

INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE ARCILLAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SUELOS TUCUMANOS EN LA ADHERENCIA DE REVOQUES DE TIERRA

Gonzalo García Villar¹, Enzo Marcial², Guillermo Rolón³

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, arqgonzalogv@gmail.com

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Instituto Superior de Correlación Geológica, Centro Integral de Microscopía Electrónica, Universidad Nacional de Tucumán, enzomarc7@gmail.com

³Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán. Consejo Nacional de investigaciones científicas y técnicas, guillerolon02@gmail.com

Palabras clave: cizallamiento, compensación granulométrica, arcillas, formación geológica, durabilidad

Resumen

La fracción arcilla es el componente reactivo y ligante en los suelos utilizados para revoques de tierra. La provincia de Tucumán presenta diversas unidades fisiográficas, por lo que los suelos presentan diferentes composiciones, clases y proporción de arcillas. La adherencia de los revoques de tierra se ve influenciada por la mineralogía de los suelos, y principalmente por el tipo de arcilla que los compone. El objetivo del artículo es evaluar la influencia del tipo y origen de las arcillas en la adherencia de revoques de tierra. Se caracterizaron cuatro suelos de Tucumán correspondientes a diferentes ambientes. La composición mineralógica fue determinada mediante difracción de rayos X (DRX). Por otro lado, también se obtuvo la granulometría utilizando el método del densímetro, se determinó el índice de plasticidad y se calculó la actividad de las arcillas. Los suelos fueron normalizados en base a su granulometría equiparándolos mediante una compensación con áridos. Con las muestras normalizadas se realizaron revoques gruesos experimentales sobre el reverso de cerámicos a los que se le aplicaron ensayos de corte o cizallamiento. Con los resultados obtenidos se pudo corroborar que existe una relación directa entre el aumento de la resistencia al corte/cizallamiento con la muestra que contiene mayor cantidad de arcilla del tipo esmectita. Mientras que las muestras que presentan menor resistencia son aquellas con mayor contenido de arcillas del tipo caolinita y bajo contenido de esmectita. Con respecto a la relación con el índice de plasticidad (IP) parece haber una tendencia que a mayor IP mayor resistencia, sin embargo no es determinante. Por otro lado, la actividad de las arcillas indicaría una relación directa con la fuerza adhesiva obtenida en los ensayos.

1 INTRODUCCIÓN

Los revoques cumplen diversas funciones en las edificaciones, entre ellas la de protección de los paramentos o soportes sobre los que se aplica, frente a la acción erosiva de factores naturales y antrópicos. En el caso de revoques de tierra, los agentes atmosféricos juegan un papel significativo en el proceso de deterioro y afectan su durabilidad, en tanto pueden alterar la cohesión interna del material o su capacidad adherente. Justamente, una de las características que permite que el revoque se mantenga unido al soporte es la fuerza adhesiva, entendida como la capacidad para resistir a las tensiones normales y tangenciales en la interfaz del soporte (Faria et al., 2019). Los revoques de tierra están compuestos principalmente por tierra, arena, fibras y agua. La fracción arcilla contenida en la tierra es responsable en la adquisición de la cohesión interna y adherencia del revoque; las fracciones de arenas y limos, así como la arena incorporada adicionalmente, conforman un esqueleto granular y resistente, y las fibras colaboran en absorber las tensiones de retracción que aparecen en la muestra durante el secado de los revoques (Stazi et al., 2016); la incorporación de agua se realiza a los fines de activar las arcillas y alcanzar un estado plástico y trabajabilidad de la mezcla durante la preparación y ejecución del revoque.

El término arcilla tiene una doble acepción, además de indicar un rango granulométrico, es el nombre asignado a un grupo de minerales dentro de la familia de los silicatos, los filosilicatos. Los filosilicatos son silicatos de aluminio hidratados que se caracterizan por su estructura en capas o laminillas. Las capas de arcilla pueden adherirse unas a otras y entre distintos módulos, para formar flóculos, a causa de cargas por rotura de enlaces en los bordes de las laminillas (Van Olphen, 1977). La fracción arcilla es un material de origen natural formado por minerales de partículas muy pequeñas, inferiores a 0,002mm - 2µm - desde una perspectiva geológica e inferiores a 0,005mm desde una perspectiva ingenieril, que presenta un comportamiento plástico con cantidades apropiadas de agua y aporta cierto grado de dureza al secarse o calentarse. Las arcillas desde un punto de vista mineralógico son minerales secundarios presentes en los suelos que se forman por la alteración de minerales preexistentes. Por lo tanto, dependiendo de cómo actúan factores formadores de suelos -material parental, relieve, tiempo, clima y cobertura vegetal- en los distintos ambientes se originan diferentes arcillas. Es conocido que cada familia de arcilla presenta propiedades mineralógicas y químicas distintivas que son aprovechadas en muy diversas aplicaciones (Odom, 1984; Ekosse, 2010; Muhammad Faheem et al., 2013), apreciándose, en especial, su actividad adherente en el campo de la construcción. En la mayoría de los casos se encuentran en un mismo suelo más de una familia de arcillas, siendo pocos los suelos que están compuestos por una sola.

