



ESTUDIO QUÍMICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL AGLUTINANTE EN MUESTRAS ARQUITECTÓNICAS PREHISPÁNICAS

Yuko Kita¹, Annick Daneels², Alfonso Romo de Vivar³

1. Becaria del Programa de Becas Postdoctorales en la UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México.
kitayuko@gmail.com
2. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México. annickdaneels@hotmail.com
3. Laboratorio de Productos Naturales, Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México. aromovi@unam.mx

Palabras claves: bitumen, Golfo de México, Espectroscopía de Infrarrojo, Espectrometría de Masas, Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear

RESUMEN

En 2012 se inició un programa de estudio químico mediante extracción de residuos de aglutinantes en 14 muestras de rellenos, adobes, pisos y aplanados, fechadas de 200-400 d.C., obtenidos en excavaciones en edificios de arquitectura de tierra monumental del sitio arqueológico de La Joya, Veracruz, México, ubicado en la planicie costera del Golfo en un ambiente de trópico húmedo. El interés por identificar un aglutinante orgánico deriva de la observación que la conservación de los edificios es mejor que la esperada considerando solo la composición mineral de los materiales de construcción, donde dominan arcillas expansivas de tipo montmorillonita, lo que lleva a suponer la presencia de un componente con efectos consolidantes e hidrofugantes.

El estudio químico de las muestras consistió en la extracción de residuos orgánicos mediante solventes hexano y metanol, y su análisis por medio de cromatografía de capa fina, espectroscopía de IR, Resonancia Magnética Nuclear protónica y de carbono 13, y espectrometría de masas. Los resultados hasta la fecha muestran la presencia de una mezcla de compuestos similar en todas las muestras, con mayor cantidad en los adobes. Los componentes identificados a la fecha consisten en hidrocarburos, un triglicérido y un azúcar. Para la identificación del origen del aglutinante, se están realizando de manera paralela estudios químicos de mucilagos usados en arquitectura vernácula en Centroamérica.

La importancia de identificar el aglutinante presente en la arquitectura prehispánica no solo reside en entender lo que hizo posible por miles de años una tradición constructiva de tierra cruda en un ambiente de trópico húmedo, tópico que releva de la historia de la tecnología, sino por las posibilidades que abre en la conservación de los vestigios arqueológicos y su posible aplicación a la construcción moderna.

1. PRESENTACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

La arquitectura prehispánica en el sitio arqueológico de La Joya es un ejemplo de las construcciones monumentales hechas en tierra cruda en la zona de trópico húmedo en México. La Joya se encuentra en la planicie costera del Golfo, a 15 km de la ciudad moderna de Veracruz; se ubica en la confluencia de los ríos Jamapa y Cotaxtla, 6 km antes de su desembocadura en el Golfo (Figura 1). Hay 2 estaciones principales en el año: de época de lluvia (la pluviosidad anual llega a más de 1500 mm) en verano y otoño (junio – noviembre) con huracanes y la seca con “Nortes”, vientos secos fuertes, en invierno y primavera (diciembre – mayo).

A pesar de la afectación severa del sitio por la extracción de tierra para fabricación de ladrillos, las excavaciones que se han llevado a cabo desde 2004 han comprobado la existencia de una larga tradición de arquitectura de tierra cruda entre a.C. 200 y d.C. 1.000 (Preclásico tardío y Clásico) (Daneels, 2008a; 2008b; Piña Martínez, 2010; Daneels;

Guerrero-Baca, 2011; Liberotti; Daneels, 2012).

