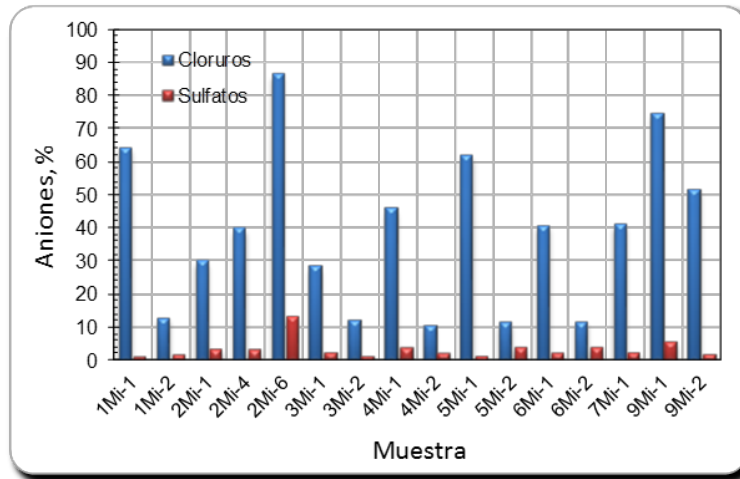
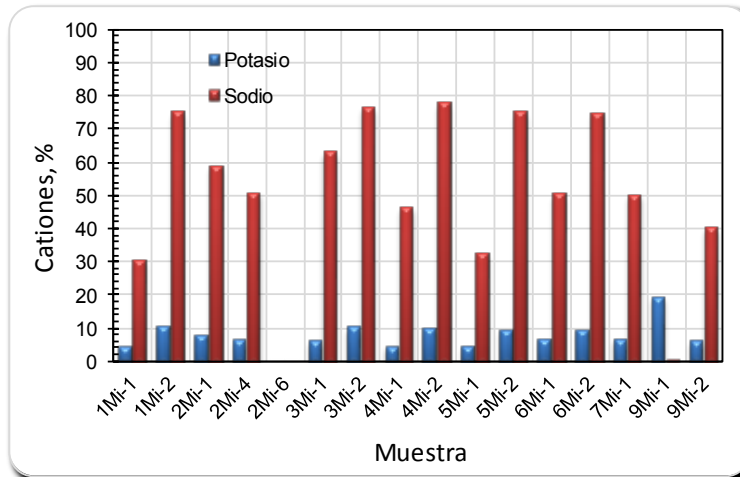


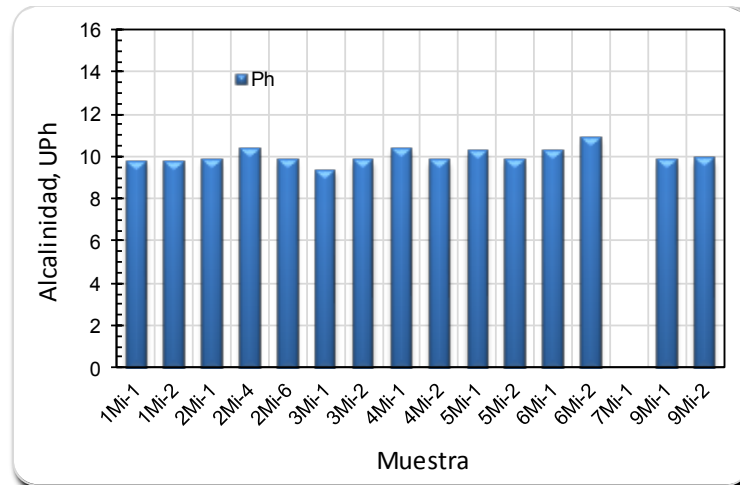
Figura 5.d.11. Resultados de los análisis químicos. Valores respecto al volumen analizado.



a) Aniones. Porcentajes respecto al volumen analizado.



b) Cationes. Porcentajes respecto al volumen analizado.



c) Alcalinidad

Figura 5.d.12. Resultados del análisis químico del agua intersticial.



5.d.7 Referencias

Mendoza C. J, Flores O. y Aire C. (2013). “Estudio de salinidad”. (Convenio de Colaboración No. ASA-UNAM-13-001, IISGCONV-091-2013). Elaborado para Aeropuertos y Servicios Auxiliares, ASA.