

EL TEPETATE Y SU APROVECHAMIENTO COMO REVOQUE PARA LA PROTECCIÓN DE LAS SUPERFICIES DE TIERRA

Esmeralda Avila Boyas¹, Luis Fernando Guerrero Baca²

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, CDMX, México, arqavilaboyas80@gmail.com

²Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, CDMX, México, luisfg1960@yahoo.es

Palabras clave: tradición constructiva, caracterización, comportamiento, absorción, tiempo

Resumen

Los suelos llamados “tepetates” abundan en el Eje Neovolcánico de México. Son considerados suelos erosionados y una de sus características principales es su baja o nula fertilidad, y, debido a esta condición por años, las comunidades ubicadas en el Valle de México y el Altiplano Central han desarrollado saberes y experiencias para su transformación y aprovechamiento. Existen evidencias milenarias en los sitios arqueológicos de Cacaxtla y Teotihuacán sobre la importancia que tuvo el tepetate como material de construcción y gracias a su versatilidad pudo emplearse en diferentes componentes. Sin embargo, actualmente su uso en la construcción se limita al de relleno bajo cimentaciones, calles y carreteras o para compensar suelos arcillosos. Este documento presenta los avances de una investigación tendiente a mostrar el potencial del uso del tepetate como material de construcción y su aprovechamiento como revoque para la protección, restauración y mantenimiento del patrimonio edificado con tierra. Se ha logrado establecer una relación entre los procesos de las tradiciones regionales y la ciencia de los materiales, para potencializar su empleo a partir del control de su selección, triturado, humectación, amasado, tiempo de “dormido” y aplicación, obteniéndose destacables incrementos en su plasticidad, resistencia y control de la absorción hídrica tanto superficial como capilar, en comparación con el mismo material usado en su forma natural.

1 INTRODUCCIÓN

Existen varias definiciones de los suelos tipo tepetate, pues es un término que puede modificarse según la disciplina, región o país que lo defina y el enfoque con el que se analice. Los tepetates son aquellas capas volcánicas endurecidas, sin importar las mecánicas de su formación, las cuales ocurren en diversas regiones del centro de México asociadas comúnmente con suelos arcillosos (Díaz et al., 2010). Esta definición es la que más se acerca al uso de la tierra como material de construcción ya que describe dos características importantes, la primera es que la formación de este tipo de suelos depende del clima, región y el lugar, ya que al ser materiales naturales no están estandarizados y puede existir una variedad de tepetates con elementos metálicos distintos. Sin embargo, la segunda característica de este material y que es el común denominador para su caracterización, se centra en la presencia de un componente esencial en su estructura mineralógica y que resulta clave para su aplicación en revoques, morteros de pega y la elaboración de muros de tierra amasada y adobes. Se trata de su conformación a partir de un tipo de filosilicatos conocidos como arcillas jóvenes, alófanos o amorfos que, gracias a su morfología y homogeneidad, establecen un adecuado equilibrio con la humedad ambiental, lo que les confiere notable estabilidad y durabilidad ante fenómenos climatológicos intensos (Dethier, 2019).

La zona del eje Neovolcánico ha despertado por años el interés científico por estudiar las características de los tepetates, pues se trata de suelos endurecidos por los cambios progresivos de temperatura asociada al vulcanismo, lo que les confiere baja porosidad, como resultado de su compactación o cementación dependiendo la cantidad de minerales y combinaciones de alófanos que contengan.

El Altiplano Central de México, donde se ubican los valles altos de los estados de Puebla y Tlaxcala, es una de las zonas en donde se ha concentrado más el estudio de la aplicación de

los suelos tipo tepetate. Existe una tradición desde la época prehispánica por habilitar los suelos erosionados por medio de métodos empíricos a través del empleo de materiales naturales. Esta herencia constructiva de las culturas mesoamericanas como los Olmecas Xicalancas y los Cholutecas que edificaron grandes complejos habitacionales y ceremoniales en Cacaxtla, Tizatlán, Cholula y Xochitécatl, muestra la evidencia del buen manejo de este material como base para la construcción, así como su adaptabilidad a diferentes sistemas constructivos tradicionales.

El tepetate es un material que posee propiedades como baja fertilidad, alta resistencia a la absorción de agua, destacable capacidad de carga y versatilidad de aplicación. Estas características han permitido que por milenios se haya empleado como sustrato excavado para confinar túneles, galerías y espacios de guardado de alimentos; como componente de mamposterías al cortarse en bloques; como materia prima para elaborar adobes; como mortero para asentar piedras, adobes y los propios tepetates en bloque, y como revoques.

Este trabajo se ha centrado justamente en esta última aplicación puesto que se carece de estudios de caracterización y análisis experimentales que permitan poner en valor su capacidad al aplicarse como volúmenes de integración en huecos derivados de daños o deterioros en estructuras antiguas y, sobre todo, evaluar su comportamiento como revoque para la conservación y protección del patrimonio edificado tanto de tierra como de otros materiales porosos.

Los estudios que se tienen sobre el empleo del tepetate lo han analizado como un “problema” desde el punto de vista de la agricultura e ingeniería forestal, como consecuencia de su baja fertilidad (Prat et al, 2018) y, por otra parte, su empleo constructivo se ha limitado a su explotación para la ingeniería civil (Juárez; Rico, 2010) como un material de relleno y sub-base de calles y carreteras, de manera que se ha desperdiciado su posible uso como recurso de edificación.

Los revoques conforman componentes muy importantes dentro de la arquitectura y construcción con tierra, por varias razones que no sólo implican las cuestiones estéticas, pues además de ser reciclables, económicos y sostenibles, se encargan de regular la humedad y temperatura del ambiente. Su aplicación se puede dar tanto en interiores como en exteriores, siempre y cuando el soporte sea compatible y la fachada esté protegida de escurrimientos continuos del agua de lluvia por cornisas o aleros.

2 OBJETIVO

El presente documento muestra los resultados de una serie de experimentos enfocados al análisis y viabilidad de aplicación de revoques de tepetate, utilizando como variable los tiempos de maduración en las mezclas. El objetivo específico en este caso ha sido verificar si los procesos de *dormido* tras la humectación de cada mezcla generan cambios físicos y químicos, en especial en la cohesividad y resistencia del material. De esta forma, se busca aprovechar sus cualidades para obtener revoques que resulten sostenibles y ayuden a salvaguardar no sólo al patrimonio construido con tierra, sino que también puedan aplicarse tanto en materiales tradicionales como contemporáneos.

3 METODOLOGIA

La investigación se enfoca en la caracterización del material mediante los límites de Atterberg, y en el análisis comparativo de absorción capilar por el método de la pipeta, resistencia a compresión, cohesividad, retracción superficial, retracción volumétrica y adherencia al soporte en probetas. La variable que se tomó en cuenta fue el tiempo de maduración de la materia prima, para el cual se establecieron cuatro intervalos: inmediato, 24 horas, una semana y un mes.

3.1 Caracterización del tepetate, variables y elaboración de muestras

Los estudios sobre los suelos tipo tepetate contribuyen al conocimiento sus diferentes cualidades, en función del objetivo que se persiga con su aplicación. Es por eso que, si se desea identificar su potencial de empleo en la edificación, la información desde la ingeniería civil, la arqueología o la agronomía no es suficiente para su comprensión, puesto que no se vislumbran las variables que se relacionan con la estabilidad de los componentes constructivos como parte de la arquitectura. En la tabla 1 se presentan las características principales de este material, basadas en la caracterización previa que hicieron varios autores (Quantin et al., 1992; Flores et al., 1992; Gama Castro et al, 2007).

Tabla 1. Características fisicoquímicas del tepetate

Formación por compactación o cementación
Alta densidad
Conductividad hidráulica baja
Retención de humedad baja
Baja a nula fertilidad

Los tepetates aparentemente exhiben una matriz compuesta por arena, limo y porcentajes de filosilicatos amorfos denominados alófanos que desde la geología se consideran como “arcillas jóvenes”. Esta cualidad es un rasgo singular de estos materiales y que ha llevado en muchos estudios a una caracterización errónea. Cuando se realizan análisis granulométricos utilizando de manera convencional las “torres de tamices” es posible separar de manera aparente los componentes del suelo por tamaño de granos. Sin embargo, la pocas veces se procede a realizar el triturado de los materiales que se quedaron atrapados en los tamices superiores y que por su tamaño se han considerado por ejemplo gravas, gravillas arenas gruesas o finas.

Cuando el material grueso se muele manualmente mediante un mortero, resulta que lo que parecían ser partículas mayores son simplemente “terrones” es decir, conglomerados de la misma materia prima. La morfología de los alófanos y las diferentes presiones a las que fueron sometidos a lo largo de su conformación geológica les hace retener humedad a nivel microscópico y por lo tanto mantenerse ligados entre sí. Por lo tanto, no se trata realmente gravas o arenas como sucede con la mayoría de los suelos en los que estos componentes tienen cristales claramente identificables al microscopio por su forma prismática sino simples conglomerado de los mismos alófanos.

Entonces, al repetir este tipo de pruebas con el adecuado molido, se hace evidente que la caracterización granulométrica inicial basada en las normas establecidas no genera datos correctos sobre los tepetates puesto que al final es posible de manera mecánica hacer que todo el material puesto inicialmente en la torre de tamices las traspase y llegue a la charola de captación.

Es por ello por lo que una de las principales aportaciones del presente tipo de estudios parte del correcto tamizado y triturado de la materia prima a fin de obtener una masa uniforme con la cual proceder a trabajar. Además, esta cualidad del tepetate permite realizar ajustes en su granulometría, a fin de obtener diferentes cualidades dependiendo del uso que se le quiera dar en la edificación. Si por ejemplo se requiriera tener una granulometría con mayor diversidad, simplemente se procede a triturar la materia prima el tiempo necesario hasta obtener la graduación deseada.

Esta variedad de dimensión de componentes genera un comportamiento físico y mecánico diferenciado que es muy evidente al analizar por ejemplo su resistencia mecánica a la compresión simple (Zebrowski, 1992).

Se han hecho estudios de la materia prima antes de ser procesada, es decir, cortando secciones consolidadas directamente del suelo. Esto ha llevado a identificar para el caso del tepetate al menos dos tipos de conglomerados a los cuales se les ha llamado: *fragipanes* y *duripanes*. Sobre el comportamiento mecánico relacionado con la resistencia a compresión, Flores et al. (1996) encontraron que generalmente los primeros tienen una resistencia menor a 1,0 MPa y los segundos tienen una resistencia mayor a 2,5 MPa, sólo que éstos últimos sufren mayor deformación. Lógicamente, una condición que altera a los tepetates que se analizan al tomarse directamente de la naturaleza es la humedad, pues cuando se incrementa su contenido, su resistencia a la compresión simple baja considerablemente.

El tepetate que se utilizó para la elaboración de las probetas en esta investigación fue tomado de la zona de Tlaxco, Tlaxcala, en el Altiplano Central de México. De acuerdo con los resultados del estudio de los límites de Atterberg se detectó un límite líquido de 27,5%, un límite plástico de 19,24% y, por lo tanto, un índice de plasticidad de 8,26%. Con base en esta información se considera según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) que se trata de una “arcilla con arena fina de color café claro”, correspondiente al tipo “CL”, es decir, “arcilla de baja plasticidad”. Una vez que se realizó la adecuada selección de la materia prima y su cuidadosa trituración manual, se planteó documentar cuatro intervalos de tiempo de “dormido” de la materia prima previamente humedecida: tiempo inmediato, 24 horas, una semana y un mes, para analizar la influencia que cobra sobre el tepetate el tiempo de maduración en las mezclas.

Las actividades de esta investigación se realizaron en el Laboratorio de Tecnologías Tradicionales y Sostenibles para la Conservación del Patrimonio Cultural de la Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía (ENCRyM-INAH). Como primer análisis se realizó un ensayo de cohesividad de los cuatro intervalos de mezclas para revisar el comportamiento plástico y la influencia en los tiempos de maduración.

Para revisar la retracción superficial y adherencia a la superficie se realizaron probetas de revoque a la intemperie de cada intervalo, las cuales fueron monitoreadas por seis meses. Para medir la retracción volumétrica y la absorción de agua se realizó una especie de losetas de 10 x 10 cm, con un espesor de 1.5 cm. Una vez que se midió la reducción dimensional de las probetas secas correspondientes a cada periodo de “dormido” se procedió a estudiar su resistencia a la humedad absorbida por superficie. Como no existen estándares para evaluar los revoques de tierra en México se tomó como referencia la norma española UNE-EN-16302 (2013), que consiste en la medición de la penetración de agua, bajo una presión análoga a la que ejerce el agua de lluvia.

Para el ensayo de resistencia a compresión simple se usó como referencia la norma mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2004 (2004) y se realizó una adecuación debido a que las muestras evaluadas tenían forma cúbica con dimensiones de 5,5 cm por lado. Para esta evaluación se tomaron dos series de probetas: bloques cortados del tepetate de origen natural y las probetas cúbicas normadas.

4 RESULTADOS

4.1 Ensayo de cohesividad

El ensayo de cohesividad sólo funciona cuando la tierra no contiene componentes de más de dos milímetros de grosor, por esa razón es necesario cribar el material antes de realizar la prueba. Se inicia el mezclado agregando poco a poco agua hasta formar una masa, una vez conformada se procede a moldear con las manos una barra cilíndrica de 20 cm de largo por 2 cm de diámetro. Este procedimiento debe realizarse a la mayor velocidad posible a fin de no alterar los resultados. Se sabe que entre más se combine el material y más tiempo transcurra en la elaboración de la barra se le confiere mayor plasticidad a la tierra lo que no permitirá que los resultados comparativos sean fiables.

La barra se realiza sobre un papel que se coloca cerca de la orilla de una mesa que no tenga el borde redondeado sino en ángulo. Con una mano se jala lentamente la hoja de manera

perpendicular a la mesa mientras que con la otra mano se cuida el otro borde de la barra para que no se mueva. Conforme se procede, la barra sobresale y queda colgando hasta romperse y caer en la mano que jala, cuidando de que la fracción no termine en el piso. Se repite el procedimiento hasta que se rompa la barra progresivamente y cada una de las fracciones se coloca en la mesa para proceder a la medición de su longitud. Si la diferencia entre la porción más pequeña y la más grande es mayor a un centímetro se debe repetir la prueba.

En caso de que esto no suceda se miden las partes y se saca un promedio de su longitud. Como se sabe, entre más cortas sean las fracciones en las que se rompe la barra, el material está menos cohesionado, como sucede normalmente con las tierras arenosas. En el polo opuesto, las fracciones largas son indicio de una mayor cohesividad del material, como es característico de los suelos francos o arcillosos. Minke (2013) considera que para revoques resultan apropiadas longitudes de rotura de 5 a 8 cm.

Como el objetivo del ensayo fue examinar la influencia de la maduración de las mezclas sobre la consistencia plástica del material, se elaboraron simultáneamente y se hicieron las pruebas de “tiempo inmediato”. Asimismo, se conservaron en un recipiente cerrado en bolsas de plástico las mezclas correspondientes a los intervalos de 24 horas, una semana y un mes. Los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Longitud de fracciones de la barra en el ensayo de cohesividad del tepetate con agua

Mezcla intervalo	Longitud promedio de las fracciones (cm)	Incremento relación tiempo inmediato (cm)
Tiempo inmediato	5,4	0
24 horas	9,2	3,8
Una semana	11,1	5,7
Un mes	15,6	10,2

El incremento en la longitud de cada barra ensayada se midió tomando como referencia el intervalo de tiempo inmediato. La tabla 2 evidencia el cambio sustancial en la longitud de las fracciones ensayadas, conforme se incrementó el tiempo de su “reposo húmedo”.

La figura 1, muestra fracciones de una de las barras ensayadas en tiempo inmediato, mientras que en la figura 2, se observa la barra ensayada después de dejar “reposar” la mezcla por un mes. Se puede notar el incremento considerable en la longitud de la barra, entre un intervalo y otro.



M1. TEPETATE + AGUA TIEMPO INMEDIATO

Figura 1. Ensayo de cohesividad; intervalo de tiempo inmediato



M1. TEPETATE + AGUA TIEMPO UN MES

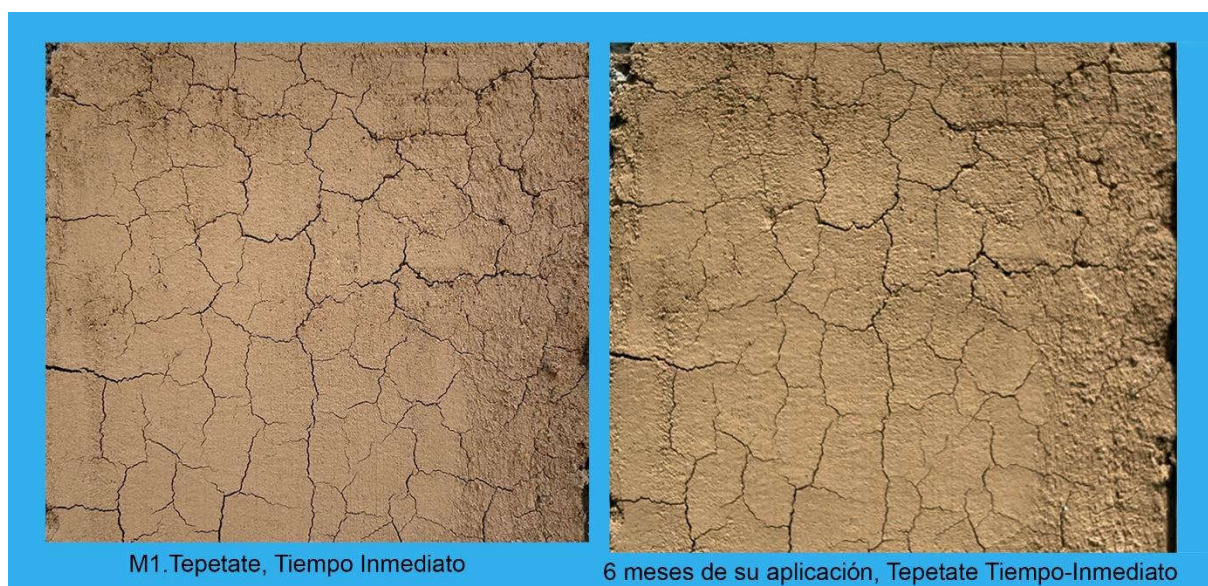
Figura 2. Ensayo de cohesividad; intervalo de un mes

El tiempo de maduración es el período que transcurre desde que se prepara la mezcla hasta que se emplea ya sea para la ejecución de estas pruebas o en la elaboración de un revoque. Durante este tiempo, pueden ocurrir cambios físicos y químicos en la mezcla que afectan su cohesión y adhesión. Por ejemplo, el agua puede evaporarse, el aglomerante puede endurecerse o las partículas pueden reordenarse. Según algunos estudios, los tiempos de maduración influyen en la cohesión por fuerzas eléctricas de las mezclas para revoques de tierra de diferentes maneras, dependiendo del tipo de tierra, el tipo de aglomerante y el contenido de agua (Reyes-Ortiz; Millán-Montejo, 2009).

Asimismo, se ha encontrado que a mayor tiempo de maduración aumenta la cohesión en mezclas con tierras arcillosas y aglomerantes hidráulicos, pero disminuye la cohesión en mezclas con tierras arenosas y aglomerantes orgánicos (Reyes-Ortiz; Millán-Montejo, 2009).

4.2. Revoques aplicados a la intemperie

Para este ensayo se realizaron revoques de 25 x 25 cm y 2 mm de espesor, sobre superficies lisas de un muro exterior frente al Laboratorio, a fin de ser monitoreados por seis meses. El proceso de maduración de las mezclas fue el mismo, se mantuvo la variable de tiempo con cuatro intervalos. El objetivo era observar los cambios del material en cuanto a cohesión y adhesión, así como el patrón de agrietamiento de cada muestra. En las figuras 3 y 4 se muestran los revoques que sufrieron un patrón de agrietamiento mínimo, mientras que las figuras 5 y 6 son las que más daños sufrieron al paso de seis meses de ser monitoreadas.



M1. Tepetate, Tiempo Inmediato

6 meses de su aplicación, Tepetate Tiempo-Inmediato

Figura 3. Revoque de tepetate; intervalo de tiempo inmediato

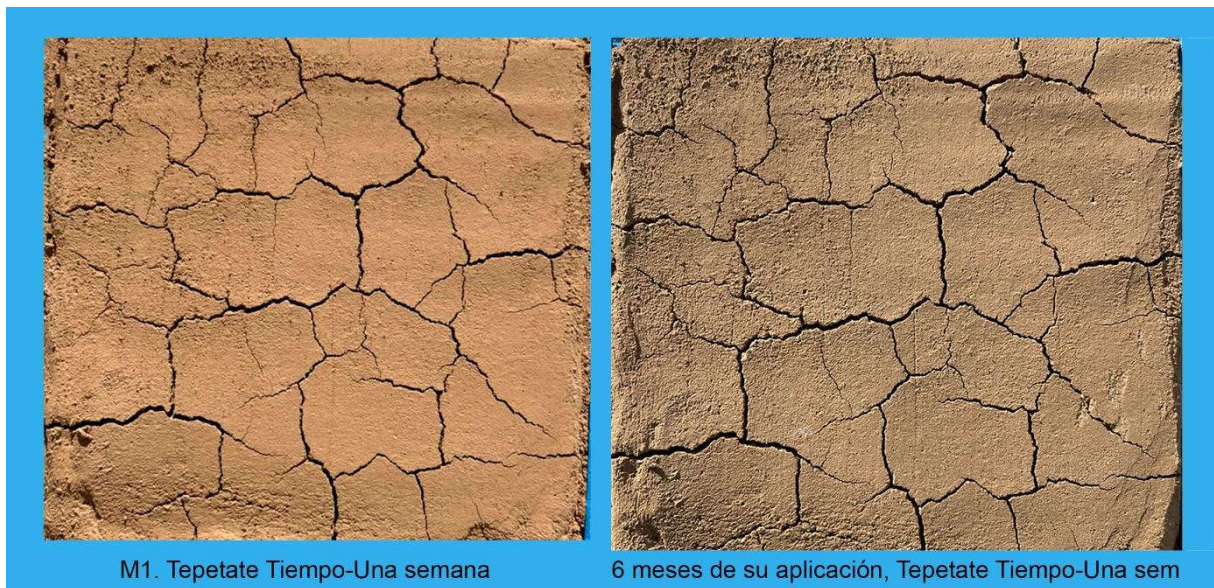


Figura 4. Revoque de tepetate; intervalo de una semana

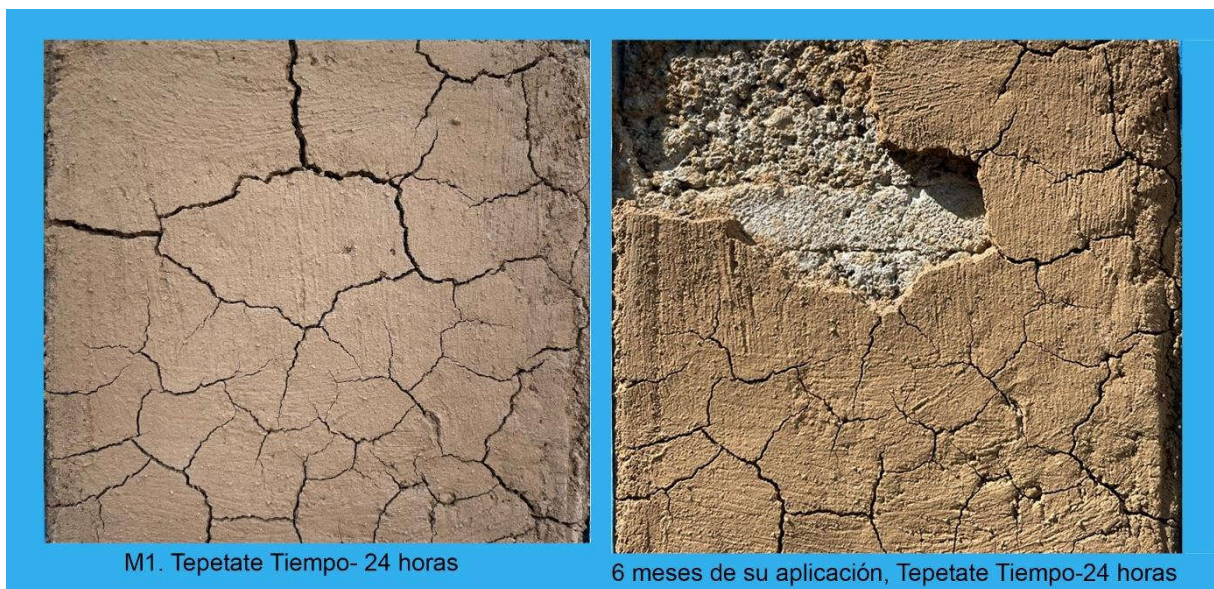


Figura 5. Revoque de tepetate; intervalo de 24 horas

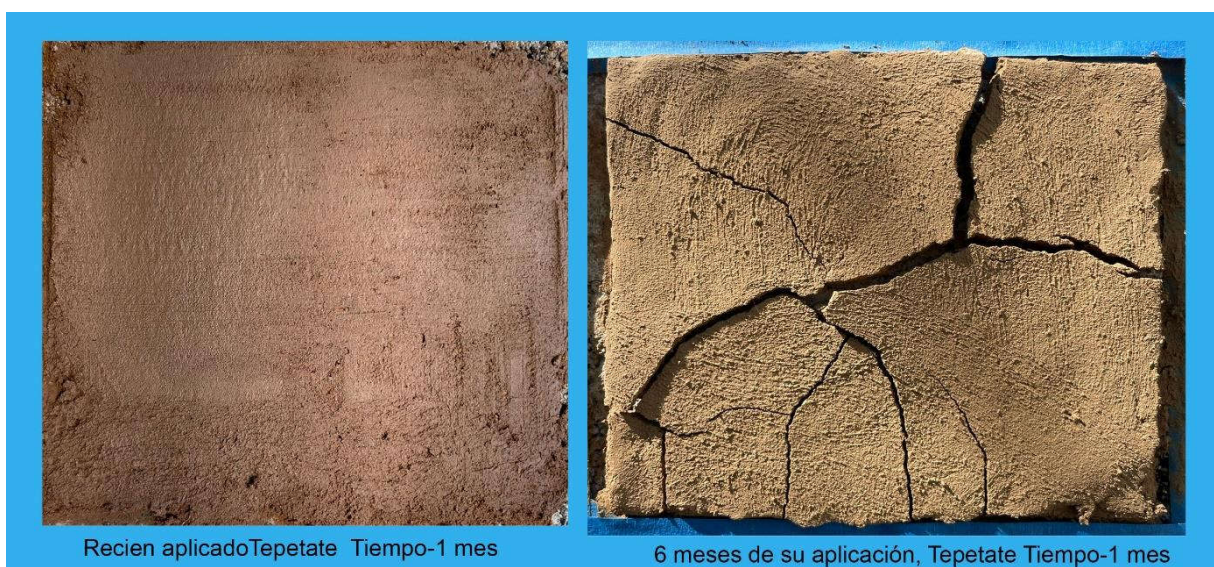


Figura 6. Revoque de tepetate; intervalo de un mes

Los resultados de este análisis sirvieron para entender cómo influye la permanencia del agua en el tiempo de maduración de los revoques de tepetate, la cual propicia una determinada organización de los componentes y una retracción diferenciada que se deriva de la activación que adquieren los alófanos. Se observa que las fisuras de la mezcla realizada sin reposo son muy delgadas y se genera un patrón con fracciones pequeñas. En cambio, entre mayor sea el tiempo de “reposo” de la mezcla original, el tepetate se hace más reactivo, con lo que absorbe mayor cantidad de agua que posteriormente perderá al haberse transformado en revoque, manifestándose en una superficie con amplias grietas y fracciones de mayor tamaño.

Una alta retracción puede conducir al desprendimiento del revoque al reducirse su volumen si no se tiene una adecuada adherencia al sustrato. En el experimento no se considera este desprendimiento como una “falla” sino como una manifestación más de la “fuerza” adquirida por el tepetate al haberse mantenido por un tiempo más prolongado en reposo. Los patrones de agrietamiento, así como la conformación de las superficies fisuradas pueden ser consideradas como valiosos indicadores del comportamiento de los materiales térreos y que requieren ser valoradas. Generalmente las fisuras o grietas son vistas tanto por los habitantes de las obras de tierra, como por la sociedad en general como una anomalía en la edificación, como un daño o como un indicio de problemas mayores.

Esta condición debería ser puesta a discusión porque para el caso de algunos componentes de tierra la fisuración puede considerarse no sólo como un recurso para evaluar la calidad de los materiales sino como algo necesario como parte de procesos constructivos. Es posible considerar “normal y esperable” un craquelado de la primera capa de un revoque que se coloca en una superficie, porque es indicio de que la materia prima tiene una alta actividad y por lo tanto buena adherencia a los sustratos y, además, las propias fisuras permiten un mayor “agarre mecánico” de la siguiente capa de enlucido que se habrá de incorporar al sistema.

Lógicamente, en el caso de que se pretendiera aplicar este tipo de revestimiento como protección superficial, sería necesario compensar con arena la materia prima, o bien estabilizarla para mejorar su adherencia y controlar su comportamiento.

Asimismo, en el caso de la aplicación de estos recubrimientos habría que cuidar la cantidad de agua suministrada al sustrato, su textura, la forma y herramienta de aplicación mecánica del revoque, su humectación propia, espesor, etc.

Cabe mencionar que uno de los usos que se le dio al tepetate por parte de las culturas mesoamericanas ubicadas en el Altiplano Central fue para la construcción de hornos, debido a que su baja porosidad y nula fertilidad impedían la invasión de roedores o flora parásita.

4.3. Retracción volumétrica de las losetas

Las probetas planas que se dejaron secar dentro del molde de madera en el que fueron elaboradas, se midieron progresivamente hasta que sus dimensiones se mantuvieron estables, lo cual ocurrió a temperatura y humedad ambiental dos semanas después. Se pudo observar que las probetas que se realizaron en tiempo inmediato y las de un día de “dormido” tuvieron muy poca retracción (0,5mm), mientras que la que se desarrolló con una mezcla de tepetate humedecido y mantenido durante una semana en reposo dentro de una bolsa de plástico, se retrajo en ancho y largo aproximadamente 1,2mm. Finalmente, la loseta que se había hecho con la mezcla reposada durante un mes al secar se redujo poco más de 2mm.

4.4. Absorción capilar por método de la pipeta

El ensayo de penetración de agua se realizó adaptando la norma española UNE-EN-16302 (2013) para medir la penetración de agua bajo una presión análoga a la que ejerce la lluvia. Esta prueba ayuda a medir la absorción capilar con el tubo de Karsten y sirve para evaluar la porosidad y durabilidad de las superficies porosas como la tierra. El tubo de Karsten consiste en un cilindro transparente con una escala graduada que se adhiere a la superficie que se desea medir mediante un sellador impermeable.

Se utilizaron probetas con dimensiones de 10 x 10 cm y 1,5 cm de espesor, para realizarlas se tomaron los mismos intervalos de los ensayos anteriores. El llenado del tubo se efectuó en un ángulo de 45° para evitar la formación de burbujas y permitir el paso del agua, una vez llenado se cronometró cuánta agua absorbió cada superficie por capilaridad y se estableció como tiempo límite 150 min.

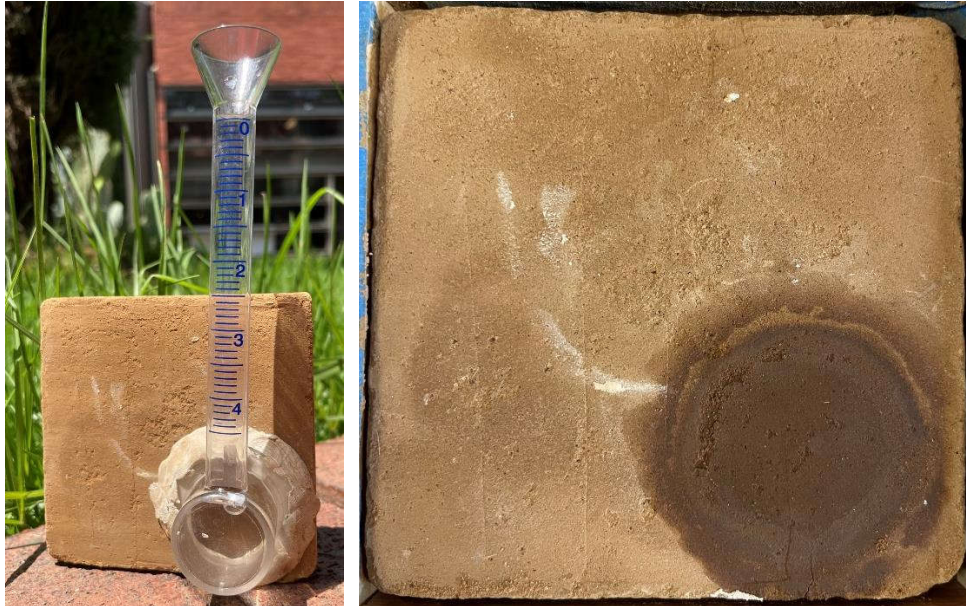


Figura 7. Ensayo de absorción capilar por método de la pipeta; intervalo de un mes

La superficie que menor daño sufrió y que tardó más tiempo fue la de un mes de maduración, pues terminó de absorber 4ml en un intervalo de 141 minutos. Por otro lado, la mezcla que mayor daño presentó fue la de una semana de maduración, además de ser la que absorbió los 4ml en un intervalo de 87 minutos siendo ésta la que tuvo una absorción más rápida.



Figura 8. Ensayo de absorción capilar por método de la pipeta; intervalo de una semana

Este ensayo es útil para determinar la vulnerabilidad de las superficies porosas a la penetración del agua y a los agentes externos que pueden deteriorarlas, como los iones cloruro, la flora y fauna parásita, o los cambios de temperatura. La absorción capilar con el tubo Karsten es una prueba sencilla, rápida, no destructiva y repetible que se puede realizar in situ. Sin embargo, tiene algunas limitaciones, como la posible influencia del error humano, la dificultad para sellar correctamente el tubo a la superficie, o la variabilidad de los resultados según el tipo y tamaño de poro de la superficie (Wagner, 2000).

Los resultados del ensayo se explican mejor en la figura 11, donde se observa el gráfico de los intervalos ensayados, así como, el tiempo de absorción de cada mezcla.

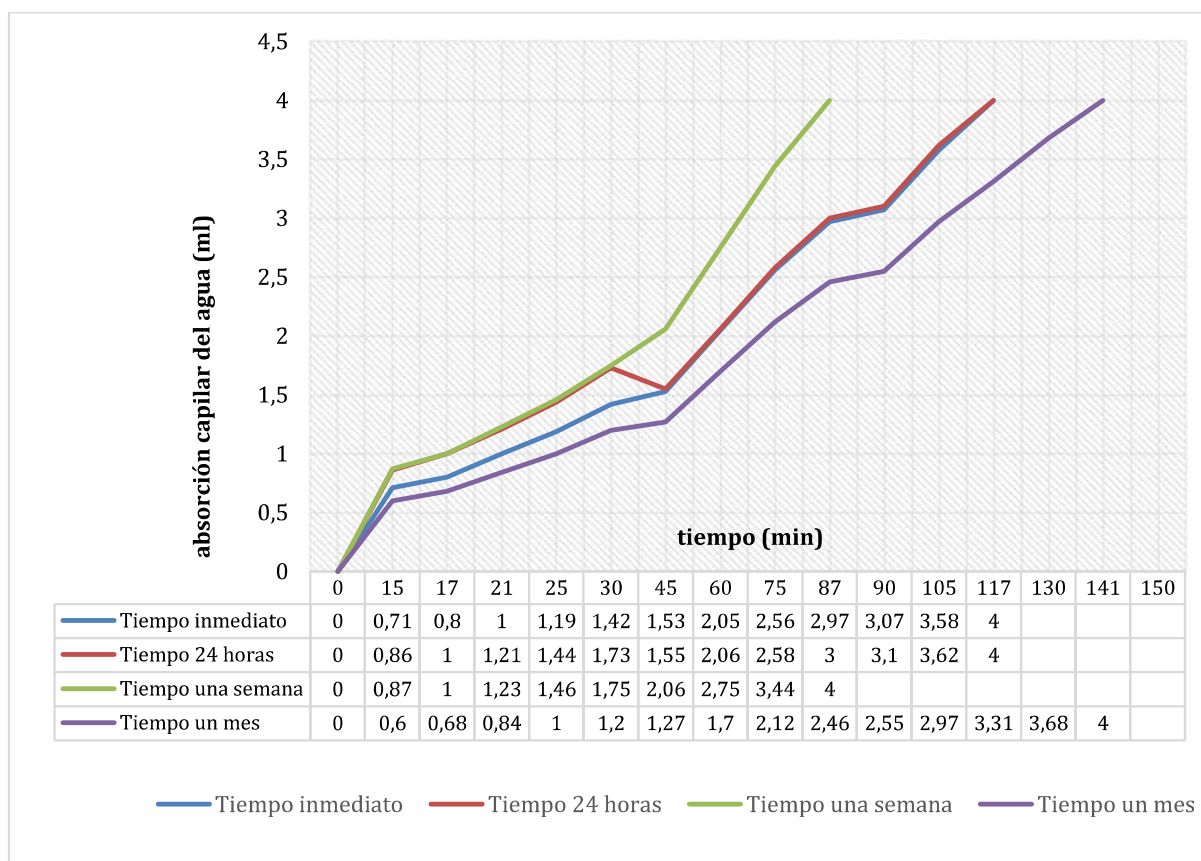


Figura 9. Absorción capilar en los cuatro intervalos de tiempo de dormido

4.5. Resistencia a compresión simple

Esta prueba es importante para conocer el comportamiento y la calidad de la tierra como material de construcción, ya que la resistencia a compresión está relacionada con la densidad, la humedad, la granulometría y el tipo de tierra. La capacidad de carga también influye en la resistencia a otros esfuerzos, como la tracción o la flexión. Para esta prueba se emplearon dos tipos de probetas cúbicas de 5,5 cm de lado: unas compactadas manualmente y otras cortadas de tepetate en su estado natural. El objetivo fue comparar si la resistencia a compresión simple se ve afectada por el esfuerzo mecánico en la elaboración de las muestras. La resistencia que se obtuvo al promediar las probetas ensayadas que provenían de piezas cortadas del terreno natural y que tenían un área de contacto de 27,5 cm² fue de 0,8045 MPa. En cambio, la serie de probetas realizadas en moldes cúbicos normados, que tuvieron un área de contacto de 20,25 cm² alcanzaron una resistencia promedio de 1,7625 MPa. Este ensayo demuestra que el tepetate que se tritura se tamiza, hidrata y confina en moldes, puede llegar a adquirir con una compactación manual mínima, más del 100% de la capacidad de carga que tenía en su estado natural como parte del suelo.

5 CONCLUSIONES

Dentro del estudio de las tierras empleadas como material constructivo en México existe una visible ausencia de datos correlacionables de manera científica, que permitan arribar a conclusiones fiables. Se cuenta con información esperada sobre el comportamiento de la tierra empleada para sub-bases de carreteras o terracerías, que ha sido desarrollada desde la ingeniería civil y que a partir de las pruebas Proctor documenta la cantidad de agua requerida para conseguir determinadas condiciones de posible compactación de un suelo.

Sin embargo, el análisis del tepetate con fines vinculados a la edificación requiere tomar en

cuenta una serie de variables diferentes, puesto que no se pretende trabajar con un mínimo de cantidad de agua añadida, ni mucho menos, emplear maquinaria para su compactación.

Ante esa situación, se abre un amplio abanico de posibles estudios derivados de las necesidades propias de la arquitectura y construcción con relación a los resultados esperados, a partir del componente constructivo que se plantea diseñar e implementar. Un mortero de pega va a requerir condiciones de comportamiento muy diferentes a las de la materia prima de un adobe que será sometido a compresión, o una mezcla aplicada como primera capa o como acabado final de un revoque.

Es por esto por lo que el estudio de los materiales térreos no puede realizarse de manera “abstracta” esperando obtener resultados estandarizados y válidos para todo. Si bien es cierto que la densificación de un componente constructivo puede ser deseable para un muro de carga, es evidente que el incremento en la densidad alterará otras cualidades de la tierra tales como su transmitancia, absorción hídrica capilar y adherencia.

Con estas premisas en mente se están llevando a cabo estudios específicos sobre el tepetate, que es un material ampliamente disponible en la ciudad de México, a fin de poder promover su empleo en la edificación, así como en la conservación y restauración del patrimonio. Se trata de un material que se consigue fácilmente en las casas de materiales convencionales de prácticamente todas las áreas urbanas del centro del país y que se extrae de manera cuidadosa porque se suele emplear como relleno en labores de ingeniería civil. Tiene un costo muy razonable y con poca variación, como consecuencia de su aplicación constante, lo que lo hace un recurso viable en sitios en los que se ha vuelto complejo extraer tierra para la construcción.

En los avances de investigación que se reportan en el presente texto se puso en evidencia que para los fines de la edificación, restauración y desarrollo de mezclas para revoques el tepetate cumple perfectamente con los requerimientos necesarios dada su trabajabilidad, adherencia y resistencia a las potenciales afectaciones del entorno antrópico y climatológico de las áreas centrales de México.

Se pudo documentar que la manera en que se ha estudiado la tierra a partir de normas en las que se coloca la materia prima directamente en torres de tamizaje, tiene ciertos inconvenientes para suelos cuya diversidad granulométrica no se deriva de la composición diferenciada de sus granos, sino de la presencia de aglomerados (terrones) que pasan en diferente proporción por las cribas. Pero, si esta materia prima se tamiza y tritura manualmente de manera sucesiva, es posible extraer de ella una mayor cantidad de partículas finas que, como es sabido, son las que les confieren consistencia a las mezclas.