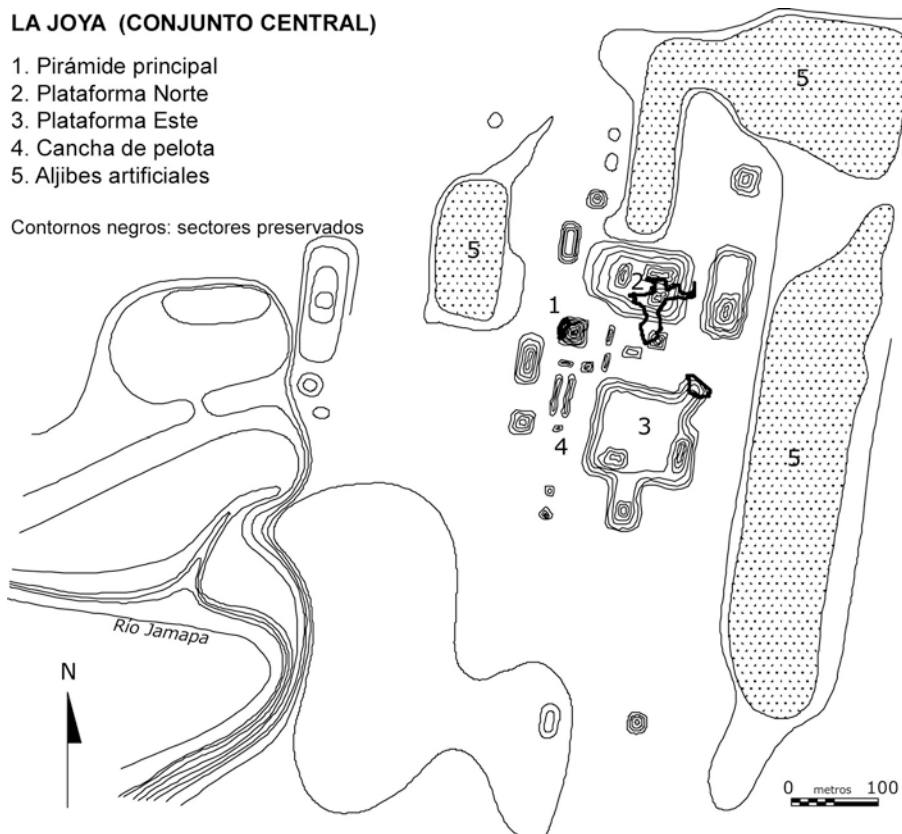


Figura 1. Esquema del sitio arqueológico de La Joya

1.2 Definición del problema

Desde 2009 se empezaron los estudios multidisciplinarios sobre la tecnología prehispánica de la arquitectura monumental de tierra por un equipo conformado por arqueólogos, arquitectos, ingenieros, químicos y biólogos. Se inició con análisis sobre 20 muestras de rellenos estructurales, adobes, pisos y repellos; Los análisis realizados fueron: difracción de rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX) y petrografía para identificar la composición química y mineralógica de las muestras, y los tipos de arcillas que contienen; granulometría (sedimentación) para conocer la proporción de arcillas; densidad y porosidad para conocer su comportamientos físico-químicos, resistencia a la compresión para definir sus características mecánicas; espectroscopía infrarroja (FTIR) para identificar el aglutinante orgánico; paleobotánica para identificar las pajas picadas (Daneels; Guerrero-Baca, 2011; Liberotti; Daneels, 2012). Los análisis químicos por DRX indican que arcillas en los materiales son principalmente esmectita (montmorillonita) y un poco de clorita. La fracción fina ($< 2\mu\text{m}$) conforma más del 40% en todas las muestras y en el caso de los aplanados llega hasta 60-70%. Por lo tanto, los edificios fueron construidos con mayor cantidad de materiales difíciles de controlar bajo las condiciones variables de temperatura y humedad relativa, lo que lleva a suponer la presencia de un estabilizante orgánico. Sin embargo, fue difícil reconocer las sustancias orgánicas por medio de IR sobre las muestras directas (Daneels; Guerrero-Baca, 2011: 13-17).

Buscando alternativas para la identificación del aglutinante, en 2011 se realizó una prueba por la resonancia magnética nuclear (RMN) en una muestra de repello prehispánico, por el Dr. Alfonso Romo de Vivar en el Instituto de Química de la UNAM. Se obtuvieron señales de sustancias orgánicas después de un proceso de 3 extracciones en metanol de la muestra de 105 g. El espectro de RMN protónica a 400MHz del extracto en metanol deuterado (CD_3OD) da señales de hidrocarburos, así mismo una posible existencia de azúcar (entre δ 3 y 3,8)¹.

Este resultado dio pie al presente estudio para la identificación de posible aglutinante en las muestras arquitectónicas prehispánicas.

1.3 Objetivos

El objetivo general de la investigación es la identificación de aglutinantes orgánicos que se utilizaron para la construcción monumental de tierra cruda en la época prehispánica en ambientes de trópico húmedo.

Los objetivos específicos son:

- determinar las sustancias orgánicas en los materiales de construcción prehispánicos;
- caracterizar químicamente las sustancias orgánicas de aglutinantes de uso etnográfico o arqueológico, para comparar con los resultados de estudios sobre las muestras prehispánicas;
- verificar la efectividad y función de aglutinantes vernáculos de uso etnográfico o arqueológico en construcción de tierra experimental (*in vitro* e *in situ*).

2. PREMISAS CONCEPTUALES

Se utilizan aditivos orgánicos naturales en los morteros de cemento, cal y/o tierra cruda en las construcciones modernas vernáculas y industriales, y en la restauración de monumentos históricos y sitios arqueológicos. Aunque no exista evidencia de su uso desde hace tiempo, se tiende considerarse que son materiales “tradicionales”.

El aglutinante mejor conocido y más estudiado es el mucílago de Nopal (*Opuntia* sp.), común en Latinoamérica, así como en el mundo mediterráneo donde se propagó extensamente (Aranda Jiménez, 2011; Cárdenas et al, 1998; Chandra et al, 1998; Fructuoso-Hernández, 2009; Hernández; Serrano, 2003; Hernández-Zaragoza et al, 2008; Kita, 2011; Kita et al, 2008; Ramsey, 1999; Sáenz, 2006; Torres Acosta; Cano Barrita, 2007; Torres Acosta et al, 2004; 2010). Sin embargo, aunque existen nopales silvestres y cultivados en la región de La Joya, por el clima trópico húmedo no son tan abundantes como en el altiplano central de México. En Centro América, bajo las mismas condiciones de clima, se encuentran entre las prácticas locales el uso de extractos de hojas y tallos de malva (*Sida rhombifolia*) (Flores, 2000) y de corteza de guácima (*Guazuma ulmifolia*) en la construcción o restauración de la arquitectura de tierra cruda, como aditivo para la mezcla o consolidante (Ohi; Girón, 2000). Estas plantas son abundantes en La Joya también, por lo que se consideró interesante profundizar sobre sus características y desempeño.

