

Weathering soil granite as paving materials: similar and different behaviors

Suelos residuales de granitos como material de pavimentos: diferencias y similitudes de comportamientos

Marcos Musso & Leonardo Behak

Dto. Ing. Geotécnica, Facultad de Ingeniería - Universidad de la República, Uruguay, [mmusso@fing.edu.uy]

ABSTRACT: In Uruguay is an extended practice using residual soils generated by weathering processes over igneous and metamorphic rocks in pavements as sub-base and base layers both in paved roads as well as in unpaved roads. Classification soils and California Bearing Ratio (CBR) are the typical parameters used to accept or refuse materials. In this paper two different granites are analyzed as paving material to understand how soil could have or not a similar behaviour. Soil classification, compaction and CBR tests were carried out over soils of two weathered granite in different geological areas in Uruguay. Soils were collected in quarries of La Paz Granite (LPG) and quarries of Jesus Maria Complex Granite (JMCG). LPG soils are classified as SW, GM and GW in SUCS and CBR values are different between soils. JMCG soils are classified as SP, SM and GP-GM in SUCS and CBR values are lower at different compaction degrees. This research shows the variability of geomechanical properties in weathered granitic soils both between different granites as well as in the same igneous rocks. Then, it is necessary a specific research in each case to evaluate soil behaviour when it will be used as paving material.

RESUMEN: Es una práctica extendida en Uruguay el uso como materiales de sub-base y base en pavimentos de suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas generados por procesos de alteración, tanto en rutas pavimentadas como no pavimentadas. Para aceptar o rechazar un material los parámetros utilizados son la clasificación de suelos y el valor de California Bearing Ratio (CBR). En este artículo se analizan suelos de alteración dos granitos en diferentes regiones de Uruguay usados como materiales para pavimentos, de forma de entender si tienen o no comportamiento similares. Las muestras fueron obtenidas en canteras activas del Granito La Paz (GLP) y del Complejo Granítico de Jesús María (CGJM). Los suelos del GLP son SW, GM y GW en SUCS y tiene diferentes valores de CBR, en tanto los suelos del CGJM son SP, SM y GP-GM en SUCS con bajos valores de CBR en diferentes grados de compactación. Se determinaron variaciones en las propiedades geomecánicas de los suelos de alteración de los granitos, tanto entre los granitos estudiados así como dentro de cada granito. Por lo tanto es necesario evaluar específicamente el comportamiento geomecánico de los suelos a usar en pavimentación.

KEYWORDS: Residual soil, granite, geomechanics behaviors, CBR.

1 INTRODUCCIÓN

Los procesos de alteración física y química actuando sobre rocas graníticas generan perfiles de alteración de espesores y composición variable en función del clima de la región y del tiempo transcurrido. Los suelos generados tienen en superficie mayor grado de alteración, la cual disminuye en profundidad y puede presentar cambios lateralmente en función de las heterogeneidades propias del granito. Algunos de los cambios visibles son en la granulometría, con la disminución del tamaño máximo en feldespatos y cuarzo, en la mineralogía con la generación de arcillas por la alteración de micas y feldespatos, la presencia de óxidos de hierro, entre otras transformaciones.

Dearman (1976) realiza una síntesis sobre la clasificación de los procesos de alteración en las rocas en geología de ingeniería. Describe la necesidad de separar los procesos de desintegración física, alteración química y disolución, siendo los dos primeros más fáciles de identificar. Señala las características de diagnóstico a considerar separando la caracterización de la alteración en la roca de la alteración en el macizo rocoso. En el primer caso se describe como la alteración afectó la composición mineral de la roca. En el segundo como afecta a las diaclasas, fracturas, cuanto ha avanzado en esas zonas la alteración, si se han generado

nuevas discontinuidades. Esto permite distinguir tres niveles con comportamiento dominante de roca, roca-suelo o suelo.

