

Escuela Nacional de Conservación, Restauración  
y Museografía “Manuel del Castillo Negrete”

## Evaluación de bitumen como estabilizante para patrimonio construido en tierra bajo el clima trópico húmedo

Yuko Kita

Annick Jo Elvire Daneels Verriest

# Estudios sobre conservación, restauración y museología

V O L U M E N II

ISBN: 978-607-484-649-2

comisionpublicacionesencrym@gmail.com

www.publicaciones-encrym.org

## Palabras clave

Monitoreo, resistencia a la intemperie, Golfo de México.

## Resumen

Este trabajo presenta los problemas de conservación del patrimonio construido en tierra bajo el clima del trópico húmedo y las pruebas de estabilizantes locales para preservar la construcción en tierra que se aplicaron en el sitio arqueológico de La Joya, Medellín de Bravo, Veracruz. A través del monitoreo a largo plazo de muros de prueba a la intemperie se ha podido comprobar la efectividad de productos bituminosos como estabilizante de tierra. Se aplicó un producto bituminoso en la capa de sacrificio de la pirámide principal del sitio, y se realiza el monitoreo de su comportamiento.

## Arquitectura monumental en tierra del sitio arqueológico de La Joya, Medellín de Bravo, Veracruz

La arquitectura prehispánica en el sitio arqueológico de La Joya es un ejemplo de las construcciones monumentales hechas en tierra en la zona de trópico húmedo de la planicie costera del Golfo. El sitio se ubica en el municipio de Medellín de Bravo, a 15 km de la ciudad de Veracruz en la confluencia de los ríos Jamapa y Cotaxtla, 6 km antes de su desembocadura en el Golfo de México. En la época de lluvias, entre junio y noviembre, la pluviosidad llega a más de 1500mm con huracanes, y en la época seca, entre diciembre y mayo, llegan constantemente fuertes vientos secos conocido como “nortes”.

Las excavaciones que se han llevado a cabo desde 2004 han comprobado la existencia de una larga tradición de arquitectura de tierra entre 200 a.C. y 1000 d.C. (Preclásico tardío y Clásico). Debido a la extracción de tierra de la construcción prehispánica para fabricar ladrillos, actualmente sólo se conserva aproximadamente 5% de la arquitectura monumental de tierra. Quedan sólo partes de la pirámide principal y de dos basamentos palaciegos (Daneels, 2008a, Daneels, 2008b: 3, 17-19).

### **Antecedentes: conservación de la fachada de la pirámide principal**

Después de descubrir la fachada de la pirámide principal en 2008, a pesar de que su vida útil haya sido de cinco siglos (200 a 500 d.C.), después de la excavación fue evidente su degradación por la intemperie. El Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia decidió preservarla y solicitó a la segunda autora la dirección del proyecto arqueológico del sitio (Daneels, 2009: 3-4).

#### **Primera intervención (2009)**

La primera intervención empezó con el relleno de las grietas causadas por el escurrimiento pluvial, con una mezcla de tierra del sitio y ladrillo molido (para distinguir la intervención del original). Después de resanar las grietas, se colocó geotextil (poliéster no tejido de 275 g/m<sup>2</sup>) sobre la pirámide, con el fin de evacuar agua de lluvia y mantener constante la humedad del vestigio. Sobre el geotextil se aplicó una capa de lodo limoso de 4 cm de espesor, y luego una mezcla aguada de limo arcilloso, arena y mucílago de nopal de 1 cm de espesor. Se aplicó un acabado de limo con rasero de PVC a 1 cm de espesor para

terminar la capa de sacrificio. Se aplicó una capa de cal (Calidra del Grupo Calidra) a las secciones cortadas del vestigio para diferenciarlas de la superficie original y protegerlas del escurrimiento de agua de lluvia. La superficie de la capa de sacrificio se trató con hidrofugante de silicona (SILRES®BS 1001A de Wacker Chemie AG) por aspersión en una concentración de 250 ml del producto en 10 litros de agua (Daneels 2009: 5-19, Daneels y Guerrero 2012: 39-40, Daneels y Piña, 2013b: 3-4).

Después de la primera lluvia intensa (50 mm en media hora), parte de esta capa de se deslavó, lo que permitió la filtración de agua a la capa de sacrificio (Daneels, 2009: 21, Daneels y Piña, 2013b: 4).

