

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDROMECÁNICO DE UNA ARCILLA EXPANSIVA, CASO DE ESTUDIO, LA ARCILLA DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

J. Ernesto Castellanos <sup>1</sup>, Jairo Martínez <sup>2</sup>, Francisco A. Alonso <sup>1</sup>, J. Francisco Grajales <sup>1</sup>, Fredy Caballero<sup>1</sup>, Juan J. Cruz<sup>1</sup>, Iveth A. Samayo<sup>1</sup>

## RESUMEN

*En éste artículo se estudia el comportamiento hidromecánico de una arcilla expansiva en condiciones no saturadas. Los ensayos se realizaron con especímenes labrados de muestras inalteradas y posteriormente equilibrados a diferentes valores de succión (1, 5, 10, 20 y 40 MPa) mediante la técnica de control de la humedad relativa (HR), posteriormente con los especímenes se llevaron a cabo ensayos edométricos. Los resultados muestran la relación entre el contenido de agua, la succión y la variación de los parámetros de deformación del suelo arcilloso.*

**Palabras clave:** Arcilla, suelo expansivo, edómetros, succión.

## ABSTRACT

The paper presents results of an investigation through which it aims study the hydromechanical behavior of a swelling clay in unsaturated conditions. The tests were conducted with carved specimens of undisturbed samples and subsequently equilibrated at different suction values (1, 5, 10, 20 and 40 MPa) by the relative humidity control technique (RH), then the specimens were carried oedometer tests performed.

The results show the relationship between the water content, suction and variation of deformation parameters of clay soil.

**Keywords:** Clay, expansive soil, oedometer, suction

## INTRODUCCIÓN

Las propiedades hidromecánicas de un suelo expansivo son muy importantes en la ingeniería geotécnica y la ingeniería geo-medioambiental. Los suelos expansivos en su condición natural presentan importantes cambios de volumen con la variación en su contenido de agua. Los suelos expansivos se expanden con el incremento en su contenido de agua y se contraen cuando el contenido de agua disminuye.

En Donaldson (1969) se presenta una clasificación de los materiales que pueden dar origen a los suelos expansivos.

A partir de rocas ígneas básicas, tales como basaltos y los gabros, cuyos componentes principales son el feldespato y piroxeno, mismos que al descomponerse forman la montmorillonita, uno de los minerales de las arcillas expansivas y de las rocas sedimentarias que contienen montmorillonita, que son minerales de arcilla del grupo de las esmectitas y que se desintegran mecánicamente para formar suelos expansivos.

Con base a lo anterior, puede decirse que el fenómeno de cambio volumétrico depende principalmente de la composición mineralógica de los suelos arcillosos. Cuando se añade agua a estas arcillas, las moléculas de agua se introducen entre las láminas de la arcilla. Como van absorbiendo más agua, las láminas son forzadas a separarse, lo que lleva a un aumento en la presión o una expansión de volumen del suelo. Si el límite líquido de una muestra de suelo es superior a 50% y el índice de plasticidad excede 30%, el suelo será considerado con contenido mineralógico de una arcilla expansiva. Las montmorillonitas, son considerados como minerales altamente expansivos. Éste tipo de suelos es muy común en varias regiones del mundo.

<sup>1</sup>Profesor-investigador, Facultad de Ingeniería- Universidad Autónoma de Chiapas. Email: jecc@unach.mx

<sup>2</sup>Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, UNACH

En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se tiene la presencia de éstos suelos y el ingeniero constructor debe enfrentarse a los problemas que pueden presentar, es por ello que se requiere entender su comportamiento mecánico e hidráulico para garantizar diseños adecuados, así como procesos constructivos y programas de mantenimiento de las obras de infraestructura urbana como son los pavimentos, las tuberías y en la construcción de viviendas.

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron dos etapas dentro del programa experimental.