La adherencia es un fenómeno que tiene lugar cuando se está frente a un sistema formado por dos materiales que se pretende unir denominados adherentes o adherendos, y un tercer material que se llama junta o unión adhesiva. En el caso de los revoques de tierra, la junta o unión adhesiva lo conforma la cara interna de la mezcla del revoque, que también llamamos adherente, y eventualmente la arcilla contenida en el sustrato. La adherencia puede ser mecánica o química. La primera es un fenómeno físico y se da por trabazón entre los materiales componentes en los revoques y los soportes, donde la presencia de poros y microporos en las superficies favorece el proceso. La segunda se produce por la formación de compuestos e interacción química entre moléculas, así como fuerzas electrostáticas de atracción a escala atómica o molecular. En los revoques de tierra se dan los dos tipos de adherencia: la mecánica está posibilitada por los materiales, la forma y rugosidad de la superficie, presencia de elementos de anclaje como ser fibras, marcas o elementos punzantes y la porosidad del sustrato, sumado a las arenas, limos y fibras contenidos en el revoques, lo cual genera una trabazón al momento del secado; la química se da por interacción entre los materiales del sustrato, la arcilla y otros materiales cementantes contenidos en el revoque, que reaccionan estableciendo uniones durante el proceso de secado.

Tucumán es la provincia más pequeña de Argentina, sin embargo presenta una importante diversidad de unidades fisiográficas. Estas características condujeron a la formación de diferentes suelos a lo largo de todo su territorio. Los diversos suelos se aprovechan intensamente como tierra para la construcción, incluido su empleo en la elaboración de revoques de tierra destinados a obras nuevas como en la restauración de arquitecturas existentes y patrimoniales. El conocimiento tácito de los constructores locales les ha permitido identificar distintas tierras necesarias para sus obras, tomando especial aprecio por aquellas que consideran más "ligosas" o "gredosas". Si bien han aparecido unos pocos trabajos enfocados en analizar la incidencia de la fracción arcilla en la capacidad adherente de los revoques (Faria et al. 2019; Quiñónez; Ayala, 2014) no existen estudios científicos que aporten información al respecto para esta región en particular.

Esta investigación evalúa y compara cuatro suelos tucumanos de diferente origen y con distinta composición mineralógica a fin de identificar la relación e influencia de los tipos de arcilla en la adherencia de revoques de tierra. Para la evaluación de adherencia en revoques de tierra existen dos maneras, mediante el método de arrancamiento directo (rotura por esfuerzo de tracción) para morteros y sustratos normalizado en la BS EN 1015-12 (2000) ampliado para revoques de tierra en DIN 18947 (2013), y el método de corte o cizallamiento (rotura por esfuerzo de corte) propuesto por Hamard et al. (2013). En esta investigación se utilizará el segundo.

2 METODOLOGÍA

Considerando que la composición mineralógica de los suelos, en especial de la fracción arcilla, depende directamente del lugar y los procesos de formación, se empleó una metodología comparativa que evaluó la capacidad adherente de suelos procedentes de ambientes edáficos distintos en el empleo de revoques de tierra. Para ello, se tomaron muestras de suelos en diferentes unidades fisiográficas en el sector noroccidental de la provincia de Tucumán que son conocidos por su empleo como tierras para construcción. Luego se procedió a caracterizarlos mediante distintos análisis para determinar composición mineralógica, granulometría, plasticidad y nivel de actividad de las arcillas. Para evaluar la adherencia de mezclas elaboradas con los respectivos suelos, se procedió en primera instancia, a compensar la granulometría de los suelos para equipararlos y, a continuación, una vez realizados los revoques, se evaluó esta propiedad mediante ensayos de cizallamiento.

2.1 Selección de suelos

Los suelos utilizados en este trabajo corresponden a cuatro unidades fisiográficas diferentes ubicadas al noroeste de la provincia de Tucumán: dos zonas montañosas, una seca y otra húmeda y dos zonas de valles intermontanos, el Valle de Santa María y el valle de Tafí. Los suelos característicos de cada región según Puchulu y Fernandez (2014) se pueden observar en la figura 1. Las muestras fueron identificadas como:

- Río Jorge (RJ) (Valle intermontano de Santa María)
- Barranca Lara (BL) (Zona montañosa seca)
- Potreriillo Rincón (PR) (Valle intermontano de Tafí)
- Las Mesadas (LM) (Zona montañosa húmeda)