Baynes y Dearman (1978) muestran como aplicando en granitos la clasificación propuesta de identificación de niveles de alteración por Dearman (1976) se puede identificar cambios en las propiedades geomecánicas. Algunas propiedades analizadas son la densidad, la permeabilidad, la resistencia a la compresión uniaxial. Considerando la roca fresca hasta la alteración a suelos, la densidad y la resistencia disminuyen, y la permeabilidad aumenta.

La caracterización del perfil de alteración realizado por GSEGWPR (1995) toma como base algunos conceptos desarrollados previamente tales como identificar VI niveles por sus características en campo, mediante descripción táctil visual y/o con el uso de equipos de campo como el martillo de Schmidt, determinación de densidad y porosidad, medida de velocidad de propagación de ondas sísmicas. En todos los casos sugieren el uso de pequeños y robustos equipos de campo para obtener los parámetros de identificación y caracterización de propiedades. En los niveles VI a IV, de este modelo, se encuentra la zona de alteración con comportamiento de suelo. El nivel VI es el de mayor alteración con una transformación total de la mineralogía original, preservándose aquellos minerales más resistentes a la alteración química y generándose minerales arcillosos. En

profundidad, la alteración disminuye con menores contenidos de arcillas y mayor preservación de la mineralogía y tamaño de partículas original. En los niveles III a I, el comportamiento es el de una roca, con aumento de la resistencia, considerándose el nivel I la roca inalterada.

Es habitual el uso de suelos residuales y transportados para caminos de bajo volumen de tránsito, y desde principios del siglo XX se buscan ensayos simples para poder caracterizar suelos y sus propiedades para este uso. Las clasificaciones de suelos, los parámetros de compactación y el valor soporte de California (California Bearing Ratio - CBR) son los ensayos de rutina para este fin. Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1980) el valor de CBR depende de 3 parámetros: la textura del suelo, el contenido de agua y el peso específico seco. Los suelos con mayor densidad tienen menores valores de humedad óptima de compactación y mayores valores de CBR.

El uso de suelos alterados en caminos de bajo volumen de tránsito es reportado por varios autores. En Australia, Metcalf (1991) analiza el uso de materiales no tradicionales en caminos de bajo volumen de tránsito como los suelos de alteración de granitos, basaltos, areniscas, entre otros. La graduación granulométrica y el contenido de finos son los parámetros que más inciden en el comportamiento de estos suelos. En particular el aumento de la plasticidad de los finos produce una reducción en los valores de CBR, en cambio en materiales triturados la plasticidad no afecta los valores de CBR.

Frempong (1994) analizó cuatro suelos micáceos derivados de granitos, gneisses y micaesquistos en Ghana. El uso de esta clase de suelos para caminos tiene como requisitos en ese país un valor de CBR 80% para materiales de base y valores de CBR 35% a 80% para subbase. Los suelos son arenosos con variaciones de grava de 0 a 28%, limo de 4 a 37 % y arcilla de 0 a 31 %, clasificando como 2 suelos como SC, MH y como SM los otros dos. Los valores de CBR obtenidos fueron de 4% a 14%.

Vouffo et al (2018) evaluaron 5 horizontes de suelos graníticos. Todos los suelos son arenosos, uno es arena gravillosa y otro una arena arcillosa con 40 % de arcilla. Cuando compactados al 95 % de la densidad seca máxima los valores de CBR varían de 25%, 35%, 58% y 100 %.

Ibrahim et al (2018) estudiaron suelos graníticos de Nigeria, los cuales tenían entre 36 y 64% de arcilla, clasificados como A-7-5 y A-7-6. Obtuvieron valores de CBR entre 14% y 40% cuando compactados al 100% de la densidad seca máxima.

Katte et al (2019) caracterizaron suelos lateríticos sobre granitos, la mayoría suelos A-2-7, gravillosos conteniendo de 10% a 38 % de finos. Obtuvieron valores de CBR de 14% a 50%.

Analizando estos antecedentes se observa una gran variabilidad de los valores de CBR en función de la distribución granulométrica, la plasticidad de los finos así como los parámetros de compactación. Por lo tanto es necesario conocer mejor las características, composiciones y las propiedades geomecánicas de los suelos residuales para uso como materiales para caminos de bajo volumen de tránsito.