3. METODOLOGÍA: ANÁLISIS QUÍMICOS

3.1 Análisis sobre materiales originales

Se realizaron los análisis sobre 14 muestras de la construcción prehispánica de La Joya: 8 pisos, 2 repellos, 2 adobes y 2 rellenos, de los 2 edificios: Plataforma Norte (palacio) y el adoratorio adosado a la Pirámide, todas fechadas entre 200-400 d.C. (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de las muestras. Localización: La Joya, Municipal de Medellín de Bravo, Veracruz, México (19°04'00"N96°09'00"W; UTM zona 14 799799E 2110514N).

No.	Estructura	Descripción	Fecha
1	Plataforma Norte	Firme y piso inferior	200-400 d.C.
2	Plataforma Norte	3 capas de pisos superiores	200-400 d.C.
3	Plataforma Norte	2 pisos superpuestos (arenoso y limoso)	200-400 d.C.
4	Plataforma Norte	Adobe suelto en relleno	200-400 d.C.
5	Plataforma Norte	Adobe hilera superior muro perimetral este	200-400 d.C.

6	<i>Plataforma Norte</i>	<i>4 Repellos</i>	<i>200-400 d.C.</i>
7	<i>Pirámide SE</i>	<i>Relleno arenoso bajo piso de plaza</i>	<i>200 d.C.</i>
8	<i>Pirámide SE</i>	<i>Relleno mixto bajo piso</i>	<i>200 d.C.</i>
9	<i>Pirámide SE</i>	<i>2 capas de piso</i>	<i>200-400 d.C.</i>
10	<i>Pirámide SE</i>	<i>2 capas de piso</i>	<i>200-400 d.C.</i>
11	<i>Pirámide SE</i>	<i>2 capas de piso</i>	<i>200-400 d.C.</i>
12	<i>Pirámide SE</i>	<i>2 capas de piso</i>	<i>200-400 d.C.</i>
13	<i>Pirámide SE</i>	<i>3 capas de piso</i>	<i>200-400 d.C.</i>
14	<i>Pirámide SE</i>	<i>Repello arcilloso (desagregado)</i>	<i>200-400 d.C.</i>

3.2 Proceso de experimentación

Las muestras para análisis se prepararon según el siguiente procedimiento general: se pulveriza 300 g de cada muestra y se extrae con suficiente hexano, se agita con una varilla de vidrio y se deja reposar por 24 horas. Después se calienta a alrededor de 60°C por 15-30 minutos, se agita y se filtra la tierra pulverizada. Este proceso se repite 3 veces. El filtrado se concentra por evaporadora y se seca al vacío. Después se agrega metanol a los restos de cada muestra y se repite el mismo procedimiento de extracción en hexano.

Las sustancias orgánicas extraídas se mandan a analizar por IR, y ^1H RMN y ^{13}C RMN combinadas con los experimentos bidimensionales homonucleares (COSY) y heteronucleares (HSQC), y tridimensionales heteronucleares (HMBC). Algunas muestras fueron analizadas también por espectrometría de masas (MS).

Debido a que la cantidad de las sustancias orgánicas obtenida de cada muestra es muy escasa y que las sustancias consisten en una mezcla de varios compuestos, es difícil identificar cada compuesto y a veces apenas alcanza a realizar el análisis de IR. Ya que las gráficas de IR y RMN son parecidas, se juntaron todas las muestras extraídas para tener una cantidad mayor y así poder separar cada componente por la cromatografía de columna y tener una mejor idea de la estructura de diversos componentes.

El extracto combinado (212,5 mg) se mezcla con celita y se concentra. Se monta la columna de sílice con el extracto en celita y se agrega hexano a la columna, separando el filtrado cada 20 ml. Cuando con este proceso ya no salen sustancias orgánicas, se empieza a agregar acetato de etilo, aumentando cada vez 5–10% hasta llegar 100% de acetato de etilo, y después de misma manera se agrega metanol.

Paralelamente se realiza cromatografía de capa fina² para reconocer los compuestos de cada fracción y juntar las fracciones que contienen el mismo compuesto. Cuando contienen varias sustancias, se separan por cromatografía de capa fina³.

Las sustancias orgánicas separadas se mandan a analizar por IR, ^1H RMN y ^{13}C RMN combinadas con los experimentos de COSY, HSQC y HMBC, y MS, dependiendo de la cantidad de cada muestra.

4. RESULTADOS

4.1 Espectroscopía de infrarrojo

Los espectros en el infrarrojo revelan la presencia de cantidades variables de ésteres por sus bandas en 1718 cm^{-1} y 1740 cm^{-1} , además de hidrocarburos principalmente lineales, los que se ponen de manifiesto en las fracciones menos polares por sus bandas a 2924 cm^{-1} y 722 cm^{-1} (Figura 2).

