

1.6 Evaluación de aditivos orgánicos para intervención de la construcción prehispánica en tierra del sitio arqueológico de La Joya, Veracruz, México, a través de experimentos en el sitio. Yuko Kita/Annick Daneels

Yuko Kita¹, Annick Daneels²

¹Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, kitayuko@gmail.com

²Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, annickdaneels@hotmail.com.

Palabras claves: trópico húmedo, bitumen (asfalto), estabilizante.

Resumen

La planicie costera del Golfo de México tiene una tradición de construcción monumental de tierra sin protección de piedra o acabado con cal, vigente al menos del segundo milenio a.C. hasta el primer milenio d.C., después de lo cual se pierde. Sin embargo, no se sabía qué tecnología hiciera viable este tipo de arquitectura en las condiciones de trópico húmedo. De allí la importancia de los estudios físicos y químicos y los experimentos de preservación llevados a cabo desde 2009 en el sitio arqueológico de La Joya, en el Municipio de Medellín, Veracruz, que sientan las bases para el desarrollo de un conocimiento y protección de este patrimonio hasta la fecha desatendido.

Los estudios de materiales prehispánicos obtenidos en las excavaciones presentan una granulometría donde predomina la fracción fina (<2 µm) de montmorillonita (arcilla expansiva). A finales de 2012 los análisis de química orgánica revelaron hidrocarburos saturados y aromáticos, y triglicéridos principalmente, que se identificaron como bitumen (asfalto) diluido en aceite vegetal. Esto es un hallazgo hasta la fecha novedoso, demostrando que los arquitectos antiguos ya habían descubierto las propiedades estabilizantes del asfalto en la construcción de tierra.

Para entender la tecnología prehispánica y su potencial para la conservación del patrimonio, se diseñó a partir de la primavera 2013 un programa experimental para averiguar las concentraciones óptimas del asfalto en las mezclas de tierra. Partiendo de la evidencia obtenida de los materiales prehispánicos, se construyeron muros experimentales con el fin de monitorear y evaluar su resistencia a la intemperie. La primera serie compara la eficiencia como estabilizante de extractos vegetales, usados en la arquitectura de tierra vernácula de Centroamérica, y de productos bituminosos. Quince meses de monitoreo indican una alta resistencia de los muros elaborados con bitumen. La segunda serie evalúa la concentración de asfalto, el método de elaboración de los productos bituminosos (disuelto en aceite secante, en aceite semi-secante y como emulsión asfáltica comercial) y el uso de geotextil para la preservación. El monitoreo de esta segunda serie de enero a junio de 2014 permitió evaluar la resistencia a las lluvias torrenciales de junio. Hasta la fecha el muro que se preparó con el bitumen disuelto en aceite de maíz resultó ser el más resistente.

1. INTRODUCCIÓN

La tradición constructiva prehispánica de la costa del Golfo se percibió mucho tiempo como una arquitectura primitiva de tierra apisonada soportando construcciones de madera y bajareque. En vista de las condiciones de alta pluviosidad estacional, se consideraba imposible que hubiera arquitectura sofisticada de adobes, como la que hay desde el Sureste de Norteamérica hasta la zona andina. Sin embargo, las excavaciones en el área olmeca del Sur de Veracruz (del segundo y primer milenio a.C.) y ahora las de La Joya (primer milenio d.C.), demuestran la existencia de una arquitectura elaborada similar en todo punto a las tradiciones mesoamericanas de construcción en piedra, pero hecha de tierra cruda (Daneels et al., 2013). En vista de que esta tradición se perdió entre el 1000 y el 1500 d.C., no existen datos históricos o etnográficos que informen sobre la tecnología constructiva que hizo posible tal arquitectura en las condiciones de trópico húmedo, con precipitaciones anuales que alcanzan entre 1500 a 3500 mm, concentradas en los meses de verano, alternando con meses de sequía y vientos huracanados en invierno. Esta investigación es relevante por un lado por la reconstrucción de una tecnología prehispánica hasta la

fecha desconocida, demostrando el desarrollo de una estrategia de estabilización de tierra con asfalto que permitió la construcción monumental en tierra en condiciones de trópico húmedo; por otro lado abre la posibilidad de aplicar un método de preservación de patrimonio arqueológico, afín a la estrategia original. Sin embargo, es un trabajo en curso: están contemplados a futuro estudios más avanzados de micromorfología, composición química, porosidad, resistencia, intemperización de adobes prehispánicos y experimentales, así como un programa de monitoreo continuo del vestigio para evaluar el desempeño de las capas aplicadas y sus efectos. El programa en su conjunto, objeto de un registro minucioso de las intervenciones y de su seguimiento, representa una contribución hasta la fecha única en los esfuerzos de preservación de patrimonio arqueológico de tierra en ambientes tropicales de México. Presentar los avances en eventos especializados como el SIACOT permite obtener la retroalimentación tan necesaria en este tipo de empresa, donde se carece de antecedentes y metodologías claramente probadas y recomendables.