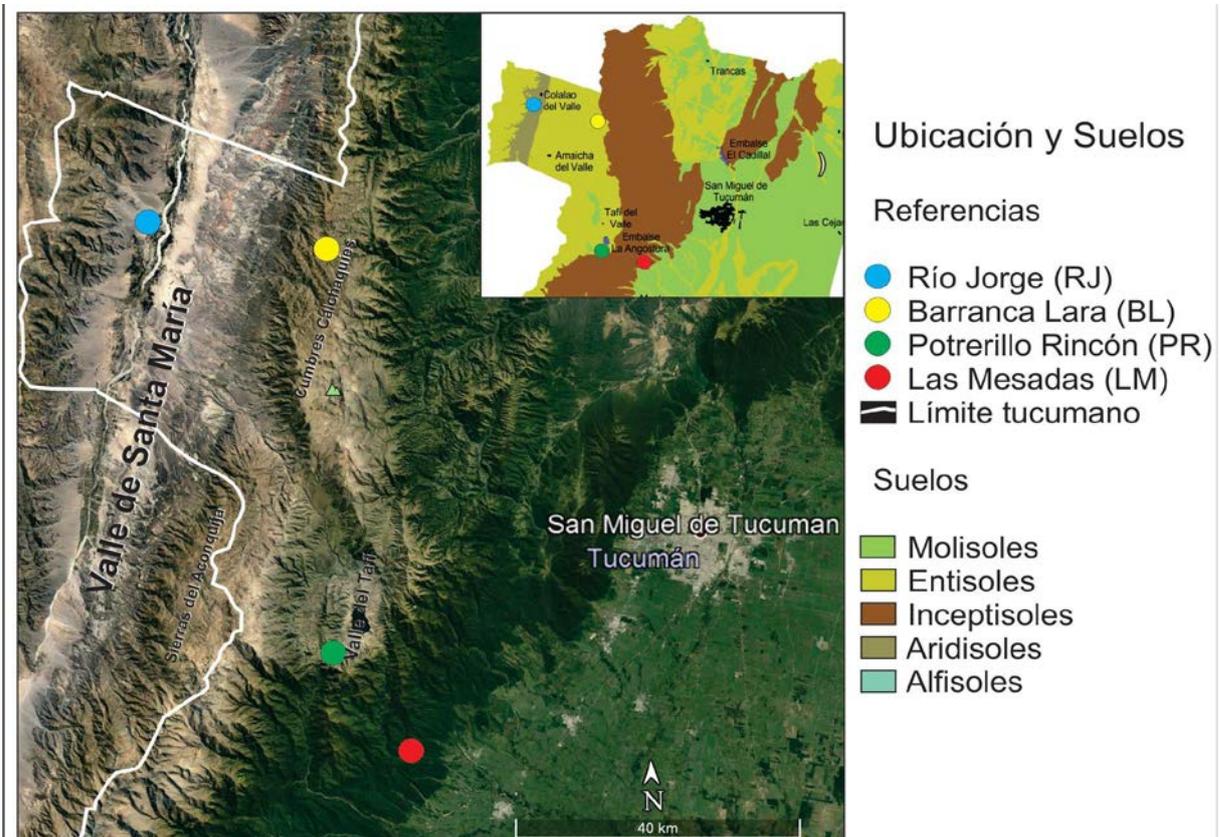


Figura 1. Imagen satelital extraída de Google Earth con la ubicación de los suelos muestreados y mapa de suelos adjunto (modificado de Puchulu y Fernandez, 2014)

2.2 Caracterización del suelo

Una vez recolectados los suelos se realizan los siguientes análisis a fin de lograr la caracterización de los mismos:

a) Análisis DRX

Separación de arcillas y análisis de DRX:

Descripción del tratamiento: Las muestras se colocaron en agua milliRo y se sonicaron durante 15 minutos. Luego, a cada muestra se añadió un dispersante (metafosfato de sodio), se agitó durante 15 min y, mediante el procedimiento de centrifugación, se separó la fracción menor a 2 μm . Cada fracción obtenida se colocó sobre dos portaobjetos (original y duplicado) para obtener agregados ordenados (A.O) y se dejaron secar al aire.

Condiciones de medición mediante DRX: Los A.O. originales se analizaron mediante DRX en un difractómetro PANalytical X'Pert Pro a 40 kV y 40 mA con una radiación Cu-K α , entre los ángulos 4° y 35° 2 θ (tiempo por paso 35,015 s y paso de 0,02°), para cada muestra se realizaron 3 difractogramas correspondientes a: 1) A.O. secado al aire, 2) A.O. glicolado y 3) A.O. calcinado. Para el glicolado, las muestras se colocaron en un desecador con etilenglicol y se dejaron en una estufa a 50 ° durante 12 h. Por otra parte, el calcinado se llevó a cabo 500 ° C durante 2h.

Identificación de los minerales en la fracción arcilla: El estudio de las arcillas consta de la lectura de tres difractogramas, cada uno representa a la muestra bajo determinado tratamiento previo a la obtención del espectro. El primer difractograma corresponde a la muestra orientada secada al aire, el segundo a la muestra orientada secada al aire posteriormente solvatada en una atmósfera de etilenglicol (denominada muestra glicolada) y el tercero corresponde a la muestra orientada secada al aire y calcinada en una estufa a 500°C por dos horas.

Se identifican los distintos tipos de arcillas según su comportamiento frente a los tratamientos mencionados.

Los difractogramas obtenidos fueron analizados empleando el programa PANalytical X'Pert HighScorePlus 4.0-4.7^a. Posteriormente, sobre la base de las intensidades relativas (Moore and Reynolds, 1997) de las principales reflexiones de los componentes mineralógicos previamente identificados se procede a la semi-cuantificación de los mismos.

b) Análisis granulométrico mediante el método del densímetro y tamizado

Se realizó un análisis granulométrico por sedimentación mediante el método de Bouyoucos. Se utilizó un densímetro (152H) para las partículas inferiores a 0,075mm - 75 μm , para las partículas mayores se utiliza el método de tamizado según norma ASTM D-422 63 (2007), previo lavado de la muestra sobre tamiz n° 200. Estos métodos consisten en determinar las proporciones de los diferentes tamaños de grano del suelo en una masa dada, obteniendo el porcentaje de arcilla, limo, arena y grava, y representado mediante una curva granulométrica y un gráfico triangular de fracciones de las fracciones arena, limo, arcilla. (ASTM D-422-63. 2007).

c) Determinación del índice de plasticidad y actividad de las arcillas

Se obtuvo el índice de plasticidad según el método de los límites de Atterberg establecido en la norma IRAM 10501 (2007), cuyo resultado es la resta entre el límite líquido y el límite plástico obtenido. La plasticidad se define como la aptitud o capacidad de la tierra a ser moldeada, es determinante la sensibilidad de la tierra a la variación del agua incorporada, y es una característica vinculada en gran medida a la fracción fina del suelo. Según la clasificación de Atterberg, este índice permite identificar si el suelo tiene una composición mayoritaria de limo o arcilla, de baja o alta plasticidad.

d) Determinación de la actividad de las arcillas

La actividad de las arcillas se obtiene a partir del índice de plasticidad antes calculado y la

cantidad de arcilla en la muestra obtenida por el método de Bouyoucos, y se define como el cociente entre estos dos, de la siguiente manera:

$$A = \frac{IP}{\% \text{ de arcilla}}$$

dónde: A: actividad de las arcillas

IP: índice de plasticidad

% de arcilla: porcentaje de arcilla en la muestra

Skempton (1953) plantea una clasificación en donde define inactivas a las caolinitas, normales a las illitas y activas a las esmectitas.

