

RECUBRIMIENTOS DE TIERRA COMPACTADA PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO DE MÉXICO Y EL SALVADOR

Luis Fernando Guerrero¹; Oscar Camacho²

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, luisfg1960@yahoo.es

²Secretaría de Cultura de la Presidencia, El Salvador, camachomayorga@hotmail.com

Palabras clave: superficies de sacrificio, estabilización de suelos, cal, puzolanas, compactación

Resumen

La conservación del patrimonio arqueológico de tierra resulta muy compleja, entre otras razones, como consecuencia de la necesaria compatibilidad con sus materiales de protección. Históricamente, el mantenimiento preventivo desarrollado con superficies protectoras de tierra o cal, permitía que las estructuras permanecieran estables por largos periodos. Sin embargo, el abandono de los sitios que ahora se consideran arqueológicos ha generado importantes pérdidas patrimoniales. Durante el siglo pasado muchos de estos componentes históricos se intervinieron colocando revoques a base de cemento, o bien, aplicando polímeros artificiales, los cuales, en la mayor parte de los casos, han resultado nocivos por su excesiva impermeabilidad y rigidez. Ante esta problemática, en la última década se ha experimentado el uso revoques compactados, realizados con tierra estabilizada con cal y puzolanas, los cuales además de resultar compatibles con inmuebles arqueológicos, representan una destacada alternativa de conservación por su bajo impacto ambiental, reversibilidad y mínima intervención. En la ponencia se presentan los resultados de la ejecución de esta estrategia en estructuras patrimoniales de El Salvador en donde se ha puesto en evidencia su durabilidad y protección ante los efectos climáticos típicos del trópico húmedo. Esta información se contrasta con los estudios sobre el comportamiento físico de revoques similares probados en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco en México. Este tema de conservación tiene un elevado potencial porque son pocas las intervenciones y estudios que se han realizado de esta técnica y los análisis desarrollados permiten plantear aspectos metodológicos para verificar la calidad de estos recubrimientos, a partir de la comparación entre los datos de laboratorio y los resultados de intervenciones desarrolladas *in situ* con procedimientos y materiales semejantes.

1 INTRODUCCIÓN

La arquitectura prehispánica de México y El Salvador destaca por la extensa difusión del empleo de tierra como material constructivo. Aunque existen numerosos sitios arqueológicos que utilizaron piedra como apoyo estructural, predominan los conjuntos compuestos en su mayoría de edificios de bajareque, tierra modelada, tierra compactada y adobe, que fueron revestidos finalmente con argamasas de tierra y cal.

Sin embargo, desafortunadamente muchos de ellos no han llegado hasta nuestros días con la integridad necesaria como para hacer estudios detallados sobre sus sistemas constructivos. Esto se debe tanto a los daños que sufrieron durante siglos de abandono, como a la poca atención que por décadas han recibido por parte de las instancias responsables de su exploración y conservación.

Debido a esto, la intervención y mantenimiento son problemas fundamentales que requieren enfrentar la arqueología y la salvaguardia del patrimonio construido con tierra. Ante la necesidad de estudiar la historia de estos sitios arqueológicos en la región Mesoamericana, el tema de conservación se vuelve una tarea bastante difícil, tanto por carencias económicas como por la escasez de especialistas con experiencia en temas de este tipo.

Para tratar de revertir esta problemática en la UAM-Xochimilco, en la Ciudad de México, desde el 2009 se han venido experimentando diferentes procesos físicos y químicos para estabilizar la tierra con fines constructivos y de protección del patrimonio edificado.

Se han desarrollado diferentes componentes y módulos experimentales para verificar tanto su aplicabilidad como su capacidad de carga, resistencia a los embates climáticos y comportamiento higrotérmico (Soria; Guerrero; Roux, 2013).

En fechas recientes, a partir de los valiosos resultados obtenidos en el caso específico de la estabilización de suelos con cal (Guerrero; Roux; Soria, 2011), se empezó a trabajar en una línea dirigida hacia la protección superficial de edificios históricos.