2. ANTECEDENTES

El sitio de La Joya se ubica en el municipio de Medellín, estado de Veracruz, México. Era una capital estatal con un gran complejo monumental, incluyendo una gran pirámide y tres palacios tipo acrópolis (véase Piña; Daneels, este volumen). Desde el siglo XIX han aprovechado la tierra de los edificios para fabricar ladrillos, por lo que actualmente sólo queda apro-

ximadamente un 5% del complejo original. Se empezó el proyecto de excavación para el rescate del sitio en 2004. Fue hasta 2008, cuando se descubrió la fachada de la pirámide principal, que el Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia solicitó una intervención de preservación.

2.1 Deterioros e intervenciones anteriores de la pirámide principal de La Joya

El principal deterioro de la construcción de tierra del sitio de La Joya es el deslav e gradual de tierra por las lluvias torrenciales y constantes. Por lo tanto, en 2009 se empezó la primera intervención, rellenando las grietas de escurrimiento pluvial en la fachada de la pirámide con tierra mezclada con polvo de ladrillo y cubriendo el vestigio con geotextil. Después se aplicaron 3 capas de sacrificio utilizando 1) lodo limoso, 2) una mezcla aguada de limo arcilloso, arena y mucílago de nopal, y 3) limo. Se aplicó por aspersion hidrofugante de silicona (SILRES@BS 1001A, Wacker Chemie AG) en una concentración de 2,5% en agua. Esta capa de sacrificio no resistió a la primera lluvia intensa (50 mm en media hora) y se deslavó. (Daneels; Piña, 2013; Daneels et al., 2014)

En 2010, se experimentó con una capa de sacrificio de lodo y arena con consolidante de EVA base agua

(VINNAPAS@5044N, Wacker Chemie AG) al 0,75% en peso e hidrofugante de silicona base agua (Polvo D, Wacker Chemie AG) al 0,3% en peso, añadiendo también extracto de neem (*Azadirachta indica*) como biocida (ibid.). Esta capa de sacrificio resistió al huracán Karl (250 mm en dos días), pero en la época de lluvia fue invadida por una biopelícula negra. Por lo tanto, se aplicó la misma capa de sacrificio al resto del vestigio en 2011, sin agregar extracto de neem que se creía era el causante de la biopelícula. Sin embargo, después de la época de lluvia del 2012, la capa de sacrificio se llenó de la misma biopelícula, que en la época de secas se levanta causando exfoliación de la superficie de la capa de sacrificio. Ahora se supone que la biopelícula prolifera por las siliconas del hidrofugante, que contienen compuestos orgánicos volátiles que alimentan microorganismos.

2.2 Estudios sobre la construcción prehispánica de tierra

Desde 2009 se estudian las muestras de construcción prehispánica con un equipo de arqueólogos, arquitectos, ingenieros, químicos y biólogos. El análisis de Efluorescencia de Rayos X detectó óxidos de sílice (SiO_2) y aluminio (Al_2O_3) como componentes principales en material de construcción. El análisis de Difracción de Rayos X sobre fracción fina ($< 2 \mu\text{m}$) identificó el tipo de las arcillas en los materiales como esmectita (montmorillonita) principalmente y un poco de clorita. El estudio sedimentológico señala que la fracción fina conforma más del 40 % en todas las muestras y en el caso de los repellos entre 60 y 70%. Estos resultados indican que los edificios fueron construidos con mayor cantidad de arcilla expansiva estabilizándola con algún aditivo orgánico bajo las condiciones de alta humedad. (Daneels; Guerrero, 2011)

El aditivo orgánico para construcción de tierra más conocido en México es el mucílago de nopal (*Opuntia spp.*), pero el nopal no es frecuente en la planicie costera. En El Salvador para adobes o repellos se utiliza un extracto de malva (*Sida rhombifolia*) o de guácima (*Guazuma ulmifolia*) (Ohi; Girón, 2000), plantas también abundantes en La Joya. Con base en estos antecedentes se empezó desde 2012 a estudiar los residuos orgánicos en las muestras prehispánicas por métodos de química analítica orgánica en el Instituto de Química de la UNAM, con el Dr. Alfonso Romo de Vivar del Laboratorio de Productos Naturales. Mediante espectroscopia de infrarrojo (IR), resonancia magnética nuclear (RMN) y espectrometría de masas (MS) se identificaron los componentes principales: hidrocarburos saturados y aromáticos, y triglicéridos. (Kita et al., 2013a)

Por el alto contenido de hidrocarburos y ésteres aromáticos, los espectros de las muestras de construcción prehispánica no coinciden con los de extractos vegetales recientes. Los hidrocarburos y ésteres aromáticos se pueden interpretar como materiales petrolíferos: bitumen o chapopote (Kita et al., 2013a). Se refuerza esta interpretación con el uso de bitumen de afloramientos de petróleo crudo a lo largo de la zona costera del Golfo por las culturas antiguas de la región, como decoración de figurillas de barro e impermeabilización de vasijas y canoas (Culpepper, 1971; Daneels, 2006).

