

# **Esfuerzos de Preconsolidación y su Importancia en la Determinación del Coeficiente Lateral de Presión de Tierras en Reposo ( $K_0$ ) en Suelos Arcillosos Sedimentarios.**

**Jorge Arturo Pineda Jaimes**

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

**Dilan Eduardo Arias-Montañez**

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

## **RESÚMEN**

El esfuerzo de preconsolidación, es conocido en geotecnia como el esfuerzo máximo al que ha sido sometido un suelo particular a lo largo de su historia geológica. El concepto es especialmente importante para suelos de origen sedimentario. Un suelo es preconsolidado ó sobreconsolidado cuando los esfuerzos efectivos a los que esta sometido actualmente, son inferiores a los máximos históricos, deducidos estos en condiciones endométricas ó isotrópicas. Dentro de los principales factores que determinan el origen de la preconsolidación en un suelo sedimentario, se encuentran procesos geológicos asociados con trayectorias de carga iniciales y posteriores descargas causadas por procesos erosivos (remoción de material por algún agente geológico), desecación (procesos de pérdida de humedad) con profundizaciones del nivel freático y descargas antrópicas realizadas por el hombre (excavaciones). La arcilla de origen lacustre de la ciudad de Bogotá (Colombia), es un material que ha sido sometido a procesos de sedimentación en los últimos 3 millones de años (ma) y a procesos de pérdida de humedad en capas superficiales en los últimos 100 años. Este material ha sufrido todos los procesos anteriormente descritos. El esfuerzo de preconsolidación, está íntimamente ligado con el valor del coeficiente lateral de

presión de tierras en reposo ( $K_0$ ), cuyo valor determina los esfuerzos laterales en obras enterradas. En la arcilla de Bogotá, existe aún ausencia de datos acerca de los valores del  $K_0$ , especialmente en estratos superficiales sobre los cuales se apoyan vías pavimentadas, cimentaciones y otras estructuras.

Palabras clave: Esfuerzos de preconsolidación, arcillas, suelos sedimentarios, succión, desecación, coeficiente lateral de presión de tierras en reposo ( $K_0$ ).

## **ABSTRACT**

Preconsolidation pressure is known as the maximum geotechnical effort that has supported a particular soil along its geological history. The concept is especially important for sedimentary soils. A soil is pre-consolidated or overconsolidated when currently effective stresses are below those historical values, deducting these in oedometer or isotropic conditions. The main factors determining the origin of preconsolidation on a sedimentary soil, there are geological processes are associated with loading stress paths and subsequent unload processes caused by erosion (physical removal of material by some geological agent), desiccation (loss of moisture) with in-depth of the water table and anropic unloads (man made excavations). Lacustrine clay of Bogota (Colombia), is a material that has been subjected

to sedimentation processes in the last 3 million years and dessication processes in surficial layers in the last 100 years. This material has undergone all the processes described above. The preconsolidation stress is closely linked to the value of the coefficient of lateral earth pressure at rest ( $K_0$ ), this value determines the lateral forces of buried infrastructure. There is still a lack of data about the values of  $K_0$  in Bogota Clay, especially in surface layers in which paved roads, foundations and other structures are supported.

Keywords: Overconsolidation pressure, lacustrine clays, suction, dessication, lateral earth pressure coefficient at rest ( $K_0$ ).

## 1. INTRODUCCIÓN

Hacia finales del mioceno, y comienzos del plioceno, el volcanismo de las precordilleras occidental y central se reactivó y las cenizas cubrieron gran parte de la cuenca de Bogotá, a la vez que el plegamiento formó, en esta misma cuenca y en otras de la precordillera Oriental, nuevas cubetas de sedimentación (lagos y lagunas), donde se depositaron, en discordancia sobre los sedimentos más antiguos, los materiales provenientes de la erosión de los relieves altos circundantes. Uno de estos lagos ocupaba la región que hoy se denomina sabana de Bogotá. (Alfonso Pérez Preciado, 2000). La acumulación sucesiva de capas ocasionó el crecimiento de los esfuerzos totales y efectivos horizontales y verticales en el depósito arcilloso. Las capas superficiales del depósito lacustre de Bogotá han sido sometidas a procesos de descarga antrópica, erosiones concentradas y procesos de secado y humedecimiento estacionales que han originado cambios en los estados de esfuerzos iniciales asociados al origen sedimentario del mismo (Pineda, 2003). Existen algunos sectores particulares en los cuales alguno de los procesos mencionados ha tenido mayor relevancia que los demás, esta situación origina que exista actualmente incertidumbre en los esfuerzos de preconsolidación reales de los materiales y el coeficiente  $K_0$ , el cual gobierna aspectos de diseño de muros para sótanos, tuberías enterradas, canales de conducción de aguas, entre otras obras de ingeniería. En la figura 1, se presenta esquemáticamente la variación de los estados de esfuerzos en la arcilla de Bogotá. Actualmente, se