En Uruguay las características geológicas muestran que casi la mitad del país está compuesto por rocas ígneas y metamórficas del Proterozoico inferior a superior (Figura 1), fundamentalmente en las regiones sur y este. En estas regiones es donde se encuentran los mayores centros poblados y las actividades productivas agropecuaria, las cuales requieren de vías de comunicación terrestre en buenas condiciones para el desplazamiento de la población y de los productos generados.

Los suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas son usados como material de construcción de los caminos de bajo volumen de tránsito, constituyendo la red vial de mayor extensión en el país y por donde se transporta la producción agropecuaria y forestal. Los procesos de alteración y erosión sobre rocas graníticas del Proterozoico inferior y superior se han alternado durante el Cuaternario. además existen en muchos casos depósitos cuaternarios de limos y arcillas de los periodos interglaciares, con espesores de 2 m a 10 m que cubren los niveles de alteración IV y/o V en la mayoría de los casos. Son escasos los perfiles de suelos residuales completos con el nivel VI en las rocas graníticas.

La mayoría de las exposiciones son las canteras que explotan principalmente el suelo residual como material Clase IV del Código de Minería del Uruguay. Además de la clasificación de suelos, bajo contenido de finos o baja plasticidad de éstos, se exigen en los contratos de construcción valores de CBR de 60% a 80% para base de caminos revestidos y sin revestir.

En el estudio de algunos suelos residuales de canteras de materiales graníticos del granito de La Paz, Musso et al (2006) determinaron que la fracción grava es dominante, bien graduada a mal graduada, gravas arena arcillosas y arenas mal graduadas arcillosas y contenido de finos menores a 12 % (GP, GC, GW-GM, SP-SC). El contenido de finos limita el uso en mezclas asfálticas y hormigones.

Musso (2022) analizando suelos residuales de algunas canteras del granito de La Paz determinó que estaban compuestas por arenas bien graduadas y gravas bien graduadas, gravas limosas y arenas bien graduadas limosas (SW, GW, GM, SW-SM). El contenido de finos era menor a 5 %, los parámetros de compactación eran similares, sin embargo los valores de CBR varían de 29% a 99% compactado al 100 % de la densidad máxima seca, y los valores de CBR no alcanzaban el 60% compactados al 97% de la densidad seca máxima.

En este trabajo se muestra la caracterización de suelos residuales graníticos, comparando sus propiedades geomecánicas y su evaluación como material para caminos de bajo volumen de tránsito.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Dos diferentes granitos son analizados en este trabajo como material original de suelos residuales. Uno de ellos es el Granito de La Paz (GLP) localizado en las cercanías de Montevideo y el otro el Complejo Granítico de Jesús María (CGJM) en los alrededores de San José de Mayo (Figura 1).

El GLP es un granito alcalino con biotita como ferromagnesiano principal y cuarzo en dos generaciones, con dos facies, una porfiroide con megacristales de microclima de 3 a 4 cm, pertitización y albitización. La facie equigranular está constituida por ortosa peritítica en cristales de 8 a 10 mm. En ambos casos la albita es la plagioclase principal. En el diagrama de Streckeisen se clasifica como granito alcalifeldespático (Oyhantçabal et al 1990).

El CGJM (Departamento de San José) está compuesto por dos facies, con feldespatos alcalinos y biotita como ferromagnesiano. La facie porfiroide son feldespatos de 2 a 2,5 cm. La otra facie es equigranular con tamaños de 0,5 a 1,0 cm (Spotorno et al 2004). Se realizaron muestreos en varias canteras de ambos granitos, extrayendo en frentes de canteras inactivos y activos. La

selección de las muestras realizada en campo fue usando evaluación táctil-visual de contenido de partículas finas y gruesas, plasticidad de los finos. Se extrajeron 3 muestras de cada granito para analizar en laboratorio.