2.3 Método de compensación granulométrica de suelos

Se normalizaron los suelos equiparándolos mediante una compensación con áridos de distintos tamaños, para lograr suelos con cantidades similares de fracción fina y equivalente contenido de arena. El objetivo fue medir el desempeño adherente de los tipos de arcilla de cada suelo reduciendo al mínimo la incidencia por variabilidad de la granulometría.

Para ello se tomó como referencia el suelo con mayor porcentaje de fracción arena de los cuatro seleccionados, en este caso RJ, y se ajustaron las curvas de los demás suelos en relación a este. Para lograr una equiparación proporcional a la arcilla contenida en la muestra se utilizó el teorema de Tales como referencia según se observa en la figura 2. De esta manera se obtiene, en primer lugar, un factor de relación entre la arena contenida en la muestra RJ y las demás, realizando un cociente entre las mismas. Como todas los suelos poseen mayor porcentaje de fracción fina que la muestra RJ el cociente para obtener el factor de relación se realiza de la siguiente manera: LM:RJ; PR:RJ, y BL:RJ. Con este factor comienzan las compensaciones de arena con los tamices número 4, 10, 20, 50, 100 y 200.

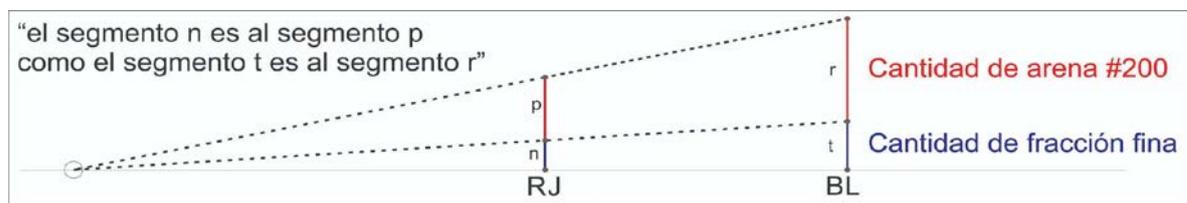


Figura 2. Esquema ejemplificador de relaciones y proporcionalidades basado en el teorema de Tales

2.4 Elaboración de revoques, aplicación y curado

Se colocó en un recipiente plástico 600 g de cada suelo ya compensado y se le agregó 30 ml de agua para amasado. Se amasó durante 2 minutos con espátula (un mismo operario realiza el amasado de todos los suelos). Luego se tapó el recipiente y se dejó reposar todos los suelos hasta el día siguiente a temperatura ambiente para que las arcillas pudieran humedecerse.

Se utilizó la superficie tramada y rugosa de un cerámico como soporte de los revoques debido a que posee una textura y mejora la adherencia de los suelos. La superficie se trató previamente con una pintura de tierra y agua para acondicionarla, y cada pintura corresponde a la tierra del revoque a analizar. Luego, los suelos se mezclaron por un minuto y se colocaron en moldes de PVC de 5 cm de diámetro por 1,5 cm de ancho -tamaño final de las muestras- dispuestas directamente sobre la superficie de los cerámicos. El molde se retiró inmediatamente y los suelos se dejaron secar durante al menos 28 días.

2.5 Ensayo de cizallamiento

Para este ensayo se siguió una metodología similar a la expuesta por Hamard et al. (2013), y las modificaciones se realizaron para evitar fuerzas de vuelco y rozamientos del instrumental en la pared o sustrato. El instrumental consta de un cerámico de 24 cm x 20 cm al que se le aplican los revoques. Para la realización del ensayo se colocó el cerámico en

vertical sobre un soporte, y una abrazadera metálica a cremallera en el revoque, de la que se colgó un cable de acero y un recipiente. Luego el ensayo se realizó colocando 300 grs de arena en el recipiente cada 10 segundos hasta producir el corte en la muestra. La figura 3 ejemplifica el instrumental y el ensayo.



Figura 3. Instrumental para el ensayo de cizallamiento

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Identificación de arcillas mediante DRX

A continuación, en la figura 4 se muestran los difractogramas obtenidos a partir de la fracción arcilla de los suelos RJ, BL, PR y LM.

