
Revista Brújula, Semilleros de Investigación

ISSN 2346-0628 (en línea)

Volumen 6, Número 12, julio-diciembre, 2018. pp. 17-23

CITACIÓN: Andes Fino, V., Lozano D. A. & Ruge C., J. C., (2018). Caracterización de suelos metaestables (parte I). *Revista Brújula de Investigación*, 6 (12), 17-23

Recibido: 22 de mayo de 2018 • Aceptado: 10 de junio de 2018



SECCIÓN: TECNOCIENCIA

Caracterización de suelos metaestables (primera parte)

Characterization of metastable soils (first part)

Cadete Camilo Andes Fino Vela^a

Facultad de Ingeniería Civil

CP. Diego Andrés Lozano^b

Facultad de Ingeniería Civil

Tutor: Ing. Juan Carlos Ruge C.^c

Facultad de Ingeniería Civil

RESUMEN. En la primera entrega de esta investigación se pretende caracterizar un suelo con características metaestables mediante ensayos índice, mineralógicos y químicos. Debido a su alta porosidad y tipo de cementación, este suelo presenta una estructura temporalmente inestable cuando experimenta un incremento de humedad y/o variación del nivel de esfuerzos, de modo que en la mayoría de los casos se produce un cambio significativo de volumen denominado *colapso*. Para identificar las propiedades básicas se realizaron ensayos, así como técnicas de difracción de rayos X (DRX) y Fluorescencia de Rayos X (FRX) con el fin de determinar la mineralogía y química de este tipo de suelo.

PALABRAS CLAVE: Difracción de Rayos X (DRX); caracterización básica; Fluorescencia de Rayos X (FRX); metaestabilidad.

a Contacto: camilocafv@gmail.com

b Contacto: ing.ici.lozano@gmail.com

c Contacto: jcruce@gmail.com

ABSTRACT. In the first part of this research, it is intended to characterize by means of index, mineralogical and chemical tests, a soil with metastable characteristics, which, due to its high porosity and type of cementation, presents a temporarily unstable structure when it experiences an increase in humidity and/or variation of the stress level, resulting in the majority of cases in a significant volume change called collapse. Tests were developed for the identification of the basic properties, as well as techniques of X-ray Diffraction (XRD) and X-ray Fluorescence (XRF), in order to determine the mineralogy and chemistry of this type of soil.

KEYWORDS: Basic Characterization; Metastability; X-ray Diffraction (XRD); X-ray Fluorescence (XRF).

Introducción

Los suelos con respuesta metaestable poseen generalmente coincidencias en su formación geológica; relación de vacíos alta, presencia de cementación, baja consolidación, entre otras. Esto hace que su comportamiento, en la mayoría de los casos, esté gobernado por una respuesta no saturada, de manera que la afectación de la succión es un factor importante para caracterizar a un suelo con estas características. Mediante la realización de diferentes tipos de ensayos, desde los más básicos hasta ensayos de resistencia en condición no saturada, se puede conocer un espectro más amplio del comportamiento global del suelo y obtener herramientas que permitan abordar un problema geotécnico, ya sea desde la etapa de diseño o de modelación numérica usando un modelo constitutivo apropiado que pueda reproducir la respuesta no saturada del suelo.

Para entender de manera apropiada el comportamiento complejo de estos materiales, se debe hacer una caracterización básica muy cuidadosa, analizando con detalle cada uno de los aspectos que gobiernan la respuesta de estos suelos.

La primera fase de la investigación que se presenta en este artículo muestra la caracterización mineralógica y química típica de un tipo de suelo con esta naturaleza colapsable.

Características geológicas y geotécnicas

El suelo típico analizado está conformado por un suelo arcilloso color cobrizo a rojizo. Presenta baja resistencia a la penetración (SPT entre 1 y 6 golpes), baja resistencia de punta (CPT entre 0.6 y 2.3 MPa), baja capacidad de carga, bajo nivel de saturación y permeabilidad alta (10^{-3} - 10^{-4} m/s). Debido a su alta porosidad y el tipo de cementante presente en su estructura, esta arcilla tiene una estructura altamente inestable cuando es sometida a incrementos sustanciales de humedad y/o alteración de nivel de esfuerzos (Cunha et al., 1999) (Figura 1).

El perfil típico de la región donde fue tomado el suelo para los ensayos se puede dividir en las siguientes subcapas (Mota, 2003; Guimarães, 2002):

- 0 a 3.5 m. Arcilla porosa limo arenosa, con predominancia de gibbsita, macroporos y agregados, alta relación de vacíos (1.27 - 1.60), peso específico de sólidos aproximadamente de 26.5 kN/m³ e IP promedio de 10. Es importante enfatizar que las propiedades entre 3 y 4 metros corresponden a una zona de transición.

