



ADITIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE TIERRA EN EL TRÓPICO HÚMEDO Y ZONAS SEMIÁRIDAS DE MESOAMÉRICA

Annick Daneels¹, Alfonso Romo de Vivar Romo², Laura Judith Chávez González³

¹Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacan, Ciudad de México, México, annickdaneels@hotmail.com

Laboratorio de Productos Naturales, Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacan, Ciudad de México, México, ²aromovi@unam.mx, ³judiithlee@gmail.com

Palabras clave: adobe, estabilizante, arqueología, CG-EM, amida del ácido erúxico

Resumen

El uso de aditivos orgánicos para estabilizar las mezclas de tierra de construcción es una estrategia probada, donde la selección del aditivo depende de los recursos disponibles y de las tradiciones culturales. Poco se sabe sobre los aditivos usados en las épocas previas a los registros escritos, ya que su identificación requiere la recuperación de residuos degradados por el tiempo y la intemperie, y su análisis por métodos de la química orgánica a veces de difícil interpretación. El presente estudio compara por cromatografía de gases acoplada por espectrometría de masas (CG-EM) los residuos orgánicos extraídos de 36 muestras constructivas de 6 sitios arqueológicos del periodo Clásico (1 milenio d.C.) en México: dos en la costa del Golfo, zona de trópico húmedo, y cuatro en zonas semiáridas: Teotihuacan y tres sitios del estado de Michoacán. Los resultados indican que los aditivos probablemente derivados de petróleo se restringen a La Joya, mientras en todos los otros sitios hay amida del ácido erúxico cuyo ácido libre es abundante en plantas de la familia *Brassicaceae*, a la que pertenece el *Lepidium virginicum*, planta originaria de México y común particularmente en los ámbitos semiáridos.

1 INTRODUCCIÓN

El uso de aditivos en la construcción de tierra es una estrategia bien documentada en la arquitectura vernácula, ya que permite estabilizar las mezclas usadas y aumentar su resistencia al agua. Sin embargo, ha recibido poca atención científica, para entender las bases químicas que hacen efectivos los distintos productos añadidos acorde a las condiciones topográficas, geológicas y climáticas particulares. Recientemente, el CRATerre ha publicado los resultados de un largo proyecto de investigación aplicado a los biopolímeros naturales usados en la construcción tradicional en el mundo, abarcando una gama de polisacáridos, lípidos, proteínas y otras moléculas de origen vegetal y animal fresco. Su objetivo es no solo caracterizar los compuestos y su interacción a nivel molecular con la tierra, sino analizar su potencial tanto para la arquitectura moderna y la conservación del patrimonio construido (Vissac et al., 2017). Al acotarse a prácticas vernáculas, esta obra fundamental deja fuera los aditivos modernos y los que solo están reportados por estudios en muestras arqueológicas.

El creciente interés en la arquitectura de tierra entre los arqueólogos ha llevado a revelar las técnicas y sistemas constructivos cuyo uso se ha perdido a través del tiempo, probablemente porque su adquisición se realizaba en contextos de construcción mayor, por grupos de elite (Chazelles; Klein; Pousthomis, 2011; Daneels, 2015). Así, al sobrevivir solo la construcción vernácula, hecha por y para la familia y la comunidad inmediata, la selección de aditivos se reorientó hacia productos inmediatamente disponibles. Por lo tanto, de manera algo inesperada, la arqueología está trayendo a la luz información sobre prácticas desconocidas en la arquitectura moderna y tradicional, por ejemplo el uso de algas marinas en la fabricación de adobes (Lorenzon, 2017).

La investigación de aditivos en arquitectura de tierra arqueológica es todavía escasa. La mayor parte de los análisis, cuando los hay, se limitan a propiedades físicas y mecánicas y,

en el mejor de los casos, caracterización mineralógica, química inorgánica y micromorfológica. Los análisis de química orgánica son caros y tardados, por el proceso de extracción, lo que hace que raras veces se emprenden. El presente trabajo presenta la continuación de un proyecto de identificación de aditivos, iniciado en muestras de La Joya, un sitio arqueológico del periodo Clásico, que sugiere la presencia de bitumen como añadido intencional. Este aditivo ha sido usado en la restauración y hasta la fecha en la producción comercial de adobes en el suroeste de Estados Unidos, pero se desconocía su uso en la antigüedad. Para evaluar si esto representa un procedimiento común al área cultural o propio del sitio únicamente, se analizaron 36 muestras constructivas de tierra que provienen de seis sitios, de filiación cultural distinta: dos en la Costa del Golfo, región donde aflora naturalmente el petróleo y cuatro en áreas semiáridas. Los resultados sugieren que el uso de hidrocarburos fósiles solo se limita a La Joya, mientras que en todos los otros sitios aparecen señales fuertes de un compuesto, derivado de plantas, cuyo origen aún no se ha podido identificar.

2 PLANTEAMIENTO

El antecedente del presente trabajo se remonta a 2012, cuando el hallazgo de hidrocarburos petrolíferos en muestras constructivas en un sitio de la costa del Golfo de México llevó a inferir el uso de bitumen para estabilizar la construcción en tierra desde principios de esta era (Daneels et al., 2016). Basado en el amplio reconocimiento del bitumen como un estabilizante eficiente en la construcción moderna (Minke, 2006, p. 38, 97; Hall; Najim, Keikahaei, 2012, p. 241-246), este hallazgo llevó a ampliar la investigación a otros sitios mesoamericanos, para evaluar si el uso de este aditivo era específico para el sitio o, al contrario, común, ya sea para sitios asentados en lugares con afloramientos naturales de petróleo, ya sea incluso para sitios alejados de zonas petrolíferas, llevando a suponer un sistema de intercambio a larga distancia entre sociedades construyendo con tierra. En otras palabras, el objetivo era ver si se trataba de un aditivo de uso común en Mesoamérica, que rebasara los límites de las dos grandes tradiciones constructivas esbozadas anteriormente: una de pura tierra en ámbitos de trópico húmedo, otra de tierra sobre zócalos de piedra con recubrimiento de piedra y/o estuco en tierras altas semiáridas (Daneels, 2015).

Para contrastar la hipótesis, se formuló un proyecto de investigación que obtuvo financiamiento del CONACyT de México (CB2015-254328), para analizar 10 muestras de 10 sitios, de ámbitos de tierras altas y trópico húmedo, por medio de granulometría, propