



UNIVERSIDAD NACIONAL CÓRDOBA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES PROPIEDADES GEOTECNICAS DE SUELOS RESIDUALES RELEVANTES PARA SU CLASIFICACION: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.

Bogado Gustavo¹, **Francisca Franco**^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Córdoba (UNC) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Córdoba, Argentina. Grupo IMPAS.

^{2**} Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Departamento de Construcciones Civiles.

* gustavobogado777@gmail.com, ffrancis@efn.uncor.edu

Palabras claves: suelos residuales, meteorización, comportamiento.

Eje temático: Geotecnia.

RESUMEN

Gran parte de la provincia de Misiones está cubierta por suelos residuales. Los suelos residuales son producto de la meteorización in situ de la roca, presentan características y propiedades que los distinguen de otros tipos de suelos (Blight et al., 2012). Las teorías de comportamiento mecánico de estos materiales derivan de investigaciones de suelos transportados, ampliamente estudiados en la denominada mecánica de suelo clásicas. Debido a ello, es común que existan discrepancias significativas entre el comportamiento predicho por las teorías clásicas y el observado en la realidad. Por tales motivos, es necesario realizar estudios específicos para evaluar las principales propiedades físicas, mineralógicas y grado de meteorización que controlan el comportamiento de estos suelos. En esta publicación se realiza una revisión de las principales características obtenidas de investigaciones de suelos residuales Misioneros, obtenidos hasta la fecha, en la misma se realiza una compilación bibliográfica y se detallan las propiedades índices, mineralogía, estructura, como así también, su comportamiento a bajas deformaciones.

INTRODUCCIÓN

Los suelos residuales son producto de la meteorización físico-química de la roca y sus propiedades características son influenciadas por los factores climáticos, material parental, topografía, etc. (Mitchell y Soga 2005, Wesley 2010). Cuando se cuenta con zonas bien drenadas se originan los suelos lateríticos, ricos en aluminio y sesquióxidos, el cual su mineral principal es la caolinita (Gigatsu 1978, Townsend 1985). Las lateritas poseen una alta relación de vacíos, alta permeabilidad, anisotropía, plasticidad elevada producto de su génesis.

La mayoría de los conceptos clásicos relacionados con las propiedades del suelo y el comportamiento de los suelos se han desarrollado para los suelos de la zona templada y no ha habido dificultades en los procedimientos y las condiciones para modelar con precisión a la que serán sometidos los suelos residuales (Fredlund and Rahardjo, 1991), por lo que el estudio del comportamiento de estos materiales es de importancia importante para su uso como material en proyectos de ingeniería.

La provincia de Misiones posee un clima subtropical, cuenta con precipitaciones de 1900 y 2300 mm/año y una temperatura promedio anual de 21,6°, está cubierta de manera general por suelos lateríticos de color rojo, cuyo mineral predominante es la caolinita, lo cual resulta típico en regiones con climas intertropicales y húmedos.

GEOLOGÍA DE LA REGIÓN

La formación Serras Geral representa la unidad expuesta más antigua de Misiones; sus afloramientos se distribuyen ampliamente en todo el territorio de la Provincia, incluye dos miembros uno de naturaleza magmático (miembro Posadas) y otro de origen sedimentario clástico (miembro Solari). La formación Ubajay está compuesta por pefitas gruesas, situadas en terrazas de la margen izquierda del Paraná, entre Corpus y Posadas de espesores entre 6-8m., ribera derecha del Río Uruguay (Gentili y Rimoldi, 1979). La formación Apóstoles, está formada por arena fina de color rojizo en que los niveles inferiores asumen una coloración roja, variando su granulometría en profundidad disminuyendo el tamaño del grano hacia la superficie asumiendo una mayor representatividad la fracción limosa hasta pasar a constituir limos arenosos y arcillas en superficie.