De manera paralela pero sin ningún vínculo de comunicación, en El Salvador se han estado implementando estrategias de conservación a partir de la aplicación de recubrimientos de tierra estabilizada con cal en diferentes sitios arqueológicos, con resultados altamente satisfactorios. Estas actividades se han centrado tanto en las estructuras de tierra, de la zona arqueológica de Chalchuapa como también del Valle de Zapotitán.

Dichos antecedentes, brindan una orientación para realizar trabajos de conservación y restauración, ya que por más de una década se han realizado ensayos con énfasis en las técnicas tradicionales para la elaboración de adobes y recubrimientos de tierra compactada estabilizada con cal y materiales con comportamiento puzolánico de origen volcánico, los cuales han demostrado cumplir con los criterios de firmeza, fidelidad y estética, importantes al considerar las intervenciones en las estructuras prehispánicas térreas (Figura 1).

Se considera que estas técnicas de intervención se derivan de los sistemas constructivos arqueológicos originales pues, como manifiestan Girón y Ohi (2000, p. 241), “Los materiales de repello antiguo están compuestos de pómez negra, pómez amarilla, arena amarilla y negra, barro café, talpetate y cal, los cuales se consiguen en los alrededores de la ciudad de Chalchuapa.”

El Sitio Arqueológico Casa Blanca, ubicado dentro de la zona arqueológica Chalchuapa, ha sido un referente en cuanto a la aplicación de las técnicas utilizando materiales y conocimientos locales desde finales de los 90s, tras la experiencia de algunos trabajos en Kaminaljuyu, en la ciudad de Guatemala (Ohi, 2000).

Los ensayos utilizando técnicas tradicionales dan la pauta para discutir las técnicas de construcción prehispánicas y considerar su desarrollo para fortalecer el conocimiento que se tiene sobre las culturas constructivas. Por otro lado, es posible establecer criterios para las intervenciones de conservación y restauración del patrimonio cultural edificado con tierra.



Figura 1. Consolidación del mortero de unión con tierra estabilizada y compactada en Tazumal. Nótese la huella de la herramienta de madera usada para la compactación (Foto L. Guerrero 2014).

2 TRABAJOS EXPERIMENTALES EN LA UAM-XOCHIMILCO

Como se sabe, las tierras que poseen una elevada relación proporcional de arcillas de alta plasticidad, permiten obtener componentes constructivos más densos y resistentes a la compresión. Sin embargo, tienden a sufrir retracción durante su secado con lo que se generan fisuras en sus superficies y, en el caso de los revoques, a veces se desprenden de los sustratos sobre los que se aplicaron. En el polo opuesto, las tierras con escasa proporción de estas arcillas son más estables durante su secado pero son menos resistentes a la abrasión (Guerrero; Correia; Guillaud, 2012).

Es por esto que uno de los factores determinantes de la durabilidad de los recubrimientos hechos de tierra, está vinculado con el equilibrio de la textura de sus componentes. Muchos procesos de estabilización tradicional emplean tierras arcillosas porque se adhieren bien a los sustratos pero para controlar su retracción se estabilizan con arena. Entonces los resultados son parcialmente adecuados porque, si bien se mantiene la porosidad que garantiza el intercambio de aire y vapor de agua, disminuye su durabilidad (Guerrero, 2007).

Con la idea de probar materiales que pudieran ser más resistentes, se decidió estabilizar la tierra con triturados de rocas de origen volcánico que son abundantes en México, ligeras, permiten la permeabilidad de los revoques y la forma irregular de sus partículas y poros genera muy buena adherencia con la tierra.

A partir de los resultados obtenidos de experiencias anteriores en los que se ha podido demostrar el notable incremento en la resistencia estructural que se deriva de la aplicación por capas y la compactación de los componentes constructivos de tierra para muros (Guerrero; Soria; Roux, 2014), se planteó que una de las aportaciones experimentales para el mejoramiento de resistencia y durabilidad de los revoques dependería de su proceso de elaboración. Entonces, se procedió a experimentar el papel de la compactación en lugar del pulido o bruñido, que son los procedimientos que tradicionalmente se emplean para cerrar los poros de los recubrimientos.

Los primeros experimentos que se realizaron consistían en comparar procesos de aplicación de revoques hechos solamente con un enlucido con llana y otros que además eran compactados. También se realizaron muestras con enjarres de tierra natural y morteros de tierra estabilizada con 10% de polvo de una roca volcánica extrusiva conocida localmente como tepojal o tepetzil y que tiene mucho parecido a la pómez, aunque con perfiles amorfos.

Las muestras de 20 cm x 20 cm y 2 mm de grosor se aplicaron sobre un muro liso de concreto (Figura 2). El procedimiento de compactación se realizaba con trozos de madera de 20 cm de largo por 5 cm de ancho y 2,5 cm de grosor. Se golpeaban las superficies del revoque en el momento en que se notaba que empezaba a secar y a presentar pequeñas fisuras. Se cuidó compactar con una fuerza homogénea todo el revoque y durante un número similar de veces (100 golpes en toda la superficie). Se evaluó la maleabilidad, la adherencia y la resistencia a la lluvia, obteniéndose resultados muy superiores con los morteros estabilizados y compactados que aquellos que habían sido pulidos con llana.

Con estos primeros resultados se decidió integrar una variable adicional que consistía en la adición de 5% y 10% de cal hidratada en polvo, pues con base en experimentos previos en los que se desarrollaron muros con tierra vertida y compactada, se alcanzaron resultados altamente satisfactorios tanto en la resistencia a la compresión como en la reducción de la absorción capilar (Guerrero; Soria, 2014).

Se aplicaron revoques idénticos a los de las pruebas preliminares de la tierra sin estabilizar e igualmente se encuentran expuestos a la intemperie para su monitoreo cotidiano. Paralelamente se hicieron probetas cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm de cada una de las muestras y se dejaron secar a fin de hacer evaluaciones sobre su resistencia a la compresión y absorción capilar. Se hicieron dos grupos de probetas, las primeras se realizaban llenando los moldes del material en estado plástico y sin ejercer presión.



Figura 2. Algunas de las probetas aplicadas sobre muros de concreto en el Laboratorio de Materiales de la UAM-X. (Foto L. Guerrero 2015).

Para el segundo grupo el llenado se realizó incorporando cuatro capas sobrepuestas de 1.5 cm de espesor del material, las cuales eran compactadas con la base de un trozo de madera que tenía una superficie de 1,5 cm x 1,5 cm y 10 cm de longitud.

Tanto en el primer grupo como en el segundo se elaboraron cuatro series: cubos con tierra natural, cubos con tierra y material volcánico en una dosificación 1:1, cubos con esta misma mezcla pero estabilizados con 5% y con 10% de cal.

Entre los resultados más relevantes se encuentra el hecho de que las probetas cúbicas de tierra compactada por capas tanto en condición natural como estabilizada, incrementaron su resistencia a la compresión en rangos de 40% a 52% con respecto a las probetas en las que los moldes se habían llenado sin presión. Sin embargo, la incorporación del material volcánico tanto solo como con cal, provocó una disminución de 20% a 25% de la capacidad de carga con respecto a la tierra natural.

Finalmente se realizó una prueba destructiva consistente en la inmersión de grupos de tres probetas cúbicas en recipientes llenos de agua y se filmó su proceso de degradación en video. El cubo de tierra con material volcánico sin compactar se desintegró bajo el agua en 46 minutos. El cubo de tierra con material volcánico que había sido compactado por capas, mantuvo su volumen por cerca de dos horas hasta desintegrarse pasadas cuatro horas.

En cambio, la probeta que contenía tierra con material puzolánico y 10% de cal en polvo sigue bajo el agua después de cinco meses de haberse realizado el experimento.