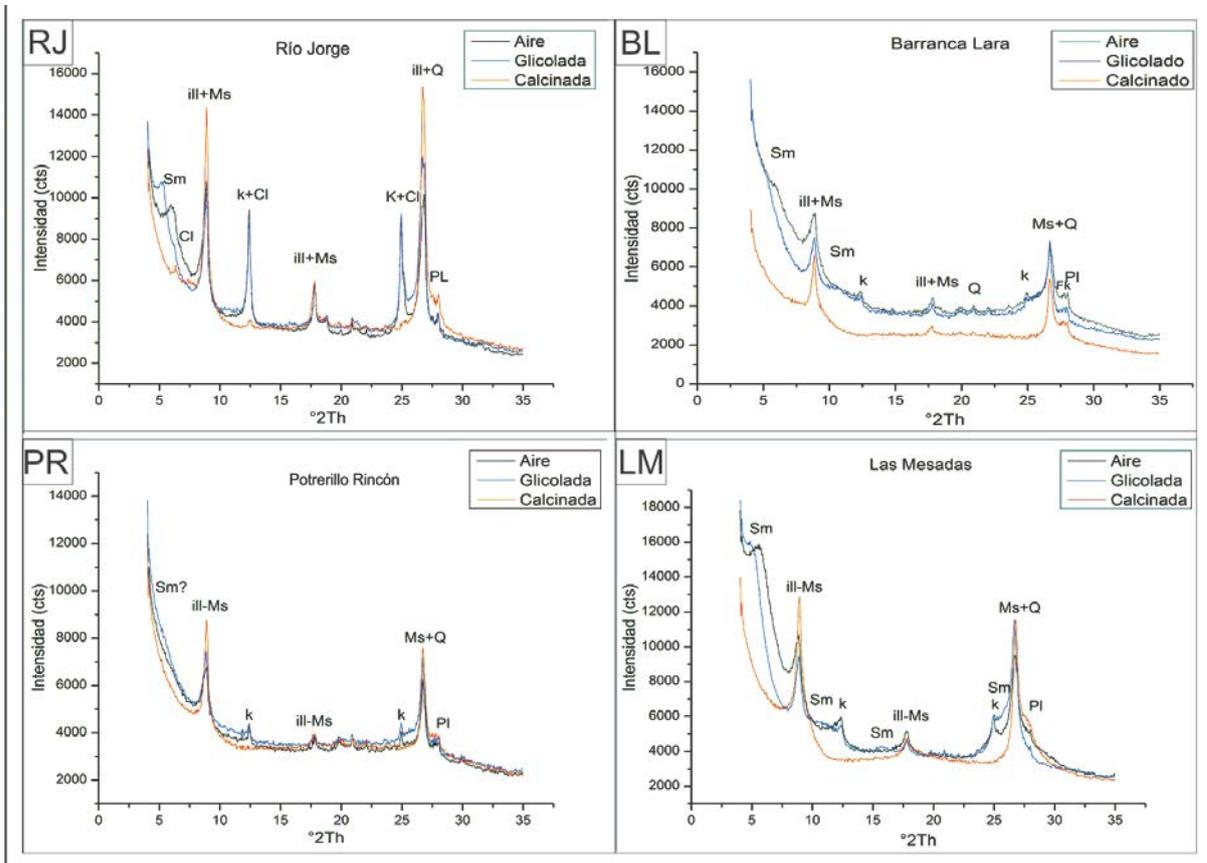


Figura 4. Difractogramas de la fracción arcilla de los suelos analizados. Sm: esmectita; Ill: Illita; K: Caolinita; Cl: Clorita; Q: Cuarzo; PI: Plagioclasa; Ms: micas

Las arcillas fueron identificadas y semi-cuantificadas a partir de los picos de los difractogramas característicos de cada arcilla, dando como resultado la tabla 1.

Tabla 1. Identificación y semi-cuantificación de arcillas.

Suelo	Tipos de arcillas (%)			
	Illitas-Mica (ill-Ms)	Esmectita(Sm)	Caolinita(K)	Clorita (Cl)
RJ	58	3	37	2
BL	83	3	14	0
PR	69	0	31	0
LM	69	11	20	0

3.2 Análisis granulométrico mediante el método del densímetro y tamizado

En la figura 5 se observan las curvas granulométricas de los cuatro suelos en un gráfico con escala logarítmica, y se muestran los porcentajes por tamaños de partículas. Las curvas granulométricas son sustancialmente diferentes entre todos los suelos. Esta diferencia es compensada granulométricamente para equiparar los suelos. En la tabla 2 se observan los porcentajes de cada fracción correspondiente a arena, limo y arcilla.