En cuanto al uso para la construcción de tierra, se conocen pisos impermeabilizados con una capa de bitumen del periodo Preclásico, tradición que continúa a la fecha (Wendt; Lu, 2006; Wendt; Cyphers, 2008). Para mezclar bitumen con tierra, se necesita cambiar su estado sólido o viscoso al estado fluido, lo que es posible con aceite (Espinosa, 1859). Así, los triglicéridos de las muestras podrían provenir de un aceite vegetal (Kita et al., 2013b).

Las culturas antiguas del Medio Oriente, Egipto e Indo también han aprovechado el bitumen como cementante o impermeabilizante (para una síntesis reciente, véa Connan 2012). Por su parte, la estabilización de tierra con emulsión asfáltica es una tecnología ampliamente aplicada desde finales del siglo XIX en ingeniería civil y construcción de tierra (California Research Corporation, 1963, Hall et al, 2012; Houben; Guillaud, 1994; O'Connor, 1973). En EE.UU. en los años 1930's se empezó a utilizar emulsión de asfalto para la intervención de patrimonio construido en tierra (Chamov, 2011; Olivier, 2000). Sin embargo, aún no se había encontrado evidencia del uso de asfalto disuelto en la antigüedad.

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La investigación anterior aportó a la comprensión de una antigua tecnología de construcción de tierra mesoamericana que no había sido reportada aún y abrió nuevas perspectivas a los estudios arquitectónicos, arqueológicos, antropológicos y de conservación de este patrimonio cultural construido de México. Sin embargo, resta comprobar el uso intencional de bitumen disuelto en

aceite en la construcción prehispánica y evaluar su viabilidad para la protección del vestigio arqueológico de La Joya, usando una tecnología la más cercana posible a la original, en vista que los intentos previos con polímeros vinílicos e hidrofugantes de silicona no habían resultado satisfactorios.

3.1 Origen de las sustancias orgánicas en materiales de construcción prehispánica

Están en curso los análisis de materiales petrolíferos, midiendo la concentración y proporción de las sustancias orgánicas (hidrocarburos saturados y aromáticos, compuestos de Nitrógeno-Azufre-Oxígeno y asfaltenos) y la distribución de biomarcadores (esteranos y hopanos)

para identificar el origen de material petrolífero por cromatografía líquida y de gases (CG), análisis isotópico carbono estable ($\delta^{13}\text{C}$) y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/EM), según el protocolo de GeoMark Research Ltd. (2013).

3.2 Comprobación de la efectividad de aditivos orgánicos en el sitio

Paralelamente se está evaluando la resistencia a la intemperie de muros experimentales hechos in situ con diferentes aditivos orgánicos, a fin de buscar alternativas para la preservación de la construcción en tierra, junto con estudios de deterioro en laboratorio de los mismos

materiales. El presente trabajo se enfoca a los resultados del monitoreo de las dos series de muros experimentales construidos en el perímetro protegido de la pirámide principal del sitio de La Joya.

4. PRIMERA SERIE DE EXPERIMENTOS (2013)

4.1 Selección de estabilizantes

Como aditivos orgánicos para estabilizar tierra se seleccionaron dos extractos vegetales y dos productos bituminosos. Se utilizaron el extracto acuoso de malva de flores amarillas (*Sida rhombifolia*) y el extracto acuoso de guácima (*Guazuma ulmifolia*), con base en la dicha información etnográfica y su abundancia en el sitio de La Joya. El extracto de malva se preparó machacando los tallos, hojas y flores de malva sobre un tronco con un palo de madera y remojando en agua por un día. El extracto de guácima se preparó pelando las cortezas del árbol de guácima, cortándolas en pedazos y remojando en agua por un día; desarrolló burbujas finas que indican la presencia de saponinas, componentes tensoactivos. El extracto de guácima presentó una viscosidad alta, similar al mucílago de nopal, que señala que contiene una cantidad mayor de polisacáridos. Por lo tanto, ambos extractos vegetales retienen agua, que da plasticidad a la mezcla y retrasa el secado. Con base en la evidencia arqueológica, se diseñaron experimentos con bitumen para entender el proceso tecnológico usado en la anti-

güedad. Al hervir bitumen sólido en agua salió una sustancia aceitosa a la superficie, pero sin que hubiera cambio en el peso de bitumen sólido. Con esta agua se preparó la mezcla para los adobes y juntas de mampostería. Después de identificar los triglicéridos en los materiales de construcción prehispánica, se disolvió bitumen en aceite. Se utilizó este bitumen líquido fluido al 1% en volumen de la mezcla para los revocos. Se seleccionó aceite de linaza (aceite secante), ya que lo disuelve mejor. La linaza (*Linum usitatissimum*) no existía en Mesoamérica, pero la composición química de su aceite es similar al de la chía (*Salvia hispánica*), una planta endémica de México y utilizada desde la antigüedad como alimento y en la elaboración de lacas (Baughman; Jamieson, 1929; Palma et al, 1947; Vandenabeele et al, 2007). El último experimento usó un producto comercial de emulsión asfáltica base agua (Impertop A, Comex) de aspecto pastoso, para comparar su rendimiento y manejabilidad.

4.2 Construcción de muros

Por lo tanto, fueron 5 muros experimentales: un muro como control [C] (sin estabilizantes); dos muros con extractos vegetales de malva [M] y de guácima [G]; dos muros con productos bituminosos: bitumen [B] y emulsión asfáltica comercial [A]. Cada muro se construyó con mampostería de adobe del tamaño de los ladrillos que fabrican en el sitio (24 cm de largo x 13 cm de ancho x 5 cm de alto), con 80 cm de largo x 28 cm de ancho x 80 cm de altura desde el suelo. En la superficie de cada muro se aplicaron 3 capas de revocos: grueso, intermedio y fino bruñido, dividiendo en 5 franjas el muro para aplicar 5 revocos: C (control), M (malva), G (guácima), B (bitumen) y A (emulsión asfáltica) respectivamente.

Para el muro C, se utilizaron los ladrillos crudos fabricados por ladrilleros locales para construir el muro de mam-

postería. La mezcla para juntas y revocos fue de tierra arcillosa local del banco de los ladrilleros, agregando paja (5% del volumen de la mezcla) y agua. Para los adobes, juntas de mampostería y revocos de los muros M y G, se utilizó la tierra arcillosa local, agregando 5% del volumen de la mezcla y el extracto vegetal acuoso que requirió la mezcla. El muro B consistió en un muro de mampostería de adobes fabricados con el extracto acuoso de bitumen sólido y pajas al 5% del volumen de la mezcla, utilizando misma mezcla para las juntas. La mezcla para revoco se hizo con tierra húmeda, paja (5% del volumen), bitumen diluido en aceite de linaza (1% del volumen) y agua. Para el muro A, la mezcla para los adobes, juntas y revocos consiste en tierra húmeda, paja (5% del volumen de la mezcla) y emulsión asfáltica comercial (1% del volumen).

4.3 Monitoreo por 15 meses (desde marzo de 2013) y evaluación de la primera serie

Como se podía esperar, los revocos de los muros de extractos vegetales [M], [G] se secaron menos rápido que el muro de control [C] y por ello no se agrietaron como el revoco del muro C. Después de fraguarse, el revoco del muro de bitumen [B] no cambió el color de la tierra, mientras el del muro de emulsión asfáltica [A] cambió el

color a un poco más oscuro. Un mes después, en abril de 2013, se observó un notorio cambio de color en los revocos de M y G al café rojizo, como consecuencia de la oxidación de los extractos vegetales por los intensos rayos del sol de la época seca.



Figura 1. Monitoreo por 15 meses de los muros de prueba de la resistencia a la intemperie (1ª)

A partir de junio de 2013, con el inicio de la época húmeda, la velocidad de deterioro aumentó. En julio una parte del muro C ya se estaba desintegrando, los muros y los revocos de M y G se fueron deslavando más progresivamente. Todos los muros y los recubrimientos con productos bituminosos (B y A) resistieron mucho mejor a las lluvias torrenciales y huracanes, impactando desde el Norte (a la izquierda en la Figura 1). El deterioro severo del muro C también se debe también a que los ladrillos crudos no contienen paja. La paja trabajó como una red que retiene tierra, aglomerando la estructura del adobe.

5. LA SEGUNDA ETAPA DE EXPERIMENTOS 2014

5.1 Selección de estabilizantes

Aunque los muros y los revocos de productos bituminosos (B y A) de la primera serie de pruebas resistieron bastante bien en comparación con los otros muros, tuvieron un deterioro observable a lo largo del año, lo que motivó el planteamiento de una segunda serie de experimentos, aumentando la proporción de los productos bituminosos y variando los métodos de preparación. Como aditivos, se preparó bitumen disuelto en aceite de maíz (aceite semi-secante), bitumen disuelto en aceite de linaza (aceite secante) y emulsión asfáltica comercial (ImperTop A, Comex). El aceite secante diluye más el bitumen que el aceite semi-secante (1), por lo tanto en un litro de aceite de linaza se disolvieron 450 g de bitumen sólido, mientras

en un litro de aceite de maíz sólo se disolvieron 150 g. Se hizo un experimento también con cal a fin de compararse su efectividad con la de los productos bituminosos, aunque la cal es un estabilizante inorgánico que no se encuentra en la construcción prehispánica del sitio de La Joya. Se utilizó "Calidra" de Grupo Calidra, que es hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en forma de polvo que se forma al agregarse una cantidad pequeña de agua al óxido de calcio (CaO) (cal apagado en seco). Para poder evaluarlos, se realizó una réplica de estos materiales y sistemas constructivos en el muro de contención del talud norte de la pirámide y en el corte este del vestigio con la modificación sin geotextil o polímero vinílico.