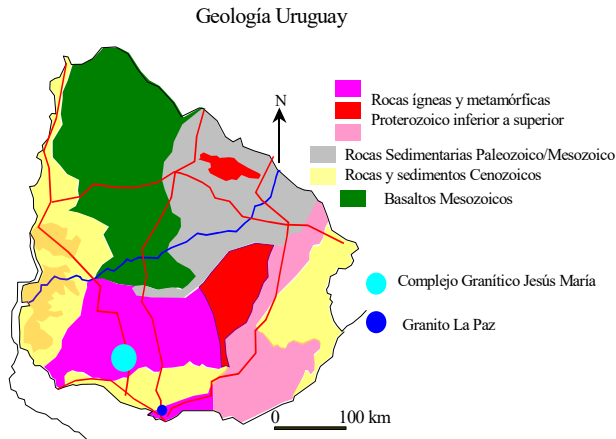


Figure 1. Mapa de localización de los granitos estudiados.

2.2 Métodos

Los suelos residuales fueron analizados en campo mediante técnicas de análisis de frentes de explotación, seleccionando zonas con similares características mediante identificación táctil visual. Los niveles identificados fueron muestreados para análisis en laboratorio. Las muestras fueron clasificadas según ASTM D2487, los parámetros de compactación Peso Unitario Seco Máximo (PUSM) y humedad óptima de compactación (w_{opt}) fueron determinados usando ASTM D1557 (energía modificada), y el CBR se realizó usando la norma ASTM D1883.

3 RESULTADOS

En las canteras del GLP se observa una cobertura de sedimentos cuaternarios (limos arcillosos y arcillas limosas de origen continental) de espesor variable de 2 m a 5 m. Debajo de ella el suelo residual se identifican las fracturas y diaclasas en la base de la cantera, la cuales pierden nitidez hacia la superficie aunque se logran identificar. El análisis en el frente de extracción se caracteriza como niveles V y IV del modelo propuesto por GSEGWPR (1995), alcanzan 10 a 12 m de altura y dejan de extraerse al no poder remover el material con facilidad con retroexcavadora o bulldózer. Esta zona extractiva tiene varias décadas de explotación, siendo la fuente principal de material para el área metropolitana de Montevideo,

Las canteras del CGJM tienen cobertura de 1 m a 4 m de la misma unidad geológica que en el GLP. Los frentes de extracción no superan los 8 m de altura, identificándose las fracturas y diaclasas con nitidez en todo el perfil. El análisis en el frente de extracción se caracteriza como niveles V y IV del modelo propuesto por GSEGWPR (1995).

Los suelos residuales analizados provienen de granitos porfiróides, con fases equigranulares, por lo cual la textura original presenta variaciones que podrían reflejarse en los

productos de alteración así como en las propiedades geomecánicas. El porcentaje y la composición de los minerales ferromagnesianos (biotita, anfíboles) condiciona los productos de alteración y la textura de los suelos residuales.

Los suelos del GLP 1,2,3 corresponden con diferentes horizontes identificados en campo, con variación en la granulometría (Tabla 2, Figura 2). Son suelos gravillosos y arenosos con bajo contenido de finos, principalmente limo. Los parámetros de compactación son similares, variando principalmente la humedad óptima.

Los suelos del GLP tienen mayor contenido de grava que los suelos de CGJM, en cambio la cantidad de finos puede ser similar, con valores menores al 5% en algunas regiones y con variaciones que llegan al 20%.

Los valores de CBR de los suelos del GLP son muy variables (Figura 4), depende en algunos casos del grado de compactación así como de las características de cada suelo. Los suelos gravillosos tienen valores altos de CBR, siendo el suelo GLP-2 (GW) el que presenta mayor valor de CBR de todos los suelos estudiados.

