

# Estimación de la succión total en arcilla expansiva

Alejandro García-Elías, Armando Aguilar Melendez, Alejandro Córdova-Ceballos, José L. Sánchez-Amador, Amelia Campos Ríos, Hector H. Zamora-Cruz y Jorge Azuara-García

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad Veracruzana

Poza Rica, Veracruz, México

[alejagarcia, armaguilar, acordova, jossanchez, amcampos]@uv.mx, zS12004229@estudiantes.uv.mx, Jorge\_AzuaraGar@hotmail.com

**Abstract**— In the present investigation, the results of the study of the total suction in the expansive clays of the southeast zone of Poza Rica de Hidalgo, Veracruz, are shown. The suction is a variable that affects soil stiffness and deformations, in accordance to the investigations conducted by different authors. The procedure described in ASTM D5298-10 was followed, to obtain this parameter, carrying out 10 tests, in which an average result of 2520,848 KPa was obtained. It was concluded that the influence of the suction was high as mentioned by Queen and Miller.

**Keyword**— *Suction, expansive clay*

**Resumen**— En la presente investigación, se muestra resultados del estudio de la succión total en las arcillas expansivas, de la zona sureste de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz., variable que de acuerdo a lo señalado por varios autores, mencionados en este documento, afecta la rigidez y las deformaciones del suelo. Para la obtención de este parámetro se siguió el procedimiento descrito en la norma ASTM D5298-10, realizando 10 ensayos, en los cuales se obtuvo un resultado promedio de 2520.848 KPa. Concluyéndose que la influencia de la succión es alta, de acuerdo a la clasificación de los autores Queen y Miller.

**Palabras claves**— *Succión, arcilla expansiva*

## I. INTRODUCCIÓN

En la Ciudad de Poza Rica de Hidalgo Veracruz, predominan los suelos arcillosos que generan grandes problemas a las construcciones, y se carece de una caracterización completa de estos suelos, sobre todo de la influencia de la succión en este tipo de arcillas, y no hay referencias para diseñar estructuras considerando este parámetro. Generalmente en las estructuras de la ciudad se observa daños como lo son:

- Asentamientos de estructuras
- Fracturas en viviendas de interés social
- Grietas en pisos y banquetas

Estudios de Alonso y Yong afirman que este parámetro tiene una influencia directa en el incremento de la rigidez y grado de sobreconsolidación y deformaciones permanentes (como menciona Barrera, 2002, p. 26) [1].

Por otra parte se sabe que el grado de saturación de un suelo está directamente relacionado con la succión, ya que esta es una variable independiente de los esfuerzos que influye en la resistencia de los suelos no saturados. La reducción de la resistencia que experimentan los suelos se debe al decremento de los esfuerzos de succión, que se presentan en el momento de la infiltración del agua.

De acuerdo a Gallegos (2012) [2], la presencia de lluvias de mayor intensidad y tiempo de duración, así como sequías más prolongadas, provocadas por el cambio climático, los drenajes deficientes en las

construcciones y la presencia de mantos freáticos, favorecen los cambios súbitos en el grado de saturación del suelo.

Por otra parte, la región revisada representa una de las reservas territoriales del municipio, la cual seguramente será utilizada para dar respuesta a las necesidades de vivienda y todos los servicios que por esto requiera, por estos hechos es necesario realizar investigaciones para que en un futuro las estructuras de la zona se diseñen con la valoración de más parámetros que garanticen la seguridad de las construcciones y además que sean más económicas. Luego entonces se presenta un estudio de las arcillas expansivas en la zona sureste de la ciudad de Poza Rica, Ver. con la finalidad de medir la succión y calcular en qué condiciones se encuentra en la zona.

#### A. Zona de estudio

Como se señaló anteriormente, las muestras fueron extraídas de la zona sureste (Figura 1), específicamente de un predio en la Carretera Poza Rica-Papantla s/n, Colonia "Guadalupe Victoria" Mpio. de Poza Rica De Hidalgo, Ver. (Figura 2).



Figura 1. Región de estudio en la Cd. de Poza Rica Ver.



Figura 2. Lugar de extracción de muestra de suelo

## II. MARCO TEÓRICO

Los minerales arcillosos provienen de la meteorización química de las rocas y de su composición, que es muy variable. Dependen tanto de las rocas de las que proceden como también de las condiciones climáticas en la que se produjo la meteorización.