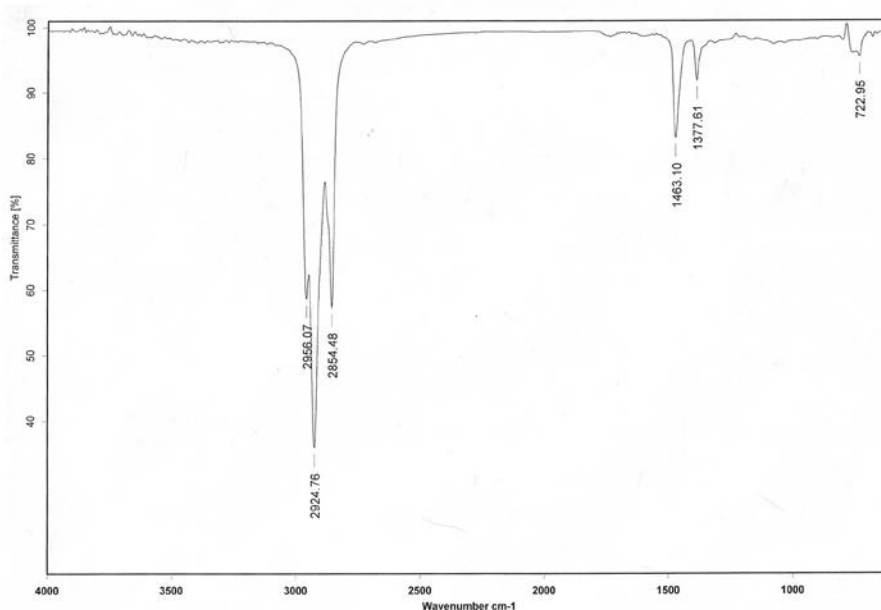


Figura 2. El espectro en el infrarrojo

4.2 Espectrometría de masas

El espectro de masas sobre la parte menos polar de las muestras afirma la presencia de hidrocarburos (Figura 3).

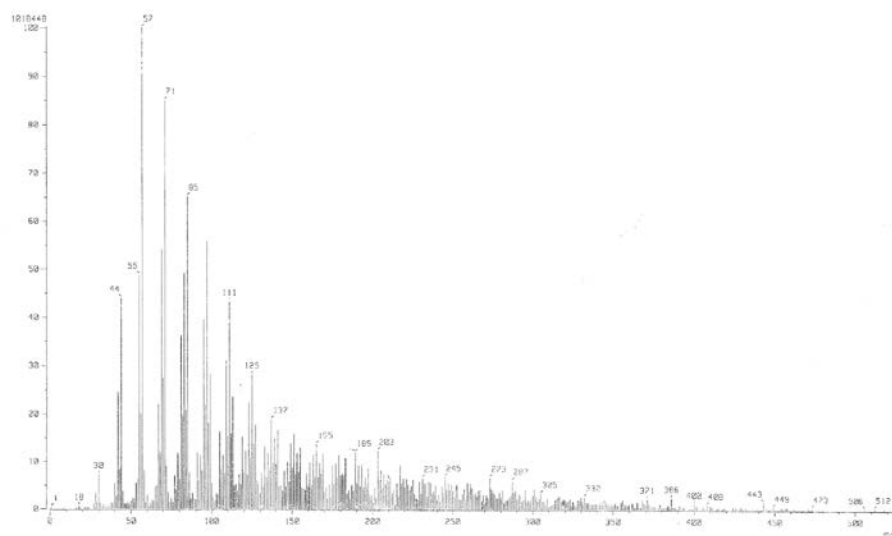


Figura 3. El espectro de masas que indica la presencia de hidrocarburos lineales.

4.3 Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear

Los espectros de ^1H RMN y ^{13}C RMN, y su correlaciones de COSY, HSQC and HMBC en cloroformo deuterado (CDCl_3) dan señales aromáticas a δ 7,22 and 7,5 con acoplamiento, señales a δ 5,2 y 5,3 que parecen corresponden a un triglicérido y a un doble enlace respectivamente. Además se ha detectado un éster aromático, probablemente ftalato de dibutilo por sus señales aromáticas y la de su O-CH_2 que aparece a δ 4,3 (Figura 4).

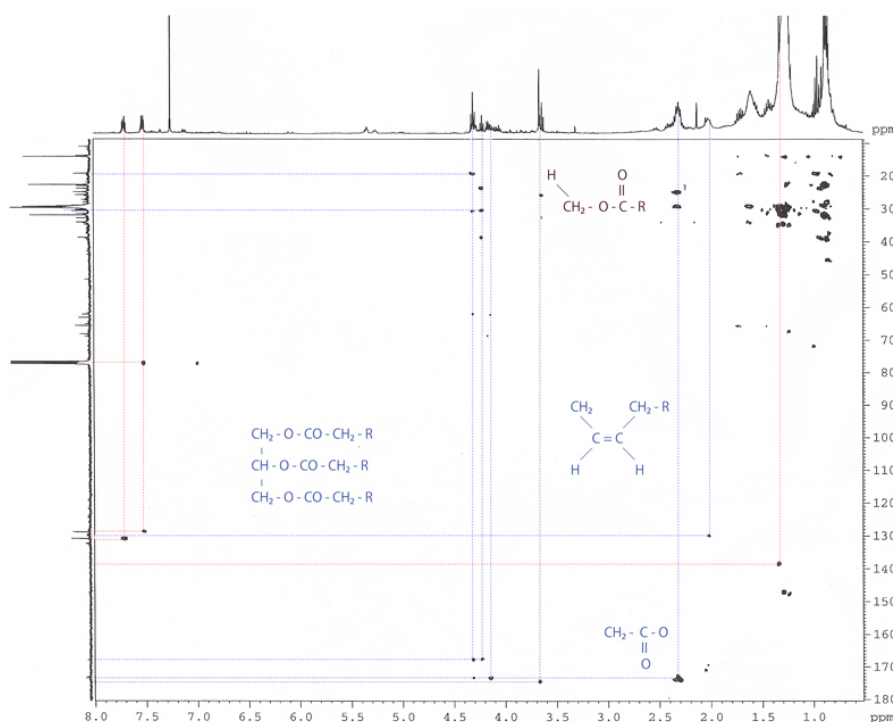


Figura 4. El espectro de HMBC que indica la presencia de $\square$ hidrocarburos, un triglicérido y dos ésteres uno metílico y el otro probablemente ftalato de butilo.