El tipo de arcillas que compone la tierra estudiada, en combinación con el material de origen volcánico desarrollaron una reacción puzolánica con la cal (Sepulcre, 2005), de manera que se consolidó el sistema y, sin volverse impermeable, adquirió notable resistencia a la humedad, aun estando en las peores condiciones posibles, es decir, totalmente sumergido. Esta prueba confirma el potencial que representa el uso de este recurso como protección ante uno de los factores más agresivos del patrimonio construido con tierra: el agua.

La disminución en la resistencia a la compresión se explica por la reducción de la densidad de las probetas que contenían material estabilizado, y sobre todo por la disminución proporcional de la dosificación de arcilla (Juárez; Rico, 2010).

3 INTERVENCIONES EN EL SITIO DE SAN ANDRÉS, EL SALVADOR

El Parque Arqueológico San Andrés se ubica a unos 32 km al Oeste de San Salvador, en el municipio de Ciudad Arce, departamento de La Libertad, El Salvador.

Es posible que las primeras intervenciones realizadas en San Andrés comenzaran en la década de los años 40 bajo los trabajos de investigación a cargo de John Dimick (Amaroli, 1996). Las intervenciones que se realizaron en San Andrés consistieron en reparar, hasta donde fue posible, los muros y pisos descubiertos por las excavaciones (Boggs, 1943a; 1943b).

Después de aquél periodo, se menciona que:

...La poca información disponible indica que ha habido por lo menos tres episodios de conservación y restauración entre los años 1940 y principios de los 1980s. En los trabajos de mayor antigüedad, se aplicó una capa de concreto sobre los recubrimientos originales y, aparentemente en forma muy limitada, sobre reconstrucciones (...) Intervenciones más recientes han utilizado una especie de suelo cemento, con cal en vez de cemento, el cual se supone resulta en mayor permeabilidad de humedad (Amaroli 1996, p. 1,15).

En 1996, dentro del marco del Proyecto Arqueológico San Andrés, se planificó la conservación de la Estructura 5 conocida como La Campana y el Lic. Rudy Larios Villalta, conservador guatemalteco, realizó la labor de supervisión (Begley et al, 1996). Para la consolidación se utilizaron materiales semejantes a los originales, como tierra arcillosa, tierra caliza y arenosa molida (conocida regionalmente como *talpetate* y en México como *tepetate*) y arena, pero no se hizo ninguna reconstrucción de la estructura. Para proteger las partes originales se construyó una cubierta de madera con techo de zacate que se integraba visual y climáticamente al ambiente del montículo (Begley et al, 1996).

En los meses de septiembre y octubre de 2004 se realizaron intervenciones en la Estructura 2, por el Sr. Ismael Girón. En dicha oportunidad las intervenciones estuvieron orientadas a ocluir perforaciones y fisuras en sus diferentes cuerpos. Para realizar los trabajos se elaboraron adobes con piedra pómez negra triturada y tierra de color café. En la argamasa se usó pómez negra, grava, gravilla, tierra arcillosa, tierra de color café y cal apagada. Los porcentajes utilizados en dicha ocasión fueron los siguientes:

- Adobes – pómez negro:tierra café = 1:1
- Argamasa – pómez negro:gravilla:talpetate:tierra arcillosa:tierra café:cal = 2:4:2:1:1:1

Las partes a intervenir se humedecieron y se aplicó argamasa azotada, es decir, lanzada con cuchara de albañil, rellenándose con piedra. Se volvió a aplicar argamasa gruesa, utilizándose adobes en partes faltantes y por último se repelló la superficie con argamasa fina para dar un acabado liso (Girón, 2011).

Entre los años 2005 y 2009 la Fundación Nacional de Arqueología de El Salvador (FUNDAR) co-administró el sitio de San Andrés con el Consejo Nacional para la Cultura y el Arte (CONCULTURA). En ese tiempo, FUNDAR se ocupaba de las labores de conservación de las estructuras prehispánicas. Se realizaron intervenciones en las cúspides de las Estructuras 1, 2 y 7, ya que presentaban deterioro a causa de la intemperie. Se utilizó tierra estabilizada en la cima de esas tres estructuras y se plantó césped (FUNDAR, 2014).

Luego de ese período, la Secretaría de Cultura de la Presidencia asume el control del Parque Arqueológico San Andrés y en 2011, comienza el esfuerzo por investigar el sitio, convocando estudiantes de la Licenciatura en Arqueología de la Universidad Tecnológica de El Salvador. Después de dos temporadas de campo, en el año 2013, se comenzaron a observar fallas y deterioros en los repellos de cemento con los que se había intervenido el sitio, al igual que sucedió en la mayoría de los inmuebles arqueológicos del orbe que fueron intervenidos durante buena parte del siglo XX.

Para enfrentarlos, se retiró parte de los repellos de cemento en las Estructuras 1, 2 y 17, y se integraron componentes de cal y tierra tomando como base los experimentos de una

investigación denominada Proyecto Arqueológico de El Salvador, que se llevó a cabo en Chalchuapa por la Universidad de Nagoya Japón. Aquellas experiencias que se desarrollaron en Tazumal y Casa Blanca habían partido a su vez de la recuperación de técnicas tradicionales basadas en la aplicación de tierra, pómez y cal.

Los trabajos fueron muy relevantes pues en lugar de aplicar cemento a los recubrimientos, como había sucedido en diversos sitios, se solicitó a gente de la comunidad fabricar adobes y repellos de una argamasa de tierra estabilizada y otros componentes de origen volcánico en diferentes dosificaciones.

San Andrés presenta sistemas constructivos similares a la zona arqueológica de Chalchuapa, por lo que investigar y experimentar con las técnicas tradicionales ha contribuido tanto a formular hipótesis sobre las técnicas prehispánicas, como a valorar la tecnología que se desarrolló entonces y abrir un camino para intervenir las estructuras con materiales más adecuados.

4 LAS TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN EMPLEADAS EN SAN ANDRÉS

Hasta el momento no se cuenta con documentos que brinden detalles a profundidad sobre las intervenciones de restauración y conservación realizadas en San Andrés. Es interesante lo que señala Amaroli (1996) al exponer el uso de “una especie de suelo cemento, con cal”, ya que los ensayos que se han realizado en Tazumal, Casa Blanca e incluso San Andrés, han permitido que ese repello se adhiera mejor al núcleo, posibilitando una buena transpiración de las estructuras.

Desde el año 2013 se han realizado acciones de conservación y restauración en el Parque Arqueológico San Andrés, en las Estructuras 1, 2 y 17. En 2014, la Sociedad Japonesa para la Promoción de Ciencia JSPS (por sus siglas en inglés) otorgó recursos enmarcados en el Proyecto: Estudios Comparativos de Antiguas Civilizaciones Americanas GRANT #26101004. Dicho financiamiento ha sido importante no sólo para investigar San Andrés, sino también estudiar aspectos de su salvaguardia y llevar a cabo los trabajos de conservación y restauración en las estructuras prehispánicas.

Para realizar los trabajos se utilizaron adobes hechos de tierra, balastro, barro, talpetate y cal, con medidas promedio de 20 cm de ancho x 40 cm de largo x 12 cm de alto. Dichos adobes fueron fabricados con el fin de realizar intervenciones en Tazumal y Casa Blanca en el año 2012 por la Dirección de Arqueología de la Secretaría de Cultura de la Presidencia. Para preparar la argamasa se usó tierra café, pómez negro, tierra arcillosa y cal hidratada. Los porcentajes utilizados en dicha ocasión son los siguientes:

- Adobe – tierra café:balastre:tierra arcillosa:talpetate:cal = 1:2:2:2:1,5
- Argamasa – pómez negro:tierra café:tierra arcillosa:cal = 3:3:1:1

La esquina Noreste de la Estructura 1 presentaba daños en el último cuerpo superior de la misma, el cual contaba con una cornisa. El daño consistía en el desprendimiento de dicho componente, que había sido elaborado de manera separada a la construcción del cuerpo, posiblemente durante los trabajos de Dimick en la década de los años 40 (figura 3).