La expansibilidad de una arcilla depende de la capacidad con que puede intercambiar cationes entre el agua. Esta capacidad depende de la estructura química de la arcilla, es decir de los elementos que la constituyen. Las montmorilonitas presentan un alto nivel de expansibilidad, sobre todo en aquellas que contiene Sodio (Na) y Litio (Li) en su composición [3].

Los suelos de este tipo presentan graves problemas a la hora de edificar sobre ellos, uno de los principales son: las variaciones de volúmenes como consecuencia de la presencia de humedad. Estas variaciones se presentan antes del nivel freático. La principal variable a considerar para contemplar las variaciones de volumen es la succión.

En cuanto mayor sea la succión en un suelo mayor serán las deformaciones que estén presentes. De esta manera las estructuras ancladas sobre él también serán afectadas en función de la succión.

Al presentarse carga en una arcilla saturada o parcialmente saturada se presentan deformaciones que pueden ser un aumento de volumen que se conoce como expansión (deformación positiva), el fenómeno es simple, hay un aumento en el índice de poros ante el brusco aumento de humedad. El otro fenómeno es el colapso (deformación negativa), siendo la inversa del hinchamiento, hay una disminución en el índice de poros ante el brusco aumento de humedad [4].

Continuando con el concepto de succión, este fue desarrollado en la física del suelo a principios de los años 1900s, relacionado con el sistema agua-suelo-plantas [5].

Victoria Elena Meza Ochoa, pone especial énfasis en este concepto, de ahí que cite en su texto *Suelos parcialmente saturados, de la investigación a la cátedra universitaria* (2012. pp. 6-7) [6] que:

Según Croney, D. y Coleman en su estudio del comportamiento mecánico del suelo parcialmente saturado, el concepto de succión fue introducido en Inglaterra en los años 50s .

Para un uso más práctico en la ingeniería, puede decirse que la succión es un estado de presión negativa en el agua del suelo, el cual depende de varios factores:

- Clima
- Tipo de suelo
- Tipo y densidad de vegetación
- Posición del nivel freático

En la actualidad se conocen la succión total, mátrica y osmótica, misma que a continuación se describen:

1. Lee y Wray afirman que la succión total es la cantidad de energía relacionada con la capacidad del suelo para contener agua, por otra parte Ridley afirma que es la energía necesaria para quitar una molécula de agua del suelo a través de la evaporación. Para remover el agua de un suelo, la energía utilizada tiene dos componentes, la primera está relacionada al efecto capilar y recibe el nombre de succión matricial ( $\psi_m$ ) y la segunda, producto de la presencia de sales diluidas en el agua, conocida como succión osmótica  $\pi$ .
2. La succión matricial ( $\psi_m$ ) se define como la diferencia que existe entre la presión del agua y la presión que existe en los poros:

$$\psi_m = U_a - U_w \quad (1)$$

$$\psi_m = U_a - U_w \quad (2)$$

Dónde:

$\psi_m$  = es la succión mátrica,

$U_w$  = es la presión del agua en los poros, y

$U_a$  = es la presión del aire en los poros.

3. Las sales contenidas en el agua disminuye la presión del vapor presente arriba de la interface agua-aire, lo que provoca que sea necesaria más energía para liberar una molécula de agua. la cantidad de energía extra demandada es la succión osmótica ( $\pi$ ).

A. Metodo de papel filtro

Para realizar la presente prueba se recurrió a la norma ASTM TERNATIONAL D5298-10 “Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper1

Este método de ensayo establece el procedimiento para determinar la succión mátrica (matriz) y potencial total, de muestras inalteradas de suelo, utilizando los papeles de filtro de laboratorio como sensores pasivos. El término potencial o succión describe el estado de energía del agua del suelo, (presión negativa) que ejerce el agua de los poros de un suelo parcialmente saturado.

El método controla las variables para la medición del contenido de agua del papel filtro que está en contacto con el suelo o en equilibrio con la presión parcial de vapor de agua en el aire del contenedor hermético, en el que se guarda la muestra de suelo. El papel filtro es guardado con la muestra de suelo en el recipiente hermético hasta que se establezca la humedad de equilibrio; esta se refiere a aquella en la que la presión del vapor de agua en el aire equilibra la presión del agua de los poros en la muestra de suelo.

Este método de papel filtro además, provee el procedimiento de calibración de los diferentes tipos de papel filtro usado en la evaluación de la succión mátrica y del potencial total.

En el caso de las curvas de calibración típicas para los papeles del filtro (por ejemplo Whatman No.42, Schleicher y Schuell No.589), se muestran en la Figura 3. Estas curvas constan de dos partes, el segmento superior representa la humedad retenida de una película adsorbida de la superficie de las partículas, mientras el segmento más bajo representa la humedad retenida por capilaridad. El punto de inflexión es  $w_f= 45.3\%$  para el papel de filtro Whatman No.42, y  $w_f= 54\%$  para el papel de filtro Schleicher y Schuell No. 589.

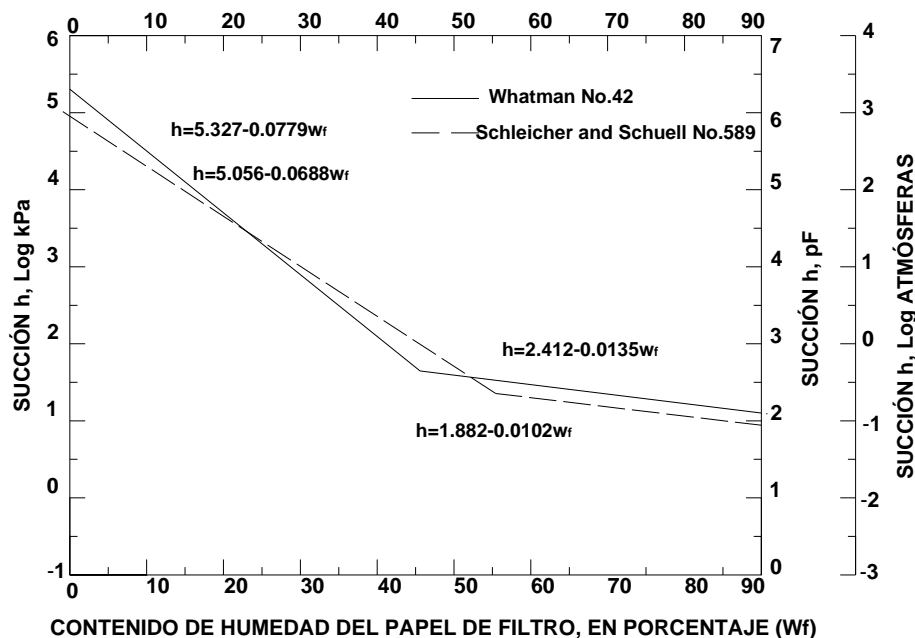


Figura 3. Curvas de calibración del papel filtro, ASTM D5298-10.

Por otra parte las curvas de calibración mostradas en la Figura 3. son aplicables a la succión total. La variabilidad en los resultados es de menos del 2% sobre 100 kPa .En suelos con succión de más de 20

kPa , la perturbación de la muestra tiene mínima influencia sobre el resultado final. En suelos con succión de menos de 20 kPa, la perturbación de la muestra aumenta la variabilidad de los resultados.

Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

#### Procedimiento:

- Se secan en el horno los papeles filtro seleccionados para las pruebas al menos 16 horas o por lo menos toda la noche, luego se colocan en el desecador hasta su uso.
- Medición de la succión – El procedimiento de ensayo básicamente es el mismo, tanto para medir la succión total como la succión mátrica, la diferencia radica en donde se colocará el papel de filtro. Si el papel de filtro no está en contacto con la muestra se medirá la succión total, la transferencia de humedad se limitará al traslado del vapor a través del aire dentro del recipiente de ensayo. Si el papel de filtro está en contacto físico con la muestra se medirá la succión mátrica, este contacto físico permite la transferencia de fluidos, incluyendo las sales disueltas.
- Colocación del papel filtro – Se coloca la muestra de suelo intacta o en fragmentos de muestra de suelo, de 200 a 400 g de masa, en el recipiente de ensayo. La muestra de suelo deberá casi llenar el recipiente de ensayo para reducir el tiempo de equilibrio y para minimizar los cambios de succión en el espécimen.
  - Medición de la succión total – Se removerán del desecador dos papeles de filtro e inmediatamente se colocarán sobre la muestra, pero con el cuidado especial de separarlos de ésta con una base o separador de alambre, O-rings, o cualquier otro dispositivo con la mínima superficie entre los papeles de filtro y el suelo, de tal manera que los papeles de filtro no queden en contacto con la muestra, tal como se indica en la Figura 4. El borde del papel de filtro se podrá doblar para facilitar la extracción posterior con las pinzas.

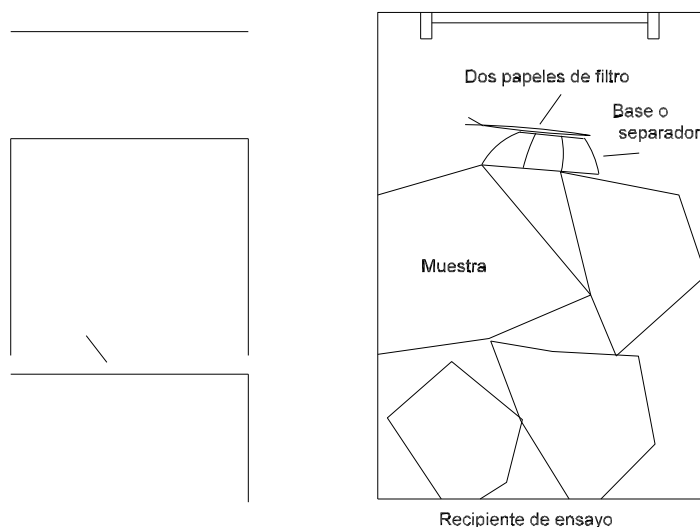


Figura 4. Montaje del ensayo para determinar la succión total. ASTM D5298-10

- Medición de la succión mátrica – Se removerán del desecador tres papeles de filtro e inmediatamente se colocarán en contacto físico con la muestra de suelo, tal como se

indica en la Figura 5. Los papeles de filtro exteriores, del conjunto de éstos, previenen la contaminación del papel de filtro del centro usado para el análisis de la succión mátrica. El papel de filtro central deberá poseer un diámetro entre 3 y 4 mm menor que los exteriores, recortándolo con una tijera u otro método, para garantizar la protección, evitar el contacto directo con el suelo y la contaminación de éste.

○

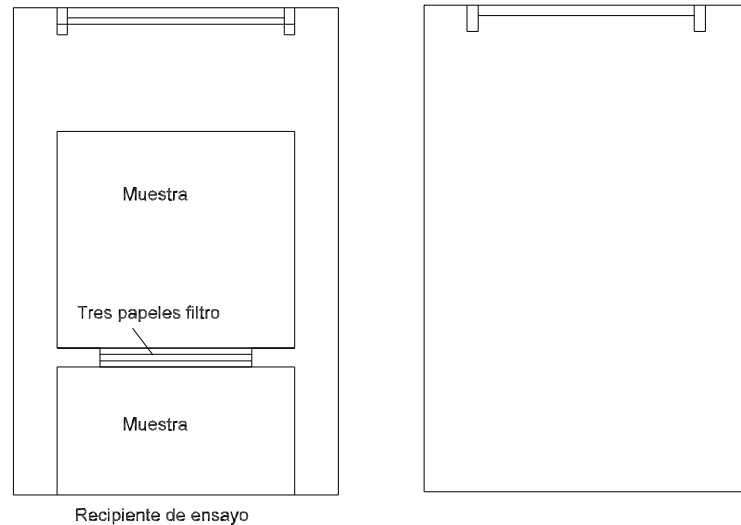


Figura 5. Montaje del ensayo para determinar la succión mátrica, ASTM D5298-10

- Equilibrar la succión – Se colocará el recipiente de ensayo sellado. Para garantizar la hermeticidad total, se colocará en la tapa del recipiente del ensayo cinta adhesiva flexible eléctrica o cualquier otra que sea impermeable, en un sitio donde la variación de la temperatura sea menor de 3° C. Una temperatura típica nominal es de 20° C. Se deberán mantener constantes las condiciones de temperatura, por un lapso de 7 días, para permitir el equilibrio entre el suelo, el papel de filtro y el aire.
- Se deberá determinar la masa de los recipientes para el papel del filtro, inmediatamente antes de sacar el recipiente de ensayo de la caja aislante. La masa se determina con precisión de 0.0001 g y se le llamará la tara fría (Tc).
- Al fin del período necesario para equilibrar, se deberá poner cada uno de los dos papeles de filtro, en el caso que se pretenda la determinación de la succión total o el papel de filtro del centro de la pila de tres, en el caso de la determinación de la succión mátrica, en los recipientes para el papel de filtro, previamente pesados, debiéndose manipular los papeles filtro con unas pinzas. Se deberá sellar o tapar todos los recipientes tan rápidamente como sea posible cada vez que se realice la operación de obtener un papel de filtro para asegurar que el aire del ambiente no altera la condición de humedad de éstos ni de la muestra. El proceso completo se debe completar en un tiempo de 3 a 5 segundos. El éxito del ensayo radica en minimizar la pérdida de agua durante la manipulación del papel de filtro. Observaciones han detectado una variación de masa de agua del 5% o más, debido a la evaporación, durante un período de exposición de 5 a 10 segundos del papel de filtro en un ambiente con humedad relativa de 30 a 50%.

- Alternativa de recipiente de metal – Se coloca la tapa, sin apretar, en el recipiente de metal (no entreabierto). Se debe tener el cuidado de sellar el recipiente de metal después de cada traslado, es decir, se debe tomar el papel del filtro del recipiente de la muestra y colocar el filtro en el recipiente de metal de masa predeterminada, entonces se sella el recipiente y se repite el procedimiento para el segundo papel filtro. Se deben sellar los recipientes tan rápidamente como sea posible para asegurar que el aire del ambiente no altere la condición de humedad de la muestra de suelo o del papel filtro.
- Alternativa de bolsa plástica – Rápidamente se debe transferir el papel filtro a una bolsa plástica de masa inicial predeterminada y se debe sellar la bolsa. Se repite el procedimiento para cada uno de los papeles filtro.
- Inmediatamente después se debe determinar la masa de cada uno de los recipientes con los papeles de filtro, con una precisión de 0.0001 g, a esta masa se le llamará  $M_1$ .
- Secado del papel filtro
  - Alternativa de recipiente de metal – Se colocará posteriormente en un horno a  $110^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ , los recipientes con los papeles de filtro, con las tapas ligeramente entreabiertas para permitir el escape de humedad. Los recipientes deben permanecer en el horno por un mínimo de 2 horas. Después de este tiempo, se tapan los recipientes y se dejarán en el horno por 15 minutos más, para permitir que la temperatura se estabilice. Se deberá retirar el recipiente de metal con el papel del filtro del horno y entonces se determinará la masa total seca, la cual se llamará  $M_2$ , determinada con una precisión de 0.0001 g. Inmediatamente se desechará el papel del filtro y se volverá a determinar la masa del recipiente para el papel de filtro, a esta masa se le llamará la masa caliente  $T_h$ , y se obtendrá con una precisión de 0.0001 g.
  - Alternativa de bolsa plástica – Se coloca el papel filtro a secar en el horno como mínimo 2 horas, entonces se pone en un recipiente desecador sobre sílica gel o en un desecador estándar como mínimo de 2 a 3 minutos para que enfríe. Se coloca nuevamente el filtro en la bolsa plástica y se determina la masa,  $M_2$ . Se remueve el papel filtro de la bolsa plástica y se determina la masa final de la bolsa plástica,  $T_h$ .
- Después determinadas las masas  $M_2$  y  $T_h$  de debe desechar los papeles filtro, bajo ninguna circunstancia los papeles del filtro podrán ser vueltos a usar, luego de concluido el ensayo.

### Cálculos

Para cada papel filtro se debe determinar:

$$M_f = M_2 - T_h \quad (3)$$

$$M_w = M_1 - M_2 + T_h - T_c \quad (4)$$

Dónde:



- $M_f$ =Masa seca del papel de filtro, g,
- $M_2$ =Masa total seca,
- $T_h$ =Masa del contenedor caliente,
- $M_w$ =Masa de agua en el papel de filtro, g, y
- $T_c$ =Masa del contenedor frío, g.

- Se determina la humedad del papel de filtro ( $W_f$ ) así:

$$W_f = 100 \frac{M_w}{M_f} \tag{5}$$

- Con ayuda de la Figura 3 o con una curva específica, de acuerdo al tipo de papel de filtro, se convertirá la humedad del papel de filtro ( $W_f$ ) a un valor de succión.
- También se podrá utilizar para cada papel de filtro una ecuación, con sus respectivos parámetros calibrados, que describa las curvas como las mostradas en la Figura 3, de acuerdo al papel de filtro utilizado. Se descartará cualquier resultado si la diferencia de la succión obtenida, entre dos papeles de filtro, supera 0.5 log  $KPa_a$ .

Como cita Zepeda, 2004 [7], se tienen investigaciones realizadas por Queen y Miller (1968) en el cual haciendo uso del papel filtro encontraron tres niveles de esfuerzos en succión, mismas que se muestran en la tabla 3.

Tabla 1. Esfuerzos de Succión. Queen y Miller (1968).

Tipos de esfuerzos en la succión		
Esfuerzos Altos	Esfuerzos Medios	Esfuerzos Bajos
Esfuerzos arriba de $pF= 4.18$ (1500 kPa)	Esfuerzos entre $pF=3.01$ (100 kPa) y $pF=4.18$ (1500 kPa)	Niveles de Succión menores de $pF=2.31$ (20 kPa)

### III. METOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### A. Identificación del suelo

La muestra se extrajo del lugar antes mencionado, el muestreo del espécimen que se realizó fue obtenido de un corte, ya que el en lugar se observa que el material es homogéneo solo se recopilaron muestras de distintos puntos del terreno. Colocando las muestras en bolsas de plástico. Este procedimiento se llevó a cabo en base a la norma M-MMP-1-01/03 de la SCT [8].



Con el material en el laboratorio se realizaron las siguientes pruebas para clasificar el suelo:

1. Contenido de humedad. Esta prueba permite determinar el contenido de agua en los materiales, con el fin de obtener una idea cualitativa de su probable comportamiento. El estudio se encuentra normado por la SCT (N-MMP-1-04/03) [9]. En esta prueba se encontró el siguiente resultado.

$W\%=13.22$

2. Límites de consistencia del suelo. Estas pruebas permiten conocer las características de plasticidad de la porción del material, para obtener la identificación y clasificación del suelo. Se determina el límite líquido, límite plástico y el índice plasticidad, que se utilizaran en la carta de plasticidad. Se dispuso de la norma M-MMP-1-07/07 de la SCT [10]. En la tabla 4, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 2. Resultados de límites de consistencia.

Límite líquido	41.66
Límite plástico	21.25
Índice de plasticidad	20.40

Con base en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se cataloga como un suelo CL= Arcilla de baja comprensibilidad, con un potencial de expansión medio.

### *B. Prueba de la succión total*

A continuación se describe el proceso para obtener la succión total mediante el método del papel filtro descrito en la Norma ASTM INTERNATIONAL D5298-10 "Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper1.

La norma hace mención que el papel debe ser calibrado, pero para esta práctica no se realizó, debido a que el papel que se adquirió ya estaba calibrado.

- Para medir la succión total se coloca la muestra de suelo en recipiente los cuales deben sellar muy bien. Ver figura 6.



Figura 6. Colocación de la muestra en el recipiente.

- En la parte superior del suelo se coloca un clip, esto con la finalidad de que el papel no haga contacto con la muestra, la transferencia de humedad se limitará al traslado del vapor a través del aire dentro del recipiente de ensayo, como se puede apreciar en la Figura 7.

- 



Figura 7. Colocación del clip sobre la muestra.

- Se coloca el papel filtro sobre los clips, previamente se pesaron una báscula de presión de 0.0001 g, para este procedimiento se recurrió al laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la misma Universidad. El papel debe ser manipulado con cuidado especial, para este paso se utilizaron guantes, ver figura 8. El procedimiento de colocación debe ser lo más rápido posible para evitar la contaminación del papel pero teniendo las debidas precauciones.

- 



Figura 8. Posicionamiento del papel filtro sobre la muestra.

- El paso que se describe a continuación se procede a sellar el embace, para garantizar la hermeticidad de la muestra se utilizó una hielera la cual fue cerrada con cinta industrial a lo largo y ancho de la tapadera. Con extrema precaución se movió y se posiciono en el lugar donde permaneció 7 días, para permitir el equilibrio entre el suelo, el papel de filtro y el aire Figura 9.



Figura 9. Sellado hermético de la hielera.

- Se deberá determinar la masa de los recipientes para el papel de filtro, inmediatamente antes de sacar el recipiente de ensayo de la caja aislante. Denominado ( $T_c$ ).
- Al fin del período necesario para equilibrar, se puso cada uno de los dos papeles de filtro, en los recipientes para el papel de filtro, previamente pesados y manipulándolo de la misma forma que al inicio.
- Inmediatamente después se determinó la masa de cada uno de los recipientes con los papeles de filtro, a esta masa se le llamo  $M_1$ .



Figura 10. Obtención de la masa del papel de filtro.

- Se colocó posteriormente en un horno a  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ , los recipientes con los papeles de filtro, los cuales permanecieron 15 minutos. Se retiró el recipiente de metal con el papel del filtro del horno y entonces se determinó la masa total seca,  $M_2$ . Inmediatamente se desechó el papel de filtro y se volvió a determinar la masa del recipiente para el papel de filtro, ( $T_h$ ).

#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para cada papel de filtro se determinaron, mediante la ecuaciones 3 y 4,  $M_f$  y  $M_w$ , y  $W_f$  con la ecuación 5, con lo cual se obtiene el valor de la succión, como se muestra en las tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Resultados de la succión total (*pf*).

	Fecha:	29-oct-15	Muestras	1
<b>Succión Total</b>				
Datos	Muestra 1		Muestra 2	
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 1	Filtro 2
Masa de la tara fría ( $T_c$ ), g	8.9704	8.9384	8.8194	8.7032
Masa del papel filtro húmedo + tara fría ( $M_1$ ), g	9.1256	9.0909	8.9732	8.8615
Masa del papel filtro seco + tara caliente ( $M_2$ ), g	9.1081	9.0750	8.9569	8.8454
Masa de la tara caliente ( $T_h$ ), g	8.9701	8.9381	8.8191	8.7029
Masa del papel filtro seco ( $M_f$ ), g	0.138	0.1369	0.1378	0.1425
Masa del agua en el papel filtro ( $M_w$ ), g	0.0172	0.0156	0.016	0.0158
Contenido de agua del papel filtro ( $W_f$ ), %	12.46377	11.3952	11.61103	11.08772
Succión, pF	4.356072	4.4393	4.422501	4.463267

Tabla 6. Resultados de la succión total (*pf*).

	Fecha:	13-feb-16	Muestras	2
<b>Succión Total</b>				
Datos	Muestra 1		Muestra 2	
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 1	Filtro 2
Masa de la tara fría ( $T_c$ ), g	8.71	8.6905	8.5314	8.7407
Masa del papel filtro húmedo + tara fría ( $M_1$ ), g	8.8731	8.8566	8.6908	8.8979
Masa del papel filtro seco + tara caliente ( $M_2$ ), g	8.8519	8.8368	8.6733	8.8822
Masa de la tara caliente ( $T_h$ ), g	8.7149	8.6899	8.5304	8.739
Masa del papel filtro seco ( $M_f$ ), g	0.137	0.1469	0.1429	0.1432
Masa del agua en el papel filtro ( $M_w$ ), g	0.0261	0.0192	0.0165	0.014
Contenido de agua del papel filtro ( $W_f$ ), %	19.05109	13.0701	11.54654	9.776536
Succión, pF	3.84292	4.3088	4.427525	4.565408

Tabla 7. Resultados de la succión total (*pf*).

	Fecha:	13-feb-16
Succión Total		
Datos	Muestra 1	
	Filtro 1	Filtro 2
Masa de la tara fría ( $T_c$ ), g	15.5036	15.0922
Masa del papel filtro húmedo + tara fría ( $M_1$ ), g	15.6697	15.2514
Masa del papel filtro seco + tara caliente ( $M_2$ ), g	15.6538	15.2349
Masa de la tara caliente ( $T_h$ ), g	15.504	15.0913
Masa del papel filtro seco ( $M_f$ ), g	0.1498	0.1436
Masa del agua en el papel filtro ( $M_w$ ), g	0.0163	0.0156
Contenido de agua del papel filtro ( $W_f$ ), %	10.88117	10.8635
Succión, pF	4.479356	4.4807

Con el propósito de mostrar resultados en la unidades más conocidas y utilizadas en el área de ingeniería civil, se harán las conversiones a  $KPa$ ,  $Psi$  y  $Kg/cm^2$

Por lo que se inicia la conversión de un *pf* a  $KPa$ , como a continuación se describe:

$$1 \text{ pf} = \log_{10} h \tag{6}$$

$$h = 10^1 = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m de columna de agua}$$

$$P = \gamma h = \left(9,810 \frac{Nw}{m^3}\right) (0.10 \text{ m}) \tag{7}$$

$$P = 981 \text{ Pa} = 0.981 \text{ KPa}$$

Y tomando un valor *pf* de 4.422501 de la tabla 5 se tiene lo siguiente:

$$4.422501 \text{ pf} = \log_{10} h$$

$$h = 10^{4.422501}$$

$$h = 26,454.587961 \text{ cm} = 264.54587961 \text{ m de columna de agua}$$

$$P = \gamma h = \left(9819 \frac{Nw}{m^3}\right) 264.54587961 \text{ m}$$

$$P = 2,595,195.075 \text{ Pa}$$

En  $KPa$ :

$$P = 2,595.195075 \text{ KPa}$$

En el caso de  $lb/plg^2$  se tome en cuenta la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ KPa} = 0.144987706422018 \text{ lb/plg}^2$$

Finalmente la conversión en  $lb/plg^2$  se considera lo siguiente:

$$1 \text{ KPa} = 0.01019368 \text{ lb/plg}^2$$

Los resultados finales de las conversiones son los que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de succión de las muestras analizadas.

pf	cm de agua	Presión		
		kPA	lb/plg <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
4.356072	22702.412	2227.107	322.903	22.702
4.439300	27497.930	2697.547	391.111	27.498
4.422501	26454.588	2595.195	376.271	26.455
4.463267	29058.086	2850.598	413.302	29.058
3.842920	6964.982	683.265	99.065	6.965
4.308800	20361.042	1997.418	289.601	20.361
4.427525	26762.396	2625.391	380.649	26.762
4.565408	36762.751	3606.426	522.887	36.763
4.479356	30154.769	2958.183	428.900	30.155
4.480700	30248.232	2967.352	430.230	30.248
<b>Promedios</b>				
4.378585	25696.719	2520.848	365.492	25.697

## V. CONCLUSIONES

El entendimiento del comportamiento de los materiales, muchas veces resulta un tanto complicadas, debido a que en ocasiones no se tienen bien definidas los sistemas o la tecnología a aplicar para caracterizar a un material. En el caso de las arcillas motivo de estudio, en la naturaleza se encuentran un gran variedad, desde las Arcillas de baja compresibilidad (CL), Arcilla de alta compresibilidad (CH), lo anterior tomando como referencia el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, pero si pretendemos clasificarlos desde su estructura mineralógica encontraremos las Illitas, Caolinitas y Montmorilonita principalmente, cada una de ellas con un comportamiento diferente. En el caso de la presente investigación, la arcilla en estudio fue una Arcilla CL y además expansiva como se señala en los resultados.

Como se puede observar en los resultados se presenta una succión total alta, esto de acuerdo al método de Papel filtro”.

Los resultados finales en promedio fueron 4.378585 pf's (2520.848 KPa). Al mismo tiempo podemos decir que la influencia de la succión es alta de acuerdo a la clasificación de los autores Queen y Miller.

Con la presente investigación se deja un precedente del comportamiento de la succión en las arcillas expansivas de la zona sureste de Poza Rica, así mismo, puede ser el inicio para seguir caracterizando a las arcillas y poder predecir su comportamiento en diferentes situaciones.



## RECONOCIMIENTOS

La investigación que se presenta ha sido realizada, gracias al apoyo de los integrantes y colaboradores del CA Estructura UV-CA215. Se agradece especialmente, la colaboración de Héctor Hugo Zamora Cruz y Jorge Azuara García, así como también a la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Veracruzana en Poza Rica.

## REFERENCIAS

- [1] Barrera Bucio, Mauricio, 2002. Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres (Publicación técnica). SCT. pp. 26.
- [2] Gallegos-Fonseca, Gustavo, 2012. Efecto de la succión en la estabilidad de un talud de arena limosa (Revista). Facultad de Ingeniería de la UNAM. p. 272.
- [3] Juárez Badillo, Eulalio, 2003. Mecánica de suelos, Tomo 1. Limusa. pp. 37-43.
- [4] Barrera Bucio, Mauricio, 2004. Influencia de la succión en los cambios volumétricos de un suelo compactado (Publicación técnica). SCT. pp. 102.
- [5] Edgar Buckingham, 1907. Studies on the movement of soil moisture, US Department of Agriculture, Bureau of Soils-Bulletin No. 38.
- [6] Meza Ochoa, Victoria Elena. 2012. Suelos parcialmente saturados, de la investigación a la cátedra universitaria (Revista). Universidad Nacional de Colombia. pp. 28.
- [7] Zepeda Garrido, José Alfredo, 2004. Mecánica de suelos no saturados. UAQ-SMMS. pp. 61-62
- [8] Muestreo de materiales para terracerías. Normatividad de la infraestructura del transporte M-MMP-1-01/03. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. 1999
- [9] Contenido de agua para suelos y materiales de terracerías. Normatividad de la infraestructura del transporte M-MMP-1-04/03. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. 1999
- [10] Límites de consistencia. Normatividad de la infraestructura del transporte M-MMP-1-07/07. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. 1999