- Equilibrio de especímenes labrados de muestras inalteradas, en desecadores que contenían soluciones salinas de cloruro de sodio (NaCl) con concentraciones de 0.23, 1.10, 2.10, 3.79 y 6.29 M; que corresponden a valores de succión de 1, 5, 10, 20 y 40 MPa.
- Estudio del comportamiento hidromecánico de la arcilla mediante ensayos edométricos.

## MATERIAL

Para esta investigación, el material utilizado fue extraído de un pozo a cielo abierto ubicado en las instalaciones que ocupa la Universidad Autónoma de Chiapas, en la Facultad de Ingeniería, ubicada en Boulevard Belisario Domínguez km. 1081, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Figura 1).

El material tuvo un contenido de agua inicial de  $w=23\%$ , su granulometría está compuesta de un 10% de arena y 90% de finos. Además, el material tiene un límite líquido de 78.8%; un límite plástico de 19.6%; un índice plástico de 59.2%; contracción lineal de 18% y una gravedad específica de 2.76 (Martínez, 2015).

## PROGRAMA EXPERIMENTAL

El comportamiento hidromecánico de las arcillas está altamente relacionado con su estructura inicial y a los cambios en la microestructura que experimenta el material debido a una carga, hidratación o acciones químicas.



Figura 1. Ubicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas (tomada de Google Earth).

La primera etapa del programa experimental consistió en equilibrar especímenes de arcilla a valores de succión de 1, 5, 10, 20 y 40 MPa mediante la técnica de transferencia de vapor que se basa en el control de la humedad relativa. Los especímenes fueron labrados de 20 mm de altura por 65 mm de diámetro. Una vez equilibradas las muestras colocadas en los equipos edométricos y cargadas para determinar los parámetros geotécnicos de deformación.

Hoffmann (2005) menciona que el control de la succión mediante la técnica de transferencia de vapor se basa en el control de la humedad relativa del aire existente en los poros del suelo. Esto se realiza utilizando un sistema termodinámicamente cerrado. En esta técnica, la transferencia e intercambio de agua con el suelo se produce en forma de vapor cuya humedad relativa es controlada. La humedad relativa del aire se entiende como el cociente entre la presión de vapor en el ambiente y la presión de vapor en condiciones saturadas.

La técnica de control de humedad relativa se realizó por difusión simple, colocando las muestras en recipientes perfectamente sellados (desecadores) y en contacto con el aire de la solución (Figura 2).

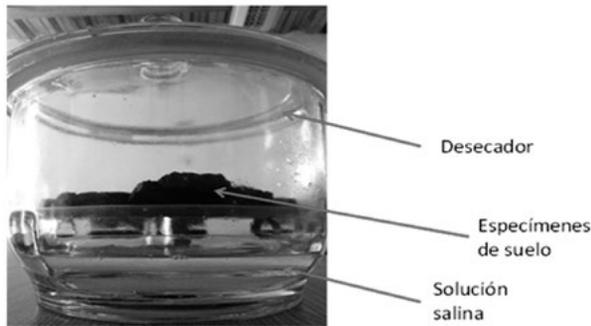


Figura 2. Ensayo de transferencia de vapor

### RESULTADOS DE LOS ENSAYOS E INTERPRETACIÓN

#### -Etapa de equilibrio

Durante el proceso de equilibrio se hicieron mediciones diarias de la masa y dimensiones de cada uno de los especímenes para llevar el control de la variación del grado de saturación y contenido de agua, y con ello conocer el tiempo en el que se equilibraron con respecto al valor de succión impuesto (Figura 3).

#### -Curva característica

La curva característica o curva de retención describe la relación constitutiva que existe entre la succión y el contenido de agua o grado de saturación del suelo.