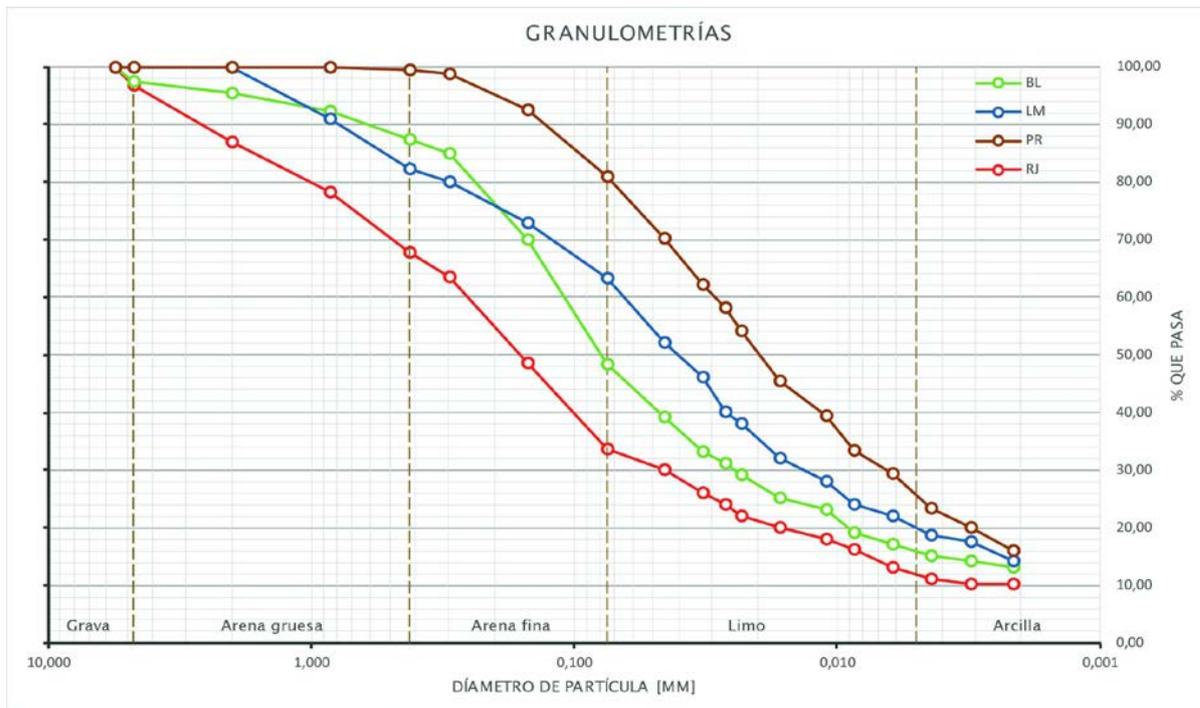


Figura 5. Curvas granulométricas de los cuatro suelos.

Tabla 2. Porcentajes y gramos de cada fracción para cada suelo.

Suelo	Composición del suelo en 50 g					
	Arena		Limo		Arcilla	
	%	g	%	g	%	g
RJ	66	33.15	22	10.9	12	5.95
BL	52	25.83	32	16.19	16	7.98
PR	19	9.49	55	27.73	26	12.78
LM	37	18.33	43	21.71	20	9.96

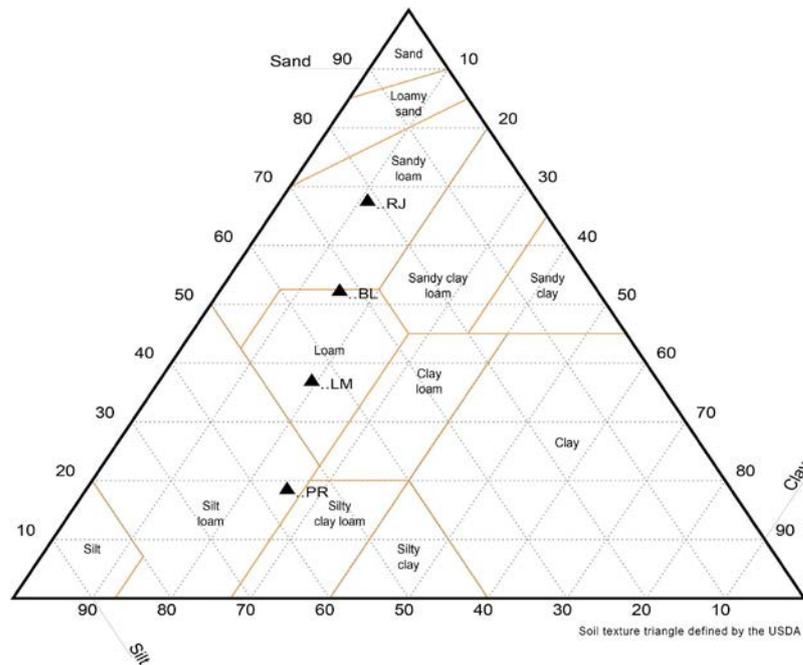


Figura 6. Triángulo textural para clasificación de suelos

3.3 Determinación del Índice de plasticidad y actividad de las arcillas

En la figura 7 se exponen los índices de plasticidad de los cuatro suelos. Según la clasificación en el cuadro de Atterberg el suelo LM es el de mayor plasticidad y corresponde junto a PR a arcillas de baja plasticidad. El suelo RJ es el de menor plasticidad y junto a BR se clasifican en limos de baja plasticidad.

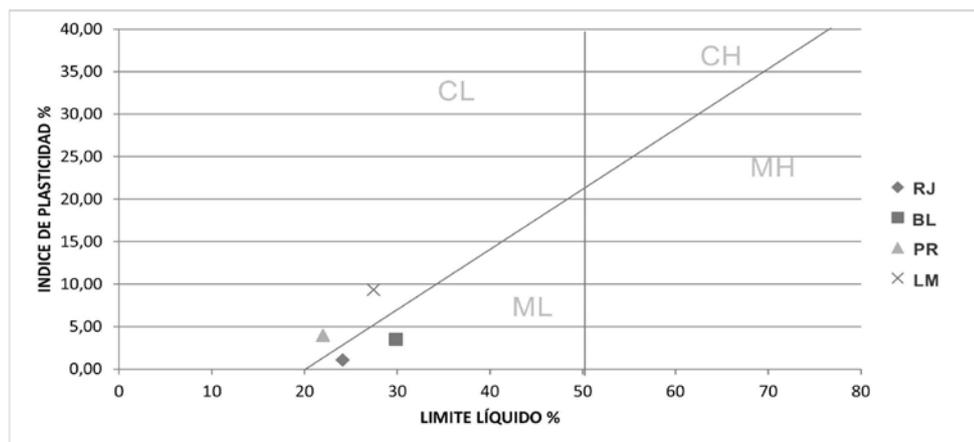


Figura 7. Cuadro para clasificación de suelos según los límites de Atterberg

En cuanto a la actividad de las arcillas las diferencias son sustanciales, teniendo una actividad de 0,47 para el suelo LM, y muy alejada para el suelo RJ, con 0,09; en referencia a los suelos BL y PR poseen una actividad similar al igual que el Índice de plasticidad.