En el caso del tepetate, el uso de este material triturado y cribado permite el desarrollo de componentes constructivos sumamente estables, fácilmente densificables y con una adhesividad adecuada para conformar revestimientos. Pero, además, los alófanos (arcillas jóvenes o amorfas) que estructuran al sistema, tienen la propiedad de resultar menos activas que otros filosilicatos cuya estructura cristalina y tamaño los hace muy sensibles a los cambios de humedad, como sucede por ejemplo con las familias de las illitas y esmectitas. El tepetate que se pulveriza y se hidrata, conforma una materia prima sumamente estable ante la humedad, con bajos niveles de retracción superficial y volumétrica, pero con la posibilidad de ser “trabajado” mediante compresión o pulido a fin de darle una elevada densidad y con ella, mayor resistencia hídrica y mecánica.

Pero además de este hallazgo sobre la pulverización de la materia prima, se pudo comprobar que cuando el tepetate mezclado y amasado por determinados periodos de tiempo incrementa enormemente sus cualidades de cohesividad, resistencia a la compresión, y a la afectación de los agentes medioambientales. Aunque esta información ha sido conocida en la edificación tradicional en la que los artesanos que se dedican a hacer adobes, revoques e incluso alfarería, nunca realizan sus mezclas y las emplean de manera inmediata, sino que se acostumbra a dejarlas “reposar” por lo menos un día. Este método al que en México se le conoce con el singular nombre de “podrido” es frecuente para la elaboración de una gran

diversidad de componentes no sólo para la construcción sino para el curtido, la medicina y la cocina tradicional.

Sin embargo, hasta ahora no se había documentado sistemáticamente para el caso del tepetate de manera que, además de poder poner en valor este procedimiento, será posible aprovechar este recurso mediante su optimización. El tiempo de reposo de las mezclas de tierra pueden ser determinadas en función del sistema constructivo que se desee emplear y de este modo obtener una amplia gama de soluciones para su uso en la edificación sostenible de las zonas urbanas del centro de México y también como medio de reparación de componentes faltantes o dañados de estructuras patrimoniales, tanto arqueológicas como vernáculas.

El tepetate, que ha sido un material menospreciado, puede ser fuente de opciones para enfrentar diferentes necesidades relacionadas con la generación de espacios habitables al ser un recurso abundante y económico en México, y seguramente en otras regiones en las que probablemente tampoco ha sido valorado como opción de diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dethier, Jean (2019). *Arquitecturas de tierra, el arte de construir con tierra, pasado, presente y porvenir*. Blume, 1ª edición, Barcelona, España
- Díaz Ortega, J.; Solleiro Rebolledo, E.; Sedov, S.; Cabadas, H. (2010). Paleosuelos y tepetates del Glacis de Buenavista Morelos (México): testigos de eventos climáticos de la transición Pleistoceno-Holoceno. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(3), pp. 469-486.
- Flores-Román, D., Alcalá Martínez, J., R., González-Velázquez, A. and Gama-Castro, J, E. (1996), Duripans in the subtropical and temperate subhumid climate of the Trans-Mexico Volcanic Belt: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13 (2), 228-239.
- Flores, D.; Alcalá, J.; González, A.; Gama, J. (1992). Suelos con fragipán de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo, El caso del Noreste del Estado de Morelos. *Terra*, pp. 151-163.
- Gama-Castro, Jorge; Solleiro-Rebolledo, Elizabeth; Flores-Román, David; Sedov, Sergey; Cabadas Báez, Héctor; Díaz-Ortega, Jaim (2007). Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental. El caso de Glacis de Buenavista Morelos, *Boletín de la sociedad mexicana*, tomo LIX, núm. 1, pp 133-145, Ciudad de México, México.
- Juárez, E.; Rico, A. (2010) *Mecánica de suelos*. México D.F.: LIMUSA.
- Minke, G. (2013) *Revoques de barro, Mezclas, aplicaciones y tratamientos*, Icaria Bioarquitectura 1, Barcelona, España.
- NMX-C-036-ONNCCE (2004) *Industria de la construcción – bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – resistencia a la compresión. Método de prueba*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.
- Prat, C.; De Noni, G.; Etchevers, J. Báez, A.; Hidalgo, C.; Trujillo, G. (2018). Rehabilitation des sols volcaniques indurés d'Equateur et du Mexique: Comportement avant et apres mise en culture. En Roose, E.; Duchaufor, H. y Prat, Ch. (Eds.) *Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles*. Marsella: IRS Editions.
- Quantin, P.; Zebrowski, P.; Delaune, M.; Hidalgo, C. (1992) El material original de los tepetates t2 y t3 de la región de Texcoco (México): ¿loess o tepetate? *Terra*, Volumen 10, pp. 178-182.
- Reyes-Ortiz, O.; Millán-Montejo, S. (2009). Influencia de la temperatura, la granulometría y el agua en la cohesión de mezclas asfálticas. *Ingeniería y Universidad*, 13(2), 309-324.
- UNE-EN-16302 (2013). *Conservación del patrimonio cultural, métodos de ensayo, medición de la absorción de agua por el método de la pipeta*. Comité europeo de normalización CEN.
- Wagner, C. (2000) El tubo de karsten, un sistema sencillo para estimar la absorción de humedad por parte de los materiales de construcción. *Revista Bit*
- Zebrowski, C. (1992) Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. *TERRA*, Issue 10, pp. 15-23.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio de Tecnologías Tradicionales y Sostenibles para la Conservación del Patrimonio Cultural (TECTRAD) de la Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía (ENCRyM-INAH).

AUTORES

Esmeralda Avila Boyas es arquitecta, con especialidad en diseño de interiores por CENTRO, Institución de Educación Superior en Diseño, Comunicación, Cine y Arquitectura. Maestra en Arquitectura en el Área de Tecnologías egresada de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Actualmente es Doctorante en el Posgrado de Ciencias y Artes para el Diseño en el área de Conservación del Patrimonio Cultural en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco (UAM-X). Desde 2017 es profesora de asignatura en el área de Diseño Arquitectónico subárea de Expresión en la licenciatura de Arquitectura de Universidad Nacional Autónoma de México, sede FES Aragón.

Luis Fernando Guerrero Baca, doctor en diseño con especialidad en conservación del patrimonio edificado, maestro en restauración, arquitecto, profesor investigador de tiempo completo en la UAM-Xochimilco, Coordinador del Cuerpo Académico en Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA, miembro de la Cátedra UNESCO “Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible” de CRAterre.