Los suelos del CGJM 1,2,3 corresponden con diferentes horizontes identificados en campo con variabilidad en la composición granulométrica (Tabla 3 y Figura 3), fundamentalmente en el contenido de arena. La fracción arena varía de 40 % a 60 %, grava de 20 % a 50 % y los finos de 1% a 18%. Los parámetros de compactación son similares en humedad óptima y PUSM, arena es dominante en dos suelos, con grava y contenido de finos que tiene plasticidad baja a nula, y la grava domina en el otro suelo.

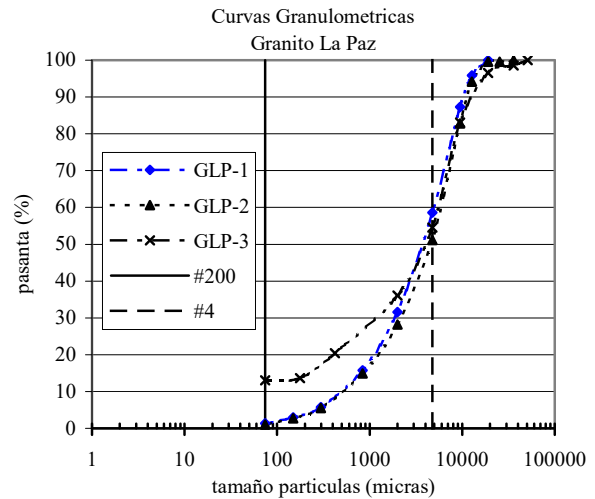


Figura 2 Curvas granulométricas suelos Granito La Paz

Los valores de CBR de los suelos GLP 2 y 3 varía de 40 a 100 % y de 20 a 70 % respectivamente, siendo sensibles al grado de compactación (Figura 4). En ambos suelos la proporción de arena y grava es similar, con mayor contenido de finos en GLP 3 lo cual podría ser la causa de los menores valores de CBR. En cambio el suelo GLP 1 se mantuvo en un rango bajo de 10 a 20 %, en este

caso domina la fracción arena sobre la grava, con bajo contenido de finos.

Tabla 2 Valores de caracterización de suelos del Granito de La Paz

| | GLP-1 | GLP-2 | GLP-3 |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| grava (%) | 41 | 50 | 46 |
| arena (%) | 56 | 49 | 41 |
| limo+arcilla (%) | 3 | 1 | 13 |
| LL (%) | | | 38 |
| IP (%) | | | 27 |
| SUCS | SW | GW | GM |
| nombre SUCS | arena gravillosa bien graduada | Grava arenosa bien graduada | Grava arenosa con limo |
| AASHTO (IG) | A-1-a (0) | A-1-a(0) | A-2-6(0) |
| PUSM (kN/m ³) | 20,5 | 20,8 | 20,9 |
| $\omega_{opt.}$ (%) | 8,4 | 6,4 | 6,0 |

Tabla 3 Valores de caracterización de suelos del Complejo Granítico Jesús María

| | CGJM-1 | CGJM-2 | CGJM-3 |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| grava (%) | 35 | 20 | 52, |
| arena (%) | 61 | 62 | 42 |
| limo+arcilla (%) | 1 | 18 | 6 |
| LL (%) | | | |
| IP (%) | | NP | NP |
| SUCS | SW | SM | GP-GM |
| nombre SUCS | arena gravillosa bien graduada | arena limosa con grava | Grava mal graduada con limo |
| AASHTO (IG) | A-1-a (0) | A-2-4 (0) | A-1-a (0) |
| PUSM (kN/m ³) | 20,9 | 20,2 | 20,7 |
| $\omega_{opt.}$ (%) | 8,0 | 9,0 | 8,0 |

