

## Análisis de las propiedades mecánicas de un suelo expansivo para la autoconstrucción de una vivienda de interés social

M. González<sup>1\*</sup> , M. Pérez<sup>2</sup> 

\*Autor de Contacto: [mgonzalez305@alumnos.uaq.mx](mailto:mgonzalez305@alumnos.uaq.mx)

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i3.660>

Recibido: 26/01/2023 | Correcciones recibidas: 25/08/2023 | Aceptado: 31/08/2023 | Publicado: 01/09/2023

### RESUMEN

El presente artículo de investigación muestra un análisis de un suelo expansivo del Residencial Santa Fe, en la zona Este de la ciudad de Santiago de Querétaro, México, con el fin de determinar el periodo anual en el que es más conveniente el inicio de la autoconstrucción de una vivienda de interés social. Las propiedades mecánicas del suelo (presión de expansión, ángulo de fricción y cohesión) se determinan mediante pruebas geotécnicas para conocer los posibles movimientos diferenciales del terreno y así evitar las deficiencias a corto plazo que estas casas sufren en nuestro país, obteniendo que el lapso idóneo para la edificación es octubre-marzo, caso contrario, en el periodo abril-septiembre es crítico, por lo que los cimientos aumentan en costo.

**Palabras clave:** autoconstrucción; presión de expansión; ángulo de fricción; cohesión.

**Citar como:** González, M., Pérez, M. (2023), “Análisis de las propiedades mecánicas de un suelo expansivo para la autoconstrucción de una vivienda de interés social”, Revista ALCONPAT, 13 (2), pp. 312 – 327, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i3.660>

<sup>1</sup> Secretaría Académica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México.

<sup>2</sup> Estudiante de la Maestría en Ciencias línea terminal en Geotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México.

#### Contribución de cada autor

En el presente trabajo, el autor A contribuyó con la idea original (50%), experimentación, recolección de datos, escritura del trabajo (80%), discusión de resultados y conclusiones (70%). El autor B contribuyó en la idea original (50%), escritura del trabajo (20%) discusión de resultados y conclusiones (30%).

#### Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2023) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

#### Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2024 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2024.

## **Analysis of the mechanical properties of an expansive soil for the self-construction of a social housing**

### **ABSTRACT**

This research article shows an analysis of an expansive soil of the Residencial Santa Fe, in the eastern part of the city of Santiago de Querétaro, Mexico, in order to determine the annual period in which it is more convenient to start the self-construction of a social housing. The mechanical properties of the soil (expansion pressure, friction angle and cohesion) are determined by geotechnical tests to find out the possible differential movements of the ground and thus avoid the short-term deficiencies that these houses suffer in our country, obtaining that the ideal period for the construction is October-March, otherwise, in the April-September period it is critical, for which the foundations increase in cost.

**Keywords:** self-construction; expansion pressure; friction angle; cohesion.

## **Análise das propriedades mecânicas de um solo expansivo com vistas à autoconstrução de uma habitação social**

### **RESUMO**

O presente artigo de pesquisa mostra uma análise dos solos expansivos do Residencial Santa Fe, na parte leste da cidade Santiago de Queretaro, México, com o fim de determinar o período do ano mais conveniente para o início da autoconstrução de uma moradia social. As propriedades mecânicas do solo (pressão de expansão, ângulo de atrito e coesão) são determinadas pelos testes geotécnicos, para conhecer os possíveis movimentos diferenciais do terreno e assim evitar as deficiências a curto prazo dessas casas em nosso país, obtendo que o período ideal para a construção seja outubro-março, caso contrário, no período abril-setembro é crítico, para o qual as fundações aumentam de custo.

**Palavras-chave:** autoconstrução; pressão de expansão; ângulo de atrito; coesão.

### **Información Legal**

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de la mecánica de suelos y la ingeniería geotécnica, el suelo se considera seco o saturado. También se cree que el comportamiento del suelo solo está controlado por el principio de esfuerzo efectivo de Terzaghi. De hecho, el estado seco y el estado saturado son solo condiciones de límites del suelo (Flores et. al., 2019).

La figura 1 representa como el nivel freático es la frontera entre el suelo saturado y el no saturado. Bajo este nivel, el esfuerzo efectivo ( $\sigma - u_w$ ) es el que rige el comportamiento del suelo; mientras que, por encima del nivel freático, existen dos variables independientes a considerar: el esfuerzo total ( $\sigma - u_a$ ) y la succión mátrica ( $u_a - u_w$ ).

Donde:

- $\sigma$  = esfuerzo normal
- $u_a$  = presión de poro del aire
- $u_w$  = presión de poro del agua

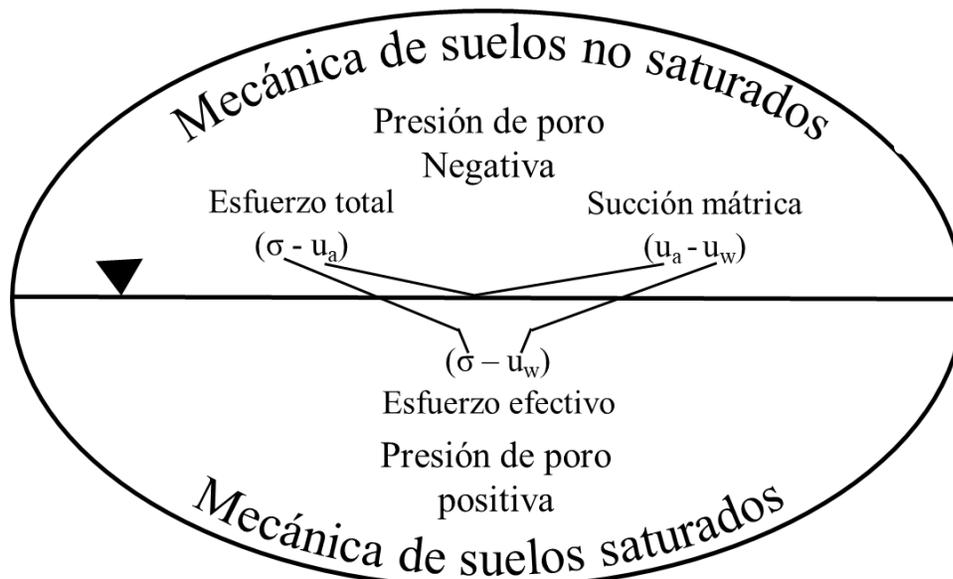


Figura 1. Visión general de la mecánica de suelos (Guerrero, 2013).

Los suelos vertisol tienen la característica de retener una gran cantidad de agua, sumado a esto, su capacidad de intercambio catiónico los hace poseer una alta fertilidad natural; en México y el mundo se les considera uno de los materiales más productivos para la agricultura (Torres et. al., 2016).

Por lo general, su contenido de arcilla es uniforme y mayor al 35%, aunque en muchos casos supera el 80%. Entre sus características se encuentran la presencia de grietas, color oscuro con una textura uniforme fina y un bajo contenido de materia orgánica; aunque su propiedad más importante desde la visión de la mecánica de suelos es la expansividad debido a la presencia de montmorillonita, la cual ocasiona expansiones o contracciones debido a la hidratación o sequedad de sus partículas, los cambios de volumen van de entre el 35 al 50%. Esto ocurre principalmente en zonas áridas y semiáridas (Torres et. al., 2016).

En la República Mexicana se ha encontrado que cerca del 25% del territorio presenta en su superficie vertisol como suelo principal o como suelo asociado. En segundo o tercer lugar, sin embargo, se considera que solamente la mitad de este porcentaje corresponde a condiciones

ambientales que favorecen el comportamiento expansivo que tantos perjuicios causa en la construcción. La figura 2 muestra las regiones del territorio mexicano donde abundan los suelos vertisoles con mineral montmorillonita como su principal constituyente.

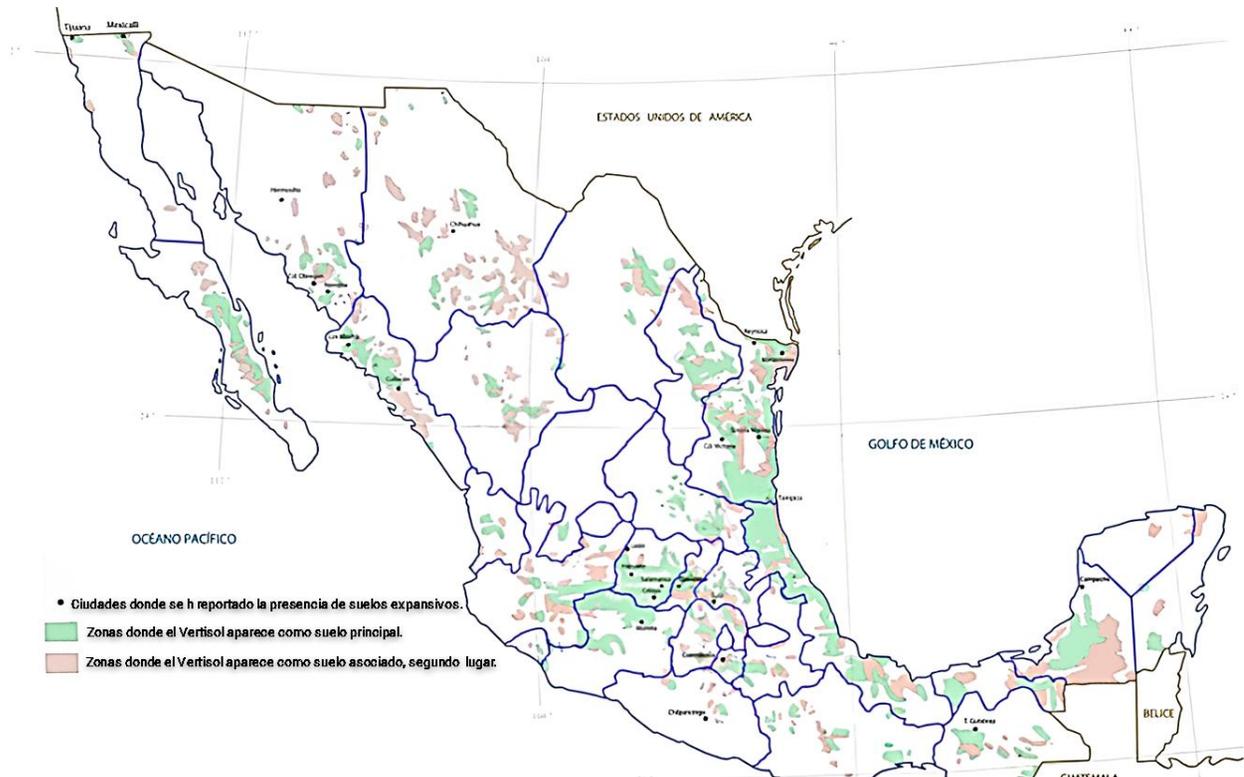


Figura 2. Zonas potenciales de suelos expansivos de la República Mexicana (Zepeda y Castañeda, 1989).

La ciudad de Querétaro consta de cuatro zonas geotécnicas importantes, como se muestra en la figura 3, que son: rocosa, de ladera, de acarreo y de valle; siendo esta última la planicie de la ciudad y es donde quedaron depositadas la mayoría de las arcillas expansivas (Álvarez et al., 2017). Sumado a esto, la metrópoli está en una zona semiárida con un nivel freático por debajo de los ocho metros de profundidad, esto quiere decir que la disminución en el contenido de agua en la superficie debido a la evaporación, sumado con la pérdida de humedad por transpiración (evapotranspiración) es mayor al humedecimiento de esta misma superficie (precipitación) en un lapso de tiempo anual y que a su vez se debe tomar en cuenta la succión debido a que en construcciones pequeñas y ligeras, los esfuerzos ejercidos por las estructuras quedan dentro de la zona no saturada, que con cambios considerables en su contenido de agua pueden afectar a las construcciones (López, 2014).

La succión total se refiere a la energía asociada con la capacidad del suelo para retener agua (Carrasco, 2017). Ridley (1993) la definió como la energía requerida para remover las moléculas de agua de la matriz del suelo por evaporación. La energía necesaria para extraer agua del suelo, o succión total, tiene dos componentes, una debido a la acción capilar, llamada succión matricial, y otra por las sales disueltas en el agua, llamada succión osmótica. Los principales problemas geotécnicos asociados a los suelos no saturados están relacionados con cambios ambientales que alteran principalmente la succión matricial y, en menor medida, la succión osmótica (Carrasco, 2017).

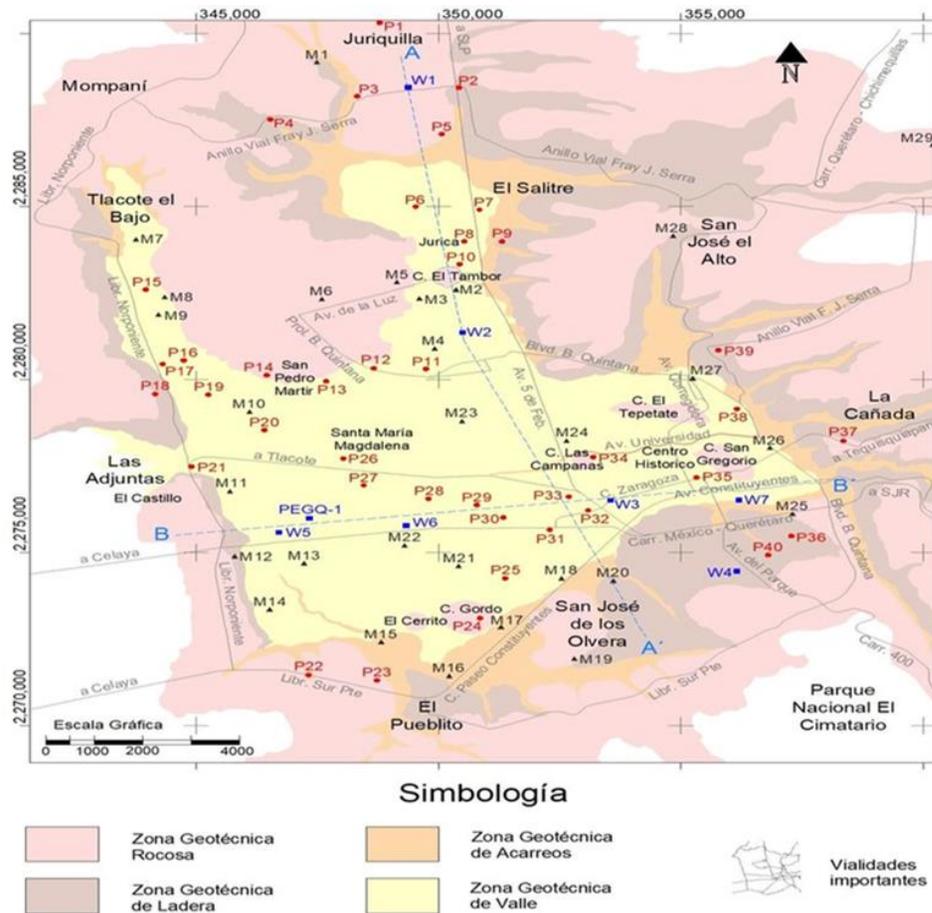


Figura 3. Zonas geotécnicas en la ciudad de Querétaro (Álvarez et. al., 2017).

Por otra parte, en México, las viviendas de interés social han incrementado su demanda, esto debido a varios factores como lo pueden ser: costos medianamente accesibles, comodidad (pagos a largo plazo) y su fácil obtención. La problemática de esta situación es que sin importar en que parte del país se construyan, el proceso constructivo es el mismo, sin analizar previamente las características del subsuelo donde estas se desplantan, añadiendo que a los futuros colonos de los inmuebles no les otorgan planos o estudios previos que avalen la correcta construcción. Cuando esto ocurre sobre un suelo expansivo y en regiones donde el clima es semiárido, donde están claras las temporadas de lluvias y estiaje, el terreno sufre cambios de volumen importantes debido al contenido de agua presente en su estructura, esto produce que las casas unifamiliares tienden a presentar deficiencias en el corto plazo, como pueden ser: alzado o hundimientos de firmes y agrietamientos en muros y marcos.

Anteriormente la población solo podía ser acreedora de una casa nueva o usada con un crédito hipotecario, pero en la actualidad existe una reforma en la cual pueden construir su propia vivienda de interés social sin intermediarios, donde lo que se requiere es lo siguiente:

- Características del terreno: contar con escrituras públicas registradas en el servicio público, que la propiedad esté a su nombre o de tu cónyuge, contar con los servicios esenciales, ubicarse en una zona libre de riesgo de acuerdo con el reglamento local y tener el uso de suelo habitacional.
- Planeación de la construcción: la construcción debe contar como mínimo con recámara, sala-comedor, cocina y baño; incluir ecotecnologías y deberá ser ejecutada por un técnico registrado (arquitecto, ingeniero, maestro albañil) ante el organismo de servicio social que

acuda.

- Gastos adicionales: elaboración del proyecto ejecutivo, licencia de construcción, avalúo y dictamen técnico.

Con esto, el presente trabajo tiene el objetivo de presentar una forma sencilla que ayude a los ciudadanos a tomar la mejor decisión para iniciar la autoconstrucción de su vivienda, averiguando que mes del año es el más viable debido a los posibles cambios volumétricos que pudiera tener el suelo en donde se desplante su casa.

## 2. PROCEDIMIENTO

### 2.1 Metodologías experimentales

La metodología implementada fue la tradicional que se ejecuta en un informe geotécnico: determinar la ubicación de los trabajos y el tipo de exploración realizada, ensayos de laboratorio, resultados y conclusiones.

#### 2.1.1 Zona de investigación

La zona estudiada fue la parte Este de la Ciudad de Querétaro, específicamente el Residencial Santa Fe, verificando que forme parte del valle del territorio queretano y de donde se obtuvo una arcilla color negra a 1.5 metros de profundidad.

La figura 4 muestra con exactitud el lugar de la recolección de las muestras, donde se obtuvo material alterado e inalterado mediante una exploración con pozo a cielo abierto (PCA).



Figura 4. Croquis de localización del sondeo dentro de la Ciudad de Querétaro.

PCA-1 2277086.00 m N, 349166.00 m E

### 2.1.2 *Ensayes de laboratorio*

Los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos son pruebas realizadas para determinar las propiedades mecánicas del suelo como parte de los métodos de identificación del terreno. Los suelos se pueden caracterizar y clasificar por los procedimientos a los que se someten en las pruebas de laboratorio.

### 2.1.3 *Precipitación anual*

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), emite anualmente datos reales de la precipitación por Entidad Federativa y Nacional. Para este trabajo de investigación, los datos arrojados para el estado de Querétaro son mostrados en la Tabla 1. Los valores reportados por CONAGUA, comparados con datos de distintos trabajos de investigación previos realizados en el fraccionamiento Santa Fe de la ciudad de Querétaro, podrán apoyar, tomando en cuenta otro aspecto como el cambio volumétrico, en conclusiones que permitan determinar qué periodo es el más adecuado para llevar a cabo una autoconstrucción.

Tabla 1. Datos de la precipitación media anual (mm) para la Entidad de Querétaro (Conagua, 2022).

Precipitación (mm) por Entidad Federativa y Nacional 2022													
Entidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Querétaro	3.8	5.8	0.7	19.1	4.7	47.8	57.1	67.1	98.3	40.3	22.4	7.7	374.6

## 2.2 *Técnicas experimentales*

Las técnicas experimentales se refieren, para fines de este trabajo, a todos los ensayos de laboratorio realizados para la obtención de los resultados. Cada uno de estos tiene su normativa más vigente para la confiabilidad en el análisis de los datos obtenidos.

### 2.2.1 *Caracterización de un suelo expansivo*

El índice de plasticidad, la superficie específica y la actividad son algunos parámetros que ayudan a saber si un suelo es potencialmente expansivo; para esto, las pruebas de límites de Atterberg con la norma ASTM D 4318-2010, la prueba de azul de metileno con la norma C837-2019 y la granulometría por hidrómetro con la norma ASTM D422-2007, serán necesarias para obtener los valores de cada concepto respectivamente. Según Nelson et. al. (2015), los valores mostrados en la Tabla 2 son rangos que pueden ser utilizados para la consideración de que el material presentará variaciones volumétricas considerables.

Tabla 2. Propiedades de un suelo potencialmente expansivo.

Índice de plasticidad (%)	20-55
Superficie específica (m <sup>2</sup> /g)	600-800
Actividad	>1.5

### 2.2.2 *Curva característica de succión en el suelo*

La relación entre el contenido de agua del suelo y la succión está determinada por la curva característica del agua del suelo (SWCC). Esta relación también se conoce en la ciencia del suelo como la curva de retención de agua. El concepto y la interpretación de SWCC son fundamentales para comprender la mecánica de los suelos parcialmente saturados. Por lo tanto, pocos estudios se han centrado en encontrar la relación entre SWCC del suelo y sus propiedades físicas y mecánicas

(Casanova, 2018; Yáñez *et al.*, 2015).

La prueba para determinar el potencial de succión está en la norma ASTM D 5298-2010, que consta en obtener diez muestras inalteradas de cinco centímetros cúbicos aproximadamente, las cuales serán llevadas a diferentes contenidos de agua. La humedad de la muestra de suelo subirá hacia los papeles filtro en contacto con ella. El papel será calibrado para establecer una relación entre su humedad y el nivel de succión en los poros de suelo.

Se hace una calibración del papel filtro utilizado con diferentes soluciones de agua destilada y cloruro de sodio para evaluar la humedad relativa del agua.

Una vez calibrado el papel, se colocan las muestras en distintos recipientes con dos papeles filtro por encima, arriba de éstos se coloca un material hermético seguido de otro papel, una vez hecho ésto se cierra el frasco y se deja reposar por siete días.

Pasando los siete días se pesarán los papeles que están en contacto con el material, proceso que no debe pasar los 4 segundos para impedir que los papeles pierdan humedad.

El papel filtro superior representa la succión mátrica mientras que el inferior la osmótica, sumados los dos se obtiene la succión total, que se obtiene mediante los pesos de los papeles y la calibración de éste.

Cada suelo tiene una SWCC diferente. Además, los suelos presentan “histéresis” la cual se debe a que los procesos de hidratación y secado dependen de la forma de los poros. Esto da como resultado que la forma y posición de las trayectorias de secado y humedecimiento no sean las mismas.

La figura 5 muestra las partes de la SWCC.

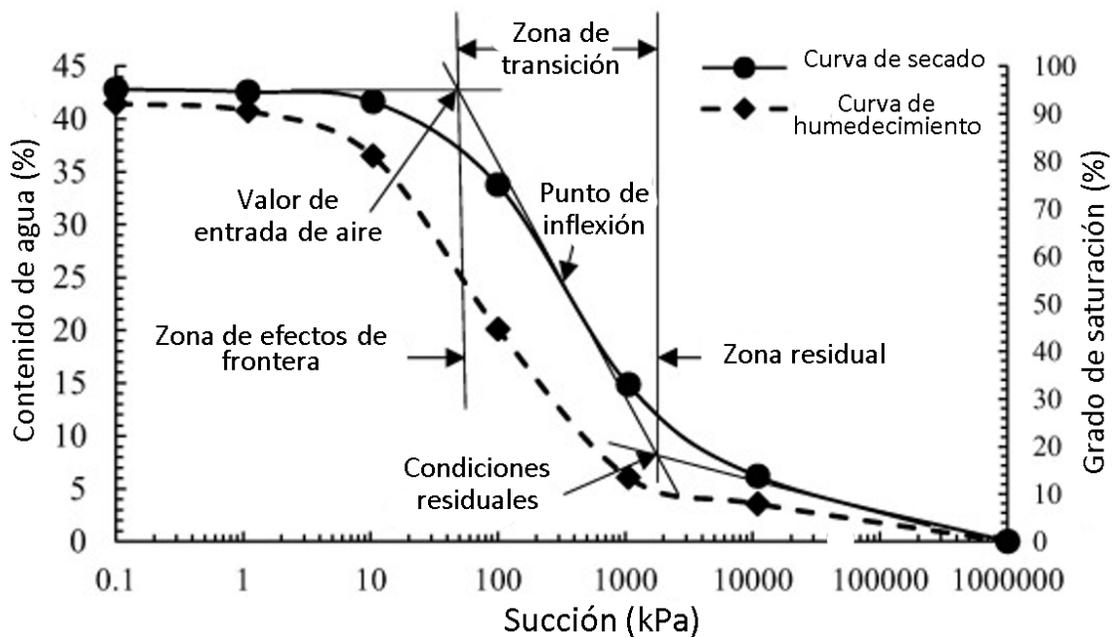


Figura 5. Curva Característica típica de un suelo (Musso y Suazo, 2019).

### 2.2.3 Propiedades mecánicas de un suelo

Las propiedades mecánicas más importantes de un suelo son aquellas que nos permiten establecer leyes de resistencia y de comportamiento, como la cohesión, el ángulo de fricción interna y su capacidad expansiva.

- Cohesión: unión entre las partículas del suelo debido a la fuerza de atracción de las moléculas.
- Ángulo de fricción interna: parámetro necesario para obtener la resistencia al esfuerzo

cortante de un suelo.

- Expansión: cambio en el volumen del suelo a efecto de una carga y una saturación.

Para determinar estas propiedades del suelo, la prueba triaxial CD (consolidado drenado) es la idónea para obtener resultados confiables debido a que permite que durante el tiempo de ensaye el drenaje esté libre, consiguiendo que la muestra se consolide a causa de los distintos estados de carga que se le aplica, así aseguramos que los esfuerzos efectivos son los que están desarrollándose en la muestra de suelo ensayada.

Para esta prueba el procedimiento a emplear es el descrito en la norma ASTM D 7181-20, la cual menciona que deben ser especímenes inalterados, los cuales deben ser colocados en la cámara triaxial y consolidados previamente antes de la aplicación de la carga. En la figura 7 se muestra el resultado típico de una prueba triaxial CD.

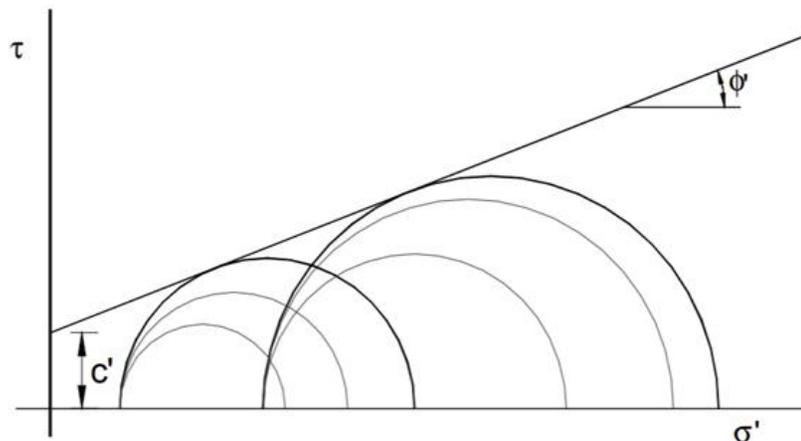


Figura 7. Resultado de una prueba triaxial CD (consolidado drenado).

Además, la prueba de expansión se basa en la norma ASTM D 4546-2008 método B, que consiste en colocar una muestra inalterada dentro de un anillo de consolidación en un odómetro. Se le aplica una carga inicial que sea igual a la que se tiene *in situ* y se satura para permitir que el suelo se expanda. La prueba consiste en cargar varios intervalos de carga hasta definir el tramo recto de la curva de compresibilidad y posteriormente descargar de la misma forma el espécimen en un lapso de 72 horas para que finalmente se pueda observar el hinchamiento de la muestra para obtener el cambio de volumen, así como el valor de la presión de expansión.

### 3. RESULTADOS

El suelo estudiado arrojó de las pruebas de caracterización; un límite líquido de 73.0%, límite plástico de 32.4%, por lo que el índice plástico es de 40.6%; una superficie específica de 784.69 m<sup>2</sup>/g y una actividad de 1.5. Se puede asumir la presencia de un suelo expansivo, además, debido a sus límites de Atterberg, la descripción del material es una arcilla de alta compresibilidad (CH) en la carta de plasticidad.

Para los resultados de la succión del suelo, en las figuras 8 y 9 se observan los valores de succión total y succión mátrica respectivamente donde se puede visualizar que, a mayor valor en la succión, menor es el contenido de humedad en el espécimen y viceversa; a mayor humedad, menor es la succión.

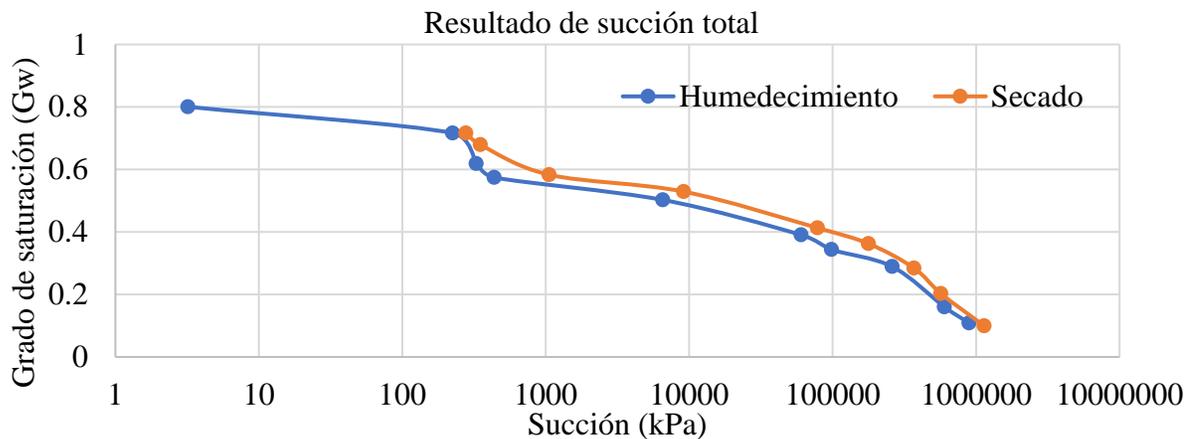


Figura 8. Succión total del suelo estudiado.

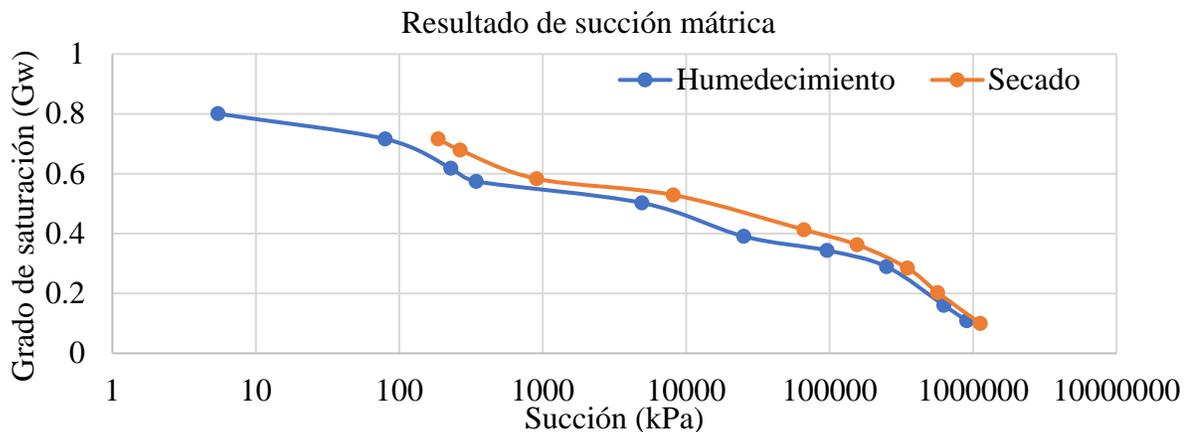


Figura 9. Succión mátrica del suelo estudiado.

El suelo analizado, con un peso volumétrico de  $1.69 \text{ g/cm}^3$ , una densidad relativa de 2.75 y una humedad natural de 28%, da como resultado un grado de saturación del 70%; que se plasma como una succión mátrica de 200 kPa y una succión total de 400 kPa.

En las pruebas triaxiales CD, se realizaron tres series con distinta humedad, cada serie consta de tres especímenes a los cuales se le aplicó distintos valores de presión de confinamiento.

El valor de la presión de confinamiento se debe al coeficiente de presión de tierras en reposo “*in situ*” desarrollado por Massarsch (1979).

$$k_0 = 0.44 + 0.0042I_p \quad (1)$$

donde  $I_p$  se refiere al índice de plasticidad, con el valor que se tiene, el coeficiente da un valor de 0.44, por lo que se usará un valor de  $k_0=0.5$ , según Massarsch.

El esfuerzo vertical, se determina mediante el peso específico del suelo ( $1.69 \text{ g/cm}^3$ ) y la profundidad a la que se obtuvo la muestra (1.6m).

El esfuerzo horizontal, que es el esfuerzo de confinamiento se obtiene mediante el esfuerzo vertical por el coeficiente de presión en reposo.

Una vez obtenido este valor se obtiene un valor menor y un valor mayor para tener tres esfuerzos de confinamiento diferentes ( $0.68 \text{ g/cm}^2$ ,  $1.35 \text{ g/cm}^2$  y  $2.7 \text{ g/cm}^2$ ) y poder obtener los valores de ángulo de fricción y cohesión en el suelo mediante una gráfica de Mohr.

A continuación, se muestran en las figuras 10, 11 y 12 los resultados de las pruebas triaxiales.

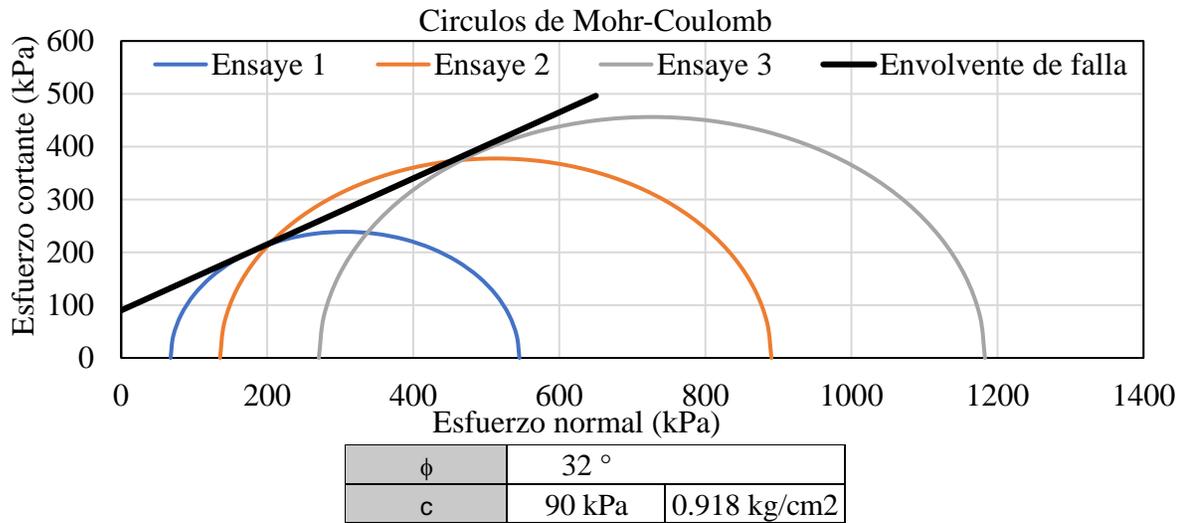


Figura 10. Valores de ángulo de fricción y cohesión con 13% de humedad.

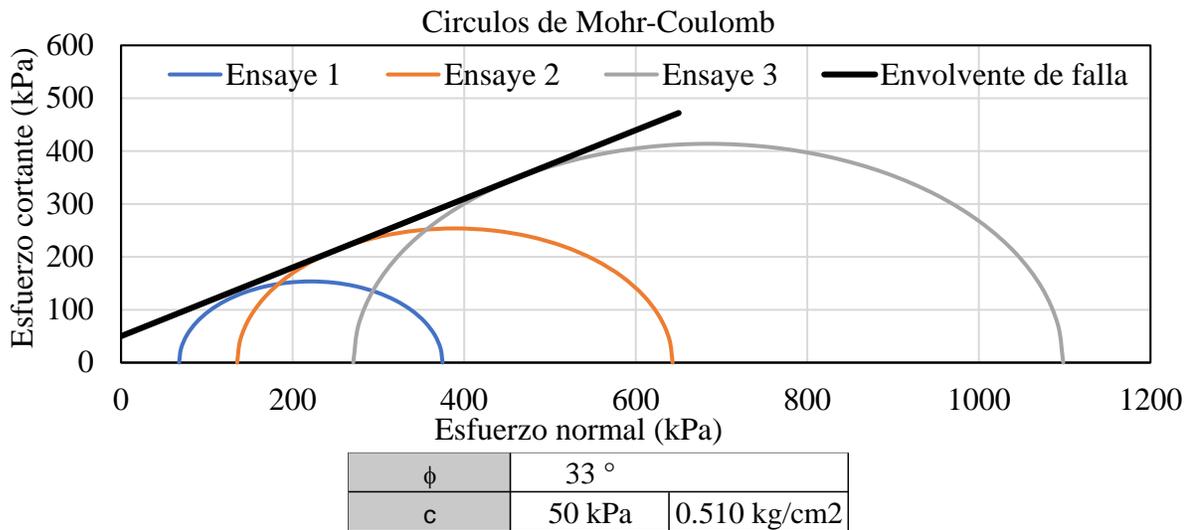


Figura 11. Valores de ángulo de fricción y cohesión con 28% de humedad.

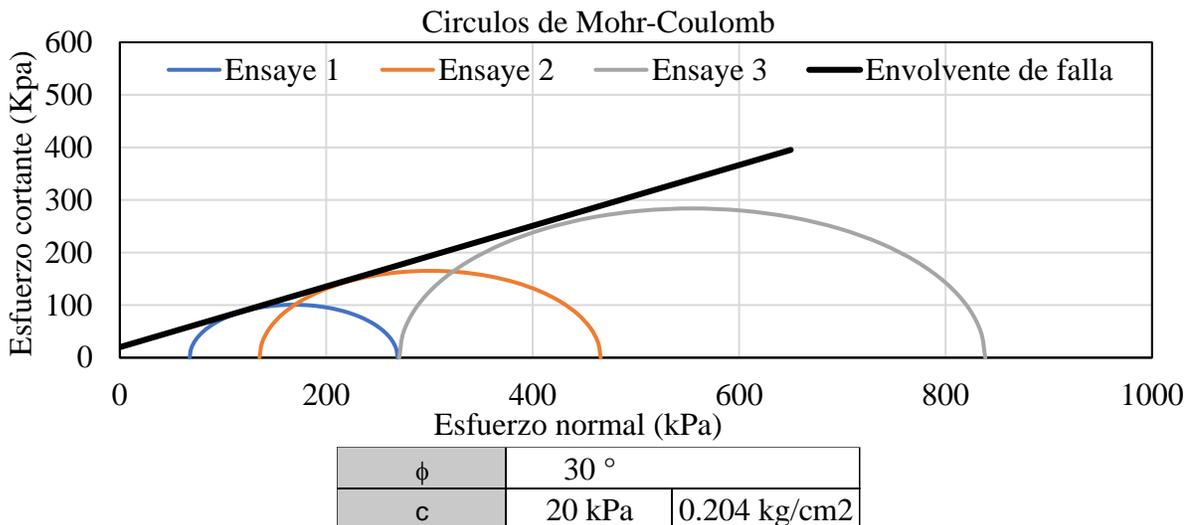


Figura 12. Valores de ángulo de fricción y cohesión con 43% de humedad.

Los resultados de las pruebas de expansión se muestran a continuación en las figuras 13, 14 y 15; las cuales fueron obtenidas mediante una técnica llamada triple odómetro, procedimiento que abarca la norma ASTM D4546-2008.

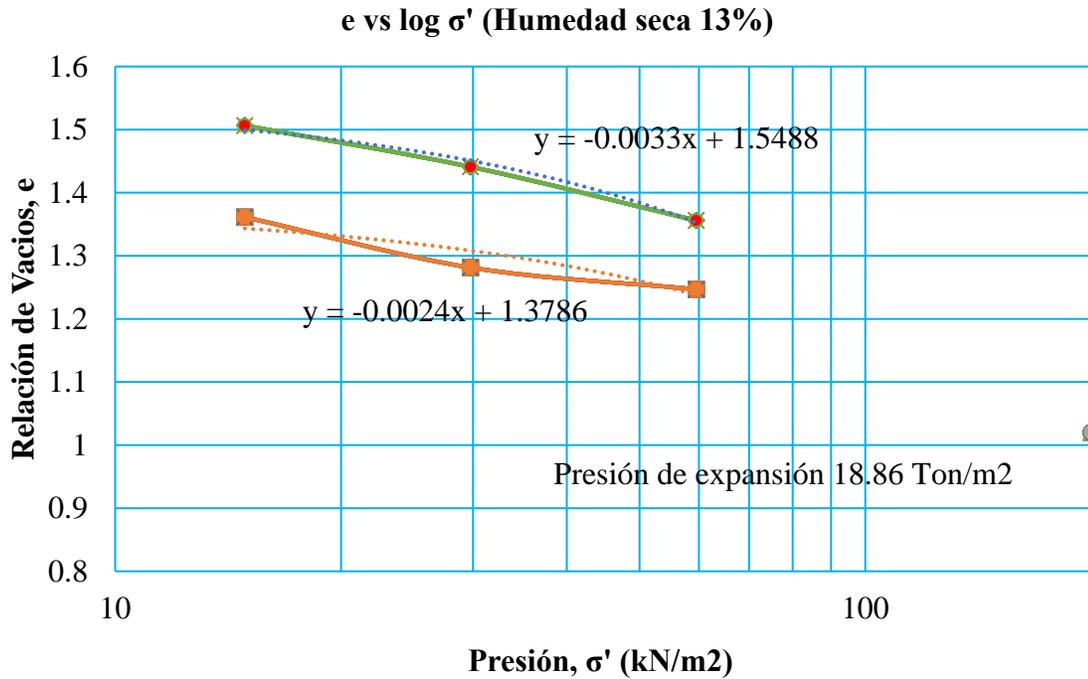


Figura 13. Presión de expansión del suelo con 13% de humedad.

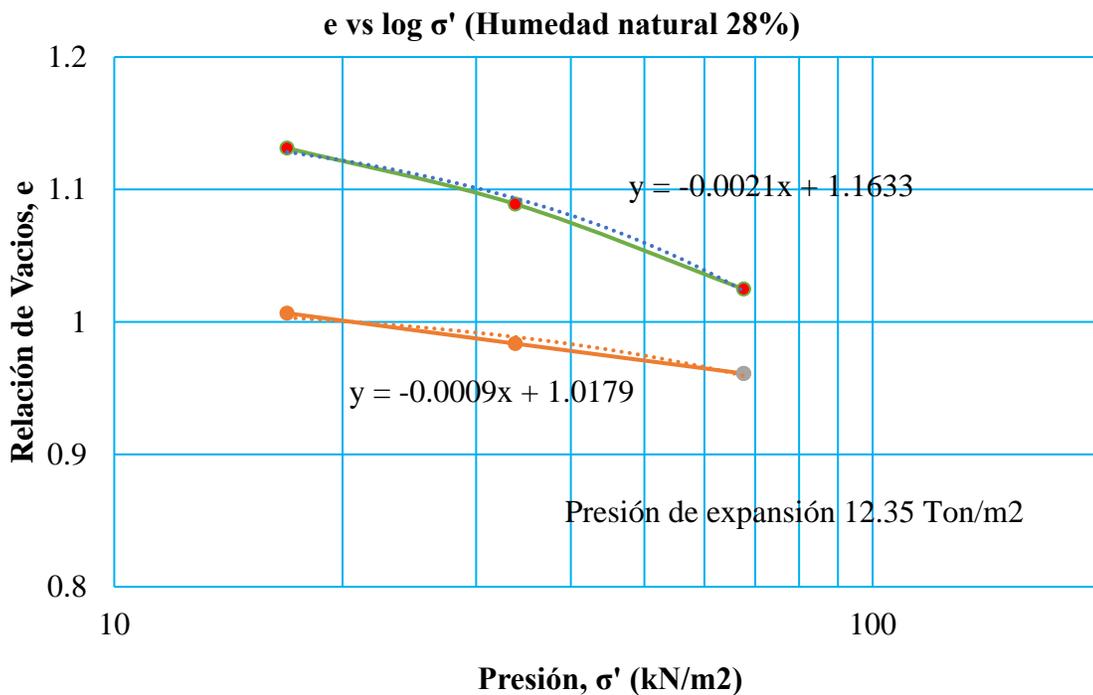


Figura 14. Presión de expansión del suelo con 28% de humedad.

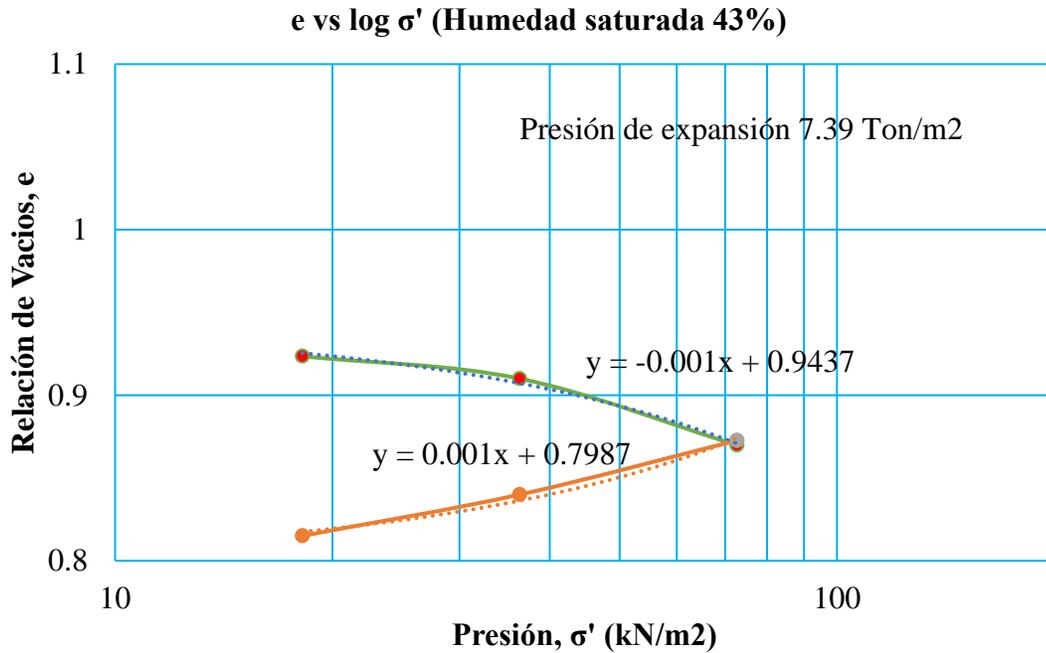


Figura 15. Presión de expansión del suelo con 38% de humedad.

Por último, para determinar cuál periodo es el recomendado para inicial una autoconstrucción, los trabajos de Lezama, J. M. (2017), Antonio, Y. (2014), Montes, E. (2018) y los muestreos realizados para el presente trabajo, fueron tomados en cuenta para elaborar la gráfica presentada en la figura 16 que muestra los contenidos de agua natural y los cambios volumétricos esperados en un año calendario para así compararlos con los datos de precipitación de CONAGUA. Para tener los porcentajes de la precipitación, se considera el mes de septiembre como el 100%.

Cabe mencionar que los datos de contenido de agua obtenidos por los distintos autores fueron considerados en la curva característica de la figura 9 para determinar la succión de los materiales y obtener su cambio volumétrico. Valores como el peso específico del material y la densidad relativa son necesarios, además de lo mencionado es este párrafo, para saber el grado de saturación del suelo.

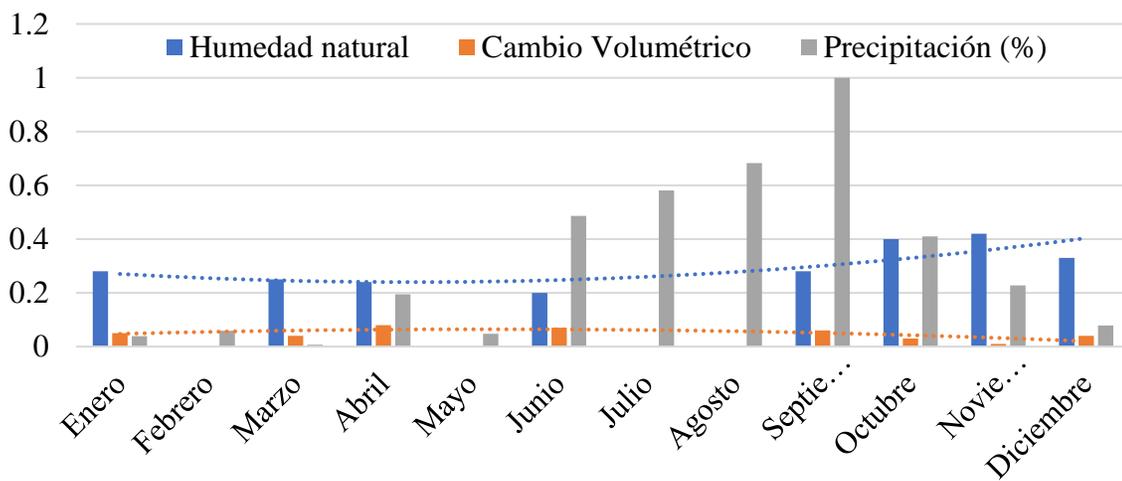


Figura 16. Contenidos de humedad y cambio volumétrico en arcilla de Santa Fe en un periodo anual.

## 4. DISCUSIÓN

En México, la gran mayoría de los suelos expansivos se encuentran en la parte no saturada del subsuelo, esto quiere decir que, el contenido de agua en sus estructuras tiende a ser muy volátiles dependiendo de los cambios climáticos que se producen en la corteza terrestre; esto da por consecuencia que dichos materiales tiendan a sufrir cambios volumétricos considerables.

Para el tema de la construcción de viviendas de interés social, lo mencionado en el párrafo anterior es muy importante a tomarse en cuenta debido a que las presiones de expansión que puede sufrir el suelo son mayores al peso que va a transmitir del inmueble al subsuelo, considerando que una casa unifamiliar es una estructura muy ligera que fácilmente puede permitir problemas como levantamiento o hundimiento de firmes y agrietamiento de muros.

De los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas, se observa que el ángulo de fricción es un parámetro despreciable debido a que es nulo el cambio de su valor al variar las condiciones de saturación del suelo, por lo que la cohesión es el valor que determinará el comportamiento del material

Por otra parte, la presión de expansión es menor cuando el terreno tiene un contenido de agua alto que, considerando la figura 16 donde el cambio volumétrico será de igual forma menor, por lo que estos dos términos van relacionados entre sí.

Debido a estos datos y a los de la tabla 1, se determina que algunos meses del año son más susceptibles para el comienzo de la autoconstrucción de una vivienda, esto debido al contenido de agua que pudieran tener los suelos expansivos al inicio de los trabajos. Este periodo de tiempo sería de aproximadamente un mes después de terminada la temporada de lluvias, ésto para que el suelo no esté completamente saturado y se tenga un potencial de expansión bajo.

Otro caso sería el mes de mayo que en la zona del bajío (Querétaro), es el mes más seco, donde no es recomendable el inicio de la autoconstrucción en este lapso debido a que el suelo estará en proceso de secado y en meses subsecuentes donde las lluvias empiezan a caer producirá un cambio de volumen considerable que podría dañar la cimentación.

Existe un método que es la pre-saturación del terreno, es una técnica utilizada para llevar al material a su estado húmedo y así ya no tener problemas de cambios de volumen o expansión, pero recordando que las arcillas son materiales impermeables, y debido a su alta capacidad para absorber agua, la cantidad de agua que se debe utilizar para pre-saturar el suelo es demasiada; cuando en dicha técnica solo utilizan unas cuantas pipas para su implementación.

## 5. CONCLUSIONES

Con base en resultados de precipitación que se obtuvieron de la CONAGUA, el periodo anual recomendado para la autoconstrucción de una vivienda de interés social es de octubre-marzo, lapso en el cual el promedio de caída de agua absorbida por el terreno va en descenso, mientras que el periodo más crítico para trabajar es de abril-agosto por el potencial del cambio de volumen en el suelo.

Si se desea construir en el periodo crítico, se deberán tomar en cuenta los cambios volumétricos y la presión de expansión del suelo, por lo que en el diseño de una cimentación deberá ser lo suficientemente rígida para soportar estos esfuerzos; ésto conlleva a un costo mayor en el concepto del desplante de la vivienda.

El suelo nunca llega a estar totalmente seco por el concepto de succión y a su vez, tampoco totalmente húmedo, se necesitan lluvias excesivas para llegar a la saturación, lo cual no es

recomendable para iniciar una autoconstrucción por el tema del deslizamiento de paredes en las excavaciones.

En la República Mexicana existen varias zonas donde están presentes los suelos expansivos, por lo que se debe analizar la precipitación media anual de cada región para saber con certeza cual es lapso recomendado en donde se vaya a autoconstruir la vivienda.

De las propiedades mecánicas de una arcilla expansiva, se observa que la cohesión cambia dependiendo del contenido de agua, esto va directamente relacionado con la succión del mismo suelo: a un bajo contenido de humedad, la cohesión y la succión son altos; de forma contraria, si el agua dentro de la estructura es alta, las propiedades del material son bajas.

El suelo estudiado presenta un grado de saturación medio-alto, por lo que la succión y la cohesión pueden verse alteradas en época de sequía con un gran cambio en la succión y potencial de cambio volumétrico, mientras que en temporada de lluvias (junio-septiembre) la reducción en succión es poca pero el material pierde resistencia al bajar su cohesión.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Querétaro por el apoyo y las facilidades brindadas, como el uso del laboratorio de Geotecnia para la realización de las pruebas que dieron pauta para la elaboración de este trabajo de investigación. Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado.

## 7. REFERENCIAS

- Álvarez, A. et al. (2017), *Contribución de las Frecuencias Características al Periodo de Vibración Dominante en la Ciudad de Querétaro, México*. Revista de Ingeniería Sísmica No. 97: 84-101. <https://doi.org/10.18867/ris.97.482>.
- Antonio, Y. (2014). “*Evaluación del impacto de la contaminación con diésel en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso*”, Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Querétaro, p. 57 - 69. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/333>
- ASTM International. (2020). *ASTM D7181-20 a Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils*. DOI: <https://doi.org/10.1520/D7181-20>
- ASTM International (2010). *ASTM D5298-10 a Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper*. DOI: <https://doi.org/10.1520/D5298-10>
- ASTM International (2019). *ASTM D837-19 a Standard Test Method for Methylene Blue Index of Clay*. DOI: <https://doi.org/10.1520/C0837-09R19>
- ASTM International (2007). *ASTM D422-07 a Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. DOI: <https://doi.org/10.1520/D0422-63R07>
- ASTM International (2010). *ASTM D4318-10 a Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. DOI: <https://doi.org/10.1520/D4318-10>
- ASTM International (2008). *ASTM D4546-08 a Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Cohesive Soils*. DOI: <https://doi.org/10.1520/D4546-08>
- Carraco J. C. (2017). “*Implementación de Ensayos de Succión en Suelos Parcialmente Saturados y Análisis de Resultados en Suelos Residuales*”. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de Chile, p. 7-9.

- Casanova, M. (2018). “*Modelación elastoplástica de la curva de retención de agua en suelos parcialmente saturados*”. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España. p. 15.
- Conagua (2022). “*Precipitación por Entidad Federativa y Nacional*”. Comisión Nacional del Agua.  
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/PREC/2022.pdf>. 05/01/2023.
- Flores, I. et. al. (2019), *Estabilidad de taludes durante un desembalse rápido en presas de tierra con suelos parcialmente saturados*”. Ingeniería y Desarrollo, p.15.  
<https://doi.org/10.14482/inde.38.1.624.15>.
- Guerrero, C. (2013). “*Interacción Suelo-Estructura en Arcillas Expansivas*”. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, p. 11-15.
- López T. et. al. (2014), *Análisis de estructuras huecas invertidas colocadas sobre suelos expansivos*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica: 1-2.  
[http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/19\\_XXVII\\_Reunion\\_Nacional\\_de\\_Ingenieria\\_Geotecnica/36\\_Reunion\\_Nacional/83\\_SUELOS\\_NO\\_SATURADOS/A10LOLT\\_1.docx](http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/19_XXVII_Reunion_Nacional_de_Ingenieria_Geotecnica/36_Reunion_Nacional/83_SUELOS_NO_SATURADOS/A10LOLT_1.docx)
- Lezama, J. M. (2017). “*Estudio del índice de reactividad en suelos expansivos bajo diferentes condiciones de esfuerzo aplicado y humedad inicial*”, Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Querétaro, p. 32-38.
- Massarsch, K.R. (1979). “*Lateral Earth Pressure in Normally Consolidated Clay*”. 7<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Brighton, Proceedings, Vol. 2, pp. 245-249.
- Montes, E. (2018). “*Estabilización de suelos y eliminación de fenol mediante subproductos de la industria avícola*”, Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Estado de México, p. 47, 79-80.
- Musso, J. y Suazo, G. (2019) “*Determinación de la curva de retención de agua para relaves multimetálicos de la industria minera de Chile y Proyectos 25*”, p. 22-29.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132019000100022>.
- Nelson J. D. et. al. (2015). “*Foundation Engineering for Expansive Soils*”. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, United States of America, p. 30-38.
- Torres, C. A. et al (2016). “*Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión*”. Terra Latinoamericana, 34(4), 457-466. Recuperado en 10 de abril de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018757792016000400457&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792016000400457&lng=es&tlng=es). ISSN 2395-8030.
- Yáñez, N., D. Dec, J. Clunes y J. Dörner. (2015). “*Estimación de la curva de retención de agua de un Andisol bajo un cultivo de arándano, a través de funciones de pedotransferencia*”. Agro Sur 43 (3): 63-72. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2015.v43n3-07>
- Zepeda, J. A. y Castañeda, A. H. (1989). “*Distribución de suelos expansivos en la República Mexicana*”. Curso Internacional de mecánica de Suelos Arcillosos. J. Alfredo Zepeda Garrido. México.