Cuando se corre en metanol deuterado (CD_3OD) se obtienen los espectros que revelan la presencia de un azúcar cuyas características corresponde a una metilpentosa, como ramnosa o fucosa (Figura 5).

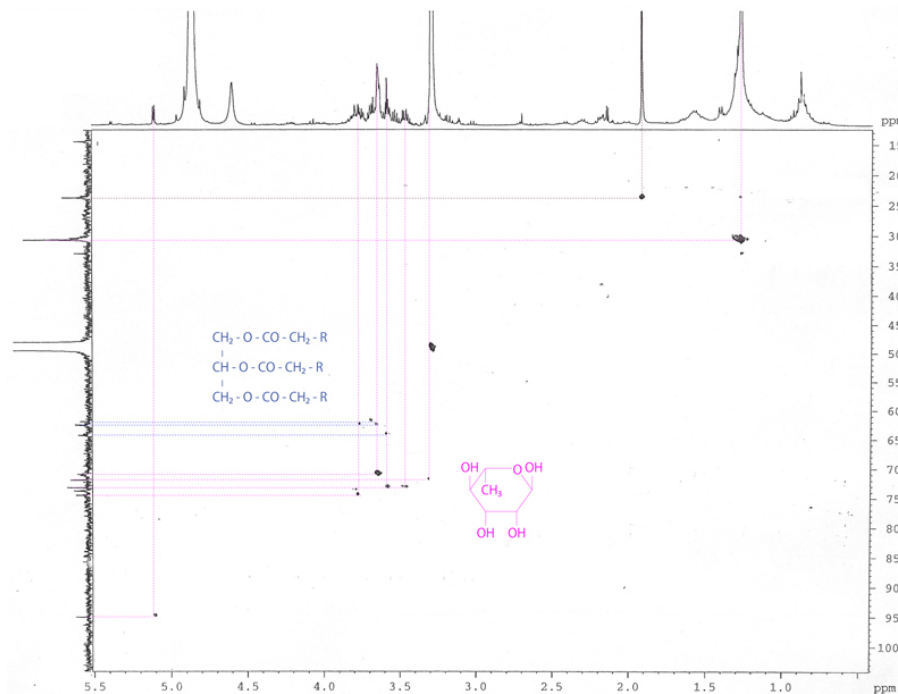


Figura 5. El espectro de HSQC que indica la presencia de $\square$ un azúcar y una pequeña cantidad de un triglicérido.

5. DISCUSIÓN

Considerando las prácticas locales en arquitectura vernácula en México y otros países de Latinoamérica, como El Salvador y Perú, donde domina el uso de mucílagos de plantas, que químicamente se caracterizan como polisacáridos, en un primer momento pareció sorprendente la presencia de los hidrocarburos y esteres aromáticos en los resultados de muestras, lo que nos llevó a pensar que éstos podrían ser impurezas del proceso de laboratorio. Sin embargo los hidrocarburos y esteres aromáticos se han observado en todas las muestras extraídas y lavadas con disolventes de alta calidad, por lo tanto estos componentes provienen de las muestras originales. Respecto a la contaminación moderna en el sitio, la gente local ha estado extrayendo tierra de los montículos arqueológicos para fabricar ladrillos y en los años 1980's y 90's ha utilizado como combustible para el horno de ladrillo materiales petrolíferos. Las muestras 7-14 del adoratorio se obtuvieron de un área relativamente cercana de donde estuvo un horno en 1990's, sin embargo, los hidrocarburos se encuentran en todas las muestras incluso las muestras de Plataforma Norte, que provienen de un sector donde no había quema de ladrillos. Por lo tanto, los hidrocarburos tampoco provienen de la contaminación moderna (Kita et al, 2013).

No existe información del uso de emulsión de bitumen en la época prehispánica como estabilizador de adobe, sino como materia prima para impermeabilizante en pisos de arquitectura de tierra y juntas para adobes en la antigua Mesopotamia (Barton, 1926; Taylor 1855), Cercano Oriente (Hollander; Schwartz, 2000), Valle del Indo y Egipto (Forbes, 1936). Además el uso de la emulsión de bitumen en agua es recomendado como un buen aditivo para adobe en la construcción moderna en EE.UU. (O'Connor, 1973). En la costa del Golfo de México, el bitumen aflora naturalmente en muchos puntos de la planicie costera y se conoce su uso, en forma líquida o pastosa (más no emulsionada), para fines de decoración e impermeabilización sobre cerámicas y objetos de madera (como canoas) en las antiguas culturas de la costa de Golfo; hay evidencia de su uso en pisos de edificios de tierra olmecas desde el periodo Preclásico (a partir de a.C. 1600) (Belt, 1971; Daneels, 2006; Wendt; Cyphers, 2008). En el sitio de La Joya se encuentran evidencias del uso de bitumen como decoración sobre figurillas de cerámica y vasijas cuyas fechas corresponden a las de las muestras arquitectónicas que se han analizado en este estudio; se obtuvieron muestras que serán sometidas a análisis para compararlas con los resultados de las muestras estructurales.

El triglicérido presente en las muestras prehispánicas podría provenir del solvente usado, ya que el bitumen se disuelve perfectamente en aceite secante (Espinosa, 1859), como el aceite de linaza (de tradición europea) y de chía (de tradición prehispánica)⁴.

Respecto al azúcar que se ha encontrado en las muestras, podría ser de origen vegetal. Actualmente se están realizando estudios sobre los extractos de hojas y tallos de malva (*Sida rhombifolia*) y corteza de guácima (*Guazuma ulmifolia*) respectivamente en el Laboratorio del Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Estos son dos plantas cuyo uso está atestiguado en la arquitectura de tierra vernácula en Guatemala y Salvador, en ámbitos de trópico húmedo, y son además plantas muy abundantes en la flora local de la región de La Joya, y en general del Centro y Sur de Veracruz, donde existe evidencia de esta tradición de arquitectura de tierra monumental prehispánica. Es preciso acotar que en la región Centro y Sur del Golfo mexicano en la actualidad se perdió completamente la tradición de construcción en adobe, debido a dos fuertes cambios culturales ocurridos, uno en la transición del periodo Clásico al Postclásico, y otro al momento de la conquista española (introduciendo enfermedades epidémicas que diezmaron la población en un 95%), por lo que no existen locales datos históricos o etnográficos de edificación en tierra (Daneels; Guerrero-Baca, 2011).

6. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados a la fecha son:

a) se ha podido identificar algunas sustancias orgánicas en los materiales de construcción de la arquitectura de tierra cruda prehispánica de La Joya: hidrocarburos, dos esteres aromáticos, un triglicérido y una metilpentosa;

b) el origen de los hidrocarburos podría ser materiales petrolífero como bitumen, del que se conoce su uso local prehispánico para la decoración o impermeabilización de figurillas y vasijas de cerámica, objetos de madera y pisos de edificio;

c) otros componentes podrían ser los solventes y/o emulsificantes de los materiales petrolíferos.

Nuestra investigación ha probado la presencia constante de componentes orgánicos en los materiales de construcción para la arquitectura monumental de tierra cruda del sitio arqueológico de La Joya, del periodo Clásico, en un ambiente trópico húmedo en la planicie costera del Golfo de México, los cuales son parte de la tecnología de construcción prehispánica. Esto sostiene la hipótesis de que la construcción de tierra que contiene alto porcentaje de arcillas expansivas no hubiera podido existir en el ambiente trópico húmedo sin usar algún estabilizante.

El uso de bitumen para juntas o impermeabilizantes es un conocimiento común de gran antigüedad en el Viejo Mundo y se aplica a la construcción de adobe hoy en día como estabilizante, sin embargo, no se ha reportado su uso como estabilizante de la construcción de tierra en la antigua Mesoamérica. Este descubrimiento abre nuevas perspectivas a los estudios sobre arquitectura prehispánica de tierra en el continente americano, y a la comprensión de procesos económicos y sociales que se gestaron entre las sociedades prehispánicas de la Costa del Golfo de México.

7. TAREAS EN MARCHA

Para comprobar el uso de bitumen en la construcción prehispánica, se obtuvieron fragmentos de cerámica pintadas con chapopote fechadas para la misma época que las muestras de construcción analizadas. El análisis de infrarrojo ha comprobado la presencia de esteres y una cadena lineal que son parecidos a las muestras de construcción prehispánicas. Su análisis por RMN está en proceso.

Aparte de los estudios químicos sobre los componentes orgánicos de los extractos de hojas y tallos de malva (*Sida rhombifolia*) y corteza de guácima (*Guazuma ulmifolia*), se está realizando la fabricación de adobe experimentales (5 cm x 5 cm x 1 cm) utilizando las tierras recicladas y limpiadas por la extracción de sustancias orgánicas para análisis químicos, y mezclando los aglutinantes vernáculos, con el fin de reconocer sus comportamientos. Al mezclar la tierra con los extractos, se registraron sus comportamientos como plasticidad de mezcla, el tiempo de fraguado y grietas que aparecen después del secado. Se han realizado láminas delgadas de los especímenes para observar microscópicamente los efectos de cada aglutinante en la estructura de los adobes.

Además de los estudios en laboratorio, en el sitio de La Joya al lado este de la Pirámide, se fabricaron 5 muros de prueba para verificar la efectividad y función de aglutinantes probablemente originales *in situ*. Cada muro mide 80 cm (largo) x 28 cm (ancho) x 80 cm (alto desde el suelo), y consiste en mampostería de adobes y mortero de tierra, que contienen 1) agua (control), 2) extracto acuoso de malva (*Sida rhombifolia*), 3) extracto acuoso de guácima (*Guazuma ulmifolia*), 4) extracto acuoso de bitumen sólido (chapopote), y 5) emulsión asfáltica base agua, producto impermeabilizante Imper Top "A" de la marca comercial Comex. Encima de los muros de adobe, se aplicaron 5 aplanados de dichos aglutinantes⁵ a cada muro dividiéndolo en 5 sectores a lo largo⁶. Los aplanados se aplicaron en 4 capas superpuestas que consisten en 1) grueso, para cubrir los desniveles de la mampostería de adobes, 2) medio, para nivelar la superficie, 3). fino, para ir sellando las grietas, y 4) bruñido, para pulir y sellar el superficie. Se monitorean los comportamientos y resistencia a la intemperie de cada material. (Figura 6)



Figura 6. Los 5 muros de pruebas, del lado izquierdo: control, malva, guácima, chapopote, y emulsión asfáltica. Cada muro tiene 5 franjas de aplanados de distinta composición: empezando del lado derecho, control, malva, guácima, chapopote, y emulsión asfáltica. En los 2 lados angostos de cada muro se aplicó el aplanado de control.

8. AGRADECIMIENTOS

La primera autora realizó las presentes investigaciones como Becaria del Programa de Becas Postdoctorales UNAM, en el Instituto de Investigaciones Antropológicas de Universidad Nacional Autónoma de México, con su proyecto *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, Veracruz*. (periodo 2011-II), y *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*. (periodo 2012-II), en el marco del proyecto de la Dra. Daneels PAPITT IN300812 (2012-2014) *Patrimonio arquitectónico en tierra: estudio y gestión*. Agradece los apoyos brindados por el Laboratorio de Productos Naturales del Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), bajo la supervisión y asesoría del Dr. Romo de Vivar, de los técnicos académicos de los Laboratorios de Espectroscopía y Polarimetría, Espectroscopía de RMN y Espectrometría de Masas, sobretodo F.Q.B. María del Rocío Patiño Maya (IR), Dra. María Isabel Chávez Uribe (RMN), Dra. Beatriz Quiroz García (RMN), M. en C. Héctor Ríos Olivares (RMN), Dr. Rúben Luis Gaviño Ramírez (RMN), M. en C. Elizabeth Huerta Salazar (RMN), I.Q. Luis Velasco Ibarra (MS) y Dr. Francisco Javier Pérez Flores (MS).

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, y recibió financiamiento de la misma universidad, del Programa de Apoyos para la Superación del Personal Académico de la UNAM (Becas Nacionales 2007) y del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) en 2005-2008 (PAPIIT IN305503), en 2009-2011 (PAPIIT IN405009) y en 2012-2014 (PAPIIT IN300812), así como de la Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies, Inc. (FAMSI 07021, en 2007), Dumbarton Oaks (2007-2008) y CONACyT (Fondo Institucional 90636, en 2009). Las excavaciones arqueológicas, las intervenciones de preservación y los estudios de muestras estructurales prehispánicas contaron con los permisos del Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranda Jiménez, Y. G. (2011). Características del BTC ante diferentes concentraciones de mucílago de nopal y sábila agregadas al agua de mezclado. In *TURevista Digi.U@T*, 5 (19). Disponible en www.turevista.uat.edu.mx
- Barton, G. A. (1926). On Binding-Reeds, Bitumen, and Other Commodities in Ancient Babylonia. *Journal of the American Oriental Society*, 46, pp. 297-302.
- Belt, S. C. (1971). Veracruz ceramic techniques. In Ethnic Arts Council of Los Angeles (ed.) *Ancient Art of Veracruz*. Los Angeles: Los Angeles County Museum of Natural History, pp. 38-41.
- Cárdenas, A.; Argüelles, W. M.; Goycoolea, F. (1998). On the posible role of *Opuntia ficus-indica* Mucilage in Lime Mortar Performance in the Protection of Historical Buildings. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 3, pp. 64-71.
- Chandra, S.; Eklund, L.; Villareal, R. R. (1998). Use of cactus in mortars and concrete. *Cement and Concrete Research*, 28(1), pp. 41-51.
- 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, pp. 393-504.
- Daneels, A. (2008a). La Joya pyramid, Central Veracruz, Mexico: Classic Period Earthen Architecture. Dumbarton Oaks Pre-Columbian Project Grant Reports. Washington, D.C.: Dumbarton Oaks. Disponible en: <http://www.doaks.org>
- Daneels, A. (2008b). Monumental earthen architecture at La Joya, Veracruz, México. FAMSI Grantee Reports 07021. Crystal River: FAMSI. Disponible en: <http://www.famsi.org>
- Daneels, A.; Guerrero-Baca L.F. (2011). Millenary earthen architecture in the tropical lowlands of Mexico. *APT Bulletin* 42 (1), pp. 11-18.
- Espinosa, P. C. (1859). *Manual de construcciones de albañilería*. Madrid: Severiano Baz.
- Flores, I. (2000). Cuadro resumen de intervenciones relevantes por año. En Joya de Cerén, El Salvador, campaña de marzo-abril 2000. Analysis of the Structures and Preliminary Assessment. The Getty Conservation Institute y el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. Informe inédito. Ciudad de San Salvador: Archivo Técnico del Departamento de Arqueología de la Secretaría de Cultura, (consultado con el permiso del director del Departamento, Mtro. Shione Shibata, en julio 2010).
- Forbes, R. J. (1936). *Bitumen and Petroleum in Antiquity*. Leiden: E. J. Brill.
- Fructuoso-Hernández, G. J. (2009). Aplicación del "licor" de nopal como aditivo par la cal. In L. F. Guerrero Baca (coord.) *Conservación de bienes culturales: acciones y reflexiones*. México, D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 233-239.
- Hernández-Zaragoza, J. B.; Coronado-Márquez, A.; López-Lara, T.; Horta-Rangel, J. (2008) Mortar Improvement Using Nopal Additive. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 10, pp. 120-125.
- Hernández, J. B.; Serrano, G. R. (2003). Uso del nopal en la industria de la construcción. In *Memorias. IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, Zacatecas*. pp. 286-289.
- Hollander, D.; Schwartz, M. (2000). Annealing, distilling, reheating and recycling: bitumen processing in the Ancient Near East. *Paléorient*, 26 (2), pp. 83-91.
- Kita, Y. (2011). Construction system and methods in Spanish colonies: case studies of the Valley of Mexico, Tesis de Doctorado en Estudios sobre Patrimonio Cultural de Humanidad, Tsukuba: University of Tsukuba.

