



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería.  
Maestría en Ciencias

**“Uso de suelos residuales volcánicos para materiales cementantes compuestos en la construcción”**

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestro en Ciencias línea terminal Construcción

Presenta:

Diana Concepcion Santos Tress

Dirigido por:

Dra. Teresa López Lara

Dra. Teresa López Lara

Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Jaime Moisés Horta Rangel

Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Eduardo Rojas Rangel

Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

M.C. Aleyda Coronado Márquez

Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Noviembre, 2022  
México

# Abstract

In Mexico, volcanic soils occupy an area of 30,700 km<sup>2</sup>. Generally speaking, in Mexico, the tepetates occupy approximately 30% of the total area of the country, either at surface level or at a maximum depth of 1 m, so there is a great availability of this material, and in the same way throughout the world with volcanic areas, so it is evident the little use of this inert material and that having easy access becomes sustainable in a representative way, to which is presented in this investigation a compound cementitious material created based on the Tepetate naturally taking full advantage of its granulometry, proposing an alternative to the construction industry. From the tests carried out, we can highlight that of the four banks of materials used, all have similar granulometries with a very low percentage of fines, which ranges from 1 to 3%, with the tepetate analyzed, 14 samples of mortar were developed, of which it should be noted that in all of them, a fluidity between 107.39 and 113.63% was achieved, obtaining resistances of up to 207.669 kg/cm<sup>2</sup> at 28 days. Concluding based on the results obtained that it is feasible to use this material as a coating to subsequently adapt it for use as concrete.

**Keywords:** Tepetate, Cementing, Sustainability, Materials, Natural.

# Resumen

En México, los suelos volcánicos ocupan una superficie de 30,700 km<sup>2</sup>. Hablando de manera general en México, los tepetates ocupan aproximadamente el 30% de la superficie total del país, ya sea a nivel de superficie o 1 m de profundidad como máximo, por lo que se tiene gran disposición de este material, y de igual manera en todo el mundo con zonas volcánicas, por lo que resulta evidente el poco aprovechamiento de este material inerte y que al tener fácil acceso se vuelve sustentable de una manera representativa, a lo que se presenta en esta investigación un material cementante compuesto creado a base del tepetate de manera natural aprovechando íntegramente su granulometría, proponiendo a la industria de la construcción una alternativa. De las pruebas realizadas podemos destacar que de los cuatro bancos de materiales usados todos tienen granulometrías similares con un porcentaje de finos muy bajo, que va del 1 al 3%, con el tepetate analizado se desarrollaron 14 muestras de mortero de las cuales cabe resaltar que en todas se logró una fluidez entre el 107.39 al 113.63%, obteniendo resistencias hasta de 207.669 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Concluyendo basado a los resultados obtenidos que es factible el uso de este material como recubrimiento para posteriormente irlo adaptando para su utilización como concreto.

Palabras clave: Tepetate, Cementantes, Sustentabilidad, Materiales, Natural.

# Agradecimientos

A todos los participantes para la realización de este proyecto, pero en especial a mi asesora la Dra. Teresa López Lara quien siempre tuvo un momento para apoyarme en toda situación presentada.

A el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), quien otorga el apoyo para los proyectos realizados producto de esta investigación.

A mi familia y amigos, siempre estando presentes en cualquier momento.

# Contenido

1	Introducción.....	12
2	Fundamentación teórica.....	15
2.1	Definición del tepetate .....	15
2.2	Formación y distribución de los tepetates .....	15
2.3	México y los tepetates .....	16
2.4	Aspectos geográficos Querétaro .....	19
2.5	Materiales cementantes compuestos .....	21
2.6	Definiciones prácticas de mortero.....	22
2.7	Procedimiento y proporciones para el mortero según la normativa .....	23
2.7	Requerimientos del mortero .....	23
2.7.1	Resistencia a la compresión .....	23
2.7.2	Resistencia de diseño .....	24
2.7.3	Determinación de la resistencia a la compresión .....	24
2.7.4	Fluidez .....	25
2.8	Cemento portland compuesto (CPC) .....	27
2.9	Granulometría.....	27
2.9.1	Mallas para el análisis granulométrico .....	28
2.10	Limites de consistencia .....	29
2.10.1	Limite liquido.....	29
2.10.2	Limite plástico .....	30
2.10.3	Índice de plasticidad.....	30
2.11	Desgaste de los ángeles .....	30
3	Hipótesis .....	33
4	Objetivos.....	33
4.1	Objetivo general.....	33
4.2	Objetivo específico.....	33
5	Metodología.....	34

5.1 Paso 1. Localización de bancos .....	34
5.2 Paso 2. Selección de bancos. ....	34
5.3 Paso 3. Extracción de las muestras.....	35
5.4 Paso 4. Caracterización del material.....	37
5.5 Paso 5. Desarrollo de las muestras de mortero.....	37
5.6 Paso 6. Obtención de resultados. ....	40
6 Resultados y discusión .....	42
6.1 Localización de los sitios de muestreo.....	42
6.2 Granulometría de las muestras del suelo.....	46
6.3 Límites de consistencia .....	52
6.4 Comparativo de los bancos anteriormente estudiados respecto a los reportados	52
6.4.1 Comparativo de los bancos anteriormente estudiados respecto a los reportados desde el punto de vista edafológico. ....	53
6.4.2 Comparativo de la caracterización de los materiales y su clasificación de suelos según SUCS de los bancos anteriormente estudiados respecto a los reportados .....	55
6.4 Desgaste de los ángeles .....	58
6.5 Proporciones de los morteros evaluados .....	61
6.6 Pruebas de Fluidez .....	62
6.7 Resistencia a la compresión de las distintas muestras de mortero .....	65
6.7.1 Concentrado de las resistencias máximas obtenidas .....	86
7 Conclusiones.....	90
Referencias .....	93
Anexos .....	98
Anexo 1. Granulometrías completas de los bancos muestreados. ....	98
Anexo 2. Desgaste de los ángeles.....	101
Anexo 3. Fluidez de las muestras de mortero .....	102
Anexo 4. Resistencia a la compresión de las muestras de concreto .....	106

# Lista de tablas

Tabla 1. Cantidad de material seco para los morteros.....	23
Tabla 2. Clasificación de morteros según su resistencia.....	24
Tabla 3. Tolerancia permisible para la realización de los ensayos.....	24
Tabla 4. Designación y abertura nominal de mallas para el análisis granulométrico.....	28
Tabla 5. composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas para el ensaye de Desgaste de los Ángeles.....	31
Tabla 6. Porcentajes de las fracciones de suelo obtenidas de la granulometría.....	46
Tabla 7. Límites de consistencia.....	52
Tabla 8. Relación de los sitios de estudio y sus coordenadas.....	53
Tabla 9. Simbología para los bancos en la Figura 6.....	54
Tabla 10. Granulometría de suelos.....	56
Tabla 11. Desgaste de los ángeles.....	59
Tabla 12. Proporcionamiento de las muestras de mortero desarrolladas.....	62
Tabla 13. Concentrado de los resultados de Fluidez de las muestras realizadas.....	63
Tabla 14. Muestra de mortero #1 del banco “Tlacote”.....	66
Tabla 15. Muestra de mortero #2 del banco “Tlacote”.....	68
Tabla 16. Muestra de mortero #3 del banco “Tlacote”.....	70
Tabla 17. Muestra de mortero #4 del banco “Mckey”.....	72
Tabla 18. Muestra de mortero #5 del banco “Mckey”.....	74
Tabla 19. Muestra de mortero #6 del banco “Mckey”.....	75
Tabla 20. Muestra de mortero #7 del banco “Mckey”.....	77
Tabla 21. Muestra de mortero #8 del banco “Mckey”.....	78
Tabla 22. Muestra de mortero #9 del banco “Alpher”.....	80
Tabla 23. Muestra de mortero #10 del banco “Alpher”.....	81
Tabla 24. Muestra de mortero #11 del banco “Alpher”.....	82
Tabla 25. Muestra de mortero #12 del banco “Alpher”.....	84
Tabla 26. Muestra de mortero #13 del banco “Zaquia”.....	85
Tabla 27. Muestra de mortero #14 del banco “Zaquia”.....	86

Tabla 28. Resistencias máximas obtenidas de las muestras de mortero..... 87

# Lista de figuras

Figura 1. Distribución espacial de los tepetates en el Territorio Nacional, según Flores-Román 1990. ....	17
Figura 2. Distribución de los tepetates en función del perfil de pendiente. En esta figura se observa un paisaje típico de los bancos de Tepetate en Querétaro, Mex. ....	18
Figura 3. Suelos predominantes del estado de Querétaro. ....	21
Figura 4. Metodología del trabajo de investigación. ....	34
Figura 5. Material del banco "Tlacote" ....	35
Figura 6. Material del banco "Mckey" ....	36
Figura 7. Material del banco "Alpher". ....	36
Figura 8. Material del banco "Zaquia". ....	36
Figura 9. Homogenización de los agregados para las probetas de mortero. ....	38
Figura 10. Vertido del agua en la mezcla. ....	38
Figura 11. Mezclado de la muestra de mortero. ....	39
Figura 12. Preparación de los moldes de mortero. ....	39
Figura 13. Llenado de los moldes de mortero. ....	40
Figura 14. Probetas de mortero a base de tepetate desmoldadas. ....	40
Figura 15. Evaluación de la resistencia a la compresión de las probetas en la maquina Universal. ....	41
Figura 16. Banco de materiales "Tlacote". ....	42
Figura 17. Banco de material "Mckey". ....	43
Figura 18. Banco de materiales "Alpher". ....	44
Figura 19. Banco de materiales "Zaquia". ....	45
Figura 20. Ubicación de los sitios de muestreo. ....	46
Figura 21. Concentrado de las curvas granulométricas. ....	47
Figura 22. Material retenido del banco Tlacote en las mallas 1/4", N°4, N°6 y N°8. ....	48
Figura 23. Material retenido del banco Tlacote en las mallas N°10, N°20, N°40 y N°60. ..	48
Figura 24. Material retenido del banco Tlacote en las mallas N°100, N°200 y en la Charola. ....	48

Figura 25. Material retenido del banco Mckey en las mallas 1/4", N°4, N°6 y N°8.....	49
Figura 26. Material retenido del banco Mckey en las mallas N°10, N°20, N°40 y N°60....	49
Figura 27. Material retenido del banco Mckey en las mallas N°100, N°200 y en la Charola. .....	49
Figura 28. Material retenido del banco Alpher en las mallas 1/4", N°4, N°6 y N°8.....	50
Figura 29. Material retenido del banco Alpher en las mallas N°10, N°20, N°40 y N°60. ....	50
Figura 30. Material retenido del banco Alpher en las mallas N°100, N°200 y en la Charola. .....	50
Figura 31. Material retenido del banco Zaquia en las mallas 1/4", N°4, N°6 y N°8.....	51
Figura 32. Material retenido del banco Zaquia en las mallas N°10, N°20, N°40 y N°60. ....	51
Figura 33. Material retenido del banco Zaquia en las mallas N°100, N°200 y en la Charola. .....	51
Figura 34. Localización de los sitios de extracción de las muestras. ....	54
Figura 35. Suelos dominantes edafológicos, de acuerdo al INEGI. ....	55
Figura 36. Curvas granulométricas de los bancos 5 al 10. ....	57
Figura 37. Concentrado de las curvas granulométricas. ....	58
Figura 38. Muestras de los tepetates para el Desgaste de los ángeles. ....	58
Figura 39. Muestra del banco Tlacote antes y después del ensaye.....	60
Figura 40. Muestra del banco Mckey antes y después del ensaye. ....	60
Figura 41. Muestra del banco Alpher antes y después del ensaye. ....	61
Figura 42. Muestra del banco Zaquia antes y después del ensaye. ....	61
Figura 43. Relleno y apisonamiento del cono tunco para la Fluidez.....	64
Figura 44. Finalización del llenado y enrase del cono trunco para la Fluidez. ....	64
Figura 45. Retiro del cono tunco para la medición del diámetro inicial. ....	65
Figura 46. Toma de medidas del diámetro final para la fluidez. ....	65
Figura 47. Ensaye a compresión de las muestras de mortero con Tepetate. ....	66
Figura 48. Probetas #1 del banco "Tlacote". ....	67
Figura 49. Probeta de la muestra #1 llevada a su falla. ....	67
Figura 50. Mezcla de la muestra #1.....	68
Figura 51. Probetas #2 del banco "Tlacote". ....	69
Figura 52. Probeta de la muestra #2 llevada a su falla. ....	69

Figura 53. Mezcla de la muestra #39.....	70
Figura 54. Probetas #3 del banco “Tlacote”.....	71
Figura 55. Probeta de la muestra #3 llevada a su falla. ....	71
Figura 56. Mezcla de la muestra #3.....	72
Figura 57. Probetas #4 del banco “Mckey”.....	73
Figura 58. Probeta de la muestra #4 llevada a su falla. ....	73
Figura 59. Probetas #5 del banco “Mckey”.....	74
Figura 60. Probeta de la muestra #5 llevada a su falla. ....	75
Figura 61. Probetas #6 del banco “Mckey”.....	76
Figura 62. Probeta de la muestra #6 llevada a su falla. ....	76
Figura 63. Probeta de la muestra #7 llevada a su falla. ....	77
Figura 64. Probetas #8 del banco “Mckey”.....	78
Figura 65. Probeta de la muestra #8 llevada a su falla. ....	79
Figura 66. Material homogenizado de la muestra #8. ....	79
Figura 67. Probeta de la muestra #9 llevada a su falla. ....	80
Figura 68. Probeta de la muestra #10 llevada a su falla. ....	82
Figura 69. Probeta de la muestra #11 llevada a su falla. ....	83
Figura 70. Probeta #12 del banco “Alpher”.....	84
Figura 71. Probeta de la muestra #13 llevada a su falla. ....	85
Figura 72. Probeta de la muestra #14 llevada a su falla. ....	86
Figura 73. Resistencias de las muestras de mortero a base de tepetate. ....	89

# 1 Introducción

A los alrededores de las zonas volcánicas de todo el continente americano se hayan depósitos de suelos residuales producto de la meteorización de cenizas volcánicas. Investigaciones y análisis sobre suelos con las mismas características y acerca su comportamiento en proyectos de ingeniería en regiones como Indonesia, Nueva Zelanda, India, Dominica y Japón muestran que este tipo de suelos conllevan cualidades poco comunes en comparación con suelos sedimentarios [1].

La definición de “suelo residual” varía, pero se podría definir de manera acertada como un suelo producto de la meteorización y descomposición de la roca in situ que no ha sido transportado y continua en su localización original [2].

El término tepetate hace referencia a una frontera endurecida, compactada o cementada, que normalmente es encontrado en las áreas volcánicas de México, subyaciendo a suelos o bien aflorando en superficie. Tiene cualidades físicas, mecánicas y químicas limitantes para el crecimiento de la vegetación, como lo son la alta densidad, bajas conductividad hidráulica y retención de humedad y la pobre fertilidad, que logran ser participantes de manera activa en la dinámica ambiental. El tepetate es un material común en el centro de México, que se utiliza con frecuencia en la industria de la construcción. Se extrae de sitios naturales y se comercializa sin alteraciones. En general, se utiliza para construir rellenos. Sin embargo, hay una falta de información al respecto [3].

Los tepetates no solo representan una la capacidad actual y potencial del suelo para que sea productivo de modo cualitativo y cuantitativo, bienes o servicios, a su vez infringe de alguna manera, al medio ambiente, disminuyendo su aptitud para la satisfacción de necesidades establecidas o implícitas [4].

Por una parte, los tepetates en estratos inferiores, generan discontinuidades litológicas, frenan la infiltración del agua y ayudan al escurrimiento lateral, creando un area en donde se incentiva los deslizamientos. Al mismo tiempo, el tepetate puede provocar la erosión y evitar la recarga de acuíferos [5].

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. El tepetate es un material natural de la tierra subestimado, vasto y económico, utilizado solo en una forma compactada en rellenos para capas de baja resistencia en pavimentos y andenes de edificaciones [6].

En México, los trabajos que dieron inicio al estudio de los tepetates fueron las investigaciones de Shaw (1929) y Salazar (1938). Desde estos años, las principales líneas son las referentes a su caracterización y cartografía [7] [8] .

Es conocido que la existencia de tepetates en México, aunada a distintos limitantes, dentro de las que resalta la erosión, el exceso de sales y la aridez, han predispuesto que de los 2,000,000 km<sup>2</sup> que aproximadamente pertenecen a la superficie del territorio nacional, sólo una cuarto de este, podría ser usado para la agricultura y la ganadería y que menos de 0.04% pueda ser destinado a plantaciones forestales. La otra parte de territorio se encuentra ocupada por desiertos y eriales (2,151,106 ha) zonas urbanas (463,479 ha) y cuerpos de agua (2,265,189 ha) mayormente contaminados, así como áreas degradadas o perturbadas, en las que dominan los tepetates (2,223,474 ha) [9].

El Valle de Querétaro, que es una cuenca delimitada por volcanes ubicados en el norte y zonas centrales de la Faja Volcánica Transmexicana, se ha caracterizado por arenas no saturadas y sedimentos limosos altamente heterogéneos con capas piroclásticas intercaladas, su capa natural superior está compuesta de arcilla oscura y debajo de la arcilla oscura, la secuencia cercana a la superficie consiste en fluvioacustrina, depósitos de grano grueso, basaltos y piroclásticos parcialmente saturados [10]

Como material de construcción, el tepetate ha tenido gran importancia en el desarrollo del México moderno [1]. Incluso, el uso de tepetate como material de construcción es bien conocido desde hace muchos años, puesto que en varias ruinas arqueológicas se han encontrado plataformas y muros de tepetate comprimido [11]. Desde junio de 2005, Hábitat para la Humanidad México ha incorporado a su metodología la producción de bloques de tierra comprimida (un tipo de adobe mejorado). Los bloques están hechos con una capa dura de limo (llamada tepetate en México), cementando la sustancia, la tiza y el agua [12] pero

hasta la fecha, no se ha hecho ninguna propuesta de un cementante compuesto que incluya el tepetate.

Algunas de las prácticas existentes para minimizar el levantamiento y el daño resultante a las estructuras en suelos expansivos sugieren que toda la profundidad del estrato expansivo del suelo o una parte del mismo puede ser reemplazada por un colchón de arena compactada [13]. En Querétaro y alrededores, el tepetate se utiliza como material inerte sustituto para suelos expansivos [14].

Es por eso que este trabajo realiza el estudio de dicho material con la intención de mostrar sus propiedades desde un punto de vista geotécnico y constructivo para introducirlo como un material de construcción sin necesidad de ser modificado en su granulometría, y solo agregando una pequeña porción de cementante y agua para elaborar un material compuesto aplicable a la construcción.

## 2 Fundamentación teórica

### 2.1 Definición del tepetate

El término tepetate proviene del náhuatl, lo que significa etimológicamente tepetlatl, también es conformado por las raíces tetl=Piedra y petlatl=estera, a lo que podría traducirse como petate (estera) de piedra [15].

Los tepetates son componentes de origen volcánico con contribuciones secundarias de cementantes de origen edafológico [16]. Dentro del término tepetate se incluyen varios elementos que tienen en común niveles de cementación que pudieran ser demasiados endebles hasta altamente fuertes, o en su defecto grados de compactación que varían de medios a muy resistentes [17].

El Tepetate se considera un suelo inerte y bastante empleado en la industria de la construcción, pero limitado a material de relleno o para el uso en terracerías de los pavimentos, al momento no se ha definido de manera formal su constitución y las cualidades que debería tener como material inerte [18].

### 2.2 Formación y distribución de los tepetates

Los tepetates son originados a partir de materiales volcánicos que se cementan o compactan en respuesta de tres procesos primarios: consolidación de partículas minerales, provocando compactación; consolidación del material piroclástico cuando se depositan; y endurecimiento por procesos pedológicos (sedimentarios), que generan sustancias cementantes en solución. Los tipos de tepetates se basan en el origen de la compactación y cementación. Varios tipos de tepetates se han encontrado en depósitos naturales [19]. El ciclo de formación del suelo da inicio con la rotura y desintegración de rocas y minerales en la superficie, proceso nombrado como meteorización, a partir de este se genera el perfil del suelo, en el cual la roca madre se encuentra la parte más profunda y alejada de la superficie y el suelo la parte más superficial. Cuando el suelo sufre algún tipo de transporte (erosión), se crean depósitos de materiales transportados que dependiendo el agente transportador se les puede llamar suelos aluviales, coluviales, eólicos, lacustres, glaciales; y cuando el suelo permanece en el sitio, se le conoce como suelo residual [20].

Desde los tiempos Precolombinos, esta capa endurecida y algunas veces cementada, la cual forman el tepetate, ha generado en México y la mayor parte de los países del arco volcánico centro y suramericano, una dificultad que afecta en la calidad y productividad del suelo y de su contexto agrícola y ambiental [21].

En América ha variado su nombre de manera local dentro de los distintos países; algunos son los siguientes: talpetate en Centroamérica; hardpán, duripán y cangagua en el sur del país, usando el último también en Ecuador; hardpán en Perú y cangagua, moromoro, tosca y ñadis en Chile [16].

### 2.3 México y los tepetates

En México, los suelos volcánicos duros ocupan una superficie de 30,700 km<sup>2</sup> o el 27% de la superficie del Eje Neovolcánico de México. Los suelos volcánicos duros se encuentran generalmente en regiones de clima relativamente seco [7]. Sin embargo, en el centro de México, los tepetates ocupan un área superior a 300.000 ha, siendo una gran superficie en la región central [22].

Hablando de manera general en México, los tepetates ocupan aproximadamente el 30% de la superficie total del país [23] (Figura 1), ya sea a nivel de superficie o 1 m de profundidad como máximo [24]. Este cálculo incluía en su porcentaje, todas las capas con grados de endurecimiento variantes. Donde había, capas compactadas, pero no cementadas (fragipanes); capas cementadas por SiO<sub>2</sub> (duripanes); por CaCO<sub>3</sub> (petrocálcico); por CaSO<sub>4</sub> (petrogípsico); por Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (petroplintitas) y por diversas sales (petrosálico).

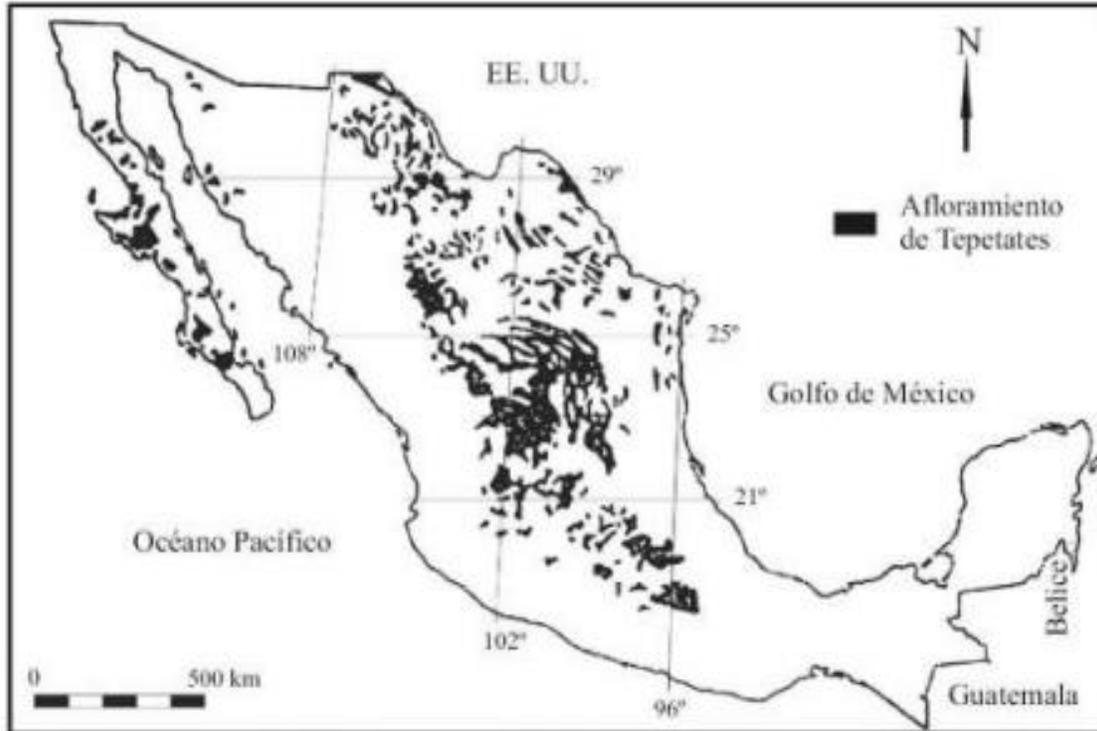


Figura 1. Distribución espacial de los tepetates en el Territorio Nacional, según Flores-Román 1990.

Es considerado que la disposición de los tepetates, va de la mano de los factores topografía, material parental y clima. En cuanto al clima, este se presenta de manera más común en donde predomina el semiárido, haciendo mención que a su vez pueden localizarse en climas más húmedos, ejemplo de esto el estado de Veracruz, donde suelen formarse suelos, una vez que el tepetate se intemperiza [25] [26].

Generalmente, son localizados en altitudes que se encuentran entre los 1 800 y 2 800 m.s.n.m. Principalmente son representados por geformas erosiónales (piedemontes) conformadas en su mayoría por materia de origen volcánico (piroclásticos) de edad cuaternaria. Topográficamente, estas geformas son características de pendientes mayores a 5-10 %, que presentan una longitud y orientación voluble. La posición en la que se encuentren los tepetates en el contorno de la pendiente, podrá estar aflorando a un suelo bien desarrollado, por ejemplo, en la cima, o en su defecto estar cubiertos por una delgada capa de pedisemento, mezclado con aluvi3n y coluvi3n, en el pie de pendiente o subyaciendo en la espalda de la pendiente [27] (Figura 2).



*Figura 2. Distribución de los tepetates en función del perfil de pendiente. Paisaje típico de los bancos de Tepetate en Querétaro, Mex.*

Hablando de manera específica, el Valle de Querétaro es una cuenca delimitada por volcanes ubicados dentro de las áreas norte y central del Cinturón Volcánico Trans-mexicano. El valle de Querétaro se caracteriza por tener plantas insaturadas altamente heterogéneas, sedimentos con arena y limo con capas piroclásticas intercaladas. La capa natural superior está compuesta de arcilla oscura. Bajo la arcilla oscura, la secuencia cercana a la superficie consiste en fluviolacustrine depósitos de grano grueso, basaltos y piroclásticos parcialmente saturados [28]. Los Tepetates en el centro de México meseta se han descrito como formaciones naturales (interestratificados bancos volcánicos), tan masivos, compactados y duros; están cementados por varias sustancias químicas, incluidas arcillas y silicatos [16]. Una característica común es la abundancia de revestimientos de arcilla. El tepetate rojo está compuesto de vidrio volcánico básico polvo (toba vítrea andesítica) y tiene una alta neoformación arcillosa y índice de iluviación. Por el contrario, el tepetate gris está compuesto por vidrio volcánico ácido (toba vítrea ácida) y solo tiene lugar la neoformación de arcilla, conduciendo a la formación de un suelo arcilloso [29].

## 2.4 Aspectos geográficos Querétaro

El estado de Querétaro, México se cuenta con una temperatura media anual de 18.8 °C y una precipitación promedio anual de 555.1 mm [30] [31].

Los suelos predominantes son los siguientes:

- Calcisol (CL). En una sección de al menos 15 centímetros de espesor contiene más del 15% de carbonato de calcio. Varios cultivos en Calcisoles se logran si son fertilizados con nitrógeno, fósforo, hierro y zinc. En el país es uno de los suelos más abundantes.
- Cambisol (CM). Suelos jóvenes con alguna variante importante en su contenido de arcilla o color en sus capas u horizontes de suelo. No cuentan con su modelo climático similar. Cuenta con una capa más similitud a suelo que a roca localizada en el subsuelo con cúmulos controlados de calcio, hierro, manganeso y arcilla. Tienen controlada a alta susceptibilidad a la erosión.
- Leptosol (LP). Llamados anteriormente Litosoles, del griego Lithos, piedra. Hoy en día representan a suelos con menos de 25 centímetros de espesor o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o gravas. Son muy vulnerables a la erosión por las distintas actividades humanas.
- Luvisol (LV). Suelos rojos, grises o pardos claros, vulnerables a la erosión principalmente los que tiene alto contenido de limo y los situados en pendientes fuertes. Se caracterizan por ser fértiles para la agricultura. En nuestro país, es el quinto grupo más amplio.
- Phaeozem (PH). Suelos desarrollados en relieve plano o ligeramente ondulado característicos de clima semiseco y subhúmedo, tipos BS1, (A)C y Aw0, de color superficial pardos a negro, fértiles en magnesio, potasio, sin carbonatos en el subsuelo.
- Planosol (PL). Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina. Localizados comúnmente en superficies planas de pastizales cubiertas por agua en algún periodo, en época de sequías afloran manchas de color rojo. Baja fertilidad.

- Regosol (RG). Suelos pedregosos de color claro generalmente con características físicas o químicas insuficientes para colocarlos en otro grupo de suelos.
- Umbrisol (UM). Localizados en bosques o selvas montañosos vulnerables a la erosión provocada por deforestación, oscuros y ácidos en la superficie típicos de climas húmedos y sub-húmedos.
- Vertisol (VR). Suelos estables ante la erosión, cabe mencionar que los proyectos asentados sobre superficies conformadas por estos suelos deben tener especificaciones las cuales eviten los daños por movimiento o inundación. Pesados bajo condiciones alternadas de saturación-sequía, con grietas anchas, abundantes y profundas cuando están secos y con más de 30% de arcillas expandibles. Atraves de un buen sistema de labranza y drenaje estos suelos obtienen alta fertilidad para la agricultura por su gran capacidad de retención de humedad y sus propiedades de intercambio mineral con las plantas. [32].

A continuación, se muestra la distribución de los suelos anteriormente descritos (Figura 3).

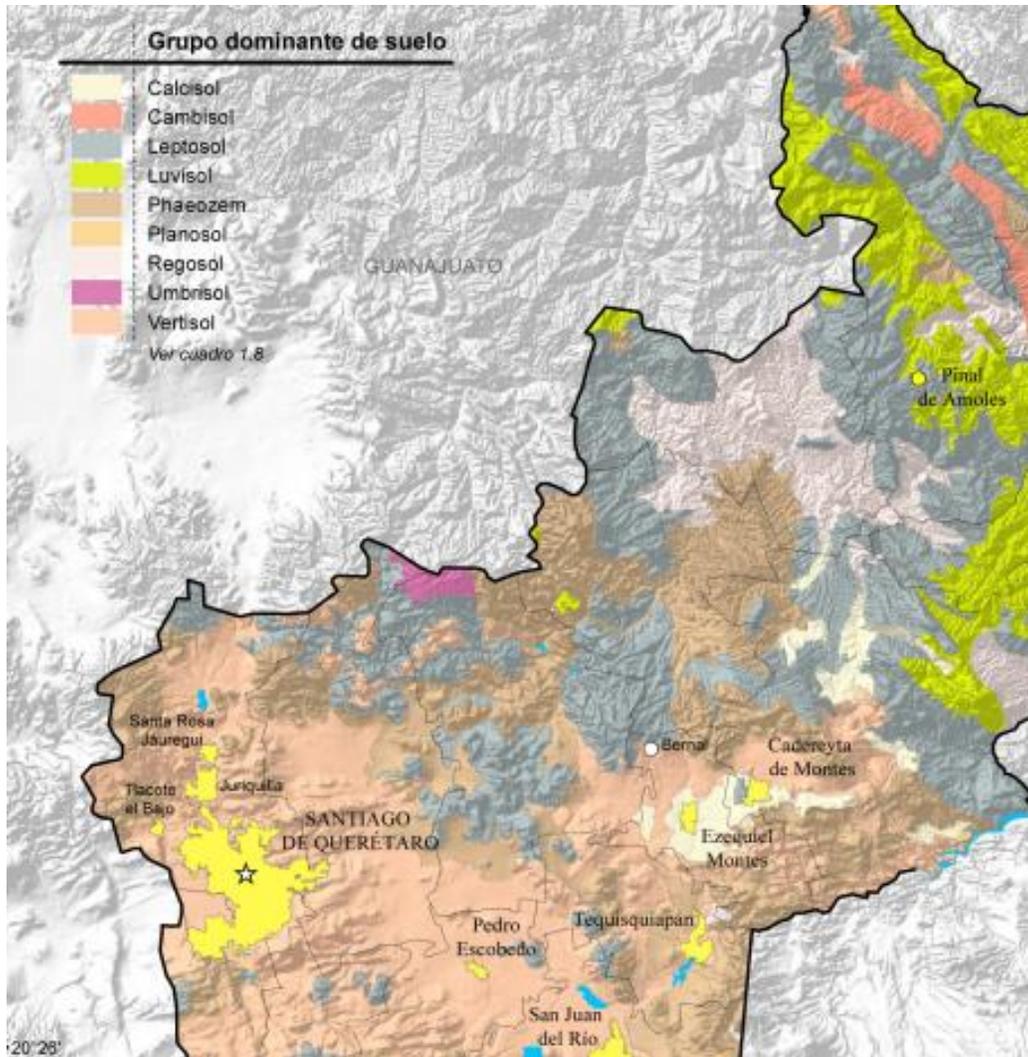


Figura 3. Suelos predominantes del estado de Querétaro.

## 2.5 Materiales cementantes compuestos

El análisis de los materiales cementantes compuestos, CCM por sus siglas en inglés, se deriva de un campo muy amplio, los cuales son compuestos de matriz cerámica [33] desarrollados generalmente a base de cemento Portland. Generalmente los CCM son constituidos por materiales como lo son el agua, cemento, agregado fino, agregado grueso, agregados minerales, adiciones químicas, nanocompuestos o nanomateriales y fibras [34].

Principalmente pueden ser establecidos dos estados del material: el Estado Primario o conocido también como “Fase Líquida” y el Estado Secundario o “Fase Sólida”. En cada Fase o estados mencionados se tiene la presencia de comportamientos reológicos diferentes por lo que es importante definirlos.

La fase líquida, el cual es el estado primario, se caracteriza por presentarse en forma de masa líquida y dependiendo de los materiales constituyentes base de los cuales se haya elaborado el CCM dependerá su grado de fluidez y viscosidad. Esta masa será obtenida después de haber agregado todos los materiales con los que fue fabricado.

La fase sólida, estado secundario, ocurre una vez terminado el proceso de fraguado del material donde adquiere un estado sólido y duro, donde se asemeja en apariencia a una roca artificial [35].

Por lo cual en esta investigación evaluaremos la Resistencia a compresión de las probetas realizadas como principal propiedad, ya que se busca en el material cementante compuesto que el conjunto de materiales mezclados se asemejen con una roca.

## 2.6 Definiciones prácticas de mortero

- **Mortero:** mezcla constituida por uno o varios cementantes, arenas, agua, y en algunas ocasiones aditivos o adiciones pulverizadas (piedra caliza, arcilla, puzolana, escoria granulada de alto horno, ceniza volante), es capaz de fraguar en el aire como en el agua y formar una masa endurecida que con el paso del tiempo adquiere una resistencia máxima.
- **Mortero en estado endurecido:** Fase en la cual es apto para resistir las acciones contempladas en su diseño.
- **Mortero en estado fresco:** Fase en la cual se da inicio al proceso de fraguado del mortero, en esta etapa es ideal realizar las operaciones de colocación y acabado para las que se diseñó, ya que es cuando presenta mayor trabajabilidad.
- **Mortero para pegar piezas:** empleado para unir mediante su adherencia piezas de mampostería entre sí.
- **Mortero de larga duración en estado fresco:** mezcla con trabajabilidad determinada predosificada industrialmente con contenido de agua, para obtener un compuesto homogéneo listo para ser usado.
- **Mortero seco:** mezcla típicamente distribuida en estado seco en obra, donde se le agrega agua para obtener una mezcla homogénea y adecuada para su uso, con componentes predosificados preparada industrialmente.

- **Mortero de relleno:** Es una mezcla usada para llenar celdas de piezas huecas en elementos estructurales de mampostería [36].

## 2.7 Procedimiento y proporciones para el mortero según la normativa

La norma C 109/C 109M – 02 ASTM “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars”, nos ofrece las siguientes proporciones en peso seco para los materiales a usar, deben consistir en 1 parte de cemento y 2.75 partes de arena graduada, utilizando una relación agua cemento de 0.485 para todos los cementos portland ordinarios (CPO). En el caso de utilizar otros cementos, la cantidad de agua de mezclado debe ser la que produzca una fluidez de  $110 \pm 5 \%$  [37].

En la siguiente tabla (Tabla 1) se muestran las cantidades necesarias de cada material en peso seco para la elaboración de 6 o 9 especímenes de mortero simple:

Tabla 1. Cantidad de material seco para los morteros.

Materiales	Numero de especímenes	
	6	9
<b>Cemento (gr)</b>	500	740
<b>Arena (gr)</b>	1375	2035
<b>Mililitros de agua para cemento portland</b>	242	359
<b>Mililitros de agua para otros tipos de cemento (CCP, CPEG, CPS, CEG)</b>	La necesaria para dar una fluidez de $110 \pm 5$	La necesaria para dar una fluidez de $110 \pm 5$

## 2.7 Requerimientos del mortero

### 2.7.1 Resistencia a la compresión

Existe una clasificación de las mezclas de morteros de acuerdo a su resistencia a la compresión lograda a los 28 días, la cual se divide en dos grupos, la primera será la Resistencia promedio a la compresión y la segunda la resistencia mínima individual a la compresión, las cuales deberán ser expresadas en Mpa o  $\text{kg/cm}^2$ .

La norma NMX-C486-ONNCCE-2014 se nos ofrece una clasificación en tres grupos de acuerdo a su resistencia de diseño, la cual se muestra en la siguiente tabla (Tabla 2) [38]:

Tabla 2. Clasificación de morteros según su resistencia.

<b>Tipo de mortero</b>	<b>Resistencia promedio (*) a la compresión <math>f_j</math>, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia mínima individual a la compresión <math>f_j \text{ min}</math>, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>I</b>	18.0 (180)	12.5 (125)
<b>II</b>	11.0 (110)	7.5 (75)
<b>III</b>	6.0 (60)	4.0 (40)
<b>(*) Promedio de tres probetas cúbicas</b>		

### 2.7.2 Resistencia de diseño

$f_j^*$  es la resistencia de diseño que se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$f_j^* = \frac{f_j}{1 + 2.5c_j}$$

Donde:

$f_j$  = Es la resistencia promedio a compresión de cubos de mortero o de cilindros de concreto de relleno.

$c_j$  = Es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero o del concreto de relleno que en ningún caso se toma menor que 0,2.

### 2.7.3 Determinación de la resistencia a la compresión

Las muestras se deberán analizar inmediatamente después de su extracción del cuarto de curado en el caso de muestras de 24 horas, y del agua de curado en el caso de todas las demás muestras.

Según la edad para su ensayo, en cada caso se tiene una tolerancia permisible, las cuales son mostradas en la siguiente tabla (Tabla 3):

Tabla 3. Tolerancia permisible para la realización de los ensayos

<b>Edad del espécimen</b>	<b>Tolerancia permisible</b>
---------------------------	------------------------------

<b>24 horas</b>	$\pm \frac{1}{2}$ hora
<b>3 días</b>	$\pm 1$ hora
<b>7 días</b>	$\pm 3$ horas
<b>28 días</b>	$\pm 12$ horas

En el caso de que se retire más de una muestra a la vez del cuarto de curado para las pruebas de 24 horas, estas deberán ser cubiertas con un textil tipo franela húmedo hasta el momento de la prueba. Para las muestras de más edad, estas deberán conservarse en agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  ° C y con la profundidad suficiente para que esta cubierta en su totalidad hasta el momento en que será probado.

#### 2.7.4 Fluidez

Es una medida de la consistencia del mortero en su estado fresco, es medida como porcentaje del diámetro del mortero dispersado en referencia al original siendo evaluado en la mesa de fluidez.

La fluidez nos limita el contenido de agua, a manera que esta sea la mínima necesaria para que la mezcla nos permita su uso al pegar piezas de mampostería, para el relleno de celdas, repello o cual sea su uso.

Hablando del valor de fluidez medido en la mesa destinada para este ensaye en laboratorio, este debe ser de  $110 \pm 5$  %.

Procedimiento:

1. Se inicia limpiando y secando la parte superior del platillo de la mesa de manera cuidadosa, para proseguir a colocar el molde en la parte central. En el molde se coloca una parte de mortero de aproximadamente 25 milímetros de espesor que se apisona 20 veces con la finalidad de obtener una buena compactación y sacar cualquier cavidad de aire que se encuentre en el cuerpo de la muestra. Para un vaciado uniforme del molde, la presión ejercida debe ser la necesaria.

2. Seguido, se llena el molde en su totalidad para ser compactado. Se enrasa la superficie del molde de mortero con ayuda de una de los bordes de una cuchara de moldeo generando una acción de enrasado sobre el borde superior del molde.

3. Con especial cuidado en la intersección de la base inferior del molde y la mesa de fluidez, se limpia y seca la mesa de fluidez que el molde no alcanza a cubrir.

4. Al transcurrir 60 segundos posterior de haber finalizado el mezclado, se retira el molde; de una altura de 12.7 mm se deja caer la plataforma de la mesa de fluidez 25 veces en un lapso de 15 segundos. El aumento del diámetro de la base de la masa del mortero es la Fluidez, se expresa como porcentaje del diámetro de la base original.

5. Se toman por lo menos 4 mediciones del diámetro de 45° entre cada una aproximadamente, obteniendo un promedio, el cual será utilizado para realizar los cálculos. La fluidez necesaria se debe obtener variando los porcentajes de agua, realizando cada prueba con un mortero nuevo.

En el caso del cemento Portland, para el cual n se realiza la prueba de fluidez, se permite que el mortero que se encuentra en la olla por un lapso de 90s sin cubrirlo y se tendrá que deslizar el material pegado a las paredes de la olla durante los últimos 15 segundos de este lapso, posteriormente se vuelve a mezclar durante 15 segundos a velocidad media, antes de modelar las probetas. Al finalizar el mezclado el mortero adherido a la paleta se regresa a la olla de mezclado.

El cálculo del porcentaje de fluidez se realiza con la siguiente formula:

$$Fluidez = \frac{Dp - Di}{Di} \times 100$$

Donde:

**Dp**= Diámetro promedio de las 4 mediciones

**Di**= Diámetro inicial

## 2.8 Cemento portland compuesto (CPC)

El Cemento Portland Compuesto (CPC) es ideal para áreas que están expuestas tales como pavimentos y losas. Es recomendado para usos estructurales ya sea de concreto armado o simple, como es el caso de pisos, castillos, dalas, muros, zapatas, trabes o columnas, y/o en el caso de albañilería para actividades como zarpeos, afines, reparaciones o empastados. Se han logrado excelentes resultados al ser compatible con los materiales convencionalmente usados en la industria de la construcción. Destacando las siguientes ventajas:

- Disminuye la presencia de grietas generadas por contracción plástica que aumentan en condiciones ambientales extremas de alta temperatura y velocidad del viento.
- Ofrece a las mezclas de concreto cohesión, adherencia y trabajabilidad superior, aún con agregados complicados.
- Disminuye el sangrado excesivo y la segregación de las mezclas de concreto.

Es sustituto del uso de membranas de curado, puesto que promueve por sí mismo el proceso de curado, representando ahorros representativos en las obras al no tener retrabajos provocados por acciones preventivas y/o reparaciones subsecuentes[39].

## 2.9 Granulometría

Se define como clasificación granulométrica, a la medición y graduación que se realiza con los granos de una formación sedimentaria, de la materia sedimentaria, así como de los suelos, con la finalidad de estudiarlos, de su origen, así como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica. El análisis granulométrico es la distribución de tamaños de un suelo y es representado de manera común a través de la curva granulométrica. La realización de la curva granulométrica se hace a partir de muestras ya sea alteradas o inalteradas. Para que la muestra sea muestra representativa deberá contener por lo menos 50gr de material que pase la malla No. 200 y 300gr que pase la malla No. 4. [40].

Es necesario realizar un cuarteo antes de empezar sobre una superficie libre de contaminación, se apila la fracción del material que se va a utilizar, formando un cono. Desde el eje y hacia la periferia se extiende el material hasta formar un cono truncado de 15 a 20 cm de altura.

El cono truncado se divide en 4 partes iguales, de los cuales se toman dos cuartos opuestos para formar la muestra necesaria.

En este estudio mecánico se realiza en el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños a través de las mallas. Tomando como referencia las normas NMX-C-111-ONNCCE-2014 la cual nos habla de los agregados para concreto hidráulico, sus especificaciones y métodos de ensayo, y la norma ASTM C 136-06 “Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregate”, la cual nos habla del método de análisis granulométrico por tamizado.

En la curva granulométrica comúnmente se dibuja con porcentajes en dirección de ordenadas y como abscisas el tamaño de las partículas. El eje de las ordenadas hace referencia al porcentaje en peso de los granos menores al tamaño del que se está haciendo referencia. En cuanto al eje de las abscisas, la representación en escala semilogarítmica se vuelve preferible a la simple representación natural, puesto que en la primera se tiene mayor disponibilidad de amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural son realmente comprimidos. Los diámetros de las partículas hacen alusión a el tamaño de los granos del suelo que lo conforman, cuando no es divisible a través de la acción de una fuerza controlada. Con las manos se pueden mover las partículas mayores, pero las más finas en consecuencia de ser tan pequeñas pueden ser vistas a través de un microscopio. También se forma uno de los fundamentos teóricos en los que se basan los diferentes sistemas de clasificación de los suelos, como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) [36].

### 2.9.1 Mallas para el análisis granulométrico

De acuerdo con el manual de pruebas M-MMP-1-06/03 de la secretaria de comunicaciones y transportes (SCT), se presenta la siguiente designación y abertura nominal para el juego de mallas o cribas, a utilizar para el análisis granulométrico del suelo (Tabla 4) [41].

*Tabla 4. Designación y abertura nominal de mallas para el análisis granulométrico.*

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Malla</b>	
	Designación	Abertura nominal (mm)
<b>Grava</b>	3”	75.0

	2"	50.0
	1 ½"	37.5
	1"	25.0
	¾"	19.0
	½"	12.5
	3/8"	9.5
	¼"	6.3
	N° 4	4.75
	N°10	2.0
	N°20	0.850
<b>Arena con</b>	N°40	0.425
<b>finos</b>	N°60	0.250
	N°100	0.150
	N°200	0.075

## 2.10 Límites de consistencia

El Límite plástico, Límite líquido e Índice de plasticidad, conocidos de manera general como límites de consistencia, son parámetros que nos dan a conocer las cualidades de plasticidad de la porción de los materiales. Los resultados de estos ensayos son utilizados principalmente para la identificación y clasificación de los suelos. Los ensayos se basan en obtener el límite líquido el cual es la línea que divide los estados del estado semilíquido y plástico del suelo; el límite plástico el cual se establece como la frontera entre los estados plástico y semisólido; y el Índice plástico, el cual es la diferencia del límite líquido y plástico [42].

### 2.10.1 Límite líquido

El límite líquido (LL) conceptualmente es definido como el contenido de agua con el cual un suelo arcilloso cruza el límite del estado plástico al estado líquido. En cambio, la transición de la conducta plástica a la líquida es gradual en función del contenido de agua, y la resistencia al cizallamiento del suelo no es en realidad cero en el límite líquido [43].

### 2.10.2 Limite plástico

El límite plástico (LP) es definido como el porcentaje de contenido de humedad con el cual el suelo se transforma al reducir su humedad de la consistencia plástica a la semisólida, o al incrementar su humedad, de la consistencia semisólida a la plástica. El límite plástico es el límite inferior del estado plástico. La cohesión del suelo se puede destruir con un mínimo aumento en la humedad límite plástico destruye la cohesión del suelo [44].

### 2.10.3 Índice de plasticidad

Partiendo del límite líquido y el límite plástico, el índice de plasticidad (IP) puede definirse como la diferencia numérica entre ellos:

$$IP = LL - LP$$

Con el porcentaje del peso en estado seco de la muestra de suelo se expresa el índice de plasticidad, indicando el tamaño del intervalo de los cambios de contenido de humedad mediante el cual el suelo permanece en estado plástico. La cantidad de arcilla hallada nos indica el índice de plasticidad, haciendo énfasis en la finura del suelo y su capacidad de modificar su configuración sin alterar su volumen. El exceso de arcilla o de coloides en el suelo se ve reflejado en un índice plástico elevado. Su valor será cero siempre que el límite plástico rebase o se iguale al límite líquido. Un buen indicador de la compresibilidad es el índice de plasticidad, esto nos dice que en los casos que el índice de plasticidad sea mayor, la compresibilidad del suelo será más alta.

## 2.11 Desgaste de los ángeles

Esta prueba es utilizada para determinar la resistencia a la degradación de los agregados pétreos por medio de la trituración de los materiales, tomando una muestra dentro de un cilindro giratorio, siendo sometida al impacto de una carga abrasiva por un tiempo definido, midiendo la diferencia granulométrica de la muestra como la diferencia entre la masa que pasa la malla N° 12 (1.7 mm de abertura), antes y después de haber sido sometida a este tratamiento.

El tipo de composición de la muestra será definido de acuerdo a las características granulométricas con las que se cuente. El Manual M.MMP.2.02.032/18 de la SCT nos ofrece el procedimiento a seguir para la correcta ejecución de esta prueba, y dentro de su contenido

se encuentra la siguiente tabla (Tabla 5), la cual nos indica la relación idea de la composición de la muestra de prueba de acuerdo a sus rangos de tamaños y la masa necesaria de cada fracción, y la carga abrasiva necesaria de acuerdo a la masa total [45].

Tabla 5. composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas para el ensaye de Desgaste de los Ángeles.

Tipo de composición de la muestra de prueba	Rango de tamaños		Masa de la fracción g	Carga abrasiva	
	mm	Designación		Numero de esferas	Masa total g
<b>A</b>	25- 37.5	1- 1 ½ in	1250±25	12	5000±25
	19-25	¾ in – 1 in	1250±25		
	12.5- 19	½ in – ¾ in	1250±10		
	9.5- 12.5	3/8 in – ½ in	1250±10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000±10		
<b>B</b>	12.5- 19	½ in – ¾ in	2500±10	11	4584±25
	9.5 – 12.5	3/8 in – ½ in	2500±10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000±10		
<b>C</b>	6.3-9.5	¼ in - 3/8 in	2500±10	8	3300±20
	4.75- 6.3	N°4- ¼ in	2500±10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000±10		
<b>D</b>	2.36 – 4.75	N°8- N°4	5000±10	6	2500±15
<b>E</b>	63-75	2 ½ in- 3 in	2500±25	12	5000±25

	50-63	2 in – 2 ½ in	2500±25		
	37.5-50	1 ½ in – 2 in	5000±25		
	Masa total de la muestra de prueba		10000±10		
	37.5 - 50	1 ½ in – 2 in	5000±25		
<b>F</b>	25 – 37.5	1 in – 1 ½ in	5000±25	12	5000±25
	Masa total de la muestra de prueba		10000±10		
	25 – 37.5	1 in – 1 ½ in	5000±25		
<b>G</b>	19 – 25	¾ in – 1 in	5000±25	12	5000±25
	Masa total de la muestra de prueba		10000±10		

## 3 Hipótesis

El suelo residual volcánico (tepetate) se puede usar de manera íntegra en su granulometría para la creación de un material compuesto, como el mortero, utilizando bajas cantidades de cemento (10-30%) para alcanzar la resistencia mínima requerida.

## 4 Objetivos

### 4.1 Objetivo general

Utilizar los suelos residuales volcánicos (tepetates) con su granulometría natural, evitando la separación de gruesos y finos, para la creación de materiales cementantes compuestos con una baja cantidad de cemento, ofreciendo a la industria un material local, sostenible y económico.

### 4.2 Objetivo específico

Demostrar de manera experimental que el suelo residual volcánico (tepetate) puede ser usado para elaborar un material compuesto tipo mortero con resistencias parecidas a los morteros establecidos en norma.

# 5 Metodología

En la siguiente ilustración (Figura 4) se muestra la metodología del trabajo de investigación de manera resumida, la cual encabezan 6 pasos fundamentales, los cuales se enlistan a continuación y se describen detalladamente en las siguientes secciones:

- Paso 1. Localización de bancos.
- Paso 2. Selección de bancos.
- Paso 3. Extracción de las muestras.
- Paso 4. Caracterización del material.
- Paso 5. Desarrollo de las muestras de mortero.
- Paso 6. Obtención de resultados.



Figura 4. Metodología del trabajo de investigación.

## 5.1 Paso 1. Localización de bancos.

Hablando del paso 1, el muestreo se realizó en la ciudad de Santiago de Querétaro, México. Se encuentra localizado con las coordenadas geográficas de latitud igual a 20°35'15"N, longitud 100°23'34"W y con una altitud de 1820 m. sobre el nivel del mar, está conformado por los municipios conurbados "Corregidora" y "El Márquez". Dado que el objetivo principal de la investigación es utilizar el tepetate como material de construcción en su estado natural, la primera actividad fue localizar los bancos de donde se extraería el material.

## 5.2 Paso 2. Selección de bancos.

En el paso 2, una vez ubicados los bancos, se seleccionaron los bancos activos y que no fueran próximos a terminar su ciclo de vida. Las zonas que fueron seleccionadas como se mencionó anteriormente en la sección de Antecedentes, se encuentran en la parte periférica de la ciudad, en las localidades de Tlacote el bajo y el Marques.

Es importante mencionar que los bancos seleccionados para esta investigación tienen distintos fines, ejemplo de ellos son los siguientes: uso exclusivo para rellenos de fraccionamientos, utilización para bases o subbases de pavimentos y en general venta al por menor.

### 5.3 Paso 3. Extracción de las muestras.

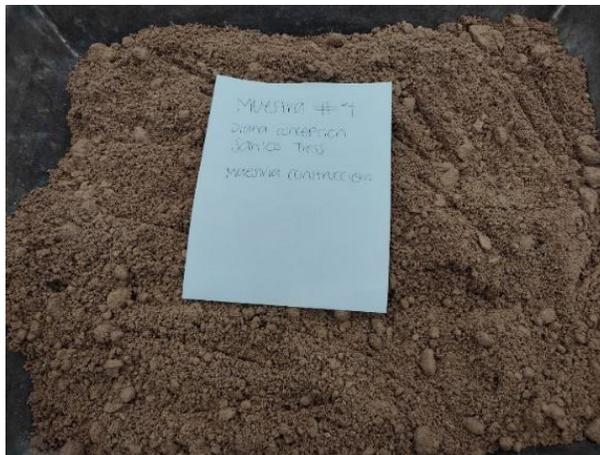
En cuanto al paso 3, Posterior a ubicar y seleccionar los bancos, se procedió ir a los sitios seleccionados a obtener las muestras necesarias para la realización de la presente investigación (Figura 5, 6, 7 y 8).



*Figura 5. Material del banco "Tlacote"*



*Figura 6. Material del banco "Mckey"*



*Figura 7. Material del banco "Alpher".*



*Figura 8. Material del banco "Zaquia".*

Las muestras fueron llevadas y resguardadas en el Laboratorio de materiales de la Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

#### 5.4 Paso 4. Caracterización del material.

El paso 4, marco el comienzo de la caracterización de las distintas muestras de tepetate, para lo cual se realizaron los siguientes ensayos:

- Granulometría.
- Límites de consistencia.
- Caracterización visual (color estándar húmedo y seco, resistencia al tacto, etc.).
- Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
- Desgaste de los ángeles.

Estos ensayos fueron realizados a cada una de las muestras, para con ello contar con los parámetros necesarios que en los pasos siguientes nos ayudarían a tener las respuestas y poder realizar las conclusiones más acertadas posibles.

#### 5.5 Paso 5. Desarrollo de las muestras de mortero.

En el paso número 5 se desarrollaron las muestras de mortero con los distintos proporcionamientos propuestos (Tabla 4), se inició reproduciendo el que es propuesto por la norma C 109/C 109M – 02 ASTM, el cual se describe a detalle en la sección de antecedentes, partiendo de este se fueron proponiendo distintas proporciones con la finalidad de encontrar la relación ideal entre el cemento y el tepetate a modo de obtener una resistencia a la compresión favorable.

Para este paso se comenzó por pesar la cantidad exacta de cada material, se tomó en cuenta el volumen necesario para obtener 12 cubos de 5 por 5 centímetros en cada una de sus caras. Se prepararon los moldes de las muestras para los cubos de mortero, sellando las aberturas con plastilina para evitar cualquier pérdida de agua que pudiera afectar su proceso de fraguado y se engrasaron los moldes para evitar que a la hora de desmoldar se fracturaran las muestras. Se realizó la mezcla vertiendo inicialmente el cemento agregándole poco a poco el tepetate y mezclándolo, hasta lograr su homogeneidad, sucedido esto se le agregó agua hasta llegar al punto donde la mezcla ya era manejable (Figura 9, 10 y 11).



*Figura 9. Homogenización de los agregados para las probetas de mortero.*



*Figura 10. Vertido del agua en la mezcla.*



*Figura 11. Mezclado de la muestra de mortero.*

Se llenaron los moldes en dos capas, compactando cada capa con 32 golpes cada una (Figura 12 y 13), finalmente se enraza y se llevan al cuarto de curado cubriéndolos con una franela húmeda para evitar la pérdida de agua y 24 horas después empezar con el paso número 6, que sería la obtención de resultados.



*Figura 12. Preparación de los moldes de mortero.*



*Figura 13. Llenado de los moldes de mortero.*

### 5.6 Paso 6. Obtención de resultados.

Una vez pasada las 24 horas se desmoldaron, en ese momento se inició el paso 6, donde se dio la obtención de resultados, los cuales fueron obtenidos midiendo la resistencia máxima en función de la carga máxima promedio aplicado, sometiénolos a compresión en la maquina universal, se tomaron los registros de carga máxima de cada espécimen para calcular la resistencia máxima.



*Figura 14. Probetas de mortero a base de tepetate desmoldadas.*

Por cada muestra se probaron 3 cubos a las 24 horas, a los 3 días, a los 7 y a los 28 tal como lo indica la norma (Figura15).



*Figura 15. Ensayo de la resistencia a la compresión de las probetas en la maquina Universal.*

Con los datos obtenidos a través del procesamiento, se realizaron graficas donde se muestran de manera concentrada las resistencias de las distintas muestras.

# 6 Resultados y discusión

## 6.1 Localización de los sitios de muestreo

El muestreo se realizó en la ciudad de Santiago de Querétaro, se recolectaron 4 muestras, cada una de un banco diferente los cuales se describen a continuación:

- Muestra #1. Banco de materiales “Tlacote”

Banco de tepetate ubicado en Tlacote el Bajo, es una localidad la cual está comprendida dentro del municipio de Querétaro y se localiza en las inmediaciones de la capital, la ciudad de Santiago de Querétaro, localizado en el libramiento Norponiente en las coordenadas  $20^{\circ}39'47.8''N$   $100^{\circ}30'58.3''W$  (Figura 16).



*Figura 16. Banco de materiales "Tlacote".*

Como se puede observar en la Figura 16, el banco “Tlacote” cuenta con una gran extensión, a lo que es un banco con gran potencial de explotación, se puede observar que cuenta con una tonalidad rojiza en la parte superior y amarillenta llegando al fondo próximo al cambio de suelo.

- Muestra #2. Banco de materiales “Mckey”

Ubicado en la localidad el Paraíso en el estado mexicano de Santiago de Querétaro, cercano a Paseo Querétaro y a la estación #5 de Bomberos Querétaro, con las coordenadas 20°40'27.2"N 100°29'16.7"W (Figura 17).



*Figura 17. Banco de material "Mckey".*

Observando la figura 17, se aprecia el material del banco "Mckey", el cual en sus primeros metros tiene una tonalidad amarillenta y conforme la profundidad es mayor esta tonalidad pierde intensidad.

- Muestra #3. Banco de materiales "Alpher"

Ubicado en la localidad de el Marques estado de Querétaro, en la carretera estatal Querétaro – Tequisquiapan, con las coordenadas 20°37'54.4"N 100°18'53.1"W (Figura 18).



*Figura 18. Banco de materiales "Alper".*

En la Figura 18 se observa el material del banco "Alper", el cual cuenta con una tonalidad amarillenta clara y en su profundidad grisácea.

➤ Muestra #4. Banco de materiales "Zaquia"

Ubicado en el término del Fraccionamiento "Zaquia" entrando por Cto. Universidades, dentro de la localidad de el Márques en el estado de Santiago de Querétaro, localizado en las coordenadas 20°39'16.7"N 100°19'30.3"W (Figura 19).



*Figura 19. Banco de materiales "Zaquia".*

Apreciando la figura 19, se puede destacar que el material del banco "Zaquia" tiene una tonalidad grisácea con destellos amarillentos en sus distintas profundidades.

En el siguiente mapa (Figura 20) se muestra de manera concentrada la ubicación de los sitios de muestreo, reconociendo con el numero al banco "Tlacote", con el numero 2 al banco "Mckey", con el numero 3 al banco "Alpher", y finalmente con el numero 4 al banco "Zaquia".

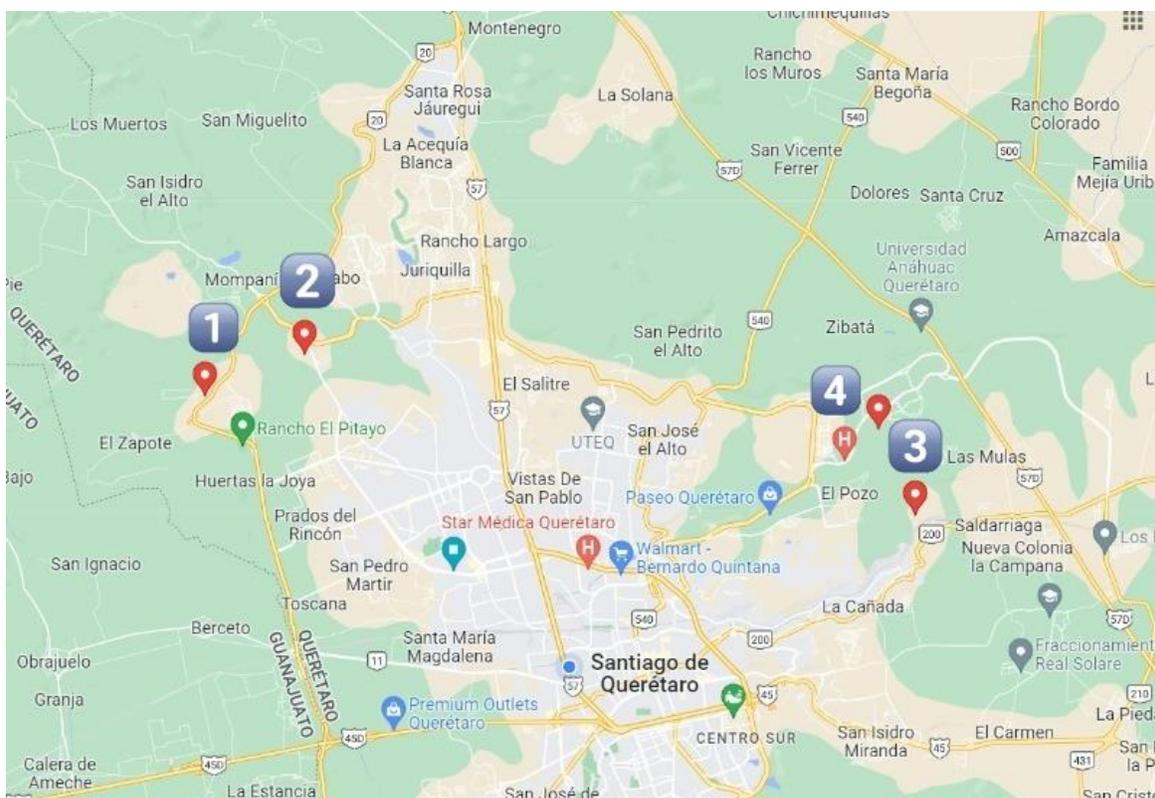


Figura 20. Ubicación de los sitios de muestreo.

## 6.2 Granulometría de las muestras del suelo

En la siguiente tabla (Tabla 6) se observan los porcentajes de la fracción gruesa, media y fina que representa a cada uno de los suelos analizados, junto a su clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Tabla 6. Porcentajes de las fracciones de suelo obtenidas de la granulometría.

Banco	% Gravas	% Arenas	% Finos	Clasificación SUCS
<b>Tlacote</b>	25.86	72.81	1.32	SW
<b>Mckey</b>	12.47	85.34	2.17	SW
<b>Alpher</b>	13.11	85.83	1.04	SW
<b>Zaquia</b>	31.3631	65.87	2.86	SW

De los resultados obtenidos tenemos que el contenido de finos presentados va del 1.04 al 2.83%, de Arenas va del 65.87 al 85.83% y de Gravas va desde el 12.47 al 31.36%.

En el siguiente grafico (Figura 21) se observan las curvas granulométricas obtenidas de cada banco y la curva granulométrica de una arena bien graduada, donde se puede observar la distribución del suelo, y en los anexos se pueden encontrar las tablas de resultados en base a las cuales fueron obtenidos los puntos graficados. Se puede observar que las curvas del Tepetate respecto a la de la Arena bien graduada muestran diferencias, pero observando de manera detenida los bancos Mckey y Alpher presentan gran similitud.

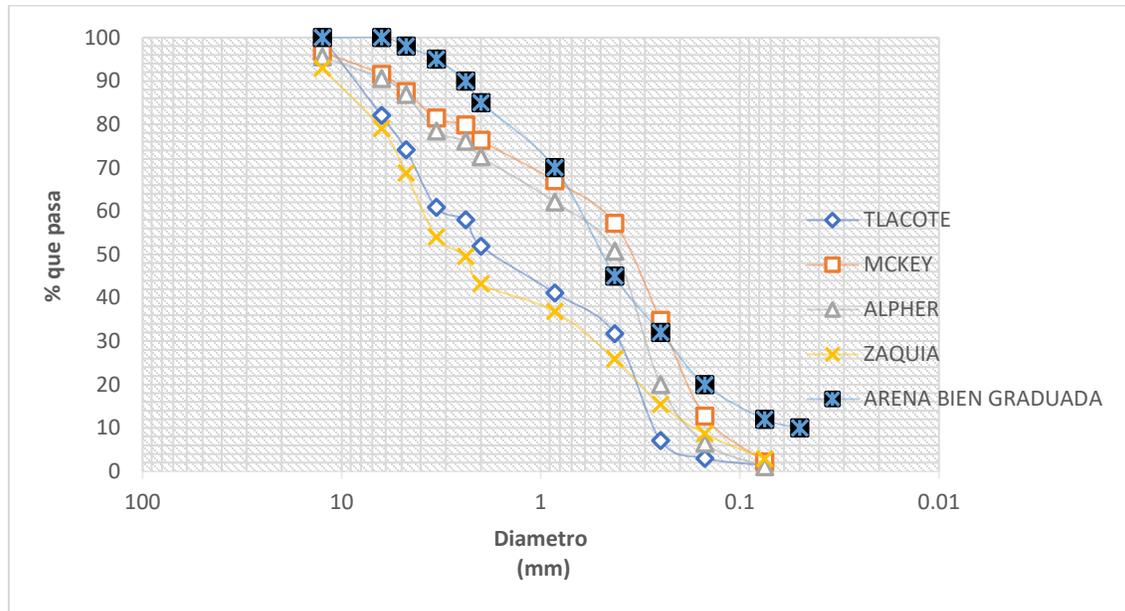


Figura 21. Concentrado de las curvas granulométricas.

➤ Granulometría del banco Tlacote

En las siguientes ilustraciones se muestra el material retenido en cada una de las mallas utilizadas para la realización del análisis granulométrico de esta muestra (Figuras 22, 23 y 24), se pone un bolígrafo en la foto como medida practica de fácil dimensionamiento.



Figura 22. Material retenido del banco Tlacote en las mallas 1/4", N°4, N°6 y N°8.



Figura 23. Material retenido del banco Tlacote en las mallas N°10, N°20, N°40 y N°60.



Figura 24. Material retenido del banco Tlacote en las mallas N°100, N°200 y en la Charola.

#### ➤ Granulometría del banco Mckey

En las siguientes ilustraciones se muestra el material retenido en cada una de las mallas utilizadas para la realización del análisis granulométrico de esta muestra (Figuras 25, 26 y 27), se pone un bolígrafo en la foto como medida practica de fácil dimensionamiento.



*Figura 25. Material retenido del banco Mckey en las mallas 1/4", N°4, N°6 y N°8.*



*Figura 26. Material retenido del banco Mckey en las mallas N°10, N°20, N°40 y N°60.*



*Figura 27. Material retenido del banco Mckey en las mallas N°100, N°200 y en la Charola.*

➤ **Granulometría del banco Alpher**

En las siguientes ilustraciones se muestra el material retenido en cada una de las mallas utilizadas para la realización del análisis granulométrico de esta muestra (Figuras 28, 29 y 30), se pone un bolígrafo en la foto como medida practica de fácil dimensionamiento.



*Figura 28. Material retenido del banco Alpher en las mallas 1/4", N°4, N°6 y N°8.*



*Figura 29. Material retenido del banco Alpher en las mallas N°10, N°20, N°40 y N°60.*



*Figura 30. Material retenido del banco Alpher en las mallas N°100, N°200 y en la Charola.*

➤ Granulometría del banco Zaquia

En las siguientes ilustraciones se muestra el material retenido en cada una de las mallas utilizadas para la realización del análisis granulométrico de esta muestra (Figuras 31,32 y 33), se pone un bolígrafo en la foto como medida practica de fácil dimensionamiento.



*Figura 31. Material retenido del banco Zaquia en las mallas 1/4", N°4, N°6 y N°8.*



*Figura 32. Material retenido del banco Zaquia en las mallas N°10, N°20, N°40 y N°60.*



*Figura 33. Material retenido del banco Zaquia en las mallas N°100, N°200 y en la Charola.*

### 6.3 Límites de consistencia

Respecto a las propiedades de plasticidad de los tepetates, la Tabla 7 muestra los límites líquidos obtenidos mediante la copa de casa grande, los límites plásticos y los índices plásticos. En esta tabla se muestra que no se pudo medir la plasticidad en los suelos porque los suelos se cerraban inmediatamente en la copa de Casagrande para el límite líquido y para el límite plástico, el suelo no formaba rollos. Lo anterior indica que, aunque se trata del mismo suelo, los suelos volcánicos extraídos prácticamente se encuentran “lavados” (sin arcilla) por su antecedente de que todos estos suelos estuvieron cubiertos por agua.

Tabla 7. Límites de consistencia

Ubicación	Banco	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
1	Tlacote	NP	NP	NP
2	Mckey	NP	NP	NP
3	Alpher	NP	NP	NP
4	Zaquia	NP	NP	NP
NP= No hay plasticidad.				

### 6.4 Comparativo de los bancos anteriormente estudiados respecto a los reportados

Este comparativo se realizará respecto a los bancos reportados en la investigación del 2013 realizada en la ciudad de Querétaro, Qro; México, la cual fue realizada con la finalidad de conocer la caracterización que presentaban los Tepetates de la zona [13].

Tomamos 6 bancos de esta investigación, los cuales los denominamos de la siguiente manera:

- T3 (banco 5) corresponden a la zona de Tlacote.
- J1 y J2 (banco 6 y 7, respectivamente) se localizan en la zona de Jurica.
- C1, C2 y C3 (banco 8, 9 y 10, respectivamente) se encuentran ubicados en la zona denominada como “Conín” [46].

Todas estas ubicaciones pertenecen a las inmediaciones de la ciudad de Querétaro, México. Estos bancos fueron los utilizados para complementar la investigación y poder hacer un diagnóstico general del comportamiento mecánico. En estos bancos no se reportan imágenes del suelo.

#### 6.4.1 Comparativo de los bancos anteriormente estudiados respecto a los reportados desde el punto de vista edafológico.

En esta sección se maneja la clasificación del suelo desde el punto de vista edafológico, en la Tabla 8 muestra el resumen de las ubicaciones de los bancos estudiados.

*Tabla 8. Relación de los sitios de estudio y sus coordenadas.*

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

Luego, la Figura 34 muestra las ubicaciones de los bancos en activo estudiados en la investigación (1-4) y los bancos reportados anteriormente (5-10) [46] y que en la actualidad están explotados e inactivos. En la figura 34 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) ya se encuentran actualmente dentro de la ciudad de Querétaro (5-10).



Figura 34. Localización de los sitios de extracción de las muestras.

En la Figura 35 se observa el tipo de suelo desde el punto de vista edafológico que está asociado a cada ubicación de cada banco, de acuerdo al INEGI. Aquí se puede observar que el suelo predominante es el Planosol para todos los bancos (Tabla 9). El término Planosol proviene del vocablo latino "planus" que significa llano, refiriéndose a su presencia en zonas llanas, coincidentemente inundadas. Se conoce por un horizonte eluvial degradado que sobre yace de manera abrupta sobre un denso subsuelo. Es constituido por depósitos aluviales o coluviales arcillosos. Son relacionados 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, aunque en la figura 6 no se observa muy bien porque se encuentra la imagen de la ciudad sobre el tipo de suelo, por lo que se tuvo que tomar la descripción del suelo.

Tabla 9. Simbología para los bancos en la Figura 6.

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

<b>9</b>	°	C2
<b>10</b>	/	C3

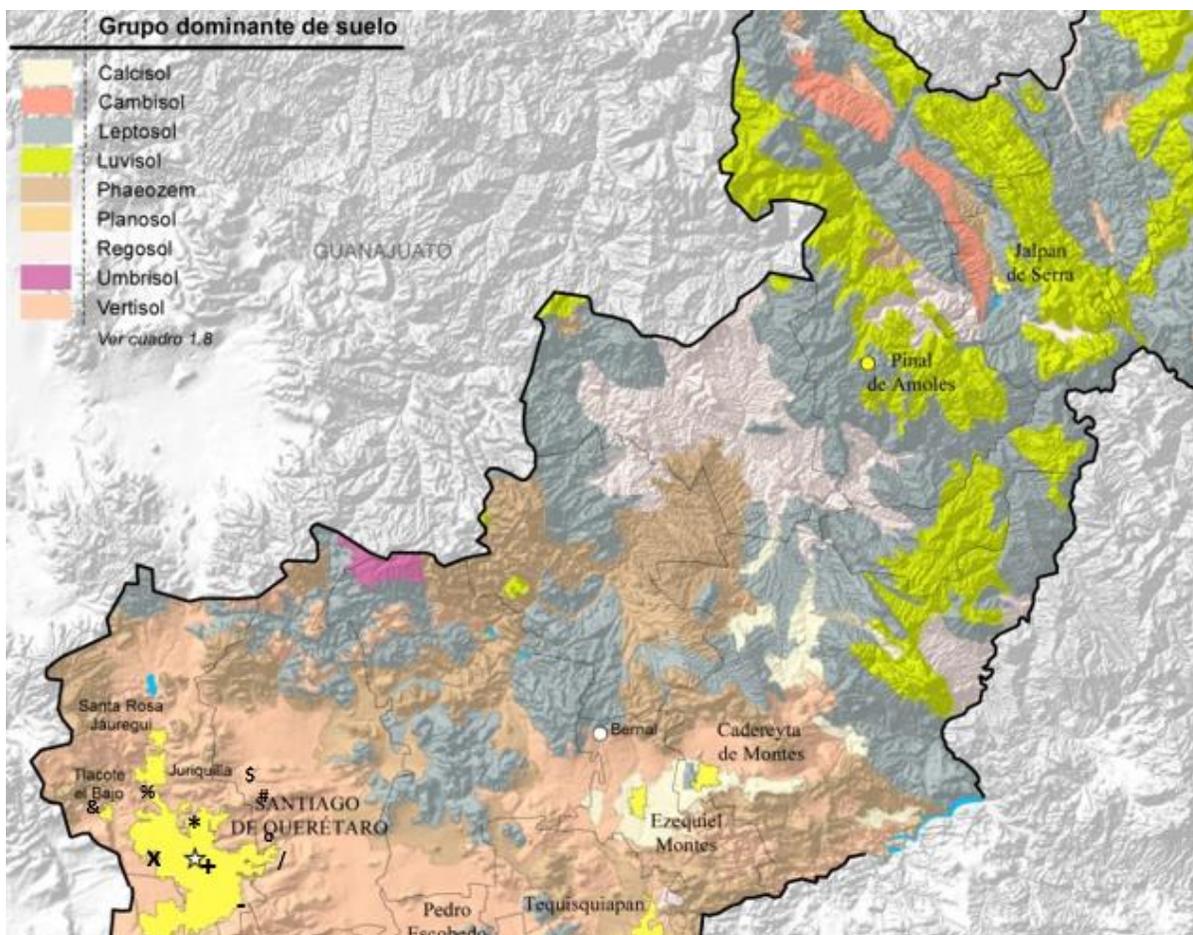


Figura 35. Suelos dominantes edafológicos, de acuerdo al INEGI.

#### 6.4.2 Comparativo de la caracterización de los materiales y su clasificación de suelos según SUCS de los bancos anteriormente estudiados respecto a los reportados

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 10. La granulometría de los suelos fue utilizada para realizar la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) de los suelos, de donde se obtiene que todos los suelos quedaron como arenas (S) porque predomina dicha cantidad en todos los bancos. Los bancos que tienen pocos finos (1-3% aproximadamente) quedaron como SW (arenas bien graduadas) y los bancos con mayor

cantidad de finos (14-27% aproximadamente) quedaron como SM (arenas limosas). La diferencia de ambas clasificaciones es la cantidad de finos. Respecto a la cantidad de agregados, se observa que los bancos de esta investigación 1-4 muestran muy baja cantidad de finos (1-3% aproximadamente) respecto a los reportados anteriormente (de 14-27% aproximadamente). Lo anterior puede estar asociado a que los materiales de los bancos 1-4 están más alejados de la ciudad y aunque su 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, por lo que se ubican toda la variedad de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas) por lo que en sitio se puede visualizar una amplia diversidad de suelos. Dentro de los que resaltan los residuales y transportados (del tipo lacustre, fluvial) y de precipitación química. Sus orígenes y propiedades les dan conductas tan características como es el ejemplo de las arcillas de alta plasticidad, potencialmente expansivas y los limos, potencialmente colapsables [47].

Tabla 10. Granulometría de suelos.

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

A continuación, la Figura 36 muestra las curvas granulométricas del trabajo reportado de los bancos de tepetate en Querétaro [46], y la Figura 21, vista en la sección “6.2 Granulometría de las muestras del suelo”, muestra las curvas granulométricas de los bancos estudiados en la investigación en esta investigación. En la Figura 21 se observa 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. En la Figura 36 se observa que todos los bancos muestran granulometrías parecidas con un pequeño rango de diferencia en los porcentajes que pasan. Finalmente, la Figura 37 muestra un concentrado de las curvas granulométricas de ambos estudios, en las cuales se puede observar el comportamiento de cada uno de los suelos de los bancos.

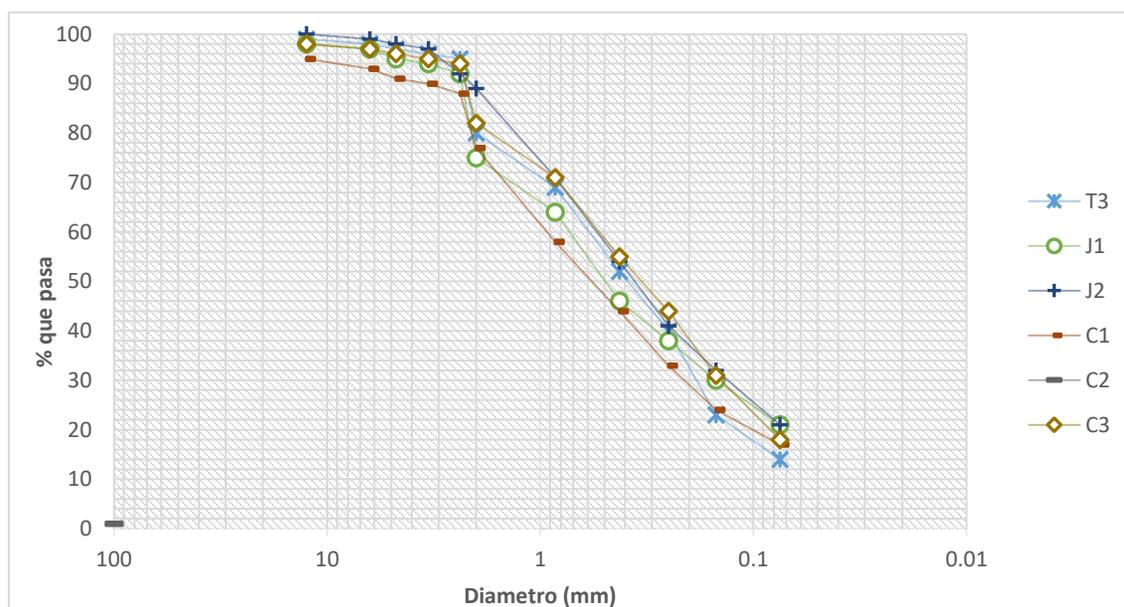


Figura 36. Curvas granulométricas de los bancos 5 al 10.

En la Figura 37 se graficaron todas las granulometrías de los bancos y se observa que el banco Mckey y Alpher se parece a la granulometría de 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 muestran mayor cantidad de arenas y poca cantidad de finos porque están más lejos de la ciudad, lo que explica que 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, por ende, los bancos alejados del valle de Querétaro tendrán menos finos y por lo tanto serán aptos para la construcción.

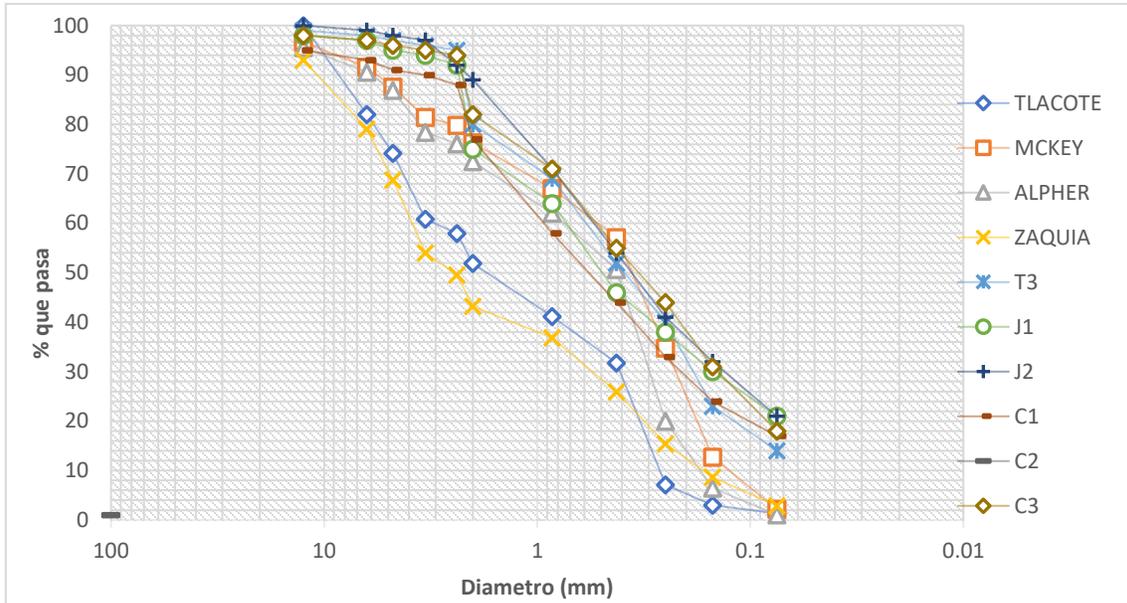


Figura 37. Concentrado de las curvas granulométricas.

### 6.4 Desgaste de los ángeles

Se realizó la evaluación de desgaste a través de una carga abrasiva, la cual fue designada mediante el manual de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte en su libro M.MMP.2.02.032/18, realizando el procesamiento de resultados obtenidos tal y como lo indica el mismo.

Se realizó el proceso anteriormente descrito, clasificación el material de acuerdo a la clasificación D, las muestras se pueden observar a continuación (Figura 38).



Figura 38. Muestras de los tepetates para el Desgaste de los ángeles.

Los datos obtenidos fueron usados para calcular y reportar los resultados de la prueba a través de la siguiente formula (Ecuación 1):

*Ecuación 1. Degradación por trituración.*

$$Pa = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100$$

Pa= Degradación por trituración mediante la máquina de los Ángeles (%).

Pi= Masa inicial de la muestra de prueba (g).

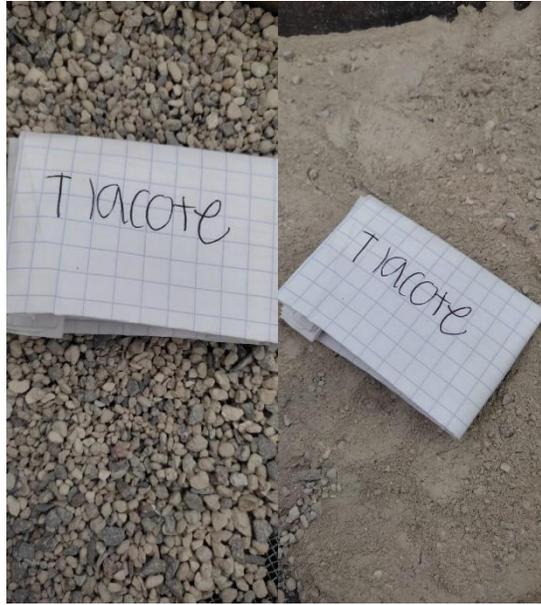
Pf= masa final del material de prueba.

En la siguiente tabla (Tabla 11) se muestran los datos obtenidos, incluyendo la fracción de la masa usada y las cargas abrasivas usadas. Aquí se puede observar que el Desgaste va desde el 63.126 al 77.161%, lo que significa que el material por si solo puede ser muy frágil por lo que es ideal como material compuesto.

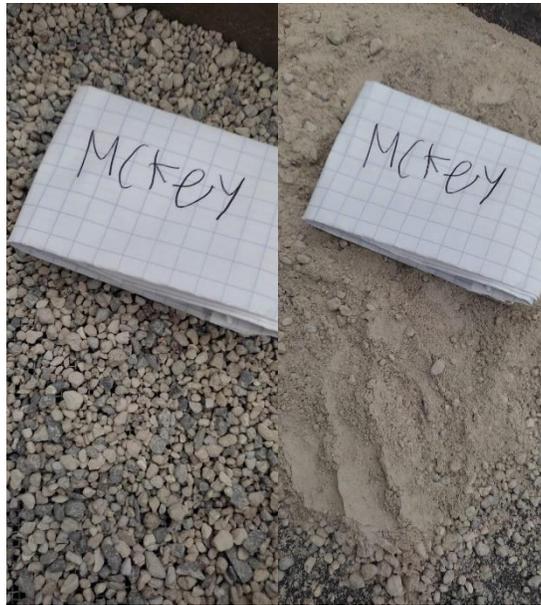
*Tabla 11. Desgaste de los ángeles.*

Tipo de composición de la muestra de prueba	Masa de la fracción o Pi (g)	Carga abrasiva		Pf (g)	Pa (%)
		# de esferas	Masa Total g		
<i>D</i>	5000±10	6	2500±15		
<b>Tlacote</b>	5012	6	2502	1243.8	75.184
<b>Mckey</b>	5007	6	2502	1846.3	63.126
<b>Alpher</b>	5004	6	2502	1798.9	64.051
<b>Zaquia</b>	5010	6	2502	1144.2	77.161

En las siguientes imágenes (Figuras 39, 40, 41 y 42) se pueden observar un comparativo de la muestra previa al ensaye y después del ensaye, en las Figuras de lado derecho se puede observar el material que ha sido pasado por la malla de 4.75 mm y que se retiene en la malla 2.36 mm, y en las Figuras del lado izquierdo el material que ha sido ensayando.



*Figura 39. Muestra del banco Tlacote antes y después del ensaye.*



*Figura 40. Muestra del banco Mckey antes y después del ensaye.*



*Figura 41. Muestra del banco Alpher antes y después del ensaye.*



*Figura 42. Muestra del banco Zaquia antes y después del ensaye.*

## 6.5 Proporciones de los morteros evaluados

Se realizaron 14 muestras de morteros, en las cuales se variaron las proporciones, tal y como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 12).

Las proporciones propuestas fueron realizadas en base a la norma C 109/C 109M – 02 ASTM “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars”, la cual nos

indica que debe consistir de una parte de cemento y 2.75 de arena graduada, la cual para efecto de esta investigación se sustituiría completamente por Tepetate, y en caso de usar Cemento portland ordinario (CPO), la relación de agua – cemento debería ser de 0.485.

Observando la tabla 12, las muestras 3, 6 y la 11 fueron desarrolladas con proporción indicada por la norma. Las dosificaciones fueron realizadas pensando en usar mayor cantidad de tepetate y variando la cantidad de cemento para encontrar las más recomendables en resistencia.

Tabla 12. Proporcionamiento de las muestras de mortero desarrolladas.

# muestra	Banco de tepetate	Cemento (gr)	Tepetate (gr)	Agua (ml)	Relación cemento-tepetate	Relación cemento-agua
1	Tlacote	600	1900	635	1=3.2	1=1.06
2	Tlacote	1100	1700	700	1=1.55	1=0.63
3	Tlacote	1000	2750	1080	1=2.75	1=1.08
4	Mckey	850	2000	700	1=2.35	1=0.82
5	Mckey	800	1800	700	1=2.25	1=0.88
6	Mckey	1000	2750	980	1=2.75	1=0.98
7	Mckey	625	1875	725	1=3	1=1.16
8	Mckey	500	1900	645	1=1.9	1=1.25
9	Alpher	1100	1700	700	1=1.55	1=0.63
10	Apher	700	1800	570	1=2.6	1=0.81
11	Alpher	1000	2750	1080	1=2.75	1=1.08
12	Alpher	500	2000	750	1=4	1=0.66
13	Zaquia	850	2000	700	1=2.35	1=.82
14	Zaquia	750	1750	780	1=2.33	1=1.04

## 6.6 Pruebas de Fluidez

Se realizaron las pruebas de Fluidez de acuerdo a la norma NMX-C-061-ONNCCE, para lo cual se tomó registro de los diámetros del cono tunco, el cual tiene un diámetro menor de 7.62 cm y un diámetro mayor de 10.16 cm, con una altura de 5.08 cm.

De acuerdo a la norma mencionada, la cantidad de agua debe lograr que se genere una fluidez de  $110\pm 5\%$ .

Esta prueba fue realizada a las 14 muestras de morteros, con la finalidad de saber en qué rango de fluidez se encontraba cada muestra, los registros de estas pruebas se muestran en la Tabla 13.

*Tabla 13. Concentrado de los resultados de Fluidez de las muestras realizadas.*

<b># de muestra y banco</b>	<b>Di promedio</b>	<b>Df promedio</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1 Tepetate</b>	10.75	22.35	107.9
<b>2 Tepetate</b>	10.825	22.65	109.23
<b>3 Tepetate</b>	11	23.5	113.63
<b>4 Mckey</b>	10.8	22.45	107.87
<b>5 Mckey</b>	10.8	22.57	108.98
<b>6 Mckey</b>	10.825	22.6	108.77
<b>7 Mckey</b>	10.8	22.75	110.6
<b>8 Mckey</b>	10.85	22.825	110.36
<b>9 Alpher</b>	10.775	22.5	108.08
<b>10 Alpher</b>	10.75	22.475	109.06
<b>11 Alpher</b>	10.8	22.775	110.87
<b>12 Alpher</b>	10.85	22.825	110.36
<b>13 Zaquia</b>	10.825	22.45	107.39
<b>14 Zaquia</b>	10.875	22.775	109.425

Observando los resultados registrados en la Tabla 13 y tomando como referencia los parámetros dado por la norma, podemos destacar que todos los porcentajes obtenidos se encuentran dentro de lo deseado, teniendo valores del 107.39 al 113.63 %.

A continuación, en las siguientes Figuras (43-46) se puede observar a detalle el procedimiento realizado para estos ensayos, los cuales fueron realizados dentro del Laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma de Querétaro.



*Figura 43. Relleno y apisonamiento del cono tunco para la Fluidez.*



*Figura 44. Finalización del llenado y enrase del cono trunco para la Fluidez.*



*Figura 45. Retiro del cono tunco para la medición del diámetro inicial.*



*Figura 46. Toma de medidas del diámetro final para la fluidez.*

### 6.7 Resistencia a la compresión de las distintas muestras de mortero

La evaluación de la resistencia a compresión fue por medio de la maquina universal (Figura 47). Para el análisis de la Resistencia a la compresión, se ensayaron 12 especímenes de cada muestra, 3 a las 24 horas, 3 a los 3 días, 3 a los 7 días y 3 a los 28 días, obteniendo así un promedio de la carga máxima soportada y la resistencia máxima respecto a cada edad, lo cual se muestra a detalle adelante.



Figura 47. Ensaye a compresión de las muestras de mortero con Tepetate.

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #1 del banco “Tlacote”

Esta muestra fue realizada con la proporción 1=3.2=0.635, relación cemento-tepetate-agua, utilizando 600 gramos de Cemento, 1900 gramos de Tepetate y 635 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas de manera progresiva para lograr una mezcla consistente.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la Tabla 14, donde se logra visualizar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, iniciando con una carga de 3.573 KN y una Resistencia máxima de 14.575 kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo en su edad máxima evaluada una carga de 25.663 KN y una Resistencia máxima de 104.677 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 14. Muestra de mortero #1 del banco “Tlacote”

Tiempo de curado	#1 Tlacote			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	3.573	8.633	15.773	25.663
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	14.575	35.214	64.337	104.677

En las siguientes figuras (Figura 48 y 49) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez desmoldados y posterior de a ver llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



*Figura 48. Probetas #1 del banco "Tlacote".*



*Figura 49. Probeta de la muestra #1 llevada a su falla.*

Se aprecia en la siguiente imagen (Figura 50), la mezcla homogenizada y con la cantidad de agua requerida para una buena fluidez optima, logrando con ello una mezcla manejable y apta para trabajar en la albañilería.



Figura 50. Mezcla de la muestra #1.

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #2 del banco “Tlacote”

La segunda muestra fue realizada con la proporción  $1=1.54=0.70$ , relación cemento-tepetate-agua, utilizando 1100 gramos de Cemento, 1700 gramos de Tepetate y 700 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida y que tuviera una buena consistencia.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran a continuación (Tabla 15), donde se puede apreciar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, obteniendo en su primer día una Carga máxima de 3.273 KN y una Resistencia máxima de 13.351 kg/cm<sup>2</sup>, y para el día 28 la cual fue la edad máxima evaluada una Carga máxima de 20.533 KN y una Resistencia máxima de 83.753 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 15. Muestra de mortero #2 del banco “Tlacote”

Tiempo de curado	#2 Tlacote			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	3.273	8.336	11.906	20.533
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	13.351	34.004	48.565	83.753

En la siguiente figura (Figura 51) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez desmoldados.



*Figura 51. Probetas #2 del banco "Tlacote".*



*Figura 52. Probeta de la muestra #2 llevada a su falla.*

Podemos apreciar la mezcla ya homogenizada, integrando sus gruesos y finos junto con el cemento y el agua (Figura 53). El tono del tepalcate de este banco es rojizo, al integrarlo con el cemento toma un tono gris claro, al agregarle el agua toma un tono gris intenso.



Figura 53. Mezcla de la muestra #39.

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #3 del banco “Tlacote”

La tercera muestra fue realizada con la proporción  $1=2.75=1.08$ , relación cemento-tepetate-agua, utilizando 1000 gramos de Cemento, 2750 gramos de Tepetate y 1080 mililitros de Agua.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente tabla 16, donde se puede apreciar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, teniendo para las primeras 24 horas una Carga máxima de 0.87 KN y una Resistencia de máxima de  $3.548 \text{ kg/cm}^2$ , y para su edad máxima evaluada una carga máxima de 6.546 KN y una Resistencia máxima de  $26.703 \text{ kg/cm}^2$ . Esta fue la única muestra que no alcanzo la resistencia mínima requerida ante la norma, sin embargo, no se descartan los valores obtenidos, ya que esto nos infiere que su variación de resistencia se puede deber a la utilización de una cantidad mayor de agua.

Tabla 16. Muestra de mortero #3 del banco “Tlacote”

Tiempo de curado	#1 Tlacote			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	0.87	0.89	3.273	6.546
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3.548	3.630	13.351	26.703

En las siguientes figuras (Figura 54 y 55) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez desmoldados y posterior de a ver llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



*Figura 54. Probetas #3 del banco "Tlacote".*



*Figura 55. Probeta de la muestra #3 llevada a su falla.*

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida. Como se puede observar (Figura 56), se realizó la homogenización del cemento con el tepetate, de tal modo que cuando se agregara el agua se garantizara lograr una mezcla lo más homogénea posible, para evitar que las probetas realizadas fuesen conformadas de igual manera.



Figura 56. Mezcla de la muestra #3.

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #4 del banco “Mckey”

La cuarta muestra fue realizada con la proporción  $1=2.35=0.70$ , relación cemento-tepetate-agua, utilizando 850 gramos de Cemento, 2000 gramos de Tepetate y 700 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente tabla 17, donde se puede observar el incremento en la resistencia respecto al tiempo de curado, teniendo al primer día una Carga máxima de 16.67 KN y una Resistencia máxima de 67.994 kg/cm<sup>2</sup> alcanzando una Carga máxima a los 28 días de 34.82 KN y una Resistencia máxima de 142.026 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 17. Muestra de mortero #4 del banco “Mckey”

Tiempo de curado	#4 Mckey			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	16.67	30.956	32.74	34.82
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	67.994	126.268	133.542	142.026

En las siguientes figuras (Figuras 57 y 58) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez desmoldados y posterior de a ver llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



*Figura 57. Probetas #4 del banco "Mckey".*



*Figura 58. Probeta de la muestra #4 llevada a su falla.*

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #5 del banco "Mckey"

La quinta muestra fue realizada con la proporción  $1=2.25=0.70$ , relación cemento-tepetate-agua, utilizando 800 gramos de Cemento, 1800 gramos de Tepetate y 700 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida y que perdiera su consistencia.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente tabla 18, donde se puede observar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, en el primer día se registró una Carga máxima de 4.81 KN y una Resistencia máxima de 19.610 kg/cm<sup>2</sup>, para el día 28 se registró una Carga máxima de 27.083 KN y una Resistencia máxima de 110.469 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 18. Muestra de mortero #5 del banco "Mckey"

Tiempo de curado	#5 Mckey			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	4.81	14.88	18.15	27.083
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	19.619	60.693	74.05	110.469

En las siguientes Figuras (Figura 59 y 60) se pueden observar los especímenes realizados para esta proporción, una vez que fueron desmoldados y posterior de a ver llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



Figura 59. Probetas #5 del banco "Mckey".



Figura 60. Probeta de la muestra #5 llevada a su falla.

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #6 del banco “Mckey”

La sexta muestra fue realizada con la proporción 1=2.75=0.98, relación cemento-tepetate-agua, utilizando 1000 gramos de Cemento, 2750 gramos de Tepetate y 980 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra con la trabajabilidad deseable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente tabla 19, donde se puede ver el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, teniendo en el registro inicial una Carga máxima de 0.87 KN con una Resistencia máxima de 3.548 kg/cm<sup>2</sup> a las 24 horas, y una Carga máxima de 23.513 KN y 95.908 kg/cm<sup>2</sup> para el día 28.

Tabla 19. Muestra de mortero #6 del banco “Mckey”

Tiempo de curado	#6 Mckey			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	0.87	2.976	13.393	23.513
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3.548	12.141	54.629	95.908

En las siguientes figuras (Figura 61 y 62) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez desmoldados y posterior de a ver llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



*Figura 61. Probetas #6 del banco "Mckey".*



*Figura 62. Probeta de la muestra #6 llevada a su falla.*

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #7 del banco "Mckey"

La séptima muestra fue realizada con la proporción  $1=3=0.725$ , relación cemento-tepetate-agua, utilizando 625 gramos de Cemento, 1875 gramos de Tepetate y 725 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente tabla 20, donde se puede observar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, habiendo obtenido en sus primeras 24 horas de curado una Carga máxima de 0.89 KN con una resistencia máxima de 3.63 kg/cm<sup>2</sup>, posteriormente a los 28 días se obtuvo una Carga máxima de 20.83 KN y una Resistencia máxima de 84.976 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 20. Muestra de mortero #7 del banco "Mckey"

Cantidades usadas	#7 Mckey			
	Cemento	Tepetate	Agua	Proporción
	625gr	1875 gr	725 ml	1=3
Tiempo de curado	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	0.89	7.443	11.306	20.83
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3.630	30.360	46.118	84.976

En la siguiente figura (Figura 63) se pueden observar uno de los especímenes resultantes de esta proporción, llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



Figura 63. Probeta de la muestra #7 llevada a su falla.

- Resistencia a la compresión de la muestra #8 del banco "Mckey"

La octava muestra fue realizada con la proporción  $1=3.88=0.645$ , relación cemento-tepetate-agua, utilizando 500 gramos de Cemento, 1900 gramos de Tepetate y 645 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua de manera moderada, con la finalidad de utilizar el mínimo necesario para tener una muestra con una consistencia optima.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente tabla 21, donde se puede observar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, teniendo a la edad de 1 día una Carga máxima de 1.19 KN y una Resistencia máxima de 4.853 kg/cm<sup>2</sup>, posteriormente a la edad de 28 días una Carga máxima de 15.776 KN y una Resistencia máxima de 64.351 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 21. Muestra de mortero #8 del banco "Mckey"

Tiempo de curado	#8 Mckey			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	1.19	2.382	9.226	15.776
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4.853	9.721	37.634	64.351



Figura 64. Probetas #8 del banco "Mckey".



*Figura 65. Probeta de la muestra #8 llevada a su falla.*

En la siguiente imagen (Figura 66) podemos observar el material utilizado, para esta muestra, ya homogenizado. Se puede apreciar que no fue despreciado ningún grueso, así mismo ningún fino, aprovechando su granulometría completa.



*Figura 66. Material homogenizado de la muestra #8.*

- Resistencia a la compresión de la muestra #5 del banco “Alpher”

La novena muestra fue realizada con la proporción 1=1.55=0.70, relación cemento-tepetate-agua, utilizando 1100 gramos de Cemento, 1700 gramos de Tepetate y 700 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente Tabla 22, donde se puede observar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, a lo que se obtuvo una Carga máxima de 6.84 KN y una Resistencia máxima de 27.913 kg/cm<sup>2</sup> a las 24 horas, posteriormente se obtuvo una Carga máxima de 50.91 KN y una Resistencia máxima de 207.669 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Tabla 22. Muestra de mortero #9 del banco "Alpher"

Tiempo de curado	#9 Alpher			
	Dia			
	1	3	7	28
Carga máxima promedio (KN)	6.84	25.596	34.137	50.91
Resistencia máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	27.913	104.406	139.24	207.669

En la siguiente figura (Figura 67) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez desmoldados y posterior de a ver llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



Figura 67. Probeta de la muestra #9 llevada a su falla.

- Resistencia a la compresión de la muestra #10 del banco "Alpher"

La décima muestra fue realizada con la proporción 1=2.6=0.570, relación cemento-tepetate-agua, utilizando 700 gramos de Cemento, 1800 gramos de Tepetate y 570 mililitros de Agua. En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente Tabla 23, donde se puede ver el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, alcanzando a sus 24 horas de curado una Carga máxima de 9.223 KN y una Resistencia máxima de 37.62 kg/cm<sup>2</sup>, y a los 28 días de curado una Carga máxima de 28.57 KN y una Resistencia máxima de 116.533 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 23. Muestra de mortero #10 del banco "Alpher"

<b>Tiempo de curado</b>	<b>#10 Alpher</b>			
	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	9.223	13.69	18.063	28.57
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	37.62	55.839	73.678	116.533

En la siguiente figura (Figura 68) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



Figura 68. Probeta de la muestra #10 llevada a su falla.

Con esta mezcla obtuvimos una mezcla bastante consistente, el color que tomo es gris oscuro, su manejabilidad fue muy buena, tratamos de integrar el menor contenido de agua para con ello maximizar su resistencia.

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #11 del banco “Alpher”

La onceava muestra fue realizada con la proporción  $1=2.75=1.08$ , relación cemento-tepetate-agua, utilizando 1000 gramos de Cemento, 2750 gramos de Tepetate y 1080 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente Tabla 24, donde se puede observar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, habiendo registrado en sus 24 horas una Carga máxima de 3.866 KN y una Resistencia máxima de  $15.771 \text{ kg/cm}^2$ , y para el día 28 una Carga máxima de 25.3 KN y una Resistencia máxima de  $103.195 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 24. Muestra de mortero #11 del banco “Alpher”

<b>#11 Alpher</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>

Tiempo de curado	1000gr	2750 gr	1080 ml	1=2.75
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	3.866	11.61	12.797	25.3
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	15.771	47.355	52.196	103.195

En la siguiente figura (Figura 69) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez desmoldados y posterior de a ver llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



Figura 69. Probeta de la muestra #11 llevada a su falla.

➤ Resistencia a la compresión de la muestra #12 del banco “Alpher”

La doceava muestra fue realizada con la proporción 1=4=0.75, relación cemento-tepetate-agua, utilizando 500 gramos de Cemento, 2000 gramos de Tepetate y 750 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente tabla 25, donde se puede observar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, se obtuvo al primer día una Carga máxima de 1.19 KN y una Resistencia máxima de 4.853 kg/cm<sup>2</sup>,

para el día 28 se obtuvo una Carga máxima de 17.556 KN y una Resistencia máxima de 71.611 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 25. Muestra de mortero #12 del banco "Alpher"

Tiempo de curado	#12 Apher			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	1.19	8.336	15.18	17.556
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4.853	34.004	61.917	71.611

En la siguiente figura (Figura 70) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez desmoldados.



Figura 70. Probeta #12 del banco "Alpher".

Resistencia a la compresión de la muestra #13 del banco "Zaquia"

La treceava muestra fue realizada con la proporción 1=2.35=0.70, relación cemento-tepetate-agua, utilizando 850 gramos de Cemento, 2000 gramos de Tepetate y 700 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente Tabla 26, donde se puede observar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, habiendo

obtenido una Carga máxima de 6.55 KN y una Resistencia máxima de 26.716 kg/cm<sup>2</sup> a las 24 horas, y una Carga máxima de 35.083 KN y una Resistencia máxima de 143.1 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Tabla 26. Muestra de mortero #13 del banco "Zaquia"

Tiempo de curado	#13 Zaquia			
	Dia			
	1	3	7	28
Carga máxima promedio (KN)	6.55	18.753	23.81	35.083
Resistencia máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	26.716	76.492	97.12	143.100

En la siguiente figura (Figura 71) se pueden observar el espécimen de este proporcionamiento llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



Figura 71. Probeta de la muestra #13 llevada a su falla.

- Resistencia a la compresión de la muestra #14 del banco "Zaquia"

La catorceava muestra fue realizada con la proporción 1=2.33=0.780, relación cemento-tepetate-agua, utilizando 750 gramos de Cemento, 1750 gramos de Tepetate y 780 mililitros de Agua.

En esta muestra se fue agregando agua hasta tener una muestra trabajable, agregando cantidades mínimas para evitar hacerla demasiado fluida.

La carga máxima promedio y la resistencia máxima se muestran en la siguiente Tabla 27, donde se puede observar el aumento de la resistencia respecto al tiempo de curado, para el día 1 se registró una Carga máxima de 2.976 KN y una Resistencia máxima de 12.141 kg/cm<sup>2</sup>, en cuanto al día 28 se registró una Carga máxima de 29.763 KN y una Resistencia máxima de 121.401 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 27. Muestra de mortero #14 del banco "Zaquia"

Tiempo de curado	#14 Zaquia			
	Dia			
	1	3	7	28
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	2.976	9.6	19.346	29.763
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	12.141	39.157	78.912	121.401

En la siguiente figura (Figura 72) se pueden observar los especímenes de este proporcionamiento una vez llegado a su falla debido a la evaluación de su resistencia mediante la maquina universal.



Figura 72. Probeta de la muestra #14 llevada a su falla.

### 6.7.1 Concentrado de las resistencias máximas obtenidas

Los resultados obtenidos se muestran de manera explícita en la siguiente tabla (Tabla 28), de donde se puede observar que los bancos Tlacote y Alpher, aún con las mismas dosificaciones (1-2.75-1.08), muestran resistencias muy diferentes, 26.7 kg/cm<sup>2</sup> y de 103.195 kg/cm<sup>2</sup>

respectivamente, ambas a 28 días; lo que significa que las granulometrías de ambos y su comportamiento frente a la cantidad de agua hacen la diferencia de los valores (ya que el tepetate se integra tal y como está en el banco). Revisando las granulometrías de los bancos, el banco de Tlacote tiene 25.8% de gravas, 72.8% de arenas y 1.32% de finos y el banco Alpher tiene 13.11% de gravas, 85.83% de arenas y 1.045% de finos; lo anterior muestra que la diferencia de 13% en arenas en el contenido del Tepetate del banco Alpher (85.8%) con el banco Tlacote (72.8%) aumenta significativamente la resistencia en contacto con el agua en un tepetate, en cambio la diferencia de gravas, del 12.69% entre el banco del Tlacote (25.8%) y Alpher (13.11%) hace que sea menos resistente porque probablemente el agua no reacciona con las gravas o reacciona muy poco, por lo que el agua se pierde y baja la resistencia.

Luego, los bancos Tlacote y Alpher en sus dosificaciones parecidas de 1-1.54-0.7 y de 1-1.55-0.7, respectivamente, se observa que las resistencias también son muy diferentes, 83.75 kg/cm<sup>2</sup> y de 207.6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, lo que vuelve a corroborar que las granulometrías de los tepetates de los bancos Tlacote y Alpher repercuten en la resistencia final y la cantidad de agua se distribuye en la granulometría por lo que la resistencia se debe probablemente a la reacción del agua con las arenas y finos.

Para los bancos Mickey y Zaquia en la misma dosificación de 1-2.35-0.7, muestran resistencias muy parecidas de 142.026 y de 143.1 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente aun cuando las granulometrías son diferentes: 12.47% de gravas, 85.34% de arenas y 2.17% de finos para el banco Mickey y de 31.26% de gravas, 65.87% de arenas y 2.86% de finos para el banco Zaquia. En teoría, el banco Zaquia tendería a tener menor resistencia por la cantidad de gravas, sin embargo, el valor de resistencia se debe probablemente a que la mayor cantidad de gravas es de tamaños pequeños cercanos a los tamaños de arenas, por lo que parte de las gravas están reaccionando con el agua y el cemento; por lo tanto, la granulometría en un tepetate repercutirá en la resistencia.

*Tabla 28. Resistencias máximas obtenidas de las muestras de mortero.*

---

**Resistencia máxima**

**(Kgf/cm<sup>2</sup>)**

---

<b># de muestra – Banco</b>	<b>Proporción cemento - tepetate -agua</b>	<b>Dia 1</b>	<b>Dia 3</b>	<b>Dia 7</b>	<b>Dia 28</b>
1 Tlacote	1=3.2=0.635	14.575	35.214	64.337	104.677
2 Tlacote	1=1.54=0.7	13.351	34.004	48.565	83.753
3 Tlacote	1=2.75=1.08	3.548	3.63	13.351	26.703
4 Mckey	1=2.35=0.7	67.994	126.268	133.54	142.026
5 Mckey	1=2.25=0.7	19.619	60.693	74.05	110.469
6 Mckey	1=2.75=0.98	3.54	12.141	54.629	95.908
7 Mckey	1=3=0.725	3.630	30.360	46.118	84.976
8 Mckey	1=3.88=0.645	4.853	9.721	37.634	64.351
9 Alpher	1=1.55=0.7	27.913	104.406	139.24	207.669
10 Alpher	1=2.6=0.57	37.620	55.839	73.678	116.533
11 Alpher	1=2.75=1.08	15.771	47.355	52.196	103.195
12 Alpher	1=4=0.75	4.853	34.004	61.917	71.611
13 Zaquia	1=2.35=0.7	26.716	76.492	97.12	143.101
14 Zaquia	1=2.33=0.780	12.141	39.157	78.912	121.401

La Figura 73 muestra las resistencias máximas obtenidas respecto a las edades en las que fueron evaluadas, logrando apreciar el incremento de la resistencia y el comportamiento en cuanto a este parámetro, de cada uno de los especímenes.

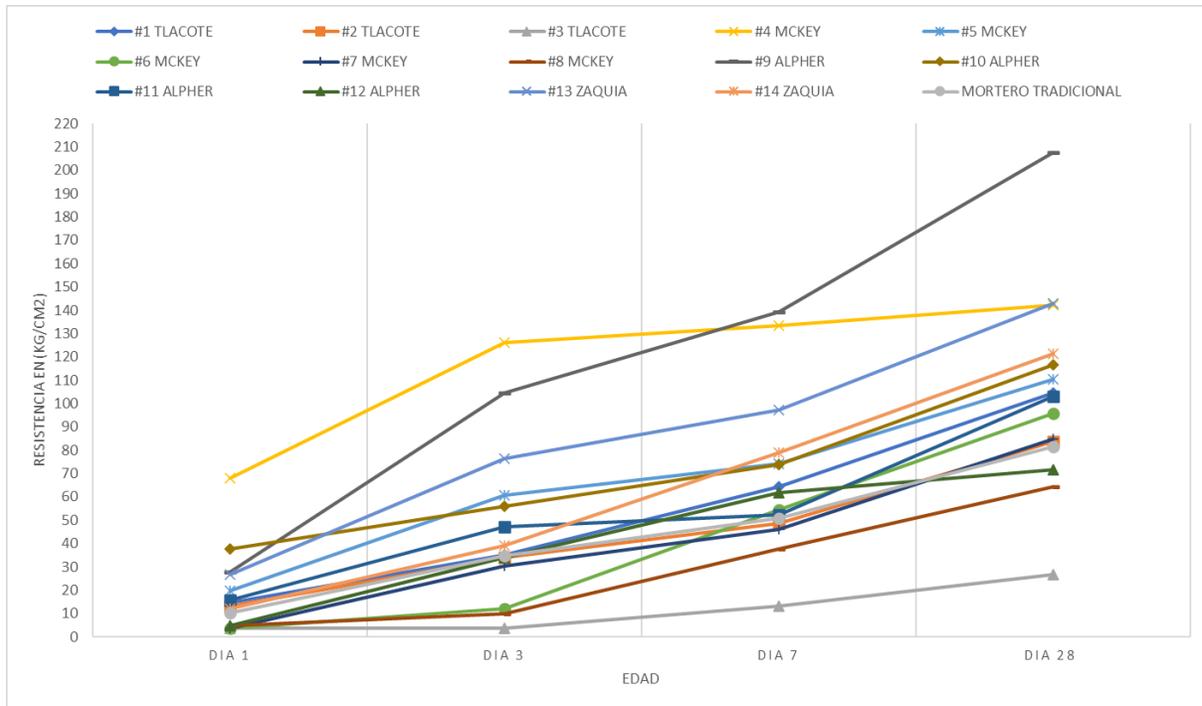


Figura 73. Resistencias de las muestras de mortero a base de tepetate.

## 7 Conclusiones

Concluimos que 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, es un suelo que se caracteriza por tener en su mayoría un alto porcentaje de Arenas con limos, resultado se corrobora con la clasificación de suelos edafológica y del SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos); de hecho los limos se confirman aún más con las pruebas de plasticidad que no mostraron valor alguno.

De los resultados obtenidos de las granulometrías realizadas podemos apreciar que el rango del contenido de Gravas va del 12.47% al 31.36%, donde el banco Mckey es el que tiene el menor porcentaje, y el banco Zaquia tiene el mayor porcentaje. En tanto las Arenas van desde el 65.67% hasta el 85.83%, correspondiendo al banco Zaquia el menor porcentaje y el mayor al banco Alpher. Pasando a los Finos, estos van desde el 1.04% al 2.86%, donde el banco Alpher es el del menor porcentaje y el banco Zaquia es el de mayor porcentaje.

Es interesante observar que los bancos muestreados en esta investigación se encuentran más alejados de la ciudad por lo que probablemente los suelos mostraron muy bajas cantidades de finos (1-3% aproximadamente), lo que muestra que estos suelos ya no estuvieron bajo agua o no son de origen lacustre como en la ciudad. Por lo tanto, los bancos más alejados de la ciudad tienden a tener menor cantidad de finos, lo que los hace cumplir con granulometrías con bajos contenidos de finos que requiere la práctica de la construcción.

De las granulometrías obtenidas podemos observar que las curvas en términos generales son muy parecidas, pero podemos notar gran similitud entre las curvas de Tlacote y Zaquia, así como entre la de Mckey y Alpher. Observando la curva granulométrica característica de una Arena bien graduada, se encuentra que tienen gran parecido entre la distribución granulométrica que muestran lo que nos indica que los Tepetates presentados en esta investigación no están tan alejados de tener una buena distribución granulométrica.

Respecto a la plasticidad es importante concluir que los suelos se encuentran prácticamente en el valle de Querétaro, que en algún momento estuvo bajo agua y por lo tanto son de origen lacustre, lo anterior hace concluir que muy probablemente los suelos del valle no presenten plasticidad por estar “lavados”. Lo anterior es muy importante porque la granulometría de

los suelos presentada (mayor cantidad de arenas y pocos finos de 1-3%) y la nulidad de plasticidad indica que no existe arcilla en la cantidad de finos reportada (1-3%).

Se concluye que las granulometrías con mayor cantidad de arenas y menos cantidad de gravas tienen mayor resistencia; sin embargo, si los tamaños de las gravas son cercanos a las arenas, las resistencias pueden aumentar también.

En las dosificaciones se concluye que las mejores fueron de 1=2.35=0.7 cemento- tepetate – agua, en donde se obtenían los mejores resultados con la mayor cantidad de tepetate y la cantidad de agua era la ideal para la reacción porque al aumentar la relación agua/cemento disminuía la resistencia. La muestra numero 4 correspondiente al banco Mckey y la muestra numero 13 correspondiente al banco Zaquia, fueron desarrolladas con la proporción anteriormente mencionada, de las cuales destacan sus resistencias máximas promedio a los 28 días de 142.026 kg/cm<sup>2</sup> y 143.101 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Referente a la proporción que la norma nos indica, en esta mezcla se utiliza 14.54% menos de tepetate, ya que la norma indica que por cada parte de cemento debe usarse 2.75 partes de Arena, a lo que en esta proporción por cada parte de cemento unamos 2.35 partes de Tepetate.

Este trabajo evalúa la factibilidad de la elaboración de materiales cementantes utilizando los suelos volcánicos (tepetate) de granulometría natural, los tiempos ensayados fueron a edades tempranas de 1, 3, 7 y 28 días. Por los resultados obtenidos se determina que si es factible la elaboración de materiales cementantes y que la cantidad del tepetate utilizada repercutirá en la resistencia final.

Respecto a la fluidez se puede observar que esta va variando en función de la resistencia, mientras la resistencia es mayor, la fluidez es menor, ese orden se puede observar en las muestras de todos los bancos. De manera general, la fluidez que se mostró en esta muestra va en el orden del 107.39% como la fluidez más baja, y de 113.63% como el valor más alto.

Por lo visto respecto a los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión podemos observar que 13 de los 14 proporcionamientos cumplen con las Resistencias promedio y la Resistencia mínima individual a la compresión que la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.

Hablando de las resistencias obtenidas por banco, se puede destacar que la resistencia más alta la cual fue de 207.669 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, se obtuvo en la muestra número 9 correspondiente al banco Alpher, la cual fue creada con una proporción 1= 1.55=0.7, cemento-tepetate-agua.

Continuando con las resistencias, esta vez analizándolas en base al banco de material usado, comenzando por el banco el Tlacote, de sus tres proporciones, la enlistada con el número 1 es la proporción que obtuvo la resistencia más alta, llegando a su falla a los 104.677 kg/cm<sup>2</sup> con una proporción 1=3.2=.635, cemento, tepetate-agua. Pasando al banco Mckey, la muestra enlistada con el número 4, con proporción 1=2.35=0.7 obtuvo su mayor resistencia, alcanzando los 142.026 kg/cm<sup>2</sup>. Continuando con el banco Alpher, como se dijo anteriormente, la muestra número 9 de la lista fue la de mayor resistencia, alcanzando 207.669 kg/cm<sup>2</sup> con una resistencia 1=1.55=.7 cemento-tepetate- agua. Hablando de las muestras del banco Zaquia, la muestra enlistada con el número 13 y una proporción de 1=2.35=0.7 cemento-tepetate-agua, obtuvo una resistencia de 143.101 kg/cm<sup>2</sup>.

Observando las mayores resistencias obtenidas, se destaca que tres de ellas cumplen con la resistencia mínima individual que la norma requiere en su tipo I, la cual es su clasificación con mayor resistencia.

De las 14 muestras analizadas, 13 de ellas cumplen con la resistencia mínima requerida por la norma en su tipo III, la cual nos indica una resistencia promedio de 60 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia mínima individual de 40 kg/cm<sup>2</sup>. El tipo II nos indica una resistencia promedio de 110 kg/cm<sup>2</sup> y para su resistencia mínima individual 75 kg/cm<sup>2</sup>, a lo que se obtuvo que 6 muestras de las desarrolladas cumplen con este tipo.

La introducción de este tipo de suelos volcánicos con granulometría natural en materiales cementantes proporciona una opción sustentable, económica y de fácil acceso a todos los constructores, sin tener la necesidad utilizar un agregado granular tan específico que muchas veces es producto de una trituración y que frecuentemente es necesario recorrer largas distancias para su obtención, haciéndolo más costoso y poco sustentable.

Dentro de las posibles aplicaciones se espera poder contar con un mortero el cual se pretende usar como recubrimiento y posteriormente irlo adaptando a la elaboración de un concreto.

# Referencias

- [1 B. Williams , «Tepetate in the Valley of Mexico,» *Ann. Assoc. Am. 284 Geog*, vol. 4, n°  
] 62, pp. 618-626, 1972.
- [2 G. E. Blight, *Mechanics of residual soils*, Rotterdam: Balkema, 1997.  
]
- [3 T. Lopez Lara , J. Hernandez Zaragoza , J. Horta , E. Rojas Gonzalez , C. Lopez Cajun  
] y G. Ramirez , «Sustainable Use of Tepetate Composite in Earthen Structure,» *Hindawi*,  
n° 6, 2013.
- [4 J. Gama Castro , E. Solleiro Rebolledo , S. Suegey y H. Cabada Baez , «El Recuso Suelo:  
] en Patrones de utilizacion, deterioro y restauracion de los recursos naturles de Mexico,»  
Facultad de Ciencias UNAM, Mexico, 2006.
- [5 J. Gama Castro , E. Solleiro Rebolledo , D. Flores Roman , S. Sedoy , H. Cabada Baez y  
] J. Diaz Ortega , «Los tepetates y su dinamica sobre la degradacion y el riesgo ambiental:  
el caso del Glacis de Buenavista, Morelos,» *Bolentin de la sociedad geologica mexicana*,  
vol. 59, n° 1, pp. 133-145, 2007.
- [6 T. Lopez Lara, J. Hernandez Zaragoza, J. Horta Rangel, E. Gonzalez Rojas, C. Rosales  
] Hurtado y D. Lopez Cajun , «Tepetate as Construction Material,» *JOURNAL OF  
MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING © ASCE*, pp. 1-5, 2013.
- [7 D. Q. Dubroeuq, P. Quantin y C. Zevrowski, «Los tepetates de origen volcánico en  
] México,» *Terra*, n° 7, pp. 3-12, 1989.
- [8 S. Rodriguez , M. Gutierrez Castorena, C. Hidalgo y C. Ortiz Solorio , «Intemperismo  
] en Tepetates y en cenizas volcanicas y su influencia en la formacion de Andisoles,»  
*TERRA*, n° 17, pp. 97-108, 1999.

- [9 Instituto Nacional de Estadística y Geografía, «Información Nacional sobre Perfiles de Suelo,» *INEGI*, vol. 25, n° 1.2, 2003.
- [1 D. C. Carreon Freyre y M. Cerca , «Integration of geological properties in the estimation of subsidence in two urban areas of Mexico,» *Engineering Geology Special Publication* , n° 22, 2009.
- [1 D. M. Healan , «Tula of the Toltecs: Excavations and survey,» *LA: University of Iowa Press*, vol. 1, 1989.
- [1 M. Rodriguez , «Compressed-earth-block walls in Mexico and Honduras,» *Environ. Impact Hous. Constr. Innovat.*, pp. 18-20, 2006.
- [1 R. R. Rama , «Closed-form heave solutions for expansive soils,» *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 114, n° 5, pp. 573-588, 1988.
- [1 T. Lopez Lara , J. Hernandez Zaragoza y C. Lopez Cajun, «Useful lifetime and suitable thickness of soil-lime mixture,» *Journal of Geotechnical Engineering*, Mexico , 2005.
- [1 U. Arroyo Abad , E. P. Gomez M., C. M. Hidalgo Moreno , Jürgen Mattusch y Rainer Wennrich, « Retention of phenylarsenicals in soils derivd from volcanic materials,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 186, n° 2-3, pp. 1328-1334, 2011.
- [1 C. Zebrowski, «Los suelos volcanicos endurecidos en America Latina,» *TERRA*, n° 10, pp. 15-23, 1992.
- [1 D. Flores , A. Gonzalez , J. R. Alcalá y J. R. Gama , «Los tepetates,» *Revista de Geografía* 7] *INEGI*, vol. 3, pp. 37-42, 1991.
- [1 T. Lopez Lara , J. Hernandez Zaragoza , J. Horta Rangel y M. Perez Rea , «Elaboracion de materiales similares al sillar usando Tepetate,» de *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, Cancun, Quintana Roo, 2012.
- [1 D. Flores Roman , J. Alcalá Martínez , A. Gonzalez Velazquez y Gama Castro J., « Duripans in the subtropical and temperate subhumid climate of the Trans-Mexico

- Volcanic Belt,» *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, vol. 13, n° 2, pp. 228-239, 1996.
- [2 L. Gonzalez Vallejo , INGENIERIA GEOLOGICA, Madrid: PEARSON , 2002.  
0]
- [2 V. Cervantes , J. Gama Castro, G. Hernandez y J. Meave, «The land classification  
1] system of San Nicolas Zoyatlan (México) Nahuatl Indegenous community,» *Human Ecology Review* , n° 12, pp. 44-59, 2005.
- [2 H. P. Navarro Garza , «Productividad del tepetate con sistemas rotacionales,» *Terra  
2] Latinoamerica*, 2004.
- [2 D. Flores Roman , J. Alcalá Martínez, A. Gonzalez Velazquez y J. Gama Castro , «Los  
3] Tepetates,» *Revista del Instituto Nacionnal de Estadistica, Geografia e Informatica*, vol. 3, n° 4, 1990.
- [2 E. Guerrero , J. Luna Mosqueda y E. Caballero Ochoa , «Diatribucion de los tepetates de  
4] la Republica Mexicana escala 1:4,000,000,» *Terra*, n° 10, pp. 131-136, 1992.
- [2 D. Flores Roman , J. Alcalá Martínez , A. Gonzalez Velasquez y J. Gama Castro , «Suelos  
5] con fragipán de origen volvanico en clima semicálido y subhúmedo, el caso del Noreste del estado de Morelos,» *TERRA*, pp. 151-163, 1992.
- [2 H. Peña y C. Zebrowski, «Los suelos y los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra  
6] Nevada,» *TERRA*, vol. 114, n° 5, pp. 573-588, 1992.
- [2 J. Gama Castro , E. Solleriro Rebolledo , D. Flores Roman , Sergey Sedov, H. Cabadas  
7] Baez y J. Diaz Ortega , «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*, vol. LIX, n° 1, pp. 133-145, 2007.
- [2 D. Carreon Freyre y M. Cerca , «Integration of geological 239 properties in the estimation  
8] of subsidence in two uurban areas of 240 Mexico.,» *Engineering geology for tomorrow's cities, Geological Society of London.*, vol. 241, n° 22, 2009.