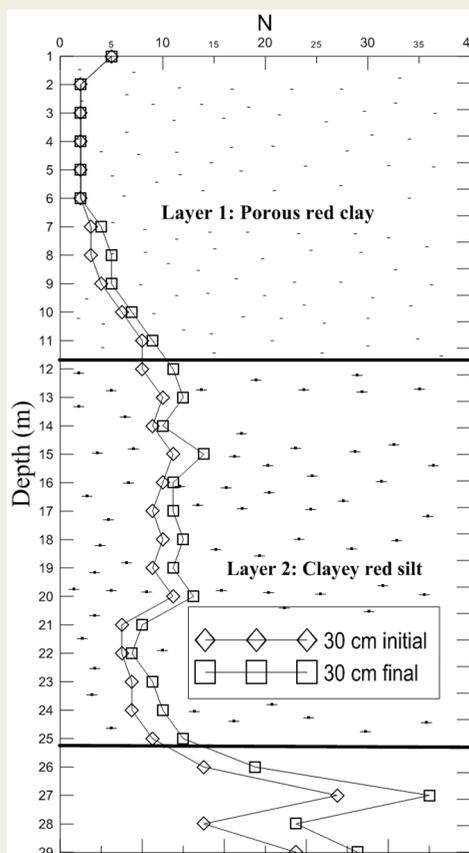


Figura 1. Resultados de SPT en el sitio de estudio.

Fuente: Cunha et al. (1999).

- 3.5 a 8.5 m. Arcilla areno-limosa, zona de propiedades físicas, mineralógicas y microestructurales que paulatinamente varían hasta encontrar un suelo residual a 8.5 m. En esta capa la gibbsita, porosidad y macroporosidad decrecen, la relación de vacíos se reduce (1.27 a 0.89), el peso específico de sólidos y el IP son similares a los de la capa anterior.
- 8.5 a 26.0 m. A esta profundidad, el suelo toma una textura más limosa, caracterizada por el incremento de relación de vacíos (0.96 a 1.08), peso específico de sólidos (aproximadamente de 27.4 kN/m³) e IP (valor promedio de 17), con una distribución de poros más homogénea. El peso de sólidos (aproximadamente de 26.5 kN/m³), conformado de mineral arcilloso como caolinita ($g_s=25.5$ kN/m³), cuarzo ($g_s=26$ kN/m³) e hidróxido de hierro (hematita; $g_s=51$ kN/m³) aluminio (gibbsita; $g_s=24$ kN/m³). El incremento de g_s a partir de 8 m es debido a la pérdida de gibbsita, mientras el contenido de hematita se mantiene.

Caracterización del material

Caracterización básica

Por medio de ensayos físicos y químicos se llevó a cabo una caracterización completa del material. En la tabla 1 se analizan algunas propiedades básicas y parámetros geotécnicos del suelo en estudio.

Tabla 1. Caracterización básica del material analizado

Muestra	1B	2A
Prof. (m)	6.0	9.0
w (%)	26.8	19.6
g_s [kN/m ³]	28.01	28.02
g_d [kN/m ³]	11.39	12.88
g [kN/m ³]	14.70	15.51
Gs	2.81	2.82
LL (%)	48	50
LP (%)	29	30
IP (%)	19	20
IC	1.13	1.55

Fuente: Elaborada por los autores.

Asimismo, en la figura 2, se muestra que las muestras presentan grandes diferencias en la granulometría, cuando los ensayos se realizan con y sin defloculante. Esta diferencia se debe a la presencia de cementante en forma de grumos en el suelo similar a los granos de arena (i.e., existe claramente una distribución de microporos y macroporos (bimodal) en la muestra ensayada).

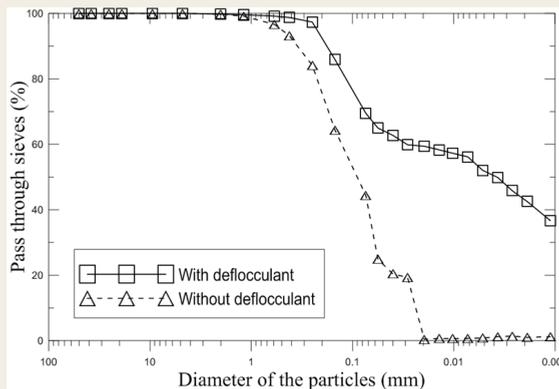


Figura 2. Granulometría de la arcilla porosa de Brasilia

Fuente: Ruge, Cunha y Mašín (2013).

Caracterización mineralógica y química

Se empleó un difractómetro de rayos X (DRX), una herramienta valiosa para caracterizar minerales de arcilla y otros componentes desde el punto de vista mineralógico. La tabla 2 sintetiza la lista de compuestos del mineral encontrado en la muestra localizada a 6 m de profundidad.