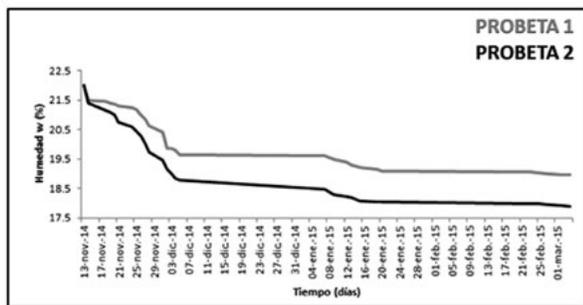


Figura 3. Etapa de equilibrio

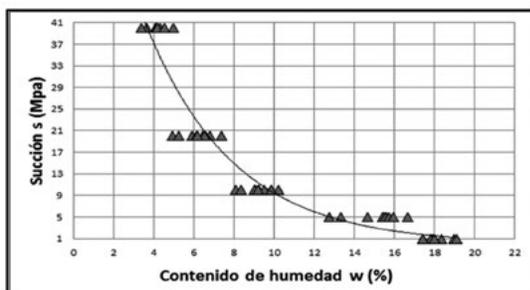


Figura 4. Curva característica succión contra contenido de agua de la arcilla ensayada.

La curva característica que se muestra en la Figura 4 se determinan a partir de los valores de contenido de agua alcanzados por las probetas sometidas al control de succión mediante la técnica de transferencia de vapor a través de soluciones de cloruro de sodio a diferentes concentraciones, 0.23, 1.10, 2.10, 3.79 y 6.29 M que corresponde a valores de succión de 1, 5, 10, 20 y 40 MPa.

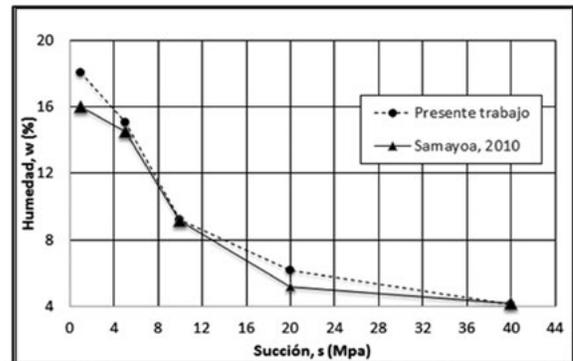


Figura 5. Curva característica obtenida mediante la técnica de transferencia de vapor.

En la Figura 5 se muestra los promedios de los contenidos de agua obtenidos para cada valor de succión, además, se presentan los resultados de una arcilla de otra zona de Tuxtla Gutiérrez obtenida por Samayoa (2010).

#### -Ensayos edométricos

Una vez alcanzado el equilibrio en las muestras de suelo, se procedió a la segunda parte del programa experimental que consistió en realizar ensayos edométricos para determinar los parámetros geotécnicos de las probetas equilibradas a diferentes contenidos de agua.

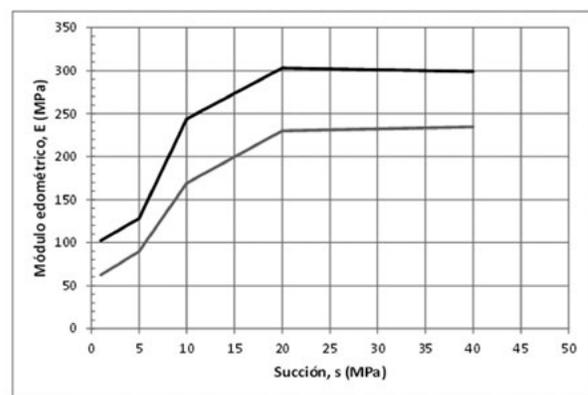


Figura 6. Variación del módulo edométrico con respecto a la succión del suelo.

En la Figura 6 se presentan los valores de módulo edométrico y en la cual puede observarse como con el aumento del valor de succión el módulo también se incrementa, lo cual es congruente debido a la reducción de los vacíos por la disminución en el contenido de agua y por ende contracción del suelo y aumento en su rigidez.

En la Figura 7 se muestra la variación del coeficiente de consolidación  $C_v$  con respecto a la succión, donde se aprecia que la variación es mínima toda vez que las muestras ensayadas tuvieron el mismo espesor de aproximadamente  $h = 20$  mm, demostrando con ello la dependencia del coeficiente con el espesor de los especímenes, no influyendo tanto el valor de la succión. Además, el  $C_v$ , depende del límite líquido, para todas las muestras es el mismo.