PERFIL DE METEORIZACIÓN

Los perfiles resultante de los procesos intemperismo, presenta generalmente características de heterogeneidad en profundidad, pudiendo diferenciarse de acuerdo con el grado de meteorización y en base a criterios fundamentalmente cualitativos diferentes zonas u horizontes en los cuales se presenta relativa uniformidad (Reinert, 2008). Los perfiles típicos, producto de la meteorización de suelos residuales consisten en capas diferenciadas donde; en las primeras capas es caracterizado con un manto de materia orgánica (Gigasú 1976) la zona de intensa meteorización suelo maduro ocurre en zonas cercana a la superficie (Vargas 1953, Wyllie 2007), en el caso de suelos lateríticos, son debido a la lixiviación de sílice-álcali y la acumulación de hierro hidratado y óxidos de aluminio denominados sesquióxidos (Umarany and Davids 1990) una zona de transición o zona intermedia también altamente meteorizada con algunas características del material parental (Blight y Leong 2012), y el suelos joven (Vargas, 1953; Wyllie, 2007) o también denominado Saprolito (Wesley 2010)

Un perfil típico de meteorización en profundidad se muestra en la **Figura 1** (Little, 1969) Los límites entre las capas generalmente no están claramente definidos.

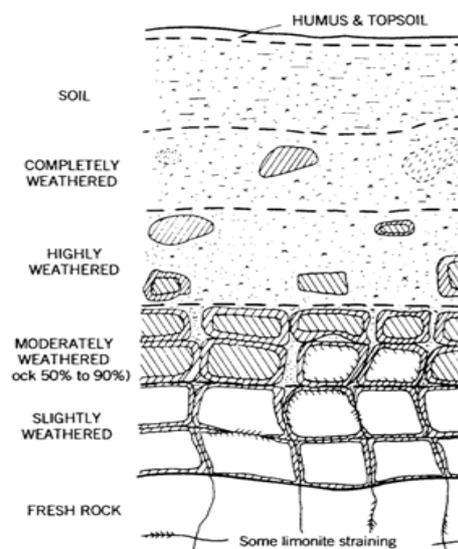


Figura 1 . Perfil característico de suelos residuales (Little 1967).

ESTRUCTURAS DE LOS SUELOS RESIDUALES

La estructura es un resultado directo de los procesos físicos y químicos (Vaughan 1985). Los cambios que se producen en la estructura de suelos residuales se generan según (Vaughan y Kwan, 1984) debido a:

- Debilitación por la alteración producida y renovación del material, acompañado con la pérdida de masa, disminución de la resistencia al corte y rigidez con un aumento de la porosidad.
- Unión (bonding) por la precipitaciones de sales solubles, y aumentando la masa, tensión y rigidez y reducción de la porosidad.
- Incremento en el volumen a tensión efectiva constante.
- Efectos no químicos generados por cambios en las tensiones efectivas derivados de la desecación e hinchamiento, que pueden ser cíclicos.

Según Collins (1985), citado en (Fourie et al 2012) el análisis de la estructura en suelos tropicales se puede realizar en tres niveles de organización (nivel elemental, nivel de asociación y el nivel de composición) Figura 4 donde:

- El nivel de primario está formada por un grupo de partículas de arcilla, limo o arena, o el tamaño de partícula de agregado de arcilla;
- Nivel de Asociación incluye una gran cantidad de partículas de arcilla o partículas granulares, los agregados tienen bordes afilados y tres tipos identificados en este nivel son las matrices y los agregados de arcilla y granular;
- Nivel de la composición se compone de matrices conectores agregaciones