Para la intervención se realizó la liberación del relleno o núcleo mediante excavación a fin de colocar adobes y reforzar la esquina. La excavación permitió observar bloques de toba pegados con cemento, indicadores de trabajos previos de restauración en la estructura. Antes de colocar los nuevos adobes se agregó una capa de piedrín suelto como indicador del inicio de los trabajos. Los adobes se asentaron a tizón para dar forma a la cornisa realizada en los trabajos de restauración en décadas anteriores, colocándolos en saledizo y reforzando así la esquina a intervenir.



Figura 3. Colocación de adobes para restituir la cornisa (Foto O. Camacho 2013).

Posteriormente se repelló con mezcla de argamasa azotada sobre la que se colocó repello fino. Este acabado se trató de la misma manera que los repellos compactados antes referidos, a partir del golpeo con herramientas de madera después de repetidos procesos de humidificación.

Para dicho proceso se utilizó un mazo con entrantes y salientes que generaban una textura en la superficie que permite marcar una diferencia entre la intervención y las partes originales que posee la Estructura. Por último se colocó un camellón para controlar el flujo de aguas lluvias en la parte superior (figura 4).

La esquina Sureste de la Estructura 2 presentaba daños en los dos cuerpos superiores de la misma. El daño consistía en grietas y desprendimiento de la capa de repello hecha de cemento cuyo empleo indicaba que las zonas a tratar correspondían a intervenciones de décadas previas.



Figura 4. La intervención de la esquina Noreste de la Estructura 1 a un año de su terminación no muestra deterioro alguno a pesar de las adversas condiciones climáticas (Foto L. Guerrero 2014).

Se realizó la liberación del repello desprendido para observar cómo se encontraba el núcleo de ambos cuerpos y determinar si era necesario utilizar piedra para rellenar las partes

dañadas o si ameritaba utilizar adobes como refuerzo. Afortunadamente esto no fue necesario ya que el daño únicamente estaba en la capa de cemento (figura 5).

Las intervenciones en la Estructura 2 no fueron complicadas en comparación con la obra realizada en la Estructura 1, y al igual que el tratamiento de acabado del repello en la Estructura 1, se planificaron visitas para humedecerlo y compactarlo a fin de garantizar su adhesión y diferenciar los trabajos de intervención de las partes originales que posee la estructura (figura 6).



Figura 5. Partes dañadas en la esquina Sureste de la Estructura 2. (Foto O. Camacho 2014).

También se trató la superficie en la Estructura 17, que al igual que las Estructuras 1 y 2 se encuentran en la Acrópolis y que, como muchos otros edificios, ya habían sido intervenidos en proyectos anteriores. Presentaba algunos daños tales como desprendimientos, fisuras en el repello de cemento, repellos colapsados así como una grieta de grandes dimensiones en el lado oeste donde se localizan al menos tres cuerpos, que en su momento fueron cubiertos con un repello de cemento.

Por lo tanto, se prepararon las áreas dañadas para colocar una nueva mezcla de argamasa con dosificaciones similares a las usadas en las Estructuras 1 y 2. Se aplicaron respectivamente los repellos, tanto el de azote como el fino para dar acabado y el posterior compactado con herramientas de madera.

5 CONSIDERACIONES FINALES

En la zona arqueológica de San Andrés, El Salvador, la mayoría de Estructuras prehispánicas se constituyen principalmente de un núcleo de adobes, recubiertos con una capa de argamasa, realizada con tierra compactada mezclada con cal, pómez, tierra arcillosa y tierra café.

Después de su excavación en los años cuarenta del siglo XX fueron consolidadas y recubiertas con cemento, procedimiento en su época resultaba innovador pero en la actualidad es bastante discutido. Sin embargo, en los casos que se describen en el presente texto se ha podido comprobar que esta estrategia no resultó tan nociva como lo ha sido en muchos otros sitios arqueológicos.