#### **Segunda intervención (2010)**

En la segunda intervención se intentó fortalecer la capa de sacrificio y se optó por aplicar una mezcla de lodo, arena, consolidante de EVA base agua (VINNAPAS®5044N de Wacker Chemie AG) a 0.75% en peso, hidrofugante de silicona base agua (Polvo D de Wacker Chemie AG) a 0.3% en peso y extracto de neem (*Azadirachta indica*) como biocida. Esta mezcla se aplicó sólo en los dos cuerpos al sur de la fachada como experimento. La concentración de consolidante se decidió conforme a los resultados de estudios físico-químicos y mecánicos realizados en el Laboratorio de Restauración del Instituto de Investigaciones Antropológicas por el químico Manuel Reyes García, comenzando con 8% de consolidante (recomendación de la empresa), luego reducido a 4%, después a 2% y al final a 1%, evitando que la capa de sacrificio sea impermeable y demasiado dura, y que su resistencia a la compresión quede dentro de un rango comparable con la estructura prehispánica (Daneels, 2010: 6-11, 19-58, Daneels y Guerrero, 2012: 40, Daneels y Piña, 2013b: 4-5).

Esta capa de sacrificio de la fachada sur resistió al huracán Karl (250 mm en dos días), sin embargo en la época de lluvia se empezó a formar una biopelícula negra sobre esta capa (Daneels, 2010: 87-91, Daneels y Piña, 2013b: 5).

### Tercera intervención (2011)

Se aplicó la misma capa de sacrificio que en la intervención anterior al resto del vestigio, sin agregar extracto de neem, pues posiblemente fue el causante de la formación de la biopelícula. Sin embargo, después de la temporada de lluvias en 2011, la capa de sacrificio se llenó de la misma costra negra y en la época de secas la biopelícula se levantó, causando exfoliación de la superficie de la capa de sacrificio (Daneels y Piña Martínez, 2012: 21-24, Kita, 2013: 50-51, Daneels y Piña, 2013a: 48-53).

## Estudios sobre la construcción prehispánica: identificación del aglutinante orgánico

Paralelamente a las obras de preservación, desde 2009 se realizan estudios multidisciplinarios sobre la tecnología prehispánica de la arquitectura monumental de tierra por parte de un equipo conformado por arqueólogos, arquitectos, ingenieros, químicos y biólogos. Los resultados señalan que las arcillas en los materiales son principalmente esmectita (montmorillonita) y un poco de clorita, y que la fracción fina ( $< 2 \mu\text{m}$ ) conforma más de 40% en todas las muestras —en el caso de los aplanados llega hasta 60-70 %—, lo cual indica que los edificios fueron construidos con mayor cantidad de materiales difíciles de controlar en las condiciones de temperatura y humedad relativa muy variables. Por tanto, se infirió que debió haberse utilizado algún tipo de aglutinante orgánico (Daneels y Guerrero, 2011: 13-17).

### Agglutinantes orgánicos para la construcción de tierra

El aglutinante para construcción de tierra más conocido en México es el mucílago de nopal (*Opuntia spp.*), sin embargo no es tan abundante en la planicie costera del Golfo de México como en Altiplano central. En la zona de trópico húmedo de El Salvador se conoce el uso de extractos vegetales de malva (escobilla) (*Sida rhombifolia*) y guácima (caulote o pixoy) (*Guazuma ulmifolia*) como aglutinante para construcción de tierra vernácula y estas plantas abundan en el sitio de La Joya (Ohi y Girón, 2000: 262-266).

### Identificación de sustancias orgánicas por estudios químicos

Partiendo de la hipótesis de que se utilizaron algún tipo de extracto vegetal como aglutinante, desde 2012 se realizaron estudios químicos sobre sustancias orgánicas en muestras arquitectónicas prehispánicas de adobe, aplanado, piso y relleno. Se han identificado los componentes orgánicos principales: hidrocarburos, ésteres aromáticos y triglicérido, los cuales no corresponden a extractos vegetales frescos.

Se considera que los hidrocarburos y ésteres aromáticos pueden provenir de los materiales petrolíferos: bitumen, betún o chapopote (Kita *et al.*, 2013a: 42-44), ya que se conocen varios afloramientos naturales de bitumen en la planicie costera del Golfo de México, lo mismo que el uso de bitumen en las culturas antiguas de la costa del Golfo como impermeabilizante del piso en edificios de tierra cruda desde el periodo Preclásico (a partir de 1600 a.C.) (Wendt, 2006a: 5-6, 8-10, Wendt y Lu, 2006b: 91-93, Wendt y Cyphers, 2008: 185-186); además, las culturas antiguas de la costa de Golfo también usaron el bitumen para decorar figurillas de barro (Culpepper Belt, 1971: 38-41) e impermeabilizar vasijas de barro como las que se encuentran en el sitio de La Joya (Daneels, 2006).

