

Ciencia Nicolaita 87

ISSN: 2007-7068



Universidad
Michoacana
de San Nicolás
de Hidalgo

Análisis de las propiedades físicas de suelos volcánicos de bancos de materiales para construcción: efecto en su comportamiento mecánico

Analysis of the physical properties of volcanic soils of building material quarry: effect on their mechanical behavior

Diana Concepción Santos-Tress,* Teresa López-Lara, Juan Bosco Hernández-Zaragoza, Jaime Horta-Rangel y Luis Arturo Vidal-Sampayo

Para citar este artículo: Santos-Tress Diana Concepción, López-Lara Teresa, Hernández-Zaragoza Juan Bosco, Horta-Rangel Jaime y Vidal-Sampayo Luis Arturo, 2023. Análisis de las propiedades físicas de suelos volcánicos de bancos de materiales para construcción: efecto en su comportamiento mecánico. Ciencia Nicolaita no. 87, 149-158. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi87.666>



Historial del artículo:

Recibido: 25 de mayo de 2022
Aceptado: 27 de septiembre de 2022
Publicado en línea: abril de 2023



Ver material suplementario



Correspondencia de autor: diana_0328w@hotmail.com



Términos y condiciones de uso: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



Envíe su manuscrito a esta revista: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>

Análisis de las propiedades físicas de suelos volcánicos de bancos de materiales para construcción: efecto en su comportamiento mecánico

Analysis of the physical properties of volcanic soils of building material quarry: effect on their mechanical behavior

Diana Concepción Santos-Tress,* Teresa López-Lara, Juan Bosco Hernández-Zaragoza, Jaime Horta-Rangel y Luis Arturo Vidal-Sampayo.

Universidad Autónoma de Querétaro, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Querétaro, México

Resumen

En México, los tepetates representan 30% de la superficie del país; sin embargo, es poco aprovechado a pesar de ser sustentable por su fácil acceso. En la industria de la construcción, el tepetate es usado como relleno, pero el efecto mecánico de sus propiedades físicas como material de construcción se desconoce. Con base en esto, se realizó la caracterización de varios suelos volcánicos de la ciudad de Querétaro, México, con la finalidad de analizar sus propiedades físicas, concluyéndose que los tepetates son suelos con cantidades predominantes de arenas y que la cuantía de finos depende de la ubicación del muestreo. Los suelos presentan plasticidad, aun cuando predominan arenas, teniendo posibilidades de colapso, situación que debe prevenirse.

Palabras clave: tepetate, granulometría, suelo volcánico, arenas, suelos

Abstract

In Mexico, the tepetates represent 30% of the country's surface, which makes evident the little use, despite being sustainable due to its easy access. In the construction industry, tepetate is used as a filler, but the mechanical effect of its physical properties as a construction material is unknown. Based on this, the characterization of several volcanic soils in the city of Querétaro, México, was carried out in order to analyze their physical properties. It is concluded that tepetates are soils with predominant amounts of sand and that the amount of fines depends on the sampling location. The soils show plasticity even when sand predominates, having the possibility of collapse, a situation that must be prevented.

Key words: tepetate, granulometry, volcanic soil, sand, soils



Introducción

En los alrededores de las zonas volcánicas del continente americano se ubican bancos de suelos residuales producto de la meteorización de cenizas volcánicas (Williams, 1972). La definición de suelo residual es variante, pero podría entenderse como un suelo derivado de la meteorización y descomposición de la roca *in situ*, el cual no ha sido desplazado de su ubicación de origen (Blight & Leong, 1997).

El “tepetate”, como comúnmente se le llama a las tobas pumíticas o tobas calcáreas en México, es un material muy empleado en la industria de la construcción en México por su abundancia y bajo precio. Es un material ligero, de cohesión muy corta y de peso volumétrico de 1200 kg/m³ en promedio, variando en su composición. Los yacimientos de las tobas son numerosos y se encuentran en todos los terrenos inmediatos a los suelos de origen volcánico en toda la extensión del país (Barbara, 1979). Se estima que en México, aproximadamente el 30% del territorio nacional, dispone de este tipo de material (Gama Castro *et al.*, 2007), por lo que resulta de gran importancia su análisis.

Como material de construcción, el tepetate ha jugado un papel importante en el desarrollo del México moderno (Williams, 1972). De hecho, su uso es conocido desde hace muchos años, puesto que en varias ruinas arqueológicas se han encontrado plataformas y muros de tepetate comprimido (Healan, 1989).

Actualmente, el tepetate es usado para el mejoramiento de suelos; se entiende por mejoramiento de suelo al procedimiento mecánico y artificial mediante el cual se busca obtener un material que cumpla con los requerimientos mínimos de resistencia, permeabilidad y estabilidad volumétrica (Zepeda, 2004).

Uno de los mejores indicadores para la sostenibilidad de la construcción, es el uso de materiales locales terrosos que son completamente reciclables y ahorradores de energía durante su ciclo de vida (López Lara *et al.*, 2013).

Aunque el tepetate es un suelo de usos limitados, es de gran importancia su estudio ya que se tiene gran disposición de él a lo largo de todo México y el mundo, por lo cual esta investigación se enfoca en estudiar sus propiedades físicas para luego relacionarlas con su comportamiento volumétrico como material de construcción.

Metodología

Localización de los bancos de material

Esta investigación inició con la localización de los bancos para la obtención de muestras, para ello, se realizó el muestreo en la ciudad de Santiago de Querétaro, México, ubicada en las coordenadas geográficas de latitud 20°35'15"N, longitud 100°23'34"W, teniendo una altitud media sobre el nivel del mar de 1820 m, compuesto por los municipios conurbados Corregidora y El Marqués. Los bancos estudiados fueron cuatro: 1) Tlacote, 2) Mckey, 3) Alpher y 4) Zaquia. Dichos bancos fueron complementados con otros reportados, con el objetivo de observar las características de todos.

Clasificación del suelo desde el punto de vista edafológico

Los bancos se localizaron en los mapas edafológicos de la ciudad de Querétaro para identificar el tipo de suelo.

Caracterización de los materiales de los bancos

Teniendo las muestras de los bancos seleccionados, se procedió a realizar la caracterización de material, iniciando con su granulometría de acuerdo al procedimiento que ofrecen las normas NMX-C-111-ONNCCE-2018 (ONNCCE, 2018). Para la obtención de los límites de plasticidad, se realizaron los ensayos correspondientes siguiendo los lineamientos que se indican en la NMX-C-416-ONNCCE (ONNCCE, 2003).

Clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El SUCS clasifica los suelos con base en el tamaño de sus partículas y plasticidad, por lo que una vez extraídos, se hizo la clasificación de los suelos.

Resultados

Localización de bancos

A continuación, se describen las localizaciones de los bancos, así como la imagen del suelo de cada uno. La Tabla 1 resume esta información.

- Banco no. 1. Materiales “Tlacote” (Figura 1). Ubicado en Tlacote el Bajo, es una localidad del estado mexicano de Querétaro

Tabla 1
Ubicación de los bancos estudiados

Ubicación	Designación	Coordenadas
1	Tlacote	20°39'47.8"N; 100°30'58.3"O
2	Mckey	20°40'27.2"N; 100°29'16.7"O
3	Alpher	20°37'54.4"N; 100°18'53.1"O
4	Zaquia	20°39'16.7"N; 100°19'30.3"O
5	T3	20°39'07"N; 100°28'53"O
6	J1	20°40'09"N; 100°27'50"O
7	J2	20°38'59"N; 100°25'33"O
8	C1	20°34'33"N; 100°17'10"O
9	C2	20°34'43"N; 100°18'48"O
10	C3	20°34'26"N; 100°18'48"O



Figura 1. Imagen del suelo del banco no.1. Materiales "Tlacote".

que forma parte del municipio de Querétaro y se localiza en las inmediaciones de la capital, Santiago de Querétaro, en el libramiento Norponiente en las coordenadas 20°39'47.8"N 100°30'58.3"W.

- Banco no. 2. Materiales "Mckey" (Figura 2). Ubicado en la localidad El Paraíso en el estado mexicano de Querétaro, cercano a Paseo Querétaro y a la estación no. 5 de



Figura 2. Imagen del suelo del banco no.2. Materiales "Mckey".

Bomberos Querétaro, con las coordenadas 20°40'27.2"N 100°29'16.7"W.

- Banco no. 3. Materiales "Alpher" (Figura 3). Ubicado en la localidad de El Marqués en el estado de Querétaro, en la carretera estatal Querétaro-Tequisquiapan, localizado en las coordenadas 20°37'54.4"N 100°18'53.1"W.