Figura 6. Ambas intervenciones finalizadas. (Foto O. Camacho 2014).

Parte de la explicación de este fenómeno se deriva del hecho de que se trataba de recubrimientos parciales que, además, se agrietaron por su propia rigidez. Entonces estas capas no sellaron por completo las estructuras y permitieron los flujos hídricos por diferentes zonas de modo que los núcleos de las estructuras no resultaron afectados. Obviamente en la actualidad los trabajos de conservación y restauración ya no contemplan aplicaciones de cemento porque existen suficientes evidencias de su limitada duración e incompatibilidad química con los materiales históricos (Warren, 1999).

En cambio la incorporación de la técnica tradicional –que posiblemente en El Salvador tenga un origen prehispánico– y que consiste en el recubrimiento con tierra compactada estabilizada con cal y materiales puzolánicos, ha probado ser muy eficiente, flexible y sostenible por su facilidad de aplicación y durabilidad, incluso en las condiciones adversas del clima de trópico húmedo.

En el caso de El Salvador, hasta el momento se han utilizado mezclas a partir del sentido común, y las proporciones de acuerdo a pruebas de ensayo y error; sin embargo, a medida que pasa el tiempo se vuelve cada vez más necesario estudiar las proporciones utilizadas en la época prehispánica y la manera en que las técnicas constructivas evolucionaron hasta alcanzar ese nivel en cuanto a complejidad para construir los edificios.

Es evidente la urgencia de realizar estudios cuidadosos de laboratorio a fin de caracterizar el comportamiento y sobre todo, las dosificaciones requeridas pues, aunque los resultados son apropiados, se han repetido a manera de “receta” sin saber a ciencia cierta las cantidades y calidades necesarias para una correcta estabilización.

La confirmación de la estrategia utilizada en El Salvador con las prácticas realizadas en la UAM-Xochimilco, permiten suponer que los rangos de manejo de cales en proporciones volumétricas entre 5% y 10% son muy adecuadas. Aunque los resultados de resistencia a la compresión de las tierras estabilizadas disminuyeron con respecto a las naturales, la capacidad de carga es más que suficiente para la conformación de superficies de protección que no son estructurales. Pero lo más importante es la evidencia empírica de la resistencia a la humedad que presentan los materiales al compactarse manualmente, una vez que han sido estabilizados con cal y materiales puzolánicos.

Las pruebas llevadas a cabo en México bajo condiciones controladas y su verificación a partir de las prácticas de restauración desarrolladas en los sitios arqueológicos de El Salvador desde hace varios años, abren perspectivas hacia la generación de procedimientos de protección de larga duración para edificios históricos y modernos mediante el uso de recubrimientos con capas compactadas de tierra.

Estos recursos resultan de muy bajo impacto ambiental y son claramente sostenibles porque su realización no demanda de excesivos recursos materiales ni humanos, y sus técnicas de elaboración y aplicación son sumamente simples, con lo que pueden ser fácilmente apropiadas por las comunidades locales.

Las enseñanzas que se desprenden del estudio de las culturas constructivas pretéritas solamente cobran sentido en la medida en que permitan tender puentes hacia el fortalecimiento del trabajo colectivo de la sociedad, con miras a mejorar su calidad de vida, mediante el aprovechamiento racional de los recursos del planeta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaroli, P. (1996). Investigaciones arqueológicas en el área de nuevas instalaciones en el Parque Arqueológico San Andrés. Informe preparado para el Patronato Pro-Patrimonio Cultural, El Salvador.

Begley, C.; Sullivan; T., Brown, L.; Wilson, A.; Sampeck, K. (1996). Proyecto Arqueológico San Andrés. Tomo I. Informe preparado para el Patronato Pro-Patrimonio Cultural, El Salvador.

Boggs, S. (1943a). Notas sobre las excavaciones en la Hacienda "San Andrés", Departamento de La Libertad. Tzunpame Año III, No. 1, octubre de 1943. San Salvador: Ministerio de Instrucción Pública, p. 104-126.

