

Propiedades de Retención de Humedad de Arcillas Fisuradas: Una Herramienta para el Análisis de Problemas asociados a Desecación

Jorge Arturo Pineda Jaimes

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C., Colombia, jorgepineda@usantotomas.edu.co

Diego Alejandro García López

Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C., Colombia, diegogarcial@usantotomas.edu.co

Mauricio de Jesús Cabana Valverde

Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C., Colombia, mauriciocabana@usantotomas.edu.co

RESUMEN

La determinación de las propiedades de retención de humedad, constituyen un punto fundamental en el entendimiento del comportamiento hidromecánico de suelos arcillosos fisurados y su interacción con obras de ingeniería como estructuras de pavimento, cimentaciones superficiales y el flujo de agua en procesos de humedecimiento-secado. Estos materiales corresponden principalmente de suelos finos que clasifican en los grupos CL, CH, ML y MH del sistema unificado de clasificación de suelos. En estos materiales, que poseen frecuentemente tamaños de partícula inferiores a 0.074 mm, el fenómeno de capilaridad es frecuente sobre el nivel freático, permitiéndose la ascensión del agua por medio de los intersticios de las partículas del mismo. Cuando el suelo es sometido a procesos de pérdida de humedad, y sumado al fenómeno de capilaridad, se generan esfuerzos en el esqueleto mineral del suelo asociados a la presión negativa del agua de poros, los cuales generan fisuramiento y contracciones volumétricas que originan inestabilidad estructural de estos materiales y de las obras que sobre estos materiales se apoyan. Las propiedades de retención de humedad son el resultado de la relación que existe entre el contenido de humedad, la saturación, la relación de vacíos y el peso unitario total respecto a la presión negativa del agua en los poros. Su naturaleza determina las tendencias de varias propiedades ingenieriles de arcillas superficiales localizadas sobre el nivel freático, tales como la resistencia y la rigidez.

Palabras Clave: Arcilla, propiedades de retención de humedad, desecación, succión.

ABSTRACT

The water retention properties are a key aspect to understand the hydromechanical behavior of cracked fissured clayey soils, and their interaction with engineering structures such as pavements, shallow foundations and the water flow in wetting - drying processes. These materials are mainly fine-grained soils classified as CL, CH, ML and MH groups in the unified soil classification system. In these materials, which frequently have particle sizes below 0.002 mm in size, the capillary phenomenon is common above the water table, allowing the rise of water through the interstices of the particles. When the soil is subjected to processes of loss of moisture, and with to the capillary phenomenon, stresses associated with negative pore water pressure are generated, fissuring and volumetric contractions causes instability in the mineral skeleton of these materials and in some structures resting on them. The water retention properties are the result of the relationship between moisture content, saturation degree, void ratio and total unit weight relative to the negative water pressure existing in the pores. The nature of these properties determines the main trends of engineering properties of clayey materials over the ground water level, such as the strength and the stiffness.

Key words: Clay, water retention properties, desiccation, suction, negative pore water pressure.

1. INTRODUCCION

El occidente de la sabana de Bogotá (cordillera central de Colombia), consta de un suelo arcilloso de origen cuaternario, de consistencia firme a muy firme en superficie y blanda a muy blanda en profundidad, perteneciente a una formación geológica denominada "Sabana". El material localizado cerca a la superficie, ha presentado cambios volumétricos principalmente generados por procesos constantes de secado y humedecimiento (Pineda y Colmenares, 2006). El fenómeno puede atribuirse al microclima de la zona, el cual presenta un balance hídrico negativo (es más el agua que tiende a evaporarse que aquella que ingresa al suelo por precipitaciones posteriores durante los ciclos anuales de lluvia), a la presencia de pozos de extracción de agua relativamente superficiales y al efecto generado por raíces de especies vegetales como el eucalipto, el pino y la acacia (Rueda y Pineda, 2011).

Los cambios volumétricos del suelo se evidencian en patologías presentes en vías, como se evidencia en la Figura 1, en donde se presenta la deformación visible de la estructura de pavimento de una vía cuyo suelo de fundación se compone esencialmente de arcillas fisuradas (Pineda-Jaimes, 2013).



Figura 1: Patologías generadas por cambios volumétricos del suelo

2. PROPIEDADES DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA SABANA DE BOGOTÁ

Se han realizado diversas investigaciones frente al comportamiento volumétrico de las arcillas cuaternarias de origen lacustre de la Sabana de Bogotá. Beltrán (1979), estudió un problema particular de los suelos arcillosos de la zona urbana de la ciudad de