5.2 Construcción de muros

Esta serie cuenta con 10 muros experimentales: un muro sin estabilizante (estándar) [E] y un muro de emulsión asfáltica al 1% [A1] como referencia para comparar con la primera serie; tres muros con productos bituminosos al 6%, de bitumen disuelto en aceite de linaza [L6], bitumen disuelto en aceite de maíz [M6] y emulsión asfáltica comercial [A6]; un muro sin estabilizante salvo la última capa de dos franjas de revocos con bitumen disuelto en aceite de linaza y de maíz respectivamente [El/Em] para averiguar la necesidad de agregar estabilizante a los adobes; un muro con cal al 6% [C6] para comparar con los productos bituminosos; tres muros para evaluar la función de geotextil: [Tg] (tabique - ladrillo cocido - con geotextil), una réplica del talud de contención que se construyó al lado norte de la pirámide, [T] (tabique, la versión de Tg sin geotextil, y [A1g] (emulsión asfáltica al 1% con geotextil), una modificación de [A1]. Para esta serie, se fabricaron los adobes de un tamaño normal en México, 40 cm de largo x 20 cm de ancho x 10 cm de alto (2). Todos los adobes contienen paja picada gruesa al 5% en volumen de la mezcla. Cada muro se construyó con mampostería

de adobes, alternando dos adobes a soga y dos a tizón hasta completar 10 hileras, por lo tanto cada muro mide aproximadamente 40 cm de largo x 40 cm de ancho x 90 cm de alto desde el nivel del suelo. En cada muro se aplicaron 3 capas de revocos: grueso, intermedio y fino bruñido. Para los muros de T y Tg, se utilizaron ladrillos cocidos de tamaño convencional de 24 cm de largo x 13 cm de ancho x 5 cm de alto. Se colocaron cuatro ladrillos en cada hilera dejando un vacío en el centro; se pegaron con una mezcla de lodo con cal hidratada (Calidra) al 2,5% en volumen. Los vacíos del centro fueron rellenados con tierra apisonada. Los muros A1g y Tg se cubrieron con geotextil (poliéster non-woven de 200 g/m²), clavándolo. A los muros T y Tg se aplicaron los revocos iguales que los del muro de contención al lado norte de la pirámide, mezclando lodo, mucílago de nopal (para evitar la evaporación rápida de agua), emulsión asfáltica al 5% en volumen, consolidante EVA al 0,75% en peso, agregando paja solamente para el revoque base. Al muro A1g se aplicaron los revocos igual que A1, con mezcla de lodo y emulsión asfáltica al 1%.

5.3 Monitoreo por 6 meses (desde enero de 2014) y evaluación de la segunda serie

Cuando fraguaron los revoques finos, se observó que todos los aplicados directamente a la mampostería de adobe no presentaron grietas visibles, mientras que los colocados sobre el geotextil o sobre áreas de tierra apisonada presentaron grietas, que se deben a que el geotextil por ser delgado y mal adherido a la pared vertical se cuelga por el peso del lodo.

No se evidenciaron deterioros significativos durante la época seca; solamente después de las primeras lluvias, se observaron pequeños cráteres dejados por gotas de lluvia en la cara superior del muro E. En el muro C6 (cal 6%) se notó la eflorescencia de sales de CaCO_3 (3) y exfoliaciones finas (sobre todo de la cara superior). En la cumbre del muro A6 (emulsión asfáltica 6%) salió una fisura a lo largo de la junta de los 2 adobes superiores. Apenas entrando al mes de junio, un disturbio tropical provocó un

aguacero de 190 mm de lluvia en tres horas, e inmediatamente se vio la diferencia en la resistencia de cada muro. Los revoques del muro E (estándar) se deslizaron completamente y los adobes de la hilera superior empezaron a deteriorarse. El muro E/Em (E con revoques finos con bitumen disuelto en aceite de linaza/maíz) se deterioró de manera muy similar al muro E. En el muro A6 (emulsión asfáltica 6%) los acabados resistieron bastante mejor que el muro A1 (emulsión asfáltica 1%) en el que ya empezaron a quedar al descubierto los adobes. De los 3 muros con productos bituminosos al 6% (A6, L6: bitumen disuelto en aceite de linaza y M6: bitumen disuelto en aceite de maíz), el muro M6 fue el más resistente y quedó casi intacto, solamente se observa una fisura fina a lo largo de la junta de los adobes sobre la cara superior.



Figura 2. Monitoreo por 6 meses de los muros de prueba de la resistencia a la intemperie (2ª serie).

El muro L6 sigue al M6: presenta solamente pequeñas grietas sobre la cara superior y también una fisura fina a lo largo de la junta de los adobes como en el muro M6. La fisura a lo largo de la junta de los adobes se ve más pronunciada en el muro A6 y los revoques de la cara superior ya empezaron a desintegrarse. El muro C6 resistió bastante, sin embargo el deterioro de los revoques de la cara superior es más avanzado que el del muro A6 y los adobes de la última hilera ya están aparentes. En cuanto a los muros con geotextil, los revoques sobre el muro A1g ya se están deslizando poco a poco, dejando al descubierto pequeños sectores de geotextil en la cara superior. Se siguen observando fisuras sobre el muro Tg, y se exfoliaron unas zonas de la cara superior del muro T.

Después de lluvias intensas, los recubrimientos de los muros con geotextil (A1g y Tg) y el del muro A6 se secaron más rápido; los L6, A1 y T se secaron menos rápido y los M6, E y E/Em se quedaron húmedos por mucho tiempo mientras se secaban sus caras superiores. El C6 se quedó húmedo por más tiempo. Sin embargo, el M6 ha resistido más a la intemperie mientras los muros E y E/Em son los menos resistentes de todos, por lo que no se observó correlación entre la velocidad de secado y la resistencia. (Figura 2)

6. APLICACIÓN DE BITUMEN AL CORTE ESTE DE LA PIRÁMIDE

Se está realizando paralelamente un monitoreo de prueba sobre el corte este de la pirámide, donde se evaporaba la humedad capilar del vestigio desde que fue excavado. Después de cubrirse con geotextil y capa de sacrificio con polímeros vinílicos y hidrofugado con silicona, se observó en varios sectores una acumulación de humedad que provocó el desprendimiento de la capa de sacrificio.

Para resolver este problema, era necesario aumentar la permeabilidad al vapor de agua del corte. Por lo tanto se retiró la capa de sacrificio con polímeros y el geotextil.

Después se aplicaron 3 capas delgadas de repello con 5% de emulsión asfáltica, como prueba de material alternativo para la capa de sacrificio de la pirámide. Se vio la efectividad inmediatamente, la humedad capilar del vestigio se distribuyó a toda la superficie, evaporando homogéneamente como lo hacía recién excavada la pirámide sin capa de sacrificio. La nueva capa de sacrificio está resistiendo también a la intemperie de la época de lluvia, aunque empezó a exfoliarse en las partes resaltadas por los clavos que sujetaban el geotextil (4). (Figura 3)



7. CONCLUSIÓN

7.1 Observaciones del monitoreo

El seguimiento de las dos series de muros experimentales y de la aplicación de una capa de sacrificio con bitumen al corte este de la pirámide, resultaron en las siguientes observaciones:

- 1) Los extractos vegetales de malva y guácima fueron útiles al momento de fabricar los adobes o aplicar los revocos, dando plasticidad y reteniendo agua en la mezcla, lo que retrasa el fraguado y en consecuencia evita el agrietamiento.
- 2) Sin embargo, ya que los extractos vegetales son extractos acuosos (se disuelven en agua), no resistieron a las lluvias torrenciales de la época húmeda en esta zona de trópico húmedo y tanto recubrimientos como adobes se deslizaron.
- 3) Los muros estabilizados con productos bituminosos, a pesar de su proporción muy baja (1% en volumen de la mezcla), fueron bastante resis-

tentes a la intemperie, comparado con el muro sin estabilizante y los muros con extractos vegetales.

- 4) Cuando se agregan estabilizantes sólo a los revocos y no a los adobes, el muro no resiste a la intemperie, lo que confirma la necesidad de agregar un estabilizante no solamente a los recubrimientos sino también a los adobes.
- 5) A los 6 meses de monitoreo, el bitumen disuelto en aceite de maíz hizo más resistente el muro de prueba, a pesar de presentar una concentración bituminosa un tercio más baja que el aceite de linaza, por tener menos poder solvente.
- 6) La capa de sacrificio con emulsión asfáltica al 5% es más permeable que la capa de sacrificio actual con polímeros vinílicos e hidrofugante de silicona, y permite la evaporación de la humedad capilar de la pirámide.

7.2 Reflexiones para los próximos experimentos y para un plan de preservación y mantenimiento a futuro

Se estudió la eficacia y el potencial de materiales bituminosos como estabilizante alternativo para la capa de sacrificio de la construcción de tierra en zonas de trópico húmedo. Como antes mencionado, se utilizaba bitumen macizo para la impermeabilización de pisos de tierra desde la cultura Olmeca, técnica que se sigue usando en construcción vernácula de la zona costera del Golfo de México. Para ello se utiliza el bitumen sin mezclar con tierra, por lo tanto forma una capa negra e impermeable, fácilmente reconocible. Utilizando el bitumen disuelto como estabilizante en la construcción de tierra, este ya no se discierne a simple vista, lo que dificulta

su identificación. Como aditivo, la evidencia arqueológica y los experimentos demuestran que es efectivo con los sedimentos locales. Para evaluarlo como estrategia de conservación, están programados estudios de porosidad y resistencia. La experiencia de ingeniería civil indica que hay límites específicos de la proporción de bitumen según la proporción de arcilla que contiene la tierra con la que se mezcla, ya que una cantidad demasiado alta de bitumen encapsula las partículas de tierra y desintegra los materiales. En el caso de la tierra de La Joya, el adobe empieza a desintegrarse agregando alrededor de 10% de bitumen disuelto en aceite de linaza y 15% de bitumen di-

suelto en aceite de maíz. Por lo tanto, bitumen como estabilizante de construcción de tierra no puede llegar a una concentración tal que impermeabilice la estructura. La prueba del talud norte de la pirámide demuestra que los muros con productos bituminosos absorben la humedad capilar y el agua pluvial, y a su vez dejan evaporar esta humedad. Se seguirá el monitoreo a largo plazo con sumo cuidado para reconocer la eficacia de cada material en diferentes proporciones. Para el próximo experimento se enfocará a examinar la permeabilidad al vapor de agua del geotextil con capa de sacrificio con

material bituminoso; comparar la permeabilidad de la capa de sacrificio estabilizada con material bituminoso de diferentes grosores; comparar la resistencia y elasticidad de la construcción de tierra estabilizada con material bituminoso de diferentes concentraciones. Combinado con el programa de análisis de laboratorio, estos experimentos permitirán llegar a formular un plan de preservación y mantenimiento de la pirámide del sitio arqueológico de La Joya, que podría ser útil para otros sitios de tierra en la zona de trópico húmedo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baughman, W. F.; Jamieson, G. S. (1929). Chia Seed Oil. *Oil and Fat Industries*, Vol. 6, No. 9. p. 15-17.

California Research Corporation. (1963). *The Manufacture and Use of Asphalt Emulsion Stabilized Adobe Bricks*. Richmond: California Research Corporation.

Charnov, A. A. (2011). 100 Years of site maintenance and repair: conservation of earthen archaeological sites in the American Southwest. *Journal of Architectural Conservation*, Vol. 17, No. 2, p. 59-75.

Connan, J. (2012). *Le bitume dans l'Antiquité*. Arles: Éditions Errance.

Culpepper Belt, S. (1971). Veracruz ceramic techniques. Ethnic Arts Council of Los Angeles (ed.) *Ancient Art of Veracruz*. Los Angeles: County Museum of Natural History, p. 38-41.

Daneels, A. (2006). La cerámica del Clásico en Veracruz, 0-1000 d.Cr. En B. L. Merino Carrión y Á. García Cook (eds.) *La producción alfarera en el México Antiguo, Volumen II; La Alfarería durante el Clásico 100-700 d.Cr.* Colección Científica, Serie Arqueología no. 495. México, D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia, p. 393-504.

Daneels, A.; Guerrero L. (2011). Millenary earthen architecture in the tropical lowlands of Mexico. *APT Bulletin*, 42 (1), p. 11-18.

Daneels, A.; Piña, D. (2013). Preservación y mantenimiento en el sitio arqueológico de La Joya, Veracruz, México. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT) 13, 2013, Valparaíso, Chile, Material Universal, Realidades Locales, Td: Patrimonio y conservación*. Valparaíso: Centro de Extensión Duoc y Red Iberoamericana PROTERRA.

Daneels, A.; Guerrero Baca, L. F.; Liberotti, G. (2013). Monumental earthen architecture in the humid tropics of Mexico: archaeological evidence of a millenary tradition. *WIT Transactions on the Built Environment*, Vol. 131, p. 457-468.

Daneels, A.; Guerrero, L.; Kita, Y.; Liberotti, G.; Piña, D. (2014). Conservación de edificios prehispánicos de tierra cruda en la costa de Veracruz. Cervantes Reyes, L.A.; Niglio, O.; Sánchez Cruz, P.A. (eds.) *México. Restauración y Protección del Patrimonio Cultural*. Roma: Aracne, p. 109-130.

Espinosa, P. C. (1859). *Manual de Construcciones de Albañilería*. Madrid: Severiano Baz.

GeoMark Research Ltd. (2013). OILS 2013. An Internet Enabled, Global Oil Geochemical Database, GIS Mapping System, and Associated Analytical Service Program (Reservoir Fluid Database – Oil Information Library System). Houston: GeoMark Research. Disponible en: <http://geomarkresearch.com/database-products/>

Hall, M. R.; Najim, K. B.; Keikhaei Dehdezi, P. (2012). Soil stabilization and earth construction: material, properties and techniques. Hall, M. R.; Lindsay, R.; Krayenhoff, M. (eds.) *Modern Earth Buildings. Materials, engineering, construction and applications*. Cambridge: Woodhead, p. 222-255.

Houben, H.; Guillaud H. (1994). *Earth Construction. A Comprehensive Guide*. London: Intermediate Technology Publications – CRA Terre-EAG.

Kita, Y.; Daneels, A.; Romo de Vivar, A. (2013a). Chemical analysis to identify organic compounds in pre-Columbian monumental earthen architecture. *The Online Journal of Science and Technology*, Vol. 3, No. 1, p. 39-45. Disponible en <http://www.tojsat.net>

Kita, Y.; Daneels, A.; Romo de Vivar, A. (2013b). Estudio químico para la identificación del aglutinante en muestras arquitectónicas prehispánicas. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT) 13, 2013, Valparaíso, Chile, Material Universal, Realidades Locales, Td: Tecnología e innovación en la construcción con tierra*. Valparaíso: Centro de Extensión Duoc y Red Iberoamericana PROTERRA.

Kita, Y.; Daneels, A.; Romo de Vivar, A. (2014). Chapopote como Estabilizante de la Construcción de Tierra Cruda. Román Kalisch, M. A.; Canto Cetina, R. E. (coords. y eds.) *Technohistoria. Objetos y artefactos de piedra caliza, madera y otros materiales*. Mérida: Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Yucatán y la Dirección de Estudios Históricos del INAH, p. 174-193.

Masschelein-Kleiner L. (1995). *Ancient Binding Media, Vanishes and Adhesives*. Rome: ICCROM.

Mills, J. S.; White, R. (1994). *The Organic Chemistry of Museum Objects. Second edition*. Oxford: Butterworth Heinemann Ltd.

O'Connor, J. (1973). *The Adobe Book*. Santa Fe: Ancient City Press.

Ohi, K.; Girón, I. (2000). Los muros de morteros y los materiales para la restauración de la arquitectura de tierra en la zona Casa Blanca. K. Ohi (ed.) *Chalchuapa, Informe de la investigación interdisciplinaria de El Salvador (1995-2000)*. Kyoto: University of Foreign Studies, p. 262-266.

Olivier, A. (2000). *Fort Selden Adobe Test Wall Project –Phase I: Final Report*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute y New Mexico State Monuments.

Palma, F.; Donde, M.; Lloyd, W. R. (1947). Fixed oils of Mexico. I. Oil of Chia-Salvia Hispanica. *The Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 24, No. 1, p 27-28.

Vandenabeele, P.; Ortega-Avilès, M.; Tenorio Castilleros, D.; Moens, L. (2007). Raman spectroscopic analysis of Mexican natural artists' materials. *Spectrochimica Acta, Part A*, Vol. 68, p. 1085-1088.

Wendt, C. J.; Lu, S. T. (2006). Sourcing archaeological bitumen in the Olmec region. *Journal of Archaeological Science*, Vol. 33, p. 89-97.

Wendt, C. J.; Cyphers, A. (2008). How the Olmec used bitumen in ancient Mesoamerica. *Journal of Anthropological Archaeology*, Vol. 27, No. 2, p. 175-191.

NOTAS

(1) Los aceites secantes son de linaza, chía, tung (*Vernicia fordii*), adormidera (*Papaver somniferum*), perilla (*Perilla frutescens*), nuez (*Juglans regia*), cártamo (*Carthamus tinctorius*), girasol (*Helianthus annuus*), etc., los aceites semi-secante son de maíz (*Zea mays*), algodón (*Gossypium spp.*), ajonjolí (*Sesamum indicum*), soya (*Glycine max*), etc. El aceite de oliva (*Olea europaea*), almendra (*Prunus dulcis*), cacahuete (*Arachis hypogaea*), coco (*Elaeis oleifera* o *Elaeis guineensis*), camelia (*Camellia oleifera*), colza (*Brassica napus*), etc. son aceites no secantes; también diluyen bitumen aunque menos que los otros aceites que tienen un valor más alto de yodo. (Masschelein, 1995; Mills; White, 1994)

(2) El tamaño de los adobes prehispánicos del sitio de La Joya era de 80cm x 40cm x 10cm.

(3) La eflorescencia de sales de CaCO_3 en la superficie es producto de la carbonatación de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) que se disuelve en agua y migra a la superficie.

(4) Los clavos con los que se fijó el geotextil en 2009 están oxidados, cambiando su forma y uniéndose a la matriz de tierra, por lo que no se pudieron sacar sin dañar el vestigio original.

AGRADECIMIENTOS

La primera autora realizó las investigaciones como Becaria del programa de las Becas Posdoctorales en la UNAM en el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México y actualmente como Becaria "Genaro Estrada" para Expertos Mexicanistas otorgada por la Secretaría de Relaciones Exteriores del Gobierno de México.

El proyecto arqueológico en el sitio de La Joya está a cargo de la segunda autora, del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las intervenciones de preservación y los estudios de muestras estructurales prehispánicas de donde derivan los datos aquí presentados contaron con los permisos del Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México y recibieron financiamiento de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (PAPIIT IN405009 e IN300812) y del CONACyT (Fondo Institucional 90636).

AUTORES

Yuko Kita, Arquitecta, especializada en conservación del patrimonio arquitectónico por la Universidad Nacional de Artes de Tokyo (maestría) y la Universidad de Tsukuba (doctorado), Japón. Actualmente realiza investigaciones sobre los materiales de construcción en tierra para entender la técnica constructiva original y diseñar los materiales adecuados para la preservación.

Annick Daneels, Arqueóloga (licenciatura y doctorado) por la Universidad de Gante, Bélgica, doctora en antropología por la UNAM, México. Investigadora del Instituto de Investigaciones Antropológicas, responsable del proyecto Exploraciones en el Centro de Veracruz, desde 2004 estudiando arquitectura de tierra como tecnología prehispánica y patrimonio. Miembro de la Red PROTERRA.