Tabla 3. Tabla con actividad de las arcillas

Suelo	Índice de plasticidad (%)	% de arcilla	Actividad de la arcilla
RJ	1.0	12	0.09
BL	3.5	16	0.22
PR	3.9	22	0.18
LM	9.3	20	0.47

3.4 Método de compensación granulométrica de suelos

Para realizar este método se parte de las cantidades de cada fracción obtenidas en el análisis granulométrico. Para ejemplificar la compensación se toma el suelo RJ cuyo porcentaje limo-arcilla es 16,85 g (tabla 2), y el suelo BL cuyo valor es 24,17 g. El factor de relación es $24,17 : 16,85 = 1,434$. Para los áridos correspondientes al tamiz N.4, se ajusta RJ multiplicando los gramos de áridos, en este caso 1,65 g por el factor de relación, obteniendo un valor de 2,37grs. Finalmente a este valor se le resta la cantidad de áridos de la muestra BL que retuvo el tamiz N.4 y da la primera compensación de arena, en este caso $2,37g - 1,3 g = 1,07g$. Este procedimiento se repite con los demás tamices propuestos. En la figura 8 se observan las muestras compensadas a RJ.

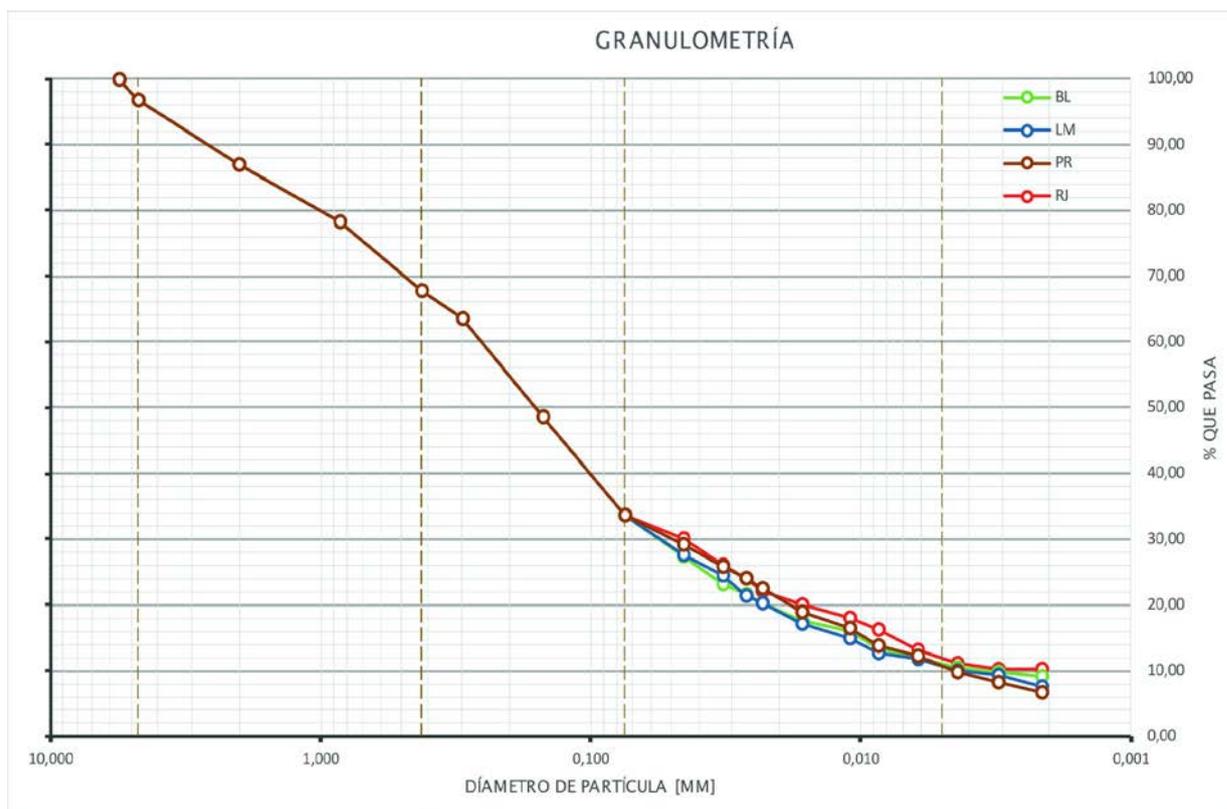


Figura 8. Curvas granulométricas compensadas a RJ

3.5 Ensayo de cizallamiento

Los resultados del ensayo de cizallamiento se exponen en la tabla 4, y reflejan el promedio entre los 5 ensayos realizados por suelo. El suelo LM es el que presenta mayor resistencia a cizallamiento, con 0.13 N/mm^2 , le siguen en orden de resistencia los suelos BL, PR, y finalmente RJ con 0.06 N/mm^2 . Además LM presenta la mayor actividad de las arcillas con un 0.47, coincidentemente le siguen BL, PR, y finalmente RJ con 0.09.

Tabla 4. Resultados del ensayo de cizallamiento

Suelo	Resistencia a cizallamiento (N/mm^2)
RJ	0.06
BL	0.11
PR	0.06
LM	0.13

($1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kgf/cm}^2$)

4 CONCLUSIONES Y PROSPECCIONES

Con los resultados obtenidos se pudo corroborar que existe una relación directa entre el aumento de la resistencia al corte (cizallamiento) con el suelo que contiene mayor cantidad de arcilla del tipo esmectita. Mientras que los suelos que presentan menor resistencia son aquellos con elevado contenido de arcillas del tipo caolinita y bajo contenido de esmectita. Al parecer las arcillas del tipo illita no influyen significativamente sobre la resistencia al cizallamiento. Debido a que solo una muestra presenta arcillas del tipo clorita y en bajas proporciones no se pudo obtener datos del comportamiento de este tipo de arcilla con relación al aumento o disminución de la resistencia al cizallamiento.