El uso de bitumen en la construcción de tierra cruda, como cementante o impermeabilizante, está igualmente bien documentados en las culturas antiguas del Medio Oriente, Egipto y valle del Indo (Taylor, 1855: 408-409, Barton, 1926: 301-302, Forbes 1936: 66-83, Schwartz y Hollander 2000: 83-84, Connan 2012: 50-55). Sin embargo, ni en el Viejo Mundo ni en el Nuevo, hay reporte del uso de bitumen disuelto en aceite para la construcción de tierra. Pero en la restauración de patrimonio construido en tierra se ha utilizado emulsión de asfalto en Estados Unidos, sobre todo en Nuevo México entre 1930 y 1970 (Charnov 2011: 66, Olivier, 2000: 32), y a partir de ello su uso es ampliamente recomendado en los manuales y normas estadounidenses para la fabricación de adobe modernos.

### Prueba de resistencia a la intemperie 1ª serie (2013)

Se construyeron muros experimentales de resistencia a la intemperie al lado este del perímetro protegido de la pirámide para evaluar tanto el uso de bitumen disuelto en la construcción prehispánica como para buscar su aplicación a la conservación de la construcción en tierra (Kita, 2014: 32-42, Kita, et al., 2014: 185-188).

### Preparación de aglutinantes orgánicos

Se clasifican las muestras de prueba por cinco variedades de aditivo (véase Tabla 1).

Variedad	Abr.	Función esperada
Control (agua)	C	-----
Extracto acuoso de malva de flores amarillas ( <i>Sida rhombifolia</i> )	M	Secado lento
Extracto acuoso de guácima ( <i>Guazuma ulmifolia</i> )	G	Secado lento
Extracto acuoso de bitumen sólido / Bitumen diluido en aceite de linaza	B	Estabilizante Hidrofugante <sup>e</sup>
Emulsión asfáltica base agua (producto comercial)	A	Estabilizante Hidrofugante <sup>e</sup>

Tabla 1. Prueba de resistencia a la intemperie (1ª. serie).

A partir de la información etnográfica sobre el uso de los extractos vegetales y los resultados de estudios químicos antes mencionados, se compararon los extractos vegetales y los productos bituminosos. Para evaluar la eficacia del bitumen disuelto artesanalmente, se comparó con un producto comercial de emulsión asfáltica.

Se preparó el extracto de malva machacando los tallos, hojas y flores con un palo de madera y remojando en agua por un día. En la superficie aparecieron burbujas finas que indican la presencia de saponinas, componentes tensoactivos que retienen agua y al mismo tiempo dan plasticidad a la mezcla (véase Figura 1).

El extracto de guácima se preparó pelando las cortezas del árbol, cortándolas en pedazos y remojando en agua por un día. El extracto presenta una viscosidad tan alta como el mucílago de nopal (véase Figura 2).

Se consiguió bitumen sólido (chapopote) en una ferretería local y se intentó disolverlo en agua caliente, pero el bitumen sólo se reblandece, no se disuelve. Se prepararon los adobes con ese líquido. Después de identificar los triglicéridos en la construcción prehispánica como aceite vegetal, se disolvió bi-



Figura 1. Preparación del extracto de malva (*Sida rhombifolia*), Yuko Kita y Annick Daneels, 2012.



Figura 2. Preparación del extracto de guácima (*Guazuma ulmifolia*), Annick Daneels, 2012.

tumen en el aceite de linaza, también conseguido en una ferretería local. El bitumen se disuelve bien en aceite secante (aproximadamente 100 g de bitumen en un litro de aceite de linaza) (véase Figura 3).



Figura 3. Preparación del extracto acuoso de bitumen y bitumen disuelto en aceite de linaza, Annick Daneels y Yuko Kita, 2013.

El producto comercial de emulsión asfáltica es un impermeabilizante base agua (Impertop A de Comex), de color café oscuro y de consistencia pastosa con fibras naturales (véase Figura 4).



Figura 4. Producto comercial de emulsión asfáltica base agua (Impertop A de Comex), Annick Daneels, 2013.

## Fabricación de adobes

Como adobes del muro C (control) se utilizaron ladrillos crudos que contienen arena, un poco de ceniza y carecen de pajas. El tamaño de ladrillos crudos es de 24cm (largo) x 13cm (ancho) x 5cm (alto).

Se fabricaron los adobes utilizando el mismo molde de ladrillos. Se prepara lodo mezclando tierra arcillosa, agua y pajas picadas. Para los adobes de M (malva) y G (guácima) se agregan preparados extractos vegetales al 5% en volumen, respectivamente, y para los de B (bitumen) y A (emulsión asfáltica) productos bituminosos al 1% en volumen. Ninguno de los adobes fabricados presentó fisuras o cambios cromáticos.

## Construcción de muros de prueba

Con los adobes fabricados se construyeron cinco muros de mampostería de 80 cm (largo) x 28 cm (ancho) x 80 cm (alto desde el suelo): C (control), M (malva), G (guácima), B (bitumen) y A (emulsión asfáltica). Para pegar los adobes se usó la misma mezcla con que se fabricaron.

Una vez terminados los muros de mampostería, se dividió cada muro en cinco sectores a lo largo (noroeste y sureste) para aplicar cinco aplanados (C, M, G, B y A). Se aplicaron tres capas de aplanado (base, intermedio y fino) y al final una capa muy delgada para bruñido. A los dos lados noreste y suroeste se aplicó el aplanado de control para comparar los deterioros del lado expuesto a los vientos dominantes (noreste) y a sotavento (suroeste). Para los aplanados se utilizó la misma mezcla para adobes, agregando cada vez más agua. En el caso del aplanado de bitumen, éste empezó a utilizarse disuelto en aceite de linaza, en lugar del agua en que se hirvió el bitumen.

## Monitoreo desde marzo de 2013

Se ha realizado el monitoreo de los muros desde marzo de 2013, cuando se terminó de construir los muros. Al cabo de un mes el color de los aplanados que contienen extractos vegetales (M y G) se oscureció, posiblemente por la oxidación de los aglutinantes vegetales. Desde el principio de la época de lluvia se deterioró severamente el muro de control (C) y después los aplanados con extractos vegetales. Los muros y aplanados con productos bituminosos resistieron bastante bien a la intemperie a lo largo del año (véase Figura 5).

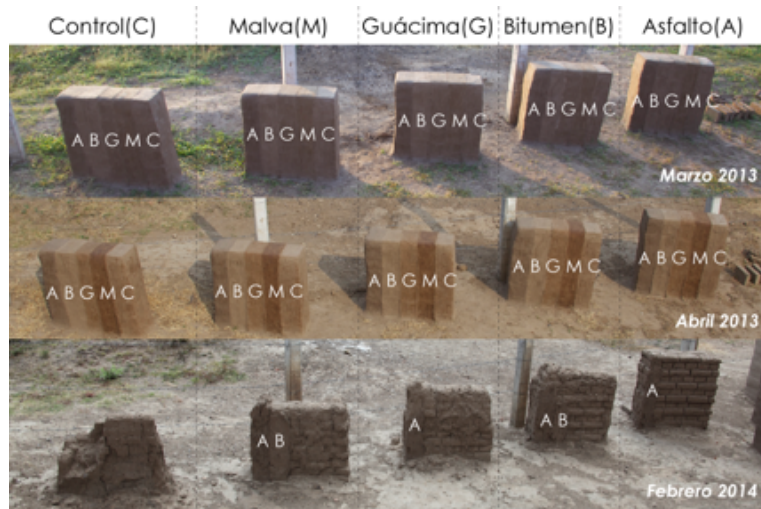


Figura 5. Monitoreo de la 1ª serie de prueba de la resistencia a la intemperie, Yuko Kita, 2013.

## Mantenimiento y prevención de biodeterioros de la capa de sacrificio de la pirámide principal

Partiendo del resultado de la 1ª serie de prueba de resistencia a la intemperie, se decidió a realizar un experimento sobre la capa de sacrificio de la pirámide principal para su mantenimiento y prevención de biodeterioros (Kita, 2014: 49-53).

### Biopelícula

La costra negra que se formó sobre la capa de sacrificio podrían ser algas (*Cyanobacteria*), ya que no crece debajo de las lonas y se deduce que es una biopelícula que realiza fotosíntesis y emite oxígeno.

### Prueba de control de biopelícula

Ya que no es viable aplicar el biocida basado en ácido úsnico, se planteó una limpieza mecánica de las algas. Se supone que las algas crecen sobre la superficie rugosa de la capa de sacrificio por la facilidad de anclarse; por tanto, la aplicación de un aplanado fino después de la limpieza mecánica ayudaría a prevenir el crecimiento de esta biopelícula. Para comprobar esta hipótesis se diseñó una prueba de control de biopelícula en el cuerpo superior de la alfarda sur de la pirámide, aplicando los siguientes tres tipos de tratamiento (véase Tabla 2).

Variación	Descripción	Variación
Control	Se retira la biopelícula y deja la superficie rugosa	--
Bitumen	Se retira la biopelícula y se aplica un aplanado fino de lodo con bitumen disuelto en aceite de linaza	Estabilizante, hidrofugante (biocida)
Alumbre	Se retira la biopelícula y se aplica un aplanado fino de lodo con alumbre disuelto en agua caliente	Hidrofugante

Tabla 2. Pruebas sobre la fachada de la pirámide principal.