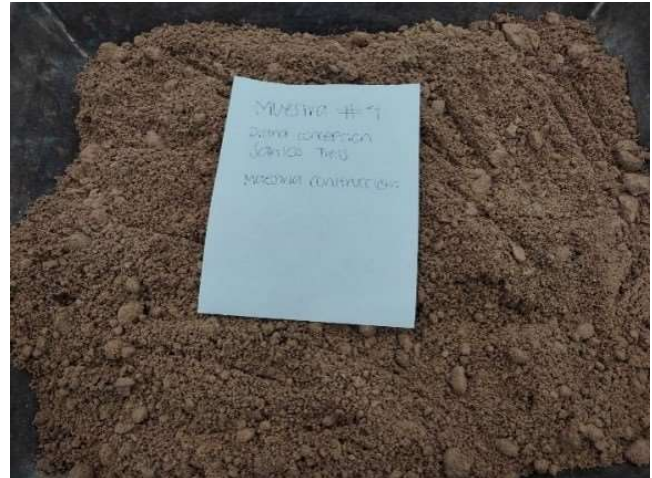


Figura 3. Imagen del suelo del banco no.3. Materiales "Alpher".

- Banco no. 4. Materiales "Zaquia" (Figura 4). Ubicado en el término del Fraccionamiento "Zaquia" entrando por Cto. Universidades, dentro de la localidad de El Marqués en el estado de Querétaro, con coordenadas 20°39'16.7"N 100°19'30.3"W.



Figura 4. Imagen del suelo del banco no.4. Materiales "Zaquia".



Figura 5. Ubicación de los bancos en activo (1 a 4) y de los inactivos (5 a 10).

- Bancos no. 5-10. Denominado T3 (Banco 5) corresponde a la zona de Tlacote; los bancos J1 y J2 (bancos 6-7, respectivamente) se localizan en la zona de Jurica, mientras que los bancos C1, C2 y C3 (bancos 8-10, respectivamente) se encuentran en la zona denominada “Conín” (Rosales Hurtado, 2011). Las ubicaciones pertenecen a las inmediaciones de la ciudad de Querétaro, México. Estos bancos fueron los utilizados para complementar la investigación; en estos bancos no se reportan imágenes del suelo.

Clasificación del suelo desde el punto de vista edafológico

La Tabla 1 muestra el resumen de las ubicaciones de los bancos estudiados.

La Figura 5 muestra las ubicaciones de los bancos en activo estudiados en la investigación (1-4), así como los bancos analizados anteriormente (5-10) (Rosales Hurtado, 2011) y que en la actualidad están explotados e inactivos. En la Figura 5 se puede observar que los bancos de esta investigación (1-4) se encuentran más alejados de la ciudad respecto a los bancos reportados (5-10). De hecho, en general, todos los bancos reportados e inactivos (5-10), se encuentran actualmente dentro de la ciudad de Querétaro (5-10).

En la Figura 6 se observa el tipo de suelo desde el punto de vista edafológico que está asociado a la ubicación de cada banco, de acuerdo al INEGI. Se puede observar también que el suelo predominante es el Planosol para todos los bancos (Tabla 2). El término Planosol deriva del vocablo latino *planus* que significa ‘llano’, haciendo alusión a su presencia en zonas llanas, estacionalmente inundadas. Se caracterizan por un horizonte eluvial degradado que sobreyace abruptamente sobre un denso subsuelo. El material lo constituyen depósitos aluviales o coluviales arcillosos. Se asocian a terrenos llanos, estacionales o periódicamente inundados, de regiones subtropicales, templadas, semiáridas y subhúmedas con vegetación de bosque caro o pradera (FAO, 2022). Esta descripción se ajusta perfectamente al suelo de este trabajo.

Caracterización de los materiales de los bancos y clasificación de suelos según SUCS

Se realizó el análisis granulométrico a cada una de las muestras de los bancos analizados, con los cuales se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 3. La granulometría fue utilizada para realizar la clasificación SUCS de los suelos y, con base en la distribución de tamaños, se clasificaron como arenas (S), ya que es el tamaño que predomina (2 mm a 0.150 mm) en todos los bancos. Los bancos que tienen pocos finos (1-3% aproximadamente) quedaron como SW (arenas

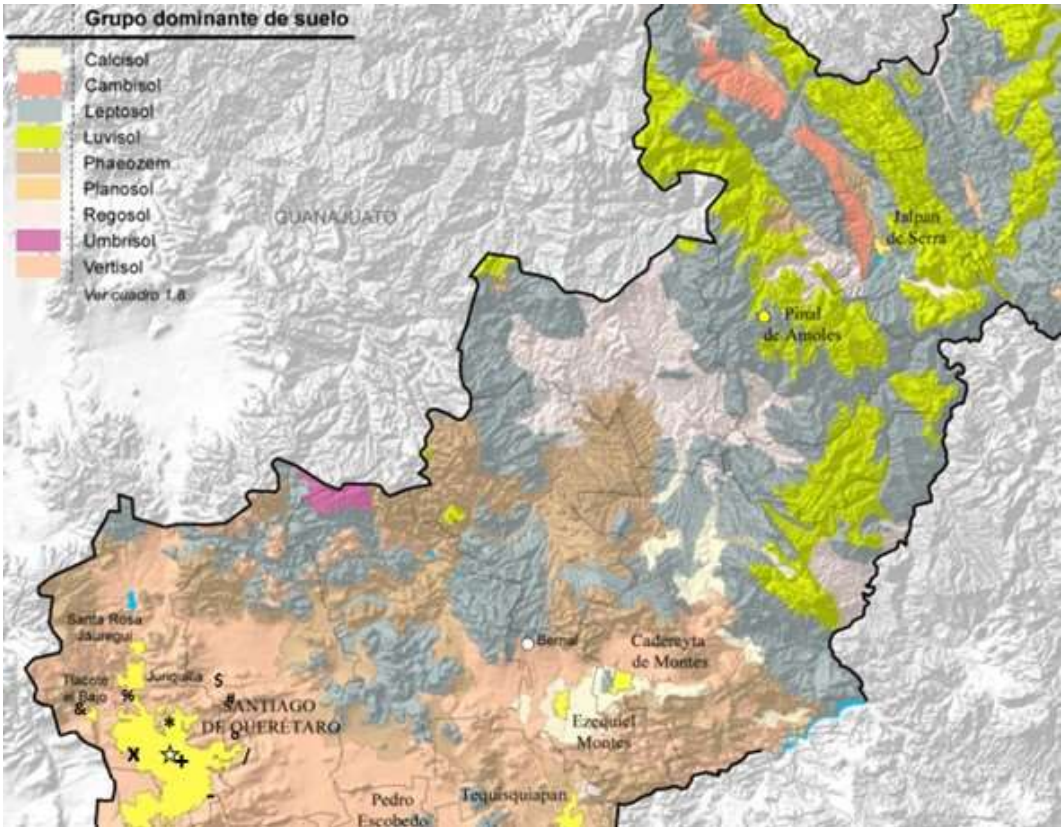


Figura 6. Tipos de suelos asociados a la ubicación de los bancos.

bien graduadas) y los bancos con mayor cantidad de finos (14-27% aproximadamente) quedaron como SM (arenas limosas). La diferencia entre ambas clasificaciones es la cantidad de finos.

Tabla 2.
Tipos de suelo desde el punto de vista edafológico asociado a la ubicación de cada banco.

Ubicación	Símbolo	Banco
1	&	Tlacote
2	%	Mckey
3	#	Alpher
4	\$	Zaquia
5	x	T3
6	*	J1
7	+	J2
8	-	C1
9	°	C2
10	/	C3

Lo anterior puede estar asociado a que los materiales de los bancos 1-4 están más alejados de la ciudad y, aunque el origen es el mismo, el material que se encuentra dentro de la ciudad muestra más finos debido, probablemente, a que la ciudad de Querétaro estuvo en algún momento bajo un lago, siendo la

Tabla 3
Resultados del análisis granulométrico de las muestras de los bancos.

Ubicación	Banco	% de grava	% de arena	% de fino	SUCS
1	Tlacote	25.86	72.81	1.32	SW
2	Mckey	12.47	85.34	2.17	SW
3	Alpher	13.11	85.83	1.045	SW
4	Zaquia	31.26	65.87	2.86	SW
5	T3	3.280	82.400	14.320	SM
6	J1	9.130	70.100	20.720	SM
7	J2	10.200	69.130	20.670	SM
8	C1	16.352	66.613	17.035	SM
9	C2	1.793	71.099	27.107	SM
10	C3	5.254	76.515	18.232	SM

parte más baja los finos producto de la intemperización física y química, transportados por aire y agua, depositados en campo, pudiéndose observar una gran diversidad de suelos entre los que destacan los residuales, transportados (del tipo lacustre, fluvial) y de precipitación química. Sus orígenes y propiedades les dan comportamientos tan peculiares como el caso de las arcillas de alta plasticidad, potencialmente expansivas y los limos, latentemente colapsables (Manilla Aceves *et al.*, 2022).

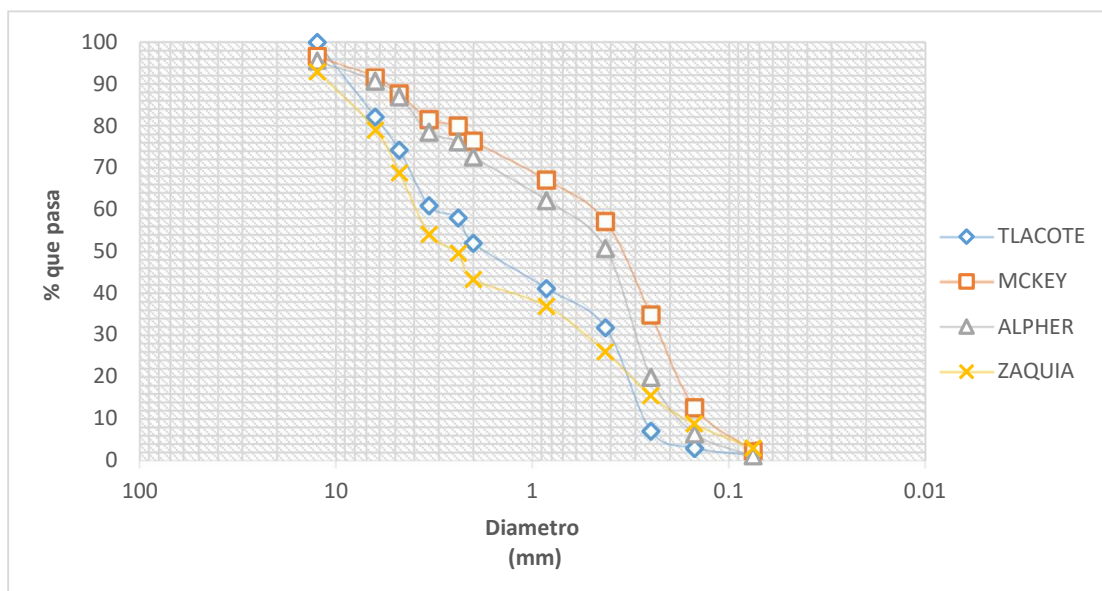


Figura 7. Curvas granulométricas para los bancos 1 a 4.

En la Figura 7 se muestran las curvas granulométricas propias del presente trabajo, en la Figura 8 se muestran las curvas granulométricas de los bancos estudiados en la investigación base (Rosales Hurtado, 2011) y, finalmente, en la Figura 9 se muestra un concentrado de las curvas granulométricas de ambos estudios, en las cuales se observa el comportamiento de cada uno de los suelos de los bancos.

En la Figura 7 se muestra que los bancos tienen granulometrías similares para el banco Mckey y Alpher, así como para el Zaquia y Tlacote, aun cuando son

bancos que se encuentran alejados entre sí, con rangos de diferencias entre 18.79% en gravas, 19.96% en arenas y finos 1.815%, tomando de referencia el máximo respecto al mínimo.

En la Figura 8 se muestra que todos los bancos tienen granulometrías parecidas con un pequeño rango de diferencia en los porcentajes que pasan: gravas 29.467%, arenas 15.78% y finos 12.787%, tomando como referencia el máximo respecto al mínimo porcentaje.

En la Figura 9 se graficaron todas las granulometrías de los bancos y se observa que el banco Mckey y

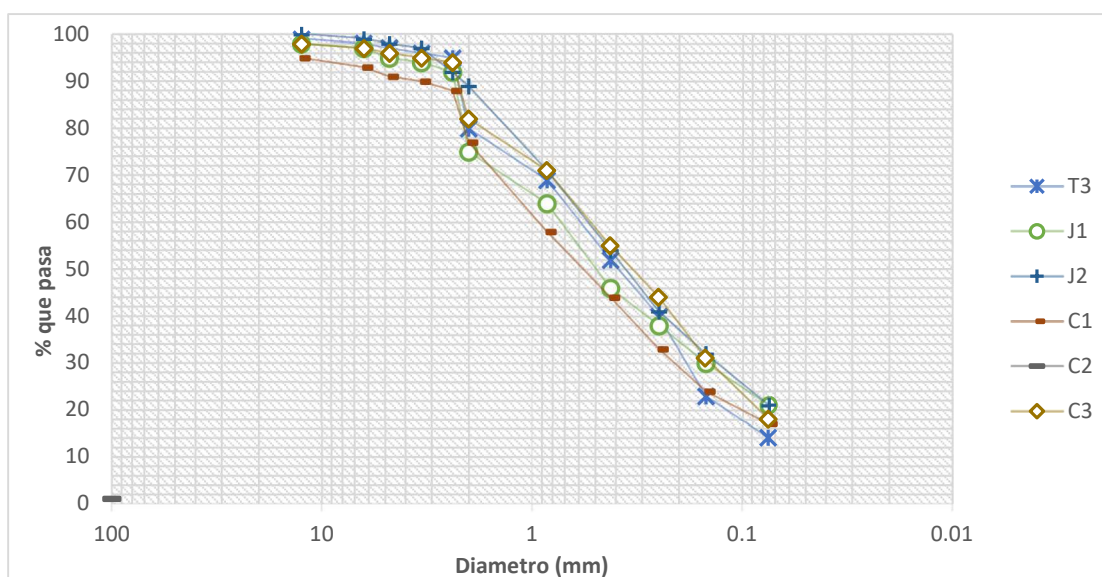


Figura 8. Curvas granulométricas para los bancos 5 a 10.

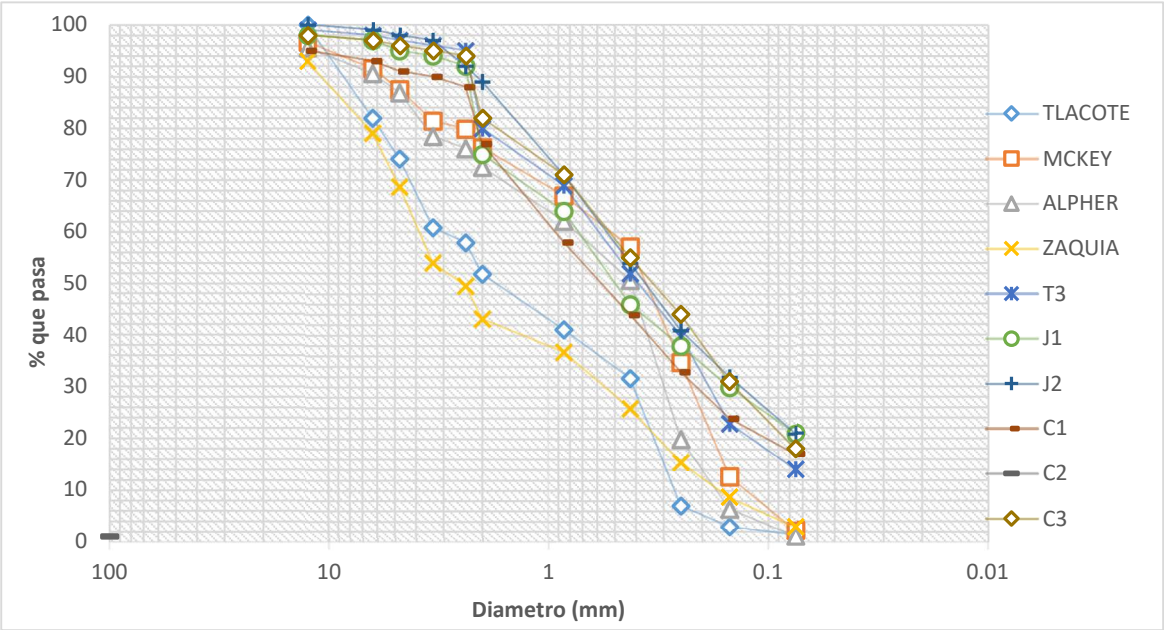


Figura 9. Curvas granulométricas para todos los bancos.

Alpher tienen granulometrías similares a los bancos reportados, mientras que los bancos de Zaquia y Tlacote se separan en sus porcentajes que pasan.

Lo anterior muestra que los materiales de los bancos que se están explotando actualmente, tienen mayor cantidad de arenas y poca cantidad de finos porque están más lejos de la ciudad, lo cual se explica porque no estuvieron expuestos al agua del valle de Querétaro. En la práctica de la construcción, los tepetates son mejor recibidos cuando la cantidad de finos es mínima, como el caso de los bancos 1-4, es decir, que los

bancos alejados del valle de Querétaro tendrán menos finos, por lo tanto, serán aptos para la construcción.

Plasticidad

La Tabla 4 muestra los límites líquidos —también llamados límites de Atterberg— obtenidos mediante la copa de Casagrande, los límites plásticos y los índices plásticos. En esta tabla se muestra que solo en los bancos 1-4 existe plasticidad, mientras que en los bancos 5-10 no se pudo medir porque se cerraban inme-

Tabla 4
Límites líquidos, plásticos e índices plásticos para todos los bancos.