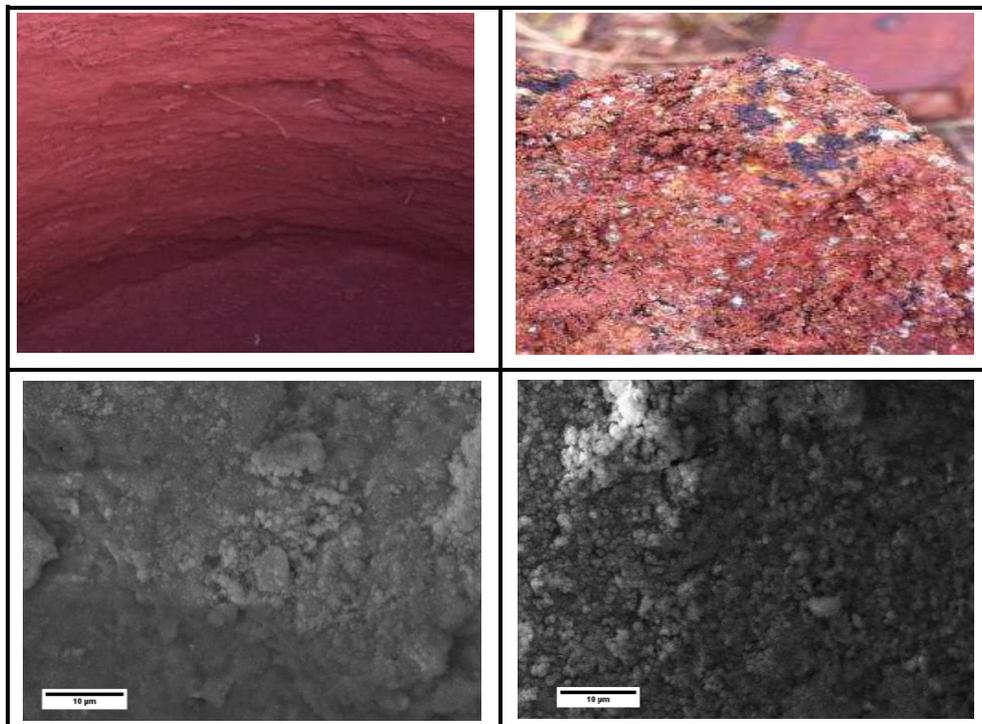


Figura 2. Imágenes obtenidas mediante SEM

MINERALOGÍA

La mineralogía está asociada con el modo de formación y ocurrencia (Bligh and Leong, 2012), es el factor principal que controla el tamaño, la forma y las propiedades de las partículas del suelo. Estos mismos factores determinan los rangos posibles de las propiedades físicas y químicas de cualquier tipo de suelo, por lo tanto, un conocimiento a priori de qué son los minerales en un suelo proporciona una visión intuitiva en cuanto a su comportamiento (Mitchell y Soga 2005). Por ejemplo, suelos residuales con contenidos de halloysita como mineral principal presentan, alta plasticidad, sensibilidad en el secado y una alta compresibilidad que los que poseen el mineral caolinita. (Townsend 1985, Wesley 1990, Wesley 2010)

Por lo general los suelos denominados jóvenes, poseen gran parte de los minerales de la roca madre, y en cambio los suelos maduros, el grado de intemperismo, no poseen los minerales primarios. (Lumb 1965) indicó que la relación entre minerales primarios residuales (material parental) y minerales secundarios (material producto de la meteorización) puede ser una característica importante para la clasificación de los suelos residuales y se puede llegar a indicar el proceso de descomposición que tiene la roca.

La mayoría de suelos lateríticos y saprolíticos están constituidos por diferentes minerales de arcilla cuya clasificación se torna difícil, siendo común algunas veces el empleo de varias técnicas para determinar la composición mineralogía con mayor precisión (Souza Martins 2005). Las técnicas más comunes para la determinación de minerales son (Fourier, et al 2012):

- Difracción de rayos X
- Termo gravimetría.
- Microscopio electrónico de barrido combinado con alguna forma espectral para la identificación elemental.

Normalmente, los suelos residuales del tipo lateríticos poseen como mineral principal la caolinita.