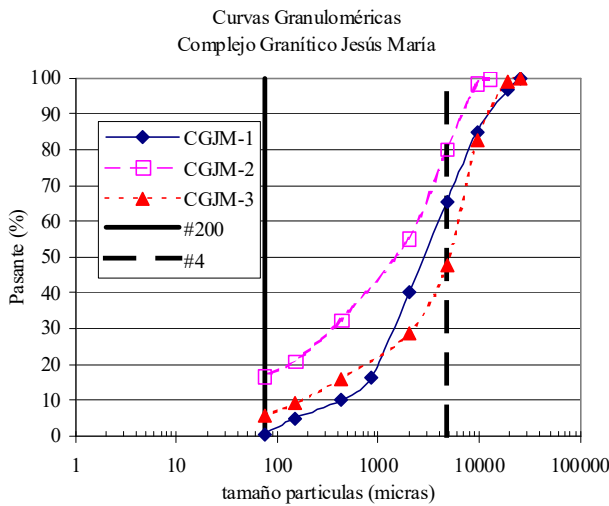


Figura 3 Curvas granulométricas suelos del Complejo Granítico Jesús María.

Los valores de CBR de algunos suelos de GLP no alcanzan los exigidos en los pliegos de construcción; otros valores son superiores a 60% sólo cuando son compactados cerca del 100% del PUSM. En un primer análisis se asocia que el mayor contenido de arena respecto del contenido de grava reduce los valores máximos de CBR, observándose que los suelos gravillosos tiene mayores valores de CBR.

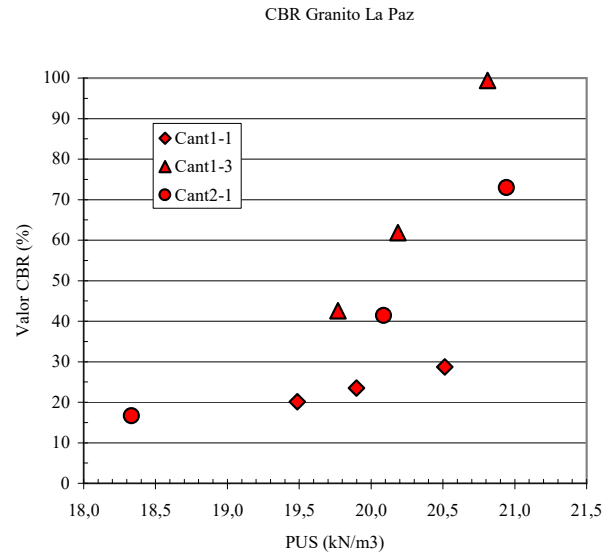


Figura 4a Valores CBR vs PUS suelos del Granito La Paz.

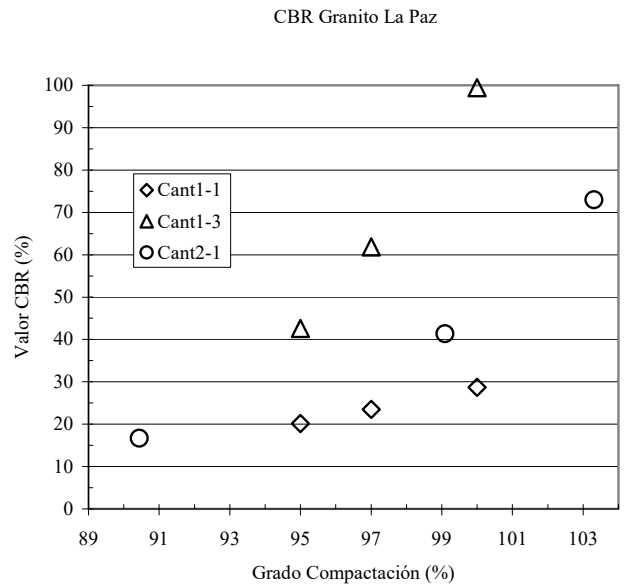


Figura 4b Valores CBR vs Grado compactación. suelos del Granito La Paz

Los valores de CBR de los suelos del CGJM son bajos, depende en algunos casos del grado de compactación así como de

las características de cada suelo (Figura 5). La arena limosa con grava (CGJM-2) tiene valores muy bajos de CBR, alcanzando el 15% cuando es compactada al 100% del PUSM. Los otros suelos presentan valores de CBR de 30% cuando son compactados próximo al 100% del PUSM. Un primer análisis se asocia a que la mayor cantidad de arena y finos presente en los suelos CGJM reducen los valores de CBR comparado con los otros suelos.