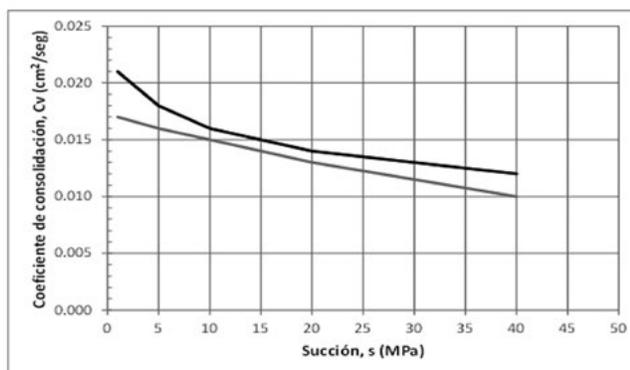


Figura 7. Variación del coeficiente de consolidación con la succión del suelo.

De manera indirecta, a partir de los ensayos de consolidación se determinó el coeficiente de permeabilidad parámetro que hace referencia a la velocidad con que fluye un fluido a través de un suelo.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 8 donde se puede apreciar que la variación es mínima, toda vez que al no inundarse el espécimen durante el ensayo, la poca agua que fluyó fue el correspondiente al contenido de agua, debe considerarse que con el aumento de la succión el suelo se contrae y disminuyen los vacíos lo que contribuye a la disminución de la permeabilidad, así también con el aumento de la carga, los vacíos también disminuyen, siendo otro factor que ocasiona la disminución de la permeabilidad en el suelo.

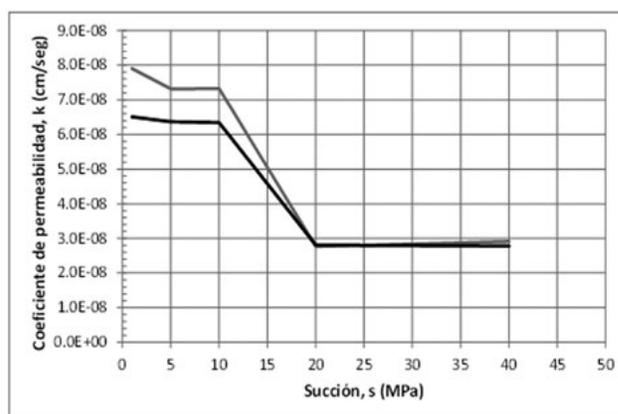


Figura 8. Variación del coeficiente de permeabilidad con la succión del suelo.

## CONCLUSIONES

Los resultados del programa experimental revelan la relación que existe entre los cambios de succión con los cambios volumétricos, así como con la permeabilidad de un suelo arcilloso con características expansivas.

El imponer valores de succión permite evaluar la variación del contenido de agua durante el ciclo anual, lo cual es muy importante debido al comportamiento que presenta el suelo en cada una de estas estaciones, siendo un comportamiento totalmente diferente si el estudio geotécnico se realiza en época de estiaje que hacerlo en época de lluvias.

Entender el comportamiento mecánico e hidráulico de los suelos es fundamental para el diseño, construcción y mantenimiento de viviendas y obras de infraestructura urbana, ya que todos están sometidos a cambios de humedad y modificaciones en su comportamiento a lo largo de su construcción y vida útil.

## REFERENCIAS

- Donaldson, G.W. (1969). "The occurrence of problems of Heave and factors Affecting its Nature". Second International \_Research and Engineering Conference on Expansive Clays Solis. Texas A&M Press.
- Hoffmann, C. (2005). Caracterización hidromecánica de pellets de bentonita. Estudio experimental y constitutivo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Samayoa A. I. A. (2010) Estudio de la relación entre la resistencia al corte y la succión de un suelo expansivo. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Martínez R., J. (2015). Estudio de la relación entre los parámetros de deformación y la succión de una arcilla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chiapas.