presenta un interés particular por los valores asociados al esfuerzo de preconsolidación vertical edométrico y los valores del coeficiente  $K_0$  de suelos superficiales del occidente de la Sabana de Bogotá, debido a que estos materiales han sido sometidos a procesos de pérdida de humedad notables que han originado pérdida de la continuidad del medio mediante grietas, un estado muy particular en el cual determinar estas variables adquiere una importancia especial para el análisis de problemáticas asociadas al mantenimiento de vías, el apoyo de estructuras livianas y el almacenamiento de agua mediante reservorios y tanques. En la figura 2, se presenta esta zona de interés particular.

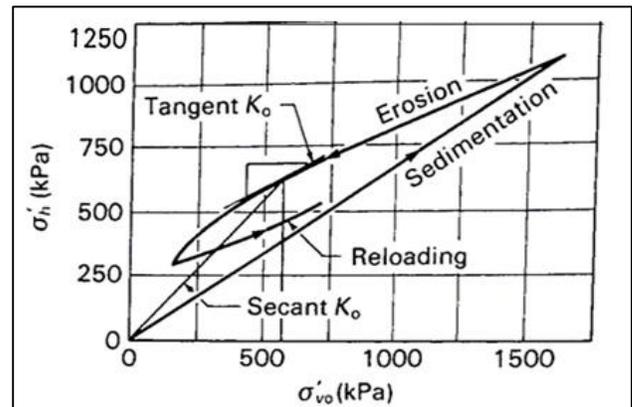


Figura 1. Típica trayectoria de esfuerzos efectivos horizontales, para varios esfuerzos efectivos verticales de una arcilla de la Sabana de Bogotá D.C. Fuente: Fredlund et al (2011).

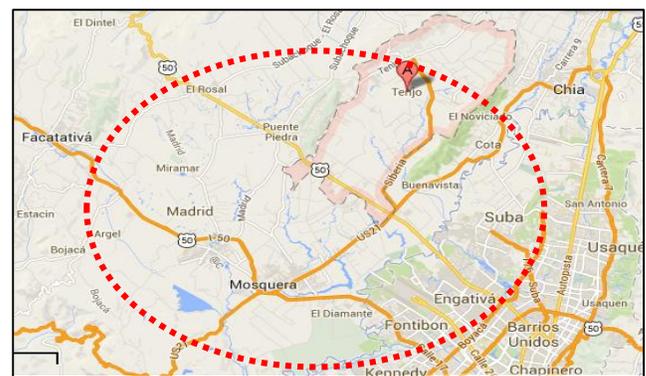


Figura 2. Zona Occidental de Bogotá D.C (El círculo punteado muestra la arcilla objeto de investigación). Fuente: propia.

## 2. ESFUERZOS DE PRECONSOLIDACION EN LA ARCILLA DE BOGOTA Y SU INFLUENCIA EN EL COEFICIENTE (K<sub>o</sub>).

En suelos arcillosos de la ciudad de Bogotá, Pineda (2003) menciona que, los esfuerzos de preconsolidación de los materiales encontrados en el perfil del subsuelo de la ciudad universitaria calculados de acuerdo con la metodología propuesta por Becker (1987), varían entre 200 kPa y 352 kPa. Los valores más altos del esfuerzo de preconsolidación corresponden a los materiales arcillosos ubicados entre 0.50 m y 2.00 m de profundidad. Así mismo, el autor estimó valores similares por el método tradicional de Casagrande (1936), de donde deduce, que la arcilla encontrada se encuentra ligeramente preconsolidada, muy probablemente por desecación superficial. Esta tendencia puede soportarse a partir de la figura 3, en la cual se muestra la relación esfuerzo de preconsolidación – succión para arcillas de la sabana de Bogotá halladas por Ávila (2001).