CBR Complejo Granítico Jesús María

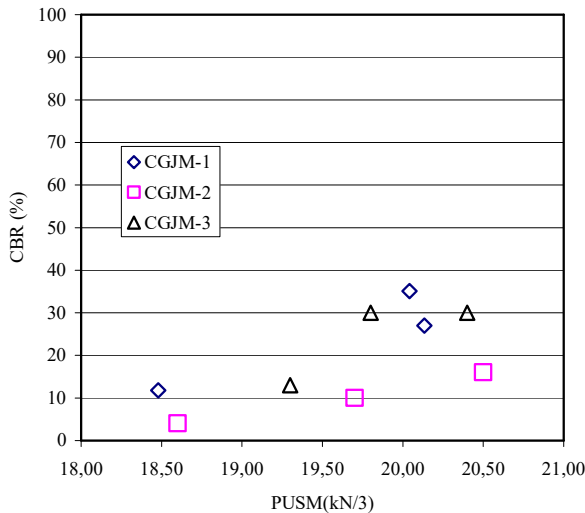


Figura 5a Valores CBR vs PUS suelos del Complejo Granítico Jesús María

CBR Complejo Granítico Jesús María

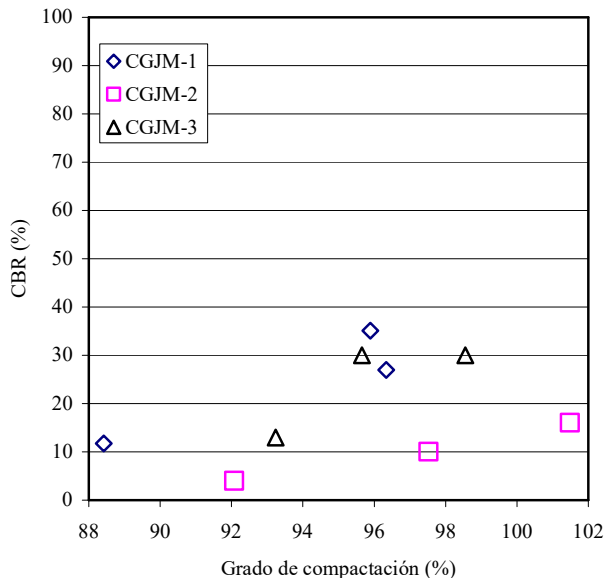


Figura 5b) Valores CBR vs Grado compactación suelos del Complejo Granítico Jesús María

En los suelos residuales estudiados, la mayoría de los valores de CBR en los diferentes grados de compactación no alcanzan los valores exigidos en los pliegos de construcción. Un par de suelos del GLP con grado de compactación superior al 97% alcanzan valores de CBR mayores a 60%. Además se observa que el valor de CBR es dependiente del grado de compactación, y en el caso del suelo CGJM-3 el valor de CBR no aumenta luego de alcanzado el 97% del PUSM.

Existe una variabilidad en el comportamiento geomecánico de los suelos residuales de los granitos estudiados. En el caso de GLP los suelos tienen valores de CBR que alcanzan los requisitos exigidos en los pliegos de construcción de caminos. En cambio los suelos del CGJM tienen valores de CBR menores.

Comparando los valores obtenidos con algunos de los antecedentes, se verifica la variabilidad en los valores de CBR en suelos residuales de granitos. Los autores muestran que la heterogeneidad y anisotropía es una característica de esta clase de suelos. La clave para identificar los sectores con comportamientos geomecánicos similares es una planificación que incluya: una prospección detallada y análisis de laboratorio continuo de los frentes de las canteras. De esta forma se podrán caracterizar sectores homogéneos e isótropos para poder para el uso de estos suelos en caminos de bajo volumen de tránsito.

4 CONCLUSIONES

Los suelos residuales de los granitos son mayoritariamente gravas arenosas y arenas gravilosas con porcentaje variable de finos y parámetros de compactación similares.