Se espera que la adición de alumbre tenga efecto hidrofugante, y que la de bitumen, además, tenga efecto herbicida y fungicida, ya que el bitumen se utiliza para prevenir la invasión de los insectos en bienes muebles de madera. Se limpió la biopelícula con espátula metálica y brocha de ixtle. Después de la limpieza se notaron grietas en la capa de sacrificio. Se preparó la mezcla de lodo arcilloso, arena, paja picada y mucílago de nopal extraído en agua por un día. Después se dividió esta mezcla en dos partes, para preparar los aplanados finos de bitumen y alumbre, respectivamente; se agregó bitumen diluido en aceite de linaza (15 g de bitumen sólido en 150 ml de aceite) para

el aplanado de bitumen al 1.5% en volumen de la mezcla. Para el aplanado de alumbre al 20% en volumen se agregó una solución de 300g de alumbre en dos litros de agua caliente. Se dividió el área experimental en tres partes y se aplicaron estas mezclas a las áreas correspondientes de bitumen y alumbre. El siguiente día se aplicaron nuevamente las mismas y se bruñeron.

Después de la aplicación se observó que unas partes del aplanado de alumbre se levantaron ligeramente. El monitoreo durante medio año permitió observar que crecieron bastantes algas sobre la franja de control, mientras las franjas donde se pusieron los aplanados de bitumen y alumbre se conservaron más limpias; no obstante, estos aplanados se deslizaron en septiembre, y después de deslavarse se observó el crecimiento de algas en los aplanados. Se supone que las algas crecen sobre la superficie rugosa y la aplicación de un aplanado fino ayuda a prevenir el crecimiento de biopelícula, mientras el aplanado resiste a la intemperie (véase Figura 6).

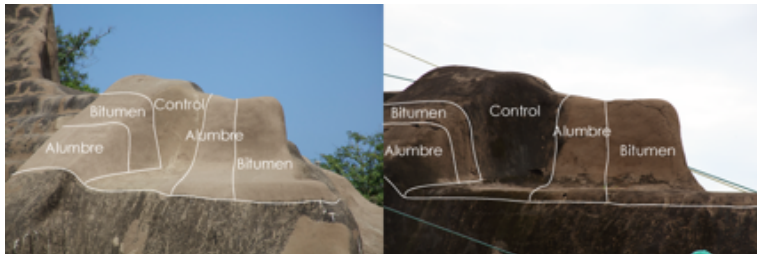


Figura 6. Monitoreo de la prueba de control de biopelícula, Yuko Kita y Annick Daneels, 2013.

### Tratamiento a la fachada de la pirámide

Por lo tanto, se optó por aplicar un aplanado fino con un producto bituminoso a la capa de sacrificio. A la mezcla de lodo arcilloso y mucílago de nopal se agregó el producto bituminoso

en una proporción al 5% en volumen para evitar el deslave del aplanado, también 0.75% en peso de consolidante EVA base agua (VINNAPAS®N5044). Por el manejo del material en el sitio y el costo, se eligió la emulsión asfáltica (Impertop A), el producto comercial estable.

Después de limpiar las algas con espátula metálica (véase Figura 7), se rellenaron los huecos grandes en la capa de sacrificio con lodo y luego las grietas mayores de 3mm se rellenaron con una mezcla de ladrillo crudo molido, arena de río y consolidante EVA al 0.75% en peso. Posteriormente se aplicaron tres manos del aplanado fino con producto bituminoso, agregando paja fina solamente en el primer aplanado (véase Figura 8).

La superficie quedó lisa y no presentó un cambio significativo del color, y hasta la fecha aguantó al paso de gente, animales y carretillas cargadas, así como las lluvias ocasionales de la época de secas (véase Figura 9).



Figura 7. Limpieza mecánica de las algas, Annick Daneels, 2013.





Figura 8. Aplicación del aplanado fino con emulsión asfáltica a la pirámide, Yuko Kita, 2013.



Figura 9. Después del tratamiento, Annick Daneels, 2013.

## Pruebas de resistencia a la intemperie 2ª serie (2014)

Se ha podido comprobar la efectividad de los productos bituminosos como estabilizante de la construcción de tierra a través de la primera serie de muros experimentales en el sitio. Con el objetivo de buscar una fórmula para la capa de sacrificio para la fachada y el muro de contención, compatible con el vestigio y resistente a la intemperie a mediano o largo plazo, se realizó la 2ª serie de experimentos con diez muros de prueba de resistencia a la intemperie, enfocándose más a métodos de preparar productos bituminosos. (Kita, 2014: 43-47).

### Preparación de los productos bituminosos

En esta serie se compararon las variaciones (véase Tabla 3). El objetivo principal de esta prueba es comparar tres métodos de preparación de productos bituminosos con mayor concentración. El muro A6 se elabora con el producto comercial de emulsión asfáltica al 6% en volumen de la mezcla. A la misma concentración, el muro L6 se prepara con bitumen disuelto en aceite secante (de linaza) y el muro M6 con bitumen en aceite no secante (de maíz); el objetivo fue reconocer la diferencia por las propiedades del solvente (aceite) para bitumen. L6 contiene el bitumen más concentrado, ya que el bitumen se disuelve más en aceite secante (450g en un litro de aceite de linaza) que en aceite no secante (150g en un litro de aceite de maíz).