Bogotá, asociado a la desecación que producen los árboles ornamentales, que se trajeron durante los siglos XVIII y XIX al interior de Colombia por motivos estéticos. Estos árboles, tales como el sauce, el eucalipto y el pino, consumen unos 450 litros de agua al día para su crecimiento, para tomar esta cantidad de agua los arboles requieren ejercer una succión alrededor de 1500 kPa, como consecuencia de la acción de las raíces, el suelo se fisura, y surgen patologías en la superficie de rodadura de vías similares a las presentadas en la Figura 1. Beltrán destaca estos problemas a partir del análisis de la succión en los suelos, en donde existe una presión de poros que es positiva o negativa dependiendo si el suelo está saturado o parcialmente saturado (por debajo o por encima del nivel freático, respectivamente). El suelo, al presentar poros de tamaños inferiores a 0.074mm, presenta el fenómeno de la capilaridad, los esfuerzos presentados entre los poros y el agua son tan altos que pueden llegar alcanzar presiones negativas del orden de 10 000 kPa (Fredlund et al 2012). Una medida indirecta de la presión de agua negativa presente en los suelos (denominada también succión matricial) es el contenido gravimétrico de humedad. En la figura 2, se presenta la relación entre la succión matricial y el contenido de humedad para un caso típico de arcillas estudiada en la ciudad de Londres las cuales han sido estudiadas para determinar su comportamiento volumétrico y son similares a las arcillas de la ciudad de Bogotá.

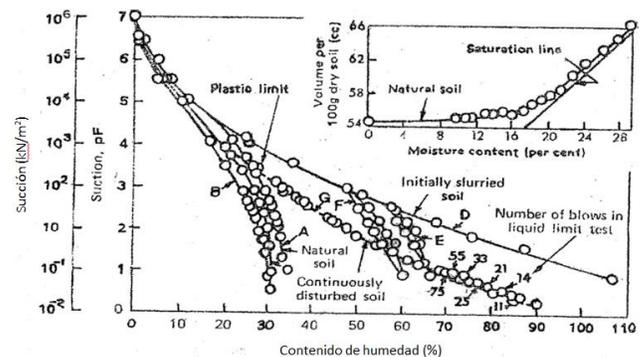


Figura 2: Relaciones entre la succión, el contenido de humedad y la contracción para la arcilla de Londres, Fuente: Beltrán (1979), adaptado de Black et al (1958).

Pineda y Colmenares (2006) han presentado los resultados experimentales del comportamiento volumétrico de suelos arcillosos de la Ciudad Universitaria a partir de la succión matricial. La contracción volumétrica asociada a los aumentos de la succión por desecación es una de las causas principales de las patologías de vías. Pineda y Colmenares

encontraron que durante los procesos de desecado, mayor parte del proceso de contracción volumétrica tiene lugar mientras las arcillas se encontraban aún saturadas. Dichos autores encontraron valores de succión matricial entre 60 y 28.000 Kpa, en la figura 3 presentan las curvas de retención típica de los suelos estudiados, en términos del grado de saturación. Todas las curvas corresponden a materiales localizados entre la superficie del terreno y 5.0m de profundidad.

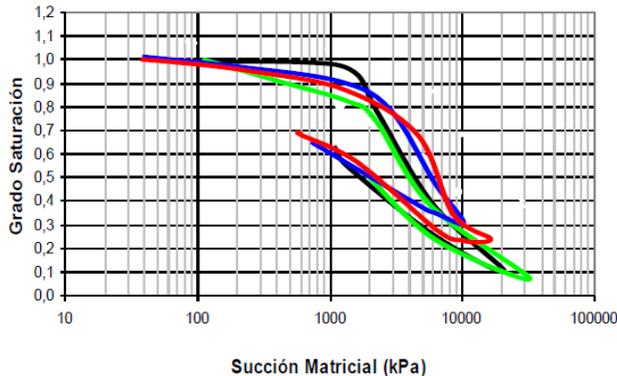


Figura 3: Curvas de Retención de Humedad en términos del grado de saturación de las arcillas naturales entre 0,50 m y 6,0 m de profundidad. Pineda y Colmenares (2006).

En la figura 4, se presenta la curva de contracción de una de las arcillas de la figura 3. Se observa que la relación de vacíos disminuye entre 0.80 y 0.60 para succiones entre 100 y 1000 kPa, una vez alcanzado el segundo valor, la relación de vacíos disminuye apenas 0.1 veces aproximadamente. La arcilla, puede considerarse saturada hasta 1000 kPa, en adelante se considera parcialmente saturada. Nótese que se presentan datos hasta succiones matriciales de hasta 25000 kPa, luego en procesos de humedecimiento, no se logra alcanzar nuevamente la relación de vacíos inicial del material.