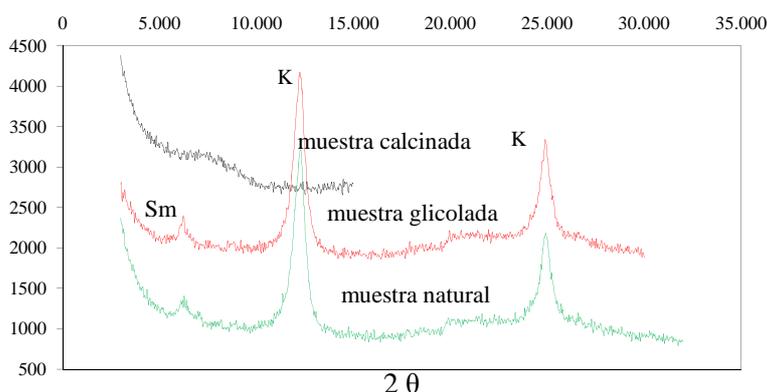


Figura 3 .Difracción de rayos x de Suelo Residual.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Las propiedades de los suelos residuales varían de una región a otra debido a su heterogeneidad y al grado de intemperismo, el cual está controlado por las condiciones climáticas, topográficas regionales y la naturaleza de la roca madre (Rahardjo 2004). Las determinación de propiedades de algunos suelos residuales tienden a sufrir variaciones según el método y práctica de laboratorio empleada (Towsend 1985, Vaughan 1988) sin embargo no sucede en todos los casos y algunos suelos residuales no son susceptibles a cambios (Queiroz de Carvalho 1985) principalmente los que su mineral principal es la caolinita.

Los suelos residuales poseen características geotécnicas específicas no representadas adecuadamente en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Algunos detalles de cambios en propiedades índices por el efecto de secado y preparación son analizados en (Reinert 2008).

PROPIEDADES A BAJOS NÍVELES DE DEFORMACIÓN

La cementación está presente en gran parte de los suelos, ocurre naturalmente debido a la precipitación/formación de sales, calcita, alúmina, óxidos, silicatos y aluminatos, o puede ser producida artificialmente por el agregado de cal, cemento, asfalto u otro agente (Santamarina, 2001). La cementación natural es importante en los suelos residuales como es la relación de vacío inicial y la historia de tensiones para suelos sedimentarios (Collins, 1985; Leroueil y Vaughan, 1990). El efecto de la cementación prevalece a bajo niveles de tensiones y el suelo se comporta como frágil, para el caso de tensiones mayores el efecto de la deformación es controlado por las tensiones y la succión.). La velocidad de la onda de corte (V_s) provee valiosa información del grado de cementación y evolución de la cementación (Yun y Santamarina 2005). Esta depende de las fuerzas de contacto entre partículas y la rigidez de los contactos, sin embargo, no se ve afectada por la rigidez del fluido en los poros (Kwon y Cho 2005). En la Figura 4 se muestran velocidades de ondas de cortes obtenidas en ensayos edométricos en suelos residuales.

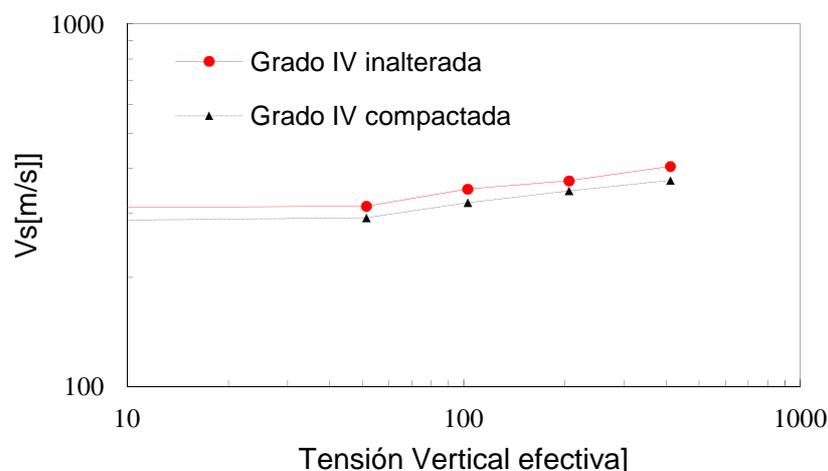


Figura 4 .Velocidad de ondas de corte en suelo Residual en muestra inalterada y compactada. $\gamma_d = 15,6 \frac{kN}{m^3}$, humedad $w = 23 \%$



CONCLUSIONES

En este artículo se detallan, en forma general, las principales propiedades físicas y químicas de los suelos residuales de la Provincia. Se presentaron algunos aspectos propios y cómo influye la meteorización en el comportamiento de los mismos. Las futuras investigación podrán determinar técnicas para la caracterización y determinar el comportamiento de estos materiales para los diferentes proyectos geotécnicos de la región.