Boggs, S. (1943b). Observaciones respecto a la importancia de "Tazumal" en la prehistoria salvadoreña. Tzunpame. Año III, No. 1, octubre de 1943. San Salvador: Ministerio de Instrucción Pública, p. 127-134.

FUNDAR (2014). El Parque Arqueológico San Andrés, Conservación de estructuras prehispánicas. En página web de la Fundación Nacional de Arqueología [www.fundar.org.sv /layout-esp1.html](http://www.fundar.org.sv/layout-esp1.html).

Girón, I.; Ohi, K. (2000). Estudio analítico por la técnica tradicional del material de repello y adobe prehispánicos. En: Kuniaky, Ohi (Ed.) Chalchuapa, Memoria final de las investigaciones interdisciplinarias de El Salvador. Kyoto: Universidad de Estudios Extranjeros de Kyoto. p. 240-243.

Girón, I. (2011). Informe de diagnóstico sobre la conservación de las estructuras del Sitio Arqueológico San Andrés. Informe preparado para la Dirección Nacional de Patrimonio Cultural, de la Secretaría de Cultura, El Salvador.

Guerrero, L. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. Apuntes 20 (2), 182-201, Bogotá.

Guerrero, L.; Roux R.; Soria, F. J. (2011). Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México. En Palapa V-1 (10): 45-57, Colima.

Guerrero, L., Correia, M.; Guillaud, H. (2012). Conservación del patrimonio arqueológico construido con tierra en Iberoamérica. En Apuntes, Vol. 25 (2), 210-225, Bogotá.

Guerrero, L.; Soria, F.J. (2014). Estabilización de suelos con cal y puzolanas. En: Construcción con tierra No. 6, Buenos Aires: Facultad de Arquitectura de la UBA. p. 15-24.

Guerrero, L.; Soria, F.J.; Roux R. (2014) Edificación de muros de tierra vertida estabilizados con cal y puzolanas. En Arquitectura de tierra: Patrimonio y Sustentabilidad en Regiones Sísmicas. Memorias del XIV SIACOT. San Salvador: PROTERRA-FUNDASAL. p. 192-197.

Juárez, E.; Rico, A. (2010). Mecánica de suelos. Tomo I, Fundamentos de la mecánica de suelos. México D.F.: Limusa.

Ohi, K. (2000). Excavación y conservación de las estructuras arquitectónicas del Área de Casa Blanca. En: Kuniaky, Ohi (Ed.) Chalchuapa, Memoria final de las investigaciones interdisciplinarias de El Salvador. Kyoto: Universidad de Estudios Extranjeros de Kyoto. p. 225-238.

Sepulcre, A. (2005). Análisis comparativo de determinados aspectos sobre la hidraulicidad en los morteros de cal. En Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales (pp. 71-121). Palencia: Fundación Santa María la Real.

Soria, F.; Guerrero, L.; Roux, R. (2013). Alternative earth building techniques and their experimental applications. En Theimer, C.; Wilson, Q. (eds.), Proceedings-EARTH USA 2013 (pp. 406-410). Santa Fe, N.M.: Adobe in action.

Warren, J. (1999). Conservation of earth structures. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las Autoridades de la Secretaría de Cultura, quienes depositan su confianza en la realización de estos trabajos. Por otro lado, desde el 2014, se otorgó un financiamiento enmarcado en el Proyecto: Estudios Comparativos de Antiguas Civilizaciones Americanas GRANT #26101004 financiamiento otorgado por la Sociedad Japonesa para la Promoción de Ciencia JSPS (por sus siglas en Inglés).

AUTORES

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. Jefe del área de 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".

Oscar Camacho, arqueólogo graduado de La Universidad Tecnológica de El Salvador, labora desde 2009 en el Departamento Arqueología de la Secretaría de Cultura. En 2011, participó como jefe de campo del Proyecto Arqueológico San Andrés. Desde el 2012 como Director del Proyecto Arqueológico San Andrés.