Tabla 2. Resultados de análisis de fase en el DRX. Lista de patrones

Compuesto	Puntaje	Total líneas	Semicantidad (%)
Cuarzo	69	12	63
Gibbsita	45	69	11
Caolinita	42	116	21
Hematita	57	10	5

Fuente: Elaborada por los autores.

Ante la presencia de posibles minerales con poder cementante en la muestra, se llevó a cabo un ensayo de química total para identificar la cantidad de compuestos químicos presentes (tabla 3).

Tabla 3. Química total del suelo

Compuesto /Muestra	6 m	9 m
(%)	49,11	50,11
SiO ₂	43,72	52,92
TiO ₂	0,84	0,58
Al ₂ O ₃	27,42	24,46
Fe ₂ O ₃	13,42	10,33
FeO	0,10	0,08
MnO	0,02	0,03
MgO	0,08	0,32
CaO	0,02	0,01
Na ₂ O	0,01	0,03
K ₂ O	0,22	0,90
P ₂ O ₅	0,03	0,03
H ₂ O ⁻	0,84	0,46
H ₂ O ⁺	11,89	9,12
CO ₂	1,06	0,33
Suma	99,67	99,60

Fuente: Elaborada por los autores.

Usando estas técnicas fue posible identificar minerales como cuarzo, caolinita, gibbsita y hematita, lo cual coincide con el trabajo reportado por Cardoso (1995). En consecuencia, es importante revisar que el factor que afecta el resultado de Gs para valores más altos que los típicos (2.60 – 2.68) generalmente está influenciado por la presencia de minerales férricos y aluminicos que incrementan el valor de Gs.

Además, es significativo resaltar que aunque la cantidad de estos minerales es relativamente baja (tabla 3), pueden tener influencia sobre la cementación en la estructura de la arcilla y, por lo tanto, generar un comportamiento metaestable. Así lo expone Sultan (1969), quien argumenta que los suelos colapsables son parte de un grupo de suelos metaestables cuya estructura inicial es rota debido a variaciones ambientales. Al respecto, Vargas (1973) define los suelos colapsables como toda la superficie porosa laterítica, caracterizada por la parcial saturación y cementación de óxidos férricos.

De acuerdo con lo anterior, la fracción fina de suelos lateríticos es predominantemente caolinita con óxido de hierro y de aluminio, que está interconectado de manera estable en una fábrica porosa.

Conclusiones

Es esencial entender que para hacer la caracterización completa de un suelo colapsable con características metaestables se debe incluir la respuesta no saturada como un factor fundamental para estudiar los aspectos que gobiernan el comportamiento mecánico (incluso hidráulico). Por tal razón, es necesario realizar ensayos en condiciones no saturadas que brinden datos relevantes acerca de este comportamiento.

En este caso en particular, algunos ensayos índice, en combinación con ensayos químicos y mineralógicos, fueron útiles para revelar que, efectivamente, algunos aspectos de la arcilla de Brasilia pueden servir como herramientas para entender la naturaleza metaestable de este suelo.

Consecuentemente, en la próxima etapa de investigación se presentarán ensayos de caracterización más avanzados, como porosimetría por intrusión de mercurio, análisis imagenológicos y curvas de retención de agua, los cuales complementan la caracterización total que requiere un suelo de estas características.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdoba”.

Declaración de divulgación

Los autores declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el artículo. El artículo forma parte del Semillero de Investigación IngeMil, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdoba”.

Financiamiento

Los autores no declaran fuente de financiamiento para la realización de este artículo.

Sobre los autores

Cadete Camilo Andes Fino Vela es estudiante de nivel de la Facultad de Ingeniería Civil. Vinculado al Semillero de Investigación IngeMil.

Referencias

- Cardoso, F. (1995). Análise química, Mineralógica e micromorfológica de solos tropicais. Colapsáveis e o estudo da dinâmica do Colapso (Master's Thesis). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Cunha, R., Jardim, N. & Pereira, J. (1999). In situ characterization of a tropical clay via dilatometer tests. En Bill Edelen (ed.), *Behavioral Characteristics of Residual Soils, [Geotechnical Special Publication 92]* (pp. 113-122). Charlotte: GEO Institute.
- Guimaraes, R. (2002). Análise das propriedades e comportamento de um perfil de solo laterítico aplicada ao estudo do desempenho de estacas escavadas (Master's Thesis). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Mota, N. (2003). Ensaio avançado de campo na argila porosa não saturada de Brasília: interpretação a aplicação em projetos de fundação (Ph.D. Thesis). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Ruge J. C., Cunha R. P. & Mašín D. (2013). "Results of unsaturated tests on metastable soils". *Advances in unsaturated soils. Proceedings of the First Pan-American Conference on Unsaturated Soils, Cartagena, Colombia* (pp. 469-474).
- Sultan, H. (1969). Collapsing soils: State-of-the-art. VII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico (pp. 1-17).
- Vargas, M. (1973). Structurally unstable soils of southern Brazil. VIII Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, 2 (2), 232-249.