Skempton (1953) indica que la arcilla del tipo esmectita es la de mayor actividad en comparación a las illitas clasificadas como normales, y a las caolinitas como inactivas. Lo cual también coincide con el comportamiento de los suelos ante los esfuerzos de cizallamiento ya que el suelo LM que presenta el mayor porcentaje de esmectita entre los suelos analizados (11%), es el de mayor resistencia al cizallamiento, así también es el de mayor índice de plasticidad. En el otro extremo, el suelo RJ que presenta el mayor contenido de caolinitas (37%) y es el que menor resistencia al cizallamiento obtuvo. Por otro lado, es el que presenta menor Índice de plasticidad y actividad de las arcillas. Todo indica que la actividad de las arcillas según su tipo está directamente relacionada a la resistencia al cizallamiento.

Con respecto al método de compensación utilizado en este artículo, cabe destacar que los suelos fueron equiparados teniendo en cuenta la fracción gruesa, mientras que el limo de la fracción fina no pudo ser compensado mediante este método. A pesar de esto, se puede observar en las curvas granulométricas compensadas, que la diferencia entre las curvas es pequeña. Se propone corregir y mejorar el método de compensación para lograr una mayor exactitud en futuros estudios.

Se prevé, para futuras investigaciones, complementar con otros ensayos de adherencia como el de arrancamiento directo, los resultados obtenidos. También se podría centrar el objetivo en el agregado de esmectita a los suelos para corroborar la mejora de la adherencia en los revoques y sus límites.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D-422-63 (2007). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM Internacional.
- BS EN 1015-12 (2000). Methods of test for mortar for masonry Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates. European Standard.
- DIN 18947 (2013). Earthen plasters - Terms and definitions, requirements, test methods. Germany. Deutsches Institut Fur Normung
- Ekosse, G.-I. E. (2010). Kaolin deposits and occurrences in Africa: Geology, mineralogy and utilization. *Applied Clay Science*, 50(2), 212–236. doi:10.1016/j.clay.2010.08.003.
- Faria, P.; Lima, J.; Silva, V. (2019) Assessment of adhesive strength of an earth plaster on different substrates through different methods. 5th Historic Mortars Conference HMC2019. RILEM Publications SARL. In Proceedings. Pamplona, Spain. p. 51-64.
- Hamard, E., Morel, J., Salgado, F., Marcom, A., Meunier, N. (2013) A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage*. 14 p. 109-115.
- IRAM 10501 (2007). Determinación del límite líquido (LL) y del límite plástico (LP) de una muestra de suelo. Índice de fluidez (IF) e índice de plasticidad (IP). Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Muhammad Faheem, M. T., Al Bakri, A. M. M., Ghazali, C. M. R., Kamarudin, H., Izzat, A. M., & Abdullah, A. (2013). New Processing Method of Kaolin-Based Geopolymer Brick by Using Geopolymer Brick Machine. *Key Engineering Materials*, 594–595, 406–410. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.594-595.406>.

Odom, I. E. (1984). Smectite clay Minerals: Properties and Uses. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 311(1517), 391–409. doi:10.1098/rsta.1984.0036.

Puchulu, M.E. y Fernández, D., (2014). Características y distribución espacial de los suelos de la provincia de Tucumán. En: *Geología de Tucumán (2014)*. Colegio de Graduados de Ciencias Geológicas de Tucumán. Eds: Moyano, Puchulu, Fernandez, Vides, Nieva, Aceñolaza.

Quiñónez, F., Ayala, V. (2014) Evaluación de la adherencia de revestimientos en paredes construidas con tierra mediante un equipo de laboratorio autoconstruido. Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Guayaquil. p. 1-10.

Skempton, D. (1953). The Colloidal “Activity” of Clays. *International society for soil mechanics and geotechnical engineering*. p. 57-61.

Stazi, F., Nacci, A., Tittarelli, F., Pasqualini, E., Munafò, P. (2016) An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments. *Journal of Cultural Heritage* p. 27-41.

Van Olphen, H., (1977). An introduction to Clay colloid chemistry. PH Hsu For Clay Technologists, Geologists, and Soil Scientists Wiley New York.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Andrea Cavicchioli por facilitar una metodología mejorada para realizar ensayos de cizallamiento.

AUTORES

Gonzalo García Villar, Arquitecto, doctorando en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNT. Becario doctoral de CONICET con lugar de trabajo en CRIATiC. Diseñador en permacultura por el Instituto Argentino de Permacultura. Diseñador, director y constructor de diversas obras de arquitectura de tierra y bioclimáticas. Miembro de la red argentina PROTIERRA.

Enzo Rubén Marcial. Geólogo, doctorando de la Facultad de ciencias Naturales e IML de la UNT. Becario doctoral de CONICET, perteneciente al Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO) y al Centro Integral de Microscopía Electrónica (CIME). Estudiante de la Maestría en Gestión Ambiental de la Facultad de Ciencias Naturales de la UNT.

Guillermo Rolón, Doctor por la Universidad de Buenos Aires con especialidad en arqueología, Master en restauración y gestión integral del patrimonio construido, Arquitecto, Investigador Adjunto del CONICET e investigador adscripto del CRIATiC; Integrante del programa de extensión universitaria MHaPa (Mejoramiento del Hábitat participativo), miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA, miembro de la red argentina PROTIERRA.