Ubicación	Banco	Limite liquido	Limite plástico	Índice de plasti-cidad
1	Tlacote	36.085	27.13	8.955
2	Mckey	41.729	32.46	9.26
3	Alpher	40.466	30.59	9.876
4	Zaquia	34.219	26.42	7.799
5	T3	NP	NP	NP
6	J1	NP	NP	NP
7	J2	NP	NP	NP
8	C1	NP	NP	NP
9	C2	NP	NP	NP
10	C3	NP	NP	NP
NP= No hay plasticidad.				

diatamente en la copa de Casagrande para el límite líquido y para el límite plástico, el suelo no formaba rollos de 10 cm de longitud y 3 mm diámetro sin romperse; haber logrado estos rollos nos habría indicado el contenido de agua correspondiente al límite plástico. Lo anterior indica que aunque se trata del mismo suelo, los volcánicos extraídos del valle de Querétaro (5-10), prácticamente se encuentran lavados (sin arcilla) por el antecedente de que estos suelos estuvieron cubiertos por agua; mientras que en los bancos 1-4, que se encuentran más lejos de la ciudad, se observa que tienen arcilla en su contenido por la plasticidad presentada, lo que significa que estos materiales no alcanzaron a estar cubiertos por agua.

La plasticidad presentada en los bancos 1-4 indica arcilla presente, pero no necesariamente proviene de la cantidad de finos de las muestras de suelos de los bancos, ya que es muy baja (1-3% aproximadamente), por lo que se concluye que esta plasticidad viene de arcilla adherida a las arenas. Este hallazgo es muy importante porque puede estar relacionado, probablemente, a la característica de colapso que presentan estos suelos, debido a las grandes cantidades de arena mezcladas con arcilla (detectada con la plasticidad) que hace la función de unir los agregados; cuando ingresa agua, se deshacen dichas uniones. Por otro lado, las granulometrías presentadas se asocian a las observadas en suelos con características de colapso, los cuales suelen ser limo-arenosos de naturaleza metaestable. De hecho, una característica importante es

que el suelo tiene muy pocos finos (1-3%) y, aun así, presenta plasticidad (Marín López *et al.*, 2022).

La Figura 10 muestra la carta de plasticidad de los suelos de los bancos 1-4, en donde se observa que se clasifican como ML (limo de baja plasticidad). Aunque los bancos 1-4 tienen en su mayoría arenas y fueron clasificados como SW (arena bien graduada) —y precisamente porque la cantidad de finos es muy baja (1-3% aproximadamente)—, se agregó la carta de plasticidad para observar el grado de plasticidad de la arcilla presente, observándose que es baja (L), lo que indica que puede ser arcilla expansiva en poca cantidad o bien mayor cantidad de arcilla con poca expansión.

Conclusiones

El “tepetate”, que se utiliza frecuentemente en construcción para relleno de plataformas o bien para sustitución de suelos expansivos en la región central de México, se caracteriza por tener en su mayoría un alto porcentaje de arenas con limos, resultado que fue corroborado con la clasificación del SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos); de hecho, los limos se confirmaron aún más con las pruebas de plasticidad, puesto que no mostraron valor alguno.

Es interesante observar que los bancos reportados anteriormente se encontraban dentro de la ciudad, o por lo menos muy cerca de ella; hecho que puede explicar el mayor contenido de finos en los suelos, debido al antecedente de que la ciudad de Querétaro es

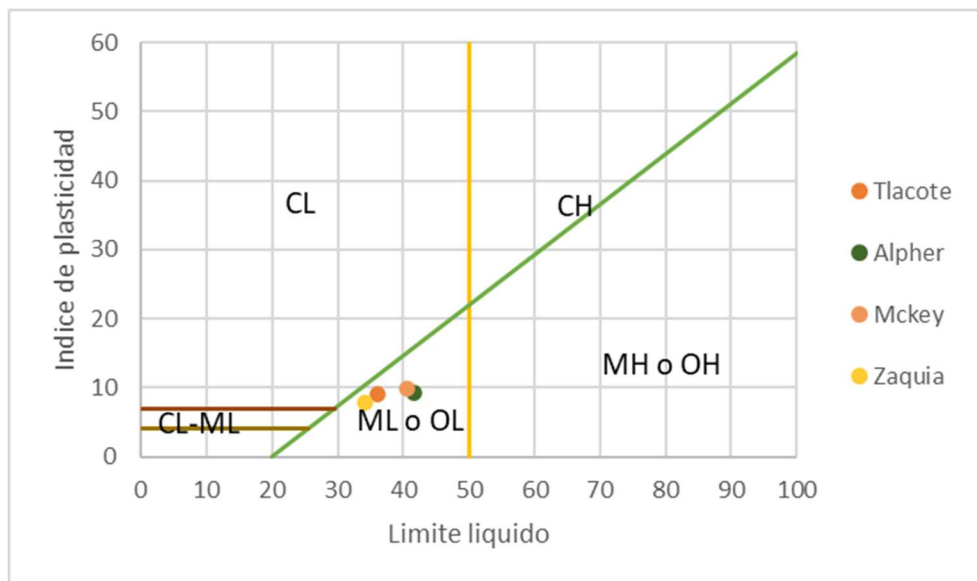


Figura 10. Carta de plasticidad de los suelos de los bancos 1 a 4.