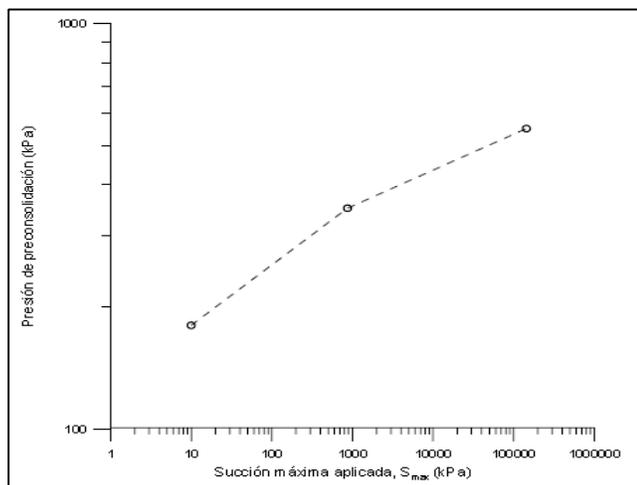


Figura 3. Presión de consolidación para diferentes valores máximos de succión en ensayos EDO-SAT, EDO-TRV, EDO-PEG, presión de preconsolidación máxima 700Kpa. Fuente: Ávila (2001).

Al hablar de la variación de los esfuerzos de preconsolidación con la profundidad, Pineda y

Colmenares (2006) mencionan que en general, las arcillas estudiadas presentan un esfuerzo de preconsolidación variable entre 170 kPa y 350 kPa además las relaciones de vacíos variables están entre 0.8 y 1.5. Los valores más altos tanto del esfuerzo de preconsolidación, correspondientes a relaciones de sobreconsolidación cercanas a 3.0, se encuentran en las arcillas superficiales ubicadas entre 0.50 m y 2.00 m de profundidad. Esta tendencia puede ser explicada debido a los procesos de desecación que han tenido y tienen lugar en la Sabana de Bogotá. En la figura 4 observa, la variación del esfuerzo de preconsolidación vs profundidad mencionados por Pineda y Colmenares (2006), y en la figura 5, unas fotografías que muestran el agrietamiento ocasionado en el sub suelo ocasionado por la desecación en la zona del occidente de Bogotá.

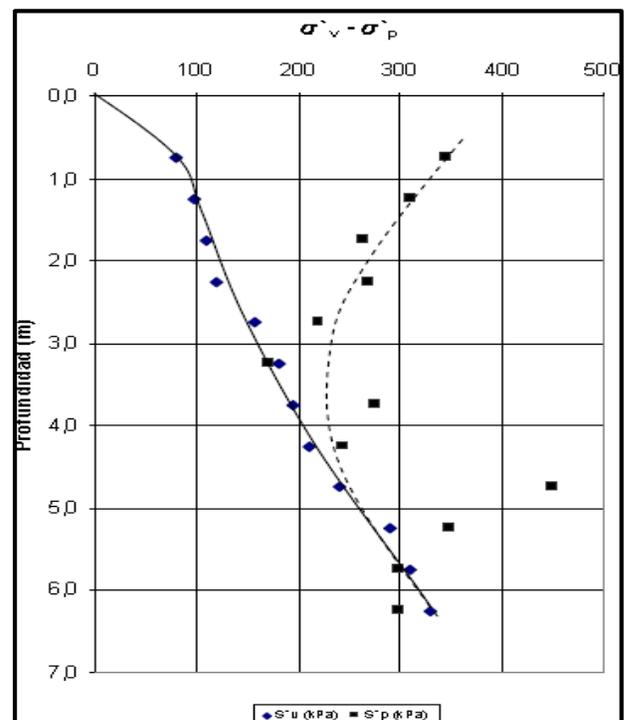


Figura 4. Esfuerzo efectivo vertical in-situ y esfuerzo efectivo de preconsolidación de la arcilla de Bogotá (en función de la profundidad). Fuente: Pineda y colmenares (2006)



Figura 5. Morfología de agrietamientos identificados en el subsuelo del occidente de Bogotá D.C. Fuente: propia.