- [2 M. Gutierrez Castorena, C. Ortiz Solorio y P. Sanchez Guzman, «Clay coatings  
9] formaation in tepetates from Texcoco, Mexico,» *259 Catanea*, pp. 411-424, 2007.
- [3 Comisión Nacional del Agua, « Registro Mensual de Temperatura Media en °C,»  
0] Queretaro, Mex. , 2017.
- [3 Comision Nacional del Agua , « Registro Mensual de Precipitación Pluvial en mm,»  
1] Queretaro, Mex. , 2017.
- [3 INEGI, «Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectorial Edafológico Escala 1:250  
2] 000, serie II.INEGI. Guía para la Interpretación de la Cartografía Edafológica,» Mexico,  
2018.
- [3 M. Olivares , C. Galan y J. Roa, «Los composites: características y aplicaciones en la  
3] edificacion,» *Informes de la Construcción*, vol. 54, nº 484, 2003.
- [3 J. Bang, G. Prabhu, Y. Jang y Y. Kim, «Development of Ecoefficient Engineered  
4] Cementitious Composites Using Supplementary Cementitious Materials as a Binder and  
Bottom Ash Aggregate as Fine Aggregate,» . *International Journal of Polymer Science*,  
p. 12, 2015.
- [3 V. Carpio Lopez y L. Viera Arroba, «Materiales Cementantes Compuestos (ccm): estado  
5] del arte, situación actual y aplicaciones en la Ingeniería Civil,» *INGENIO*, vol. 2, nº 2, p.  
12, 2019.
- [3 H. Martinez Angeles, *Manual de practicas-Laboratorio de Ingeniería de Materiales*,  
6] Queretaro, 2020.
- [3 ASTM, *C 109/C 109M – 02 Standard Test Method for Compressive Strength of*  
7] *Hydraulic Cement Mortars*.
- [3 ONNCCE, *NMX-C-486-ONNCCE-2014 MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL*,  
8] Mexico , 2014.

- [3 CEMEX , CEMEX México, 2021. [En línea]. Available: 9] [https://www.cemex.com/web/cemex-mexico/comunicados/comunicados-full-view/-/asset\\_publisher/dsI7rkVsUZp8/content/cemento-cemex-extra?\\_com\\_liferay\\_asset\\_publisher\\_web\\_portlet\\_AssetPublisherPortlet\\_INSTANCE\\_dsI7rkVsUZp8\\_redirect=https%3A%2F%2Fwww.cemex.com%3](https://www.cemex.com/web/cemex-mexico/comunicados/comunicados-full-view/-/asset_publisher/dsI7rkVsUZp8/content/cemento-cemex-extra?_com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_dsI7rkVsUZp8_redirect=https%3A%2F%2Fwww.cemex.com%3). [Último acceso: 13 Abril 2022].
- [4 Comision Federal de Electricidad, *Manual de diseño de obras civiles. Geotecnia*, 0] Mexico: Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1993.
- [4 Seecretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT), *MMP. METODO DE MUESTREO 1] Y PRUEBA DE MATERIALES. M-MMP-1-06/03*, Mexico, 2003.
- [4 Secretaria de Comunicaciones y Transportes , *Limites de Consistencia M.MMP.1.07/07*, 2] México, 2007.
- [4 Geotecnia y Mecanica de Suelos , «ABC Geotechnical Consulting,» 2022. [En línea]. 3] Available: <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/limites-atterberg/>. [Último acceso: 01 Junio 2022].
- [4 FAO, «FAO,» [En línea]. Available: 4] [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#top](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#top). [Último acceso: 27 Mayo 2022].
- [4 Secretaria de Comunicaciones y Transportes, *Resistencia a la Degradación del Agregado 5] Grueso mediante la Máquina de los Ángeles M.MMP.2.02.032/18*, México: SCT, 2018.
- [4 D. Rosales Hurtado , *Caracterización de los "Tepetates" usados como material de 6] sustitucion en la ciudad de Querétaro*, Querétaro, 2011.
- [4 A. A. Manilla Aceves, G. E. Martinez Peña, A. Perez Salazar y J. C. Vazquez Paulino , 7] «Instituto Mexicano del Transporte,» 20 mayo 2022. [En línea]. Available: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt203.pdf>.

# Anexos

## Anexo 1. Granulometrías completas de los bancos muestreados.

### Granulometría #1 banco “Tlacote”

<b>Banco #1</b>		<b>Tlacote</b>		<b>Peso total inicial de la muestra 2750</b>	
<b>Malla No.</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido</b>	<b>% Retenido</b>	<b>%Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>
<b>1/2"</b>	12.5	0	0	0	100
<b>1/4"</b>	6.3	494.7	17.989	17.989	82.011
<b>4</b>	4.75	216.5	7.873	25.862	74.138
<b>6</b>	3.35	365.4	13.287	39.149	60.851
<b>8</b>	2.38	79.2	2.880	42.029	57.971
<b>10</b>	2	166.8	6.065	48.095	51.905
<b>20</b>	0.85	296.4	10.778	58.873	41.127
<b>40</b>	0.425	257.7	9.371	68.244	31.756
<b>60</b>	0.25	678.2	24.662	92.905	7.095
<b>100</b>	0.15	112.6	4.095	97.000	3.000
<b>200</b>	0.075	46	1.673	98.673	1.327
<b>charola</b>		11.1	0.404	99.076	0.924
<b>Total</b>		2724.6	99.076	99.076	

Granulometría de banco #2 "McKey"

<b>Banco #2</b>		<b>McKey</b>		<b>Peso total inicial de la muestra 2537.2</b>	
<b>Malla No.</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>
<b>1/2"</b>	12.5	84.2	3.319	3.319	96.681
<b>1/4"</b>	6.3	130.8	5.155	8.474	91.526
<b>4</b>	4.75	101.6	4.004	12.478	87.522
<b>6</b>	3.35	154.6	6.093	18.572	81.428
<b>8</b>	2.38	39.8	1.569	20.140	79.860
<b>10</b>	2	90.6	3.571	23.711	76.289
<b>20</b>	0.85	235.4	9.278	32.989	67.011
<b>40</b>	0.425	250.4	9.869	42.858	57.142
<b>60</b>	0.25	566.6	22.332	65.190	34.810
<b>100</b>	0.15	561	22.111	87.301	12.699
<b>200</b>	0.075	267	10.523	97.824	2.176
<b>charola</b>		54.4	2.144	99.968	0.032
<b>Total</b>		2536.4	99.968	99.968	

Granulometría #3 banco "Apher"

<b>Banco #3</b>		<b>Alpher</b>		<b>Peso total inicial de la muestra</b>	
				<b>3155.7</b>	
<b>Malla No.</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido</b>	<b>% Retenido</b>	<b>%Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>
<b>1/2"</b>	12.5	140.1	4.440	4.440	95.560
<b>1/4"</b>	6.3	157.4	4.988	9.427	90.573
<b>4</b>	4.75	116.4	3.689	13.116	86.884
<b>6</b>	3.35	266.8	8.455	21.570	78.430
<b>8</b>	2.38	73.7	2.335	23.906	76.094
<b>10</b>	2	112.8	3.574	27.480	72.520
<b>20</b>	0.85	328.8	10.419	37.900	62.100
<b>40</b>	0.425	360.2	11.414	49.314	50.686
<b>60</b>	0.25	968.7	30.697	80.011	19.989
<b>100</b>	0.15	425.9	13.496	93.507	6.493
<b>200</b>	0.075	171.9	5.447	98.954	1.046
<b>charola</b>		6.3	0.200	99.154	0.846
<b>Total</b>		3129	99.154	99.154	

Granulometría #4 banco “Zaquia”

<b>Banco</b>		<b>Zaquia</b>		<b>Peso total inicial</b>	
<b>#4</b>				<b>2578.2</b>	
				<b>de la muestra</b>	
<b>Malla</b>	<b>Abertura</b>	<b>Peso</b>	<b>%</b>	<b>%Retenido</b>	<b>% Que</b>
<b>No.</b>	<b>(mm)</b>	<b>retenido</b>	<b>Retenido</b>	<b>acumulado</b>	<b>pasa</b>
<b>1/2"</b>	12.5	180.6	7.005	7.005	92.995
<b>1/4"</b>	6.3	359.2	13.932	20.937	79.063
<b>4</b>	4.75	266.2	10.325	31.262	68.738
<b>6</b>	3.35	379.4	14.716	45.978	54.022
<b>8</b>	2.38	115	4.460	50.438	49.562
<b>10</b>	2	163.4	6.338	56.776	43.224
<b>20</b>	0.85	164.4	6.377	63.153	36.847
<b>40</b>	0.425	281.4	10.915	74.067	25.933
<b>60</b>	0.25	271	10.511	84.578	15.422
<b>100</b>	0.15	174.4	6.764	91.343	8.657
<b>200</b>	0.075	149.4	5.795	97.138	2.862
<b>charola</b>		48.3	1.873	99.011	0.989
<b>Total</b>		2552.7	99.011	99.011	

Anexo 2. Desgaste de los ángeles

<b>Tipo de composición de la muestra de prueba</b>	<b>Rango de tamaños</b>		<b>Masa de la fracción g</b>	<b>Carga abrasiva</b>		<b>Pf</b>	<b>Pa</b>
	<b>mm</b>	<b>Designación</b>		<b># de esferas</b>	<b>Masa Total g</b>		
<b>D</b>	2.36-4.75	N°8-N°4	5000±10	6	2500±15		
Tlacote	2.36-4.75	N°8-N°4	5012	6	2502	1243.8	75.184
Mckey	2.36-4.75	N°8-N°4	5007	6	2502	1846.3	63.126

Alpher	2.36- 4.75	N°8-N°4	5004	6	2502	1798. 9	64.05 1
Zaquia	2.36- 4.75	N°8-N°4	5010	6	2502	1144. 2	77.16 1

### Anexo 3. Fluidez de las muestras de mortero

- Fluidez de la muestra #1 banco Tlacote

<b>Mezcla #1</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.6	22.3	107.9
<b>2</b>	10.9	22.4	
<b>3</b>	10.6	22.4	
<b>4</b>	10.9	22.3	
<b>Promedio</b>	10.75	22.35	

- Fluidez de la muestra #2 banco Tlacote

<b>Mezcla #2</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.7	22.7	109.23
<b>2</b>	11	22.6	
<b>3</b>	10.7	22.6	
<b>4</b>	10.9	22.7	
<b>Promedio</b>	10.825	22.65	

- Fluidez de la muestra #3 banco Tlacote

<b>Mezcla #3</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	11	23.5	113.63
<b>2</b>	10.9	23	

<b>3</b>	11.2	23.5
<b>4</b>	10.9	23
<b>Promedio</b>	11	23.5

- Fluidez de la muestra #4 banco Mckey

<b>Mezcla #4</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.7	22.5	107.87
<b>2</b>	10.9	22.4	
<b>3</b>	10.7	22.4	
<b>4</b>	10.9	22.5	
<b>Promedio</b>	10.8	22.45	

- Fluidez de la muestra #5 banco Mckey

<b>Mezcla #5</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.7	22.7	108.98
<b>2</b>	10.7	22.5	
<b>3</b>	10.9	22.6	
<b>4</b>	10.9	22.5	
<b>Promedio</b>	10.8	22.57	

- Fluidez de la muestra #6 banco Mckey

<b>Mezcla #6</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.8	22.6	108.77
<b>2</b>	10.8	22.6	
<b>3</b>	10.8	22.7	

<b>4</b>	10.9	22.5
<b>Promedio</b>	10.825	22.6

- Fluidez de la muestra #7 banco Mckey

<b>Mezcla #7</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.8	22.8	110.6
<b>2</b>	10.8	22.7	
<b>3</b>	10.7	22.7	
<b>4</b>	10.9	22.8	
<b>Promedio</b>	10.8	22.75	

- Fluidez de la muestra #8 banco Mckey

<b>Mezcla #8</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.9	22.8	110.36
<b>2</b>	10.9	22.9	
<b>3</b>	10.7	22.8	
<b>4</b>	10.9	22.8	
<b>Promedio</b>	10.85	22.825	

- Fluidez de la muestra #9 banco Alpher

<b>Mezcla #9</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.7	22.5	108.08
<b>2</b>	10.7	22.5	
<b>3</b>	10.8	22.5	
<b>4</b>	10.9	22.5	
<b>Promedio</b>	10.775	22.5	

- Fluidez de la muestra #10 banco Alpher

<b>Mezcla #10</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.7	22.5	109.06
<b>2</b>	10.7	22.5	
<b>3</b>	10.7	22.4	
<b>4</b>	10.9	22.5	
<b>Promedio</b>	10.75	22.475	

- Fluidez de la muestra #11 banco Alpher

<b>Mezcla #11</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.8	22.7	110.87
<b>2</b>	10.8	22.8	
<b>3</b>	10.8	22.8	
<b>4</b>	10.8	22.8	
<b>Promedio</b>	10.8	22.775	

- Fluidez de la muestra #12 banco Alpher

<b>Mezcla #12</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.8	22.9	110.36
<b>2</b>	10.9	22.8	
<b>3</b>	10.9	22.8	
<b>4</b>	10.8	22.8	
<b>Promedio</b>	10.85	22.825	

- Fluidez de la muestra #13 banco Zaquia

<b>Mezcla #13</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.8	22.5	107.39
<b>2</b>	10.9	22.4	
<b>3</b>	10.7	22.4	
<b>4</b>	10.9	22.5	
<b>Promedio</b>	10.825	22.45	

➤ Fluidez de la muestra #14 banco Zaquia

<b>Mezcla #14</b>			
<b># de medición</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Df (cm)</b>	<b>% de fluidez</b>
<b>1</b>	10.8	22.7	109.425
<b>2</b>	10.9	22.8	
<b>3</b>	10.9	22.8	
<b>4</b>	10.9	22.8	
<b>Promedio</b>	10.875	22.775	

#### Anexo 4. Resistencia a la compresión de las muestras de concreto

Resistencia a la compresión #1 Tlacote

<b>Cantidades usadas</b>	<b>#1 Tlacote</b>			
	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	600gr	1900 gr	635 ml	1=3.2
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	2.69	8.04	15.18	27.68
	3.57	9.82	16.96	21.63
	4.46	8.04	15.18	27.68
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	3.573	8.633	15.773	25.663
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	14.575	35.214	64.337	104.677

Resistencia a la compresión #2 Tlacote

<i>#2 Tlacote</i>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	1100gr	1700 gr	700 ml	1=1.54
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	2.68	8.04	12.5	16.96
	3.57	5.36	14.29	25
	3.57	11.61	8.93	19.64
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	3.273	8.336	11.906	20.533
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	13.351	34.004	48.565	83.753

Resistencia a la compresión #3 Tlacote

<i>#3 Tlacote</i>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	1000gr	2750 gr	1080 ml	1=2.75
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	0.87	0.89	3.57	6.25
	0.87	0.89	3.57	6.25
	0.87	0.89	2.68	7.14
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	0.87	0.89	3.273	6.546
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3.548	3.630	13.351	26.703

Resistencia a la compresión #4 Mckey

<i>#4 Mckey</i>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	850gr	2000 gr	700 ml	1=2.35
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	14.29	37.5	33.04	38.39
	17.86	22.33	40.18	29.46
	17.86	33.04	25	36.61
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	16.67	30.956	32.74	34.82
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	67.994	126.268	133.542	142.026

Resistencia a la compresión #5 Mckey

<b>#5 Mckey</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	800gr	1800 gr	700 ml	1=2.25
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	4.56	15.18	16.96	25
	5.23	12.5	19.64	25
	4.64	16.96	17.86	31.25
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	4.81	14.88	18.15	27.083
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	19.619	60.693	74.05	110.469

Resistencia a la compresión #6 Mckey

<b>#6 Mckey</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	1000gr	2750 gr	980 ml	1=2.75
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	0.87	2.68	18.75	18.75
	0.87	3.57	11.61	24.11
	0.87	2.68	9.82	27.68
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	0.87	2.976	13.393	23.513
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3.548	12.141	54.629	95.908

Resistencia a la compresión #7 Mckey

<b>#7 Mckey</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	625gr	1875 gr	725 ml	1=3
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	0.89	8.04	10.71	22.32
	0.89	6.25	13.39	22.32
	0.89	8.04	9.82	17.86
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	0.89	7.443	11.306	20.83
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3.630	30.360	46.118	84.976

Resistencia a la compresión #8 Mckey

<b>#8 Mckey</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	500gr	1900 gr	645 ml	1=3.88
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	0.89	1.79	9.82	14.29
	0.89	2.68	9.82	17.86
	1.79	2.68	8.04	15.18
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	1.19	2.382	9.226	15.776
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4.853	9.721	37.634	64.351

Resistencia a la compresión #9 Alpher

<b>#9 Alpher</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	1100gr	1700 gr	700 ml	1=1.55
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	6.25	25	29.46	59.89
	7.14	26.79	31.25	44.64
	7.14	25	41.7	48.21
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	6.84	25.596	34.137	50.91
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	27.913	104.406	139.24	207.669

Resistencia a la compresión #10 Alpher

<b>#10 Alpher</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	700gr	1800gr	570ml	1=2.6
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	10.71	13.39	9.54	19.64
	9.82	15.18	26.79	35.71
	7.14	12.5	17.86	30.36
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	9.223	13.69	18.063	28.57
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	37.62	55.839	73.678	116.533

Resistencia a la compresión #11 Alpher

<b>#11 Alpher</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	1000gr	2750 gr	1080 ml	1=2.75
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	2.68	11.61	11.61	24.11
	4.46	11.61	13.39	25
	4.46	11.61	13.39	26.79
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	3.866	11.61	12.797	25.3
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	15.771	47.355	52.196	103.195

Resistencia a la compresión #12 Alpher

<b>#12 Apher</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	500gr	2000 gr	750 ml	1=4
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	0.89	8.04	13.39	16.96
	0.89	8.93	17.86	22.32
	1.79	8.04	14.29	13.39
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	1.19	8.336	15.18	17.556
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4.853	34.004	61.917	71.611

Resistencia a la compresión #13 Zaquia

<b>#13 Zaquia</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	850gr	2000 gr	700 ml	1=2.35
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	8.93	15.18	23.21	32.14
	5.36	20.54	24.11	41.07
	5.36	20.54	24.11	32.04
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	6.55	18.753	23.81	35.083
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	26.716	76.492	97.12	143.100

Resistencia a la compresión #14 Zaquia

<b>#14 Zaquia</b>				
<b>Cantidades usadas</b>	<b>Cemento</b>	<b>Tepetate</b>	<b>Agua</b>	<b>Proporción</b>
	750gr	1750 gr	780 ml	1=2.33
<b>Tiempo de curado</b>	<b>Dia</b>			
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>Cargas máximas obtenidas (KN)</b>	2.68	9.6	14.29	35.71
	2.68	9.6	19.64	26.79
	3.57	9.6	24.11	26.79
<b>Carga máxima promedio (KN)</b>	2.976	9.6	19.346	29.763
<b>Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	12.141	39.157	78.912	121.401