- Kita, Y.; Daneels, A.; Romo de Vivar, A. (2013). Chemical analysis to identify organic compounds in pre-Columbian monumental earthen architecture. *The Online Journal of Science and Technology* 3(1), pp. 39-45. Disponible en <http://www.tojsat.net>
- Kita, Y.; Fructuoso Hernández, G. J.; Reyes García, M.; Torres Montes, L. A. (2008). Las características de distintos morteros para la restauración. In *XVII Congreso Internacional de la Investigación de Materiales*.
- Kita, Y.; Fructuoso Hernández, G. J.; Torres Montes, L. A.; Reyes García, M. (2011). Efectos del extracto de nopal (*Opuntia* spp.) como aditivo del mortero de cal para la restauración. In *46º Congreso Mexicano de Química*.
- Liberotti, G.; Daneels, A. (2012). Técnicas constructivas en tierra: reconstrucción 3D y análisis químico-físicos en los sitios de La Joya (México) y Arslantepe (Turquía). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 64 (1), pp. 79-89. Disponible en <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx>
- O'Connor, J. (1973). *The adobe book*. Santa Fe, NM: 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. En *Chalchuapa, Informe de la investigación interdisciplinaria de El Salvador (1995- 2000)*. K. Ohi (ed.). Kyoto,: Kyoto University of Foreign Studies, pp. 262-266.
- Piña Martínez, A. D. (2010). La arquitectura de tierra: secuencia constructiva de una estructura en el sitio de La Joya de San Martín Garabato, Veracruz. Tesis de licenciatura en Arqueología. Tenancingo: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ramsey, J. E. (1999). Evaluación del comportamiento del adobe estabilizado con cal y goma de tuna. Tesis para optar al Título de Ingeniero Agrícola. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sáenz, C. (2006). Cap. 7: Producción industrial de productos no alimentarios. In R. Cuevas García y E. Arias Jiménez (coords.); C. Rosell (ed.) *Utilización agroindustrial del nopal*, Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), pp. 99-112.
- Taylor, J. E. (1855). Notes on Abu Shahrein and Tel el Lahm. *Journal of the Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland*, 15, pp. 404-415.
- Torres Acosta A. A.; Martínez M.; Celis, C. (2004). Cement-based mortar improvement from nopal and *Aloe vera* additions. In *4º Foro de Investigación UDEM*.
- Torres Acosta, A. A.; Cano Barrita, P. F. J. (2007). Las bondades del nopal. *Construcción y Tecnología*, octubre 2007. Disponible en: <http://www.imcyc.com>
- Torres Acosta, A. A.; Celis Martínez, C. E.; Martínez Molina, W.; Lomelí González, M. G. (2010). Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactaceas. Publicación Técnica No. 326. Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicación y Transportes. Disponible en: <http://www.imt.mx>
- Wendt, C. J.; Cyphers, A. (2008). How the Olmec Used Bitumen in Ancient Mesoamerica. *Journal of Anthropological Archaeology* 27(2), pp.175-191.

Notas

- (1) La RMN se realizó por la técnica académica Dra. María Isabel Chávez Uribe en los laboratorios de espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear del Instituto de Química, UNAM.
- (2) Con el cromatofolio de sílice sobre aluminio (200 µm de grosor, 5 cm de alto) para comparar las sustancias orgánicas de fracciones colindantes.
- (3) Con la cromatoplaque de sílice sobre vidrio (0,5 mm de grosor, 10 cm de alto y 20 cm de ancho) para separar hasta 25 g de sustancias orgánicas.

(4) Chía (*Salvia hispanica*) es endémica de México. El aceite de chía se ha utilizado como aceite secante para las pinturas hasta el siglo XVIII, antes de que el uso del aceite de linaza se empezara a difundir (Kita, 2011).

(5) Desde el segundo aplanado (medio), se aplicó chapopote diluido en aceite de linaza en vez del extracto acuoso de chapopote.

(6) Los dos lados angostos de cada muro están cubiertos con el aplanado de control para comparar las diferencias en deterioros por orientación.

Currículos

Yuko Kita, Arquitecta, posgrado en Conservación del Patrimonio Arquitectónico por la Universidad Nacional de Artes de Tokyo (maestría) y la Universidad de Tsukuba (doctorado), Japón, actualmente estudia las características físico-químicas y mecánicas de materiales originales del arquitectura de tierra para entender la técnica constructiva original y para la restauración.

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 desde 1998, 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.

Alfonso Romo de Vivar, Químico, doctor en Química por la UNAM; Investigador emérito de la UNAM y del Sistema Nacional de Investigadores. Premio Universidad Nacional y IOCD-Syntex Award for Chemical Excellence. Autor de artículos en revistas nacionales e internacionales, fundador de la *Revista Latinoamericana de Química*. Especialista en química de productos naturales.