* BIBLIOGRAFÍA

Blight, G. E., & Leong, E. C. (2012). Mechanics of Residual Soils, Second Edition. Taylor & Francis.

Collins K. (1985). Towards characterization of tropical soil microstructure. 1st conference in Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, Brazil. Vol1, pp. 85-96

Fourie, Irfam, Carvalho, Q. d., Simmons, & Wesley. (2012). Microstructure, mineralogy and classification of residual soils. En B. G. E.C., Mechanics of Residual Soils (pág. 348). Taylor and Francis Group.

Fredlund and H. Rahardjo (1993). Soil mechanics for unsaturated soils. John Wiley and Sons, INC., New York.

Gentili, C. A. y Rimoldi, H. R. ,1979. Mesopotamia. En Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, v1, 185-223.

Gigasú. (1976). Laterite Soil Engineering. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.

Kwon, T.-H., & Cho, G.-C. (2005). Smart geophysical characterization of particulate materials in a laboratory. Smart Structures and Systems, Vol 1 , 217-223.

Leroueil, S., & Vaughan, P. R. (1990). The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks. Géotechnique, Volume 40, Issue 3, 467 –488.

Little, A. L. (1967). The engineering classification of residual tropical. In Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, págs. 1-10. Mexico.

Lumb, P. (1983). Engineering properties of fresh and decomposed igneous rocks from Hong Kong. Engenery Geology , 19, 81-94.

Mitchell, J., and Soga, K. (2005). Fundamentals of Soil Behavior. JOHN WILEY & SONS, INC.

Queiroz de Carvalho, J. (1985). Study of the plasticity of lateritic soils: methodology and the effect of drying on Liquid and Plastic Limits. roceedings of the First International Conference on Geomechanics in Tropical, Lateritic and Saprolitic Soils, (págs. 63–96). Brasilia. Brazil



Rahardjo, H., Aung, K., Leong, C., and Rezaur, R. (2004). Characteristics of residual soils in Singapore as formed by weathering. *Journal of Engineering Geology*, Vol. 73, N.o 1-2, pp. 157-169.

Reinert, H. O. (2007). Caracterización geotécnica de suelos Grises del departamento de Oberá-Misiones. Tesis Maestría en Ciencias de la Ingeniería mención Estructuras y Geotécnica. Córdoba-Argentina:

Santamarina, J., Kleim, M., & Fam, M. (2001). *Soils and Waves*. John Wiley & Son, Inc.

Souza Martins A.P.(2005). Estudo da Influência das Interações Físico-Químicas no Comportamento Mecânico De Dois Solos Tropicais do Município de Ouro Preto-MG [Rio de Janeiro] 2005 XV, 321 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2005).

Townsend F. C. (1985). Geotechnical characteristics of residual soils. *Geotechnical Engineering. Proceedings of American Society of Civil Engineers* 111:77-93.

Umarany, M. I., & Davids, W. (1990). Engineering properties of a lateritic soil profile. *Engineering Geology*. Vol. 31, pág 45-78.

Vargas, M. (1953). "Some Engineering Properties of Residual Clay Soils Occurring in Brazil". *Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.*, (págs. 67-71). Switzerland.

Vaughan & Kwan, C. W. 1984. Weathering, structure and in-situ stress in residual soil. *Geotechnique*, 34, 43-59

Vaughan (1988). Mechanical and hydraulic properties of in-situ residual soils. General Report, Session 2, First International Conference on Geomechanics in Tropical, Lateritic and Saprolitic Soil, Brasilia, 3, 231-63.

Wesley. (2010). *Geotechnical Engineering in Residual soils*. New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC.

Wylli, A. (2007). Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations. 87.

Yun, T.S and Santamarina, J. C. (2005). "Decementation, Softening, and Collapse: Changes in Small-Strain Shear Stiffness in k_0 Loading." *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 3, pág.. 350-358.