Se observa que existe una variabilidad en el comportamiento geomecánico de los suelos residuales de los granitos estudiados. En el caso de GLP tiene valores de CBR que alcanzan los valores exigidos en los pliegos. En cambio el CGJM los suelos tienen valores de CBR menores.

Los suelos residuales de los granitos tienen valores de CBR diferentes dentro de la misma roca de origen, dependiendo del grado de compactación. El valor de CBR es menor a 60% en la mayoría de los suelos compactados tanto al 97% como al 100% del PUSM. En el caso de los suelos del GLP, el control minucioso de la compactación debe ser considerado al momento de su uso.

Los valores obtenidos en este trabajo muestran la variabilidad de los valores de CBR en suelos de una misma roca granítica, por lo cual para el diseño de estructuras de caminos debe realizarse el estudio geotécnico para caracterizar las propiedades en cada caso.

El seguimiento de las propiedades del material extraído del perfil residual del CGJM y del GLP debe ser exhaustivo, en particular del CGJM que presenta bajos valores.

3 ACKNOWLEDGEMENTS AGRADECIMIENTOS

A los responsables de las canteras por permitir el acceso y la extracción de muestras

4 REFERENCIAS REFERENCIAS

ASTM 2487 Clasificación SUCS

- ASTM D3282 Clasificación AASHTO
 ASTM D1557 Compactación energía modificada (proctor modificado)
 ASTM D1883 Ensayo California Bearing Ratio (CBR)
 Baynes y Dearman (1978) The relationship between the microfabric and the engineering properties of weathered granite. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 18, 191-197.
 Dearman (1976) Weathering classification in the characterisation of rock: a revision. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 13, 123-127.
 Geological Society Engineering Group Working Party Report GSEGWPR (1995) The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 1995; 28 (3): 207-242. doi: <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEGH.1995.028.P3.02>
 Frempong, E.M. (1994) Geotechnical properties of some residual micaceous soils in the Kumasi Metropolitan area (Ghana). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 49, 47-54 (1994). <https://doi-org.proxy.timbo.org.uy/10.1007/BF02595000>
 Ibrahim et al (2018) Evaluation of physical and geotechnical characteristic of residual profile with depth of three different basement complexes in Niger state. 1st International Civil Engineering Conference (ICEC 2018). Pag 202-207.
 Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1980) *Mecánica de Suelos*. Limusa, México DF, México.
 Katte et al (2019) Correlation of California Bearing Ratio (CBR) Value with Soil Properties of Road Subgrade Soil Geotech Geol Eng (2019) 37:217-234 <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0604-x>
 Metcalf, J.B. (1991) Use of naturally-occurring but non-standard materials in low-cost road construction. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1991, 9, 155-165.
 Musso et al 2006 Granulares para la construcción en Montevideo, Uruguay: ensayos de caracterización expedita y clasificación en función de la fracción fina. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (4): 737-746 ISSN: 0366-017.
 Musso, M. (2022) Granito de La Paz: propiedades geomecánicas de suelos granulares X Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo, Uruguay
 Oyhantcábal, P., Derregibus, M. y Muzio, R. 1990 Contribución al conocimiento petrográfico, geoquímica y estructural del Granito de La Paz. I Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo, Uruguay 1, 81-87.
 Spoturno, J. Oyhantcábal, P. Aubet, N., Cazaux, S. (2004) Mapa Geológico Departamento de San José a escala 1:100.000. Dirección Nacional de Minería y Geología-MIEM-Montevideo, Uruguay.
 Vouffo Marcel, Kamga Djoumen Tatiana, Codjo Luc Zinsou, Moussa Sali, Amba Jean Chills, and Ngaggue François (2018) : "Physical Characterization of Granite Alteration Products for Use In Civil Engineering" *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* (23.01), pp 301-313

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

The paper was published in the proceedings of the 17th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVII PCSMGE) and was edited by Gonzalo Montalva, Daniel Pollak, Claudio Roman and Luis Valenzuela. The conference was held from November 12th to November 16th 2024 in Chile.