un valle que en algún momento estuvo lleno de agua, lo que justifica la mayor cantidad de finos (14-17% aproximadamente). En cambio, los bancos muestreados en esta investigación se encuentran más alejados de la ciudad, por lo que los suelos presentaron muy bajas cantidades de finos (1-3% aproximadamente), lo que muestra que no estuvieron bajo el agua. Por lo tanto, los bancos más alejados de la ciudad tienden a tener menor cantidad de finos, lo que los hace cumplir con granulometrías que requiere la práctica de la construcción.

Respecto a la plasticidad, es importante mencionar que aun cuando se trata del mismo suelo, los bancos 1-4 están lejos del valle de Querétaro, lo que permite que presenten plasticidad porque no alcanzaron a estar inundados. Por su parte, los bancos 5-10 se encuentran prácticamente en el valle, por lo que muy probablemente no presenten plasticidad por estar "lavados".

Lo anterior es muy significativo porque la granulometría de los suelos presentada (mayor cantidad de arenas y pocos finos de 1-3%), así como la presencia de plasticidad, indican que existe arcilla que no se encuentra precisamente en la cantidad de finos reportada debido a que es muy baja (1-3%), sino que más bien se encuentra adherida en las arenas. Esta descripción concuerda con suelos reportados en la ciudad de Querétaro con características colapsables que tienen 100% de arenas y 0% de finos con presencia de plasticidad (Marín López *et al.*, 2022), por lo que es importante tenerlo en cuenta en los rellenos y en la sustitución de este tipo de suelos que se hacen frecuentemente en la construcción.

Referencias

- ASTM, 2015, ASTM C136-06. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*.
- Barbara Zetina, F., 1979, Materiales y procedimientos de construcción. Vol. II: *México, Herrero S.A.*
- Blight, G.E., 1997, Mechanics of residual soils: *Rotterdam Balkema*. ISBN 90-5410-696-4
- Comisión Federal de Electricidad, 1993, Manual de diseño de obras civiles: *México, Instituto de Investigaciones Eléctricas*.
- Gama Castro, J., 2007, Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso del Glacis de Buenavista Morelos: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, (59)1.
- <https://doi.org/10.18268/bsgm2007v59n1a11>
- Healan, D., 1989, Tula of the Toltecs: Excavations and survey: *Iowa City, Estados Unidos, University of Iowa Press*. ISBN 0-87745-209-1.
- López Lara, T., Hernández Zaragoza, J., Horta Rangel, J., González Rojas, E., Rosales Hurtado, C. and López Cajún, D., 2013, Tepetate as Construction Material: *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(11).
- Manilla Aceves, A., Martínez Peña, G., Pérez Salazar, A. and Vázquez Paulino, J., 2002, Caracterización de suelos y control espacial por medio de los sistemas de información geográfica; caso valle de Querétaro: *México, Secretaría de Transporte y Comunicaciones, Instituto Mexicano del Transporte*. ISSN 0188-7297. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt203.pdf>
- ONNCCE, 2018, Industria de la Construcción-Agregados para concreto hidráulico-Especificaciones y métodos de ensayo: *México, Secretaría de Gobierno*.
- ONNCCE, 2003, Industria de la construcción-muestreo de estructuras térreas y métodos de prueba: *México, Secretaría de Gobierno*.
- Rico Rodríguez, A., 1982, La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Vol. II: *México, Limusa*.
- Rodríguez, M., 2006, Compressed-earth-block walls in Mexico and Honduras: *Hous. Constr. Innovat.*, 18-20.
- Rosales Hurtado, D., 2011, Caracterización de los "Tepetates" usados como material de sustitución en la ciudad de Querétaro: Tesis de licenciatura, *Universidad Autónoma de Querétaro, México*.
- SEMARNAT, 2008, Suelos de México: *México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
- Williams, B., 1972, Tepetate in the Valley of Mexico: *Annals of the Association of American Geographers*, 62(4), 618-626. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1972.tb00890.x>
- Zepeda, A., 2004, Mecánica de suelos no saturados: *México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos*.