Los muros E (estándar) y A1 (emulsión asfáltica al 1%) se construyeron para la comparación con la primera serie. Se agregó un muro con cal al 6% en volumen de la mezcla (C6) para comparar la resistencia de cal con productos bituminosos.

Aparte de las pruebas mencionadas, se plantearon pruebas con el fin de averiguar la función del geotextil: el muro de Tg (tabique con geotextil) es una réplica del muro de contención que se estaba construyendo al lado norte de la pirámide, y se compara con el muro de T (tabique), la versión de Tg sin geotextil. AIg es una modificación de AI con geotextil con el objetivo de comparar con AI.

Variedad	Abr.	Función esperada
Estándar (agua)	E	-----
Emulsión asfáltica (Impertop A) al 1% en volumen	AI	Estabilizante Hidrofugante <sup>e</sup>
Emulsión asfáltica (Impertop A) al 6% en volumen	A6	Estabilizante Hidrofugante <sup>e</sup>
Bitumen diluido en aceite de linaza al 6% en volumen	L6	Estabilizante Hidrofugante <sup>e</sup>
Bitumen diluido en aceite de maíz al 6% en volumen	M6	Estabilizante Hidrofugante <sup>e</sup>
E + aplanado fino y bruñido de L6 / M6	EI/Em	Estabilizante Hidrofugante <sup>e</sup>
Cal (Calidra ) al 6% en volumen	C6	Estabilizante
AI + geotextil	AIg	-----
Mampostería de tabique (ladrillo) + aplanados de A6	T	-----
T + geotextil	--	-----

Tabla 3. Prueba de resistencia a la intemperie 2ª. serie.

### Fabricación de adobes

En la segunda serie el tamaño de adobe se diseñó de 40cm (largo) x 20cm (ancho) x 10cm (alto), un tamaño de adobe común en México, aunque los bloques prehispánicos del sitio de La Joya eran de 80 x 40 x 10cm. Se fabricaron los adobes agregando cada estabilizante mencionado a la mezcla de lodo y paja gruesa en función de su proporción. Para T y Tg, se utilizaron ladrillos cocidos de tamaño 24cm (largo) x 13cm (ancho) x 5cm (alto).



Figura 10. Muro de mampostería de adobe de la 2ª serie de prueba, Annick Daneels, 2013.

## Construcción de los muros

Se construyeron los muros al lado sureste de la pirámide y al sur de la primera serie de muros de prueba. El tamaño de cada muro mide 40cm (largo) x 40cm (ancho) x 90cm (alto desde el suelo) (véase Figura 10). Para pegar los adobes se utilizó la misma mezcla con que se hicieron. Para los muros de T y Tg se colocaron cuatro ladrillos en cada hilera, haciendo un hoyo en el centro, pegando con mezcla de lodo con cal hidratada (Calidra) al 2.5% en volumen; se fueron rellenando los hoyos del centro con tierra y se apisonaron (véase Figura 11). Se clavó el geotextil sobre los muros de A1g y Tg (véase Figura 12).

Después se aplicaron tres capas de aplanado (base, intermedio y fino), bruñendo el último aplanado de cada muro (véase Figura 13). Salvo T y Tg, se preparó la mezcla del aplanado base igual que la mezcla de adobes con pajas finas, pero rebajado con más agua. Los aplanados intermedio y fino se prepararon igual, pero sin paja y rebajando aún con más agua el intermedio hasta formar un líquido espeso, y el fino hasta una consistencia parecida al agua de lodo. El aplanado intermedio sella las grietas del aplanado base, mientras el fino sella las del intermedio. Al aplicar el aplanado fino también se bruñía con espátula metálica (véase Figura 14). Los aplanados para T y Tg se prepararon de igual manera que los aplicados al muro de contención al lado norte de la pirámide: una mezcla de lodo, mucílago de nopal, emulsión asfáltica al 5% en volumen, consolidante EVA al 0.75% en peso, agregando pajas finas solamente para el aplanado base.

Ninguno de los aplanados aplicado de manera directa a la mampostería de adobe presentó grietas visibles en el aplanado fino. Los aplanados finos sobre geotextil o apisonado de tierra presentaron grietas, ya que el geotextil no tiene buena cohesión con el muro de mampostería de ladrillo cocido y los aplanados se cuelgan.



Figura 11. Muro de mampostería de ladrillo, Yuko Kita, 2013.