Como es de pleno conocimiento en la comunidad ingenieril especializada en suelos, con base en los esfuerzos de preconsolidación podemos hacer otro tipo de estimaciones características del suelo en estudio, como lo es el coeficiente lateral de presión de tierras en reposo ( $K_0$ ), el cual como lo menciona Tavenas (1973), es resultado de la relación de esfuerzos de preconsolidación horizontal y vertical. Teniendo en cuenta lo anterior Suarez Galvis y Suarez Niño (2005), bajo la dirección de Pineda-Jaimes, realizaron una investigación sobre suelos arcillosos lacustres del norte de Bogotá D.C determinando ( $K_0$ ) a partir de ensayos de consolidación unidimensional, obteniendo esfuerzos de preconsolidación tanto horizontales como verticales. De estos resultados se dedujo que los esfuerzos de preconsolidación tienden a disminuir con la profundidad hasta 3.5 m, tendencia que se repite por debajo de esta profundidad hasta 5.50 m; esto ocurre, posiblemente debido a que la humedad natural presenta la tendencia contraria y la relación de vacíos aumenta con la profundidad. Lo anterior llevó a los autores a encontrar valores de  $K_0$  que oscilan entre un mínimo de 0.61 y un máximo de 1.00, como es de esperarse para suelos arcillosos normalmente consolidados (Fredlund et al, 2011).

### 3. POSIBLES RELACIONES ENTRE ESFUERZOS DE PRECONSOLIDACIÓN Y ( $K_0$ ) EN ARCILLAS FISURADAS.

En la figura 6 se presentan algunas evidencias relacionadas con la desecación en suelos (subrasante) del occidente de la sabana de Bogotá. Se observa principalmente que vías pavimentadas han perdido su nivel de servicio por fallas en la subrasante arcillosa

lacustre, la cual se ha visto sometida a procesos de desecación.

El suelo arcilloso que está en estudio del occidente de la sabana de Bogotá, presentaría unos esfuerzos de preconsolidación que irán disminuyendo con la profundidad (presentando mayores esfuerzos de preconsolidación en los primeros metros), con un progresivo aumento de relación de vacíos a mayor profundidad.

En cuanto al coeficiente lateral de presión de tierras en reposo ( $K_0$ ), se esperaran magnitudes inferiores a 1.00, principalmente porque las grietas en el subsuelo se encuentran presentes, sin embargo, es evidente que la influencia de los ciclos humedecimiento-secado en el valor de ( $K_0$ ) es aún un tema confuso que requiere mayor estudio.



Figura 6. Consecuencias de la desecación de arcillas, en vías pavimentadas al occidente de Bogotá D.C. Fuente: propia.

### REFERENCIAS

Ávila, G. (2001). "Curvas de retención de agua de una arcilla de Bogotá". *XI Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana y IV Foro sobre Geotecnia de la Sabana de Bogotá*. Sociedad Colombiana de Ingenieros, sociedad Colombiana de geotecnia: 1-15. Bogotá, Colombia.

Becker, D. E., et al (1987). Work as a criterion for determining in situ yield stresses in clays. *Canadian geotechnical journal*. Vol. 24. No 4.

Casagrande, A. “the determination of the preconsolidation load and its practical significance”. (1936). *Proc. Ist. Int. conf. soil mech found. Engrg.* (Cambridge, Mass). Vol. I, 60.

Fredlund, D.G, Rahardjo, H., and Fredlund, M.D., *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2011. Capítulo 3. Páginas 60 a 95.

Pérez P. A., (2000). “La estructura ecológica principal de la sabana de Bogotá D.C”. *Evento organizado por la sociedad geográfica de Colombia. Academia de ciencias Geográficas*. Bogotá, Colombia.

Pineda, J. (2003). “Comportamiento volumétrico de arcillas de la Sabana de Bogotá en procesos de secado”. *Tesis para optar al título de Magíster en Geotecnia*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Pineda J. y Colmenares J.E. (2006). Influence of desiccation on volumetric behavior of Bogota Clay. *Proceedings of XIII Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Editors: Sociedad Venezolana de Geotecnia.

Suarez G.D. y Suarez. F (2005). “Determinación del coeficiente de presión de tierras en reposo  $K_0$  para una arcilla superficial de la sabana de Bogotá mediante ensayos de consolidación”. *Tesis para optar al título de Ingeniero Civil*. Universidad Agraria de Colombia. Bogotá.

Tavenas, F, A., Blanchette G., Leroueil S., Rov M y La Rochelle P (1975). “Dificultés in the in situ determination of  $K_0$  in soft sensitive clay, in situ measurement of soil properties”. Vol.2. A.S.C.E. North Carolina.

## **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.*