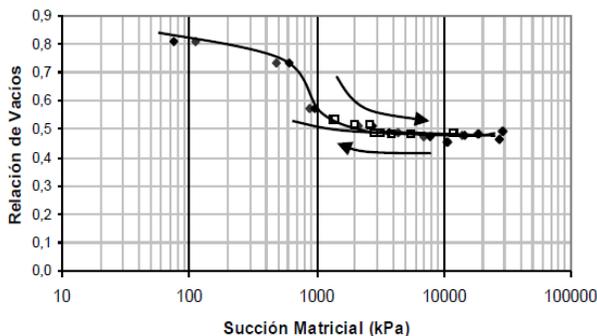


Figura 4: Curva de contracción típica para una arcilla natural. Pineda y Colmenares (2006)

Diversos autores como Fredlund et al (2012), Lu y Likos (2004), Pineda-Jaimes et al (2013), mencionan que las propiedades de resistencia al corte y rigidez (deformabilidad) de los suelos sometidos a variaciones de humedad (i.e., variaciones de succión) guardan una estrecha relación con estas variables y con el estado de esfuerzos. Esta relación es más importante en suelos arcillosos. A menores contenidos de humedad (mayores valores de succión), se espera una mayor cohesión aparente y una mayor resistencia al corte, así como una mayor rigidez de los materiales (menor deformabilidad). Esquemáticamente, en la figura 5, se presenta el marco conceptual que representa las tendencias de la variación de la rigidez y la resistencia en suelos sometidos a cambios de succión.

Sin embargo, dado que pueden producirse fenómenos de microfisuración en la estructura del suelo debido a los esfuerzos inducidos por el agua en tensión, es posible que se produzca pérdida de continuidad de los materiales y las tendencias mencionadas anteriormente no se cumplan.

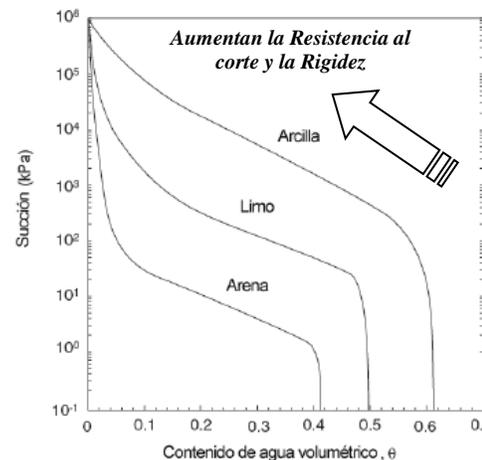


Figura 5: Curvas características de succión representativas para arenas, limos y arcillas. Adaptada y modificada de Lu y Likos (2004).

Dado que la mayoría de los problemas de ingeniería práctica asociados a la presencia arcillas fisuradas/desecadas dependen del conocimiento pleno del comportamiento mecánico de estos materiales, un aspecto fundamental que debe ser evaluado en detalles son las relaciones succión-humedad, las cuales deben ser halladas experimentalmente o predichas para contextualizar las propiedades ingenieriles de los mismos, en aras de plantear modelos racionales para análisis prácticos.

3. CONCLUSIONES

Las propiedades de retención de humedad constituyen un punto fundamental en el entendimiento de las tendencias de las propiedades ingenieriles de suelos sometidos a presiones de agua negativas (succión). Varios fenómenos como el comportamiento volumétrico originado por cambios de humedad, y las variaciones de la resistencia al corte y la rigidez con cambios de humedad que experimentan los suelos arcillosos pueden ser entendidos de manera más racional a partir de las curvas de retención de humedad. Este aspecto es especialmente importante en arcillas desecadas y fisuradas, en las cuales se hace necesario el estudio detallado de dichas propiedades.

El estudio de la variación de la succión en los suelos, a partir de las propiedades de retención de humedad fundamentales, ayudará a implementar mejores prácticas en los diseños de estructuras apoyadas sobre suelos arcillosos fisurados.

REFERENCIAS

- Beltrán, M. (1979). "Evaluación de daños producido por los arboles ornamentales en pavimentos, de la zona norte de Bogotá", *III Simposio Colombiano sobre ingeniería de pavimento*, Cartagena, Colombia.
- Fredlund, D., Rahardjo, H. y Fredlund, M. (2012). "Unsaturated soil mechanics in engineering practice", New Jersey. John Wiley & Sons, Inc.
- Lu, N. y Likos, W. (2004). "Unsaturated soil mechanics". New Jersey. John Wiley & Sons, Inc.
- Pineda, J. (2003). "Comportamiento volumétrico de arcillas de la sabana de Bogotá en procesos de secado." *Tesis para optar al título de Magister en Geotecnia*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Pineda, J. y Colmenares, M. (2007). "Influence on volume change behavior of Bogota clay". *Proceedings of XVIII Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*.
- Pineda, J., Rueda, M., Rojas, L. y Rivera, S. (2013). "Algunas patologías de pavimentos flexibles sobre suelos arcillosos fisurados". *XI Latin American and Caribbean conference for engineering and technology*. Cancun, Mexico.
- Rueda, M. y Pineda, J. (2011). "Patologías asociadas a desecación en pavimentos del sector Siberia-Tenjo, al occidente de la sabana de Bogotá". *XVIII Simposio de ingeniería de pavimentos*. Cartagena, Colombia.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.