Figura 12. Colocación del geotextil al muro A1g, Yuko Kita, 2014.



Figura 13. El aplanado base, Yuko Kita, 2013.



Figura 14. Aplicación del aplanado fino, Annick Daneels, 2013.



Figura 15. 10 muros de la 2ª serie de prueba de resistencia a la intemperie, Yuko Kita, 2014.

## Observaciones finales

Luego de varias intervenciones se confirma que la condición del medio ambiente en la zona de trópico húmedo es bastante severa para la construcción de tierra y la preservación de sus materiales. El objetivo principal de utilizar aglutinantes en la construcción de tierra en esta zona es estabilizar las arcillas expansivas e hidrofugar la estructura de tierra.

Fue notable la efectividad del bitumen como estabilizante de construcción de tierra en el monitoreo de la primera serie de prueba de la resistencia a la intemperie en el sitio a lo largo de un año. El muro sin estabilizante (C) empezó a desbaratarse en cuatro meses entrando la temporada de lluvia. Los extractos vegetales (M y G) no funcionaron como estabilizante, sino que ayudaron a retardar el secado de los aplanados y, en consecuencia, disminuyeron las grietas. Los muros y aplanados con productos bituminosos (B y A) han perdurado bastante, a pesar de su baja concentración.

El experimento de control de biopelícula sobre capa de sacrificio de la pirámide comprobó que las algas crecen sobre la superficie rugosa, y que la aplicación de aplanados finos ayuda a prevenir su rápido crecimiento. Se aplicaron aplanados finos con bitumen (emulsión asfáltica) al aplanado fino como estabilizante, para que pueda perdurar a lo largo del año. Además de su función como estabilizante e hidrofugante, se podría esperar otra función como biocida contra la biopelícula, las malezas y los insectos. Por otra parte, para conocer la concentración óptima y la mejor forma de aplicación de materiales bituminosos, se realizó la segunda serie de prueba de resistencia a la intemperie (véase Figura 15). El monitoreo del comportamiento de la superficie de la capa de sacrificio de la pirámide y la segunda serie de prueba servirá para orientar la futura intervención y/o mantenimiento del patrimonio construido en tierra bajo el clima trópico húmedo.

## Bibliografía

Barton, George A. (1926), "On Binding-Reeds, Bitumen, and other Commodities in Ancient Babylonia", *Journal of the American Oriental Society*, núm. 46, pp. 297-302.

Charnov, Avigail A. (2011), "100 Years of Site Maintenance and Repair: Conservation of Earthen Archaeological Sites in the American Southwest", *Journal of Architectural Conservation*, vol. 17, núm. 2, pp. 59-75.

Connan, Jacques (2012), *Le bitume dans l'Antiquité*, Arles, Errance.

Culpepper Belt, Sage (1971), "Veracruz Ceramic Techniques", en Ethnic Arts Council of Los Angeles (ed.), *Ancient Art of Veracruz*, Los Angeles, Los Angeles County Museum of Natural History, pp. 38-41.

Daneels, Annick (2006), "La cerámica del Clásico en Veracruz, 0-1000 d.C." en Beatriz Leonor Merino Carrión y Ángel García Cook (eds.), *La producción alfarera en el México Antiguo*, Volumen II *La Alfarería durante el Clásico 100-700 d.C.* México, INAH (Científica, Serie Arqueología, 495), pp. 393-504.

\_\_(2008a), "La Joya Pyramid, Central Veracruz, Mexico: Classic Period Earthen Architecture", *Dumbarton Oaks Pre-Columbian Project Grant Reports*, Washington, D.C.

\_\_(2008b), "Monumental Earthen Architecture at La Joya, Veracruz, México", *FAMSI Grantee Reports 07021*, en línea [<http://www.famsi.org/reports/07021/>], consultada en abril de 2014.

\_\_(2009), "Propuesta para la preservación de la Pirámide de La Joya, municipio de Medellín de Bravo, Ver.", Informe técnico parcial: exploraciones en el centro de Veracruz, Temporada XVI, México, Archivo Técnico de la Coordinación de Arqueología, INAH.

\_\_(2010) "Propuesta para la preservación de la Pirámide de La Joya. Segunda serie de pruebas", Informe técnico parcial: exploraciones en el centro de Veracruz, Temporada XVII, México, Archivo Técnico de la Coordinación de Arqueología, INAH.

Daneels, Annick y Aarón David Piña Martínez (2012), "Propuesta para la preservación de la Pirámide de La Joya, municipio de Medellín de Bravo, Ver., Proyecto 2011", Segundo Informe técnico parcial: preservación y monitoreo, exploraciones en el centro de Veracruz, Temporada XVIII, México, Archivo Técnico de la Coordinación de Arqueología, INAH.

Daneels, Annick y Aarón David Piña Martínez 2013<sup>a</sup>, "Propuesta para la preservación de la Pirámide de La Joya, municipio de Medellín de Bravo, Ver., Proyecto 2012", Informe técnico parcial: exploraciones en el centro de Veracruz, Temporada XIV, México, Archivo Técnico de la Coordinación de Arqueología, INAH.

Daneels, Annick y Aarón David Piña Martínez (2013b), "Preservación y mantenimiento en el sitio arqueológico de La Joya, Veracruz, México", ponencia para el XIII Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 2013, Valparaíso, Centro de Extensión Duoc y Red Iberoamericana Proterra.

Daneels, Annick y Luis Fernando Guerrero Baca (2011), "Millenary Earthen Architecture in the Tropical Lowlands of Mexico", *APT Bulletin*, vol. 42, núm. 1, pp. 11-18.

Daneels, Annick y Luis Guerrero (2012), "La Joya, Veracruz, un sitio prehispánico construido con tierra: sistemas constructivos y pruebas de preservación en trópico húmedo", *Intervención*, núm. 6, pp. 34-42.

Forbes, Robert Jacobus (1936), *Bitumen and Petroleum in Antiquity*, Leiden, Brill.

Hollander, David y Mark Schwartz (2000), "Annealing, Distilling, Reheating and Recycling: Bitumen Processing in the Ancient Near East", *Paléorient*, vol. 26, núm. 2), pp. 83-91.

Kita, Yuko (2013), "Materiales y procedimientos para la preservación de la arquitectura monumental hecha de tierra en la zona de trópico húmedo: estudio preliminar en la Pirámide de La Joya, Medellín de Bravo, Veracruz", Informe final del periodo 2011-II del Programa de Becas Posdoctorales en la UNAM, México, Archivo de la Coordinación de Humanidades, UNAM.

\_\_(2014), "Materiales y procedimientos para la preservación de la arquitectura monumental hecha de tierra en la zona de trópico Húmedo: pruebas y monitoreo de materiales para preservación de la Pirámide de La Joya, Medellín de Bravo, Veracruz", Informe final del periodo 2012-II del Programa de Becas Posdoctorales en la UNAM, México, Archivo de la Coordinación de Humanidades, UNAM.

Kita, Yuko, Annick Daneels y Alfonso Romo de Vivar (2013a), "Chemical Analysis to Identify Organic Compounds in pre-Columbian Monumental Earthen Architecture", *The Online Journal of Science and Technology*, vol. 3, núm. 1, pp. 39-45, en línea [<http://www.tojsat.net/index.php/tojsat/article/view/78>], consultada en abril de 2014.

\_\_(2013b), "Estudio químico para la identificación del aglutinante en muestras arquitectónicas prehispánicas", ponencia para el XIII Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra 2013, Valparaíso, Centro de Extensión Duoc y Red Iberoamericana Proterra.

\_\_(2014), "Chapopote como estabilizante de la construcción de tierra cruda", en *Technohistoria. Objetos y artefactos de piedra caliza, madera y otros materiales*, Mérida, Facultad de Arquitectura-Universidad Autónoma de Yucatán/ Dirección de Estudios Históricos-inah, pp. 174-193.

Ohi, Kuniaki e Ismael Girón (2000), "Los muros de mortero y los materiales para la restauración de la arquitectura de tierra en la zona Casa Blanca", en *Chalchuapa, Informe de la investigación interdisciplinaria de El Salvador (1995-2000)*, Kuniaki Ohi (ed.), Kyoto, Kyoto University of Foreign Studies, pp. 262-266.

Olivier, Anne (2000), "Fort Selden Adobe Test Wall Project-Phase I: Final Report", Los Angeles, The Getty Conservation Institute/ Santa Fe, Museum New Mexico State Monuments, en línea [[http://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/pdf\\_publications/fort\\_selden\\_project.html](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/fort_selden_project.html)], consultada en abril de 2014.

Taylor, J. E. (1855), “Notes on Abu Shahrein and Tel el Lahm”, *Journal of the Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland*, vol. 15, pp. 404-415.

Wendt, Carl J. (2006a) “Bitumen Sourcing in the Olmec Region”, FAMSÍ Grantee Reports 03059, en línea [<http://www.famsi.org/reports/03059>], consultada en abril de 2014.

Wendt, Carl J. y Shan-Tan Lu (2006b), “Sourcing Archaeological Bitumen in the Olmec Region”, *Journal of Archaeological Science*, núm.33, pp. 89-97.

Wendt, Carl J. y Ann Cyphers (2008), “How the Olmec Used Bitumen in Ancient Mesoamerica”, *Journal of Anthropological Archaeology*, vol. 27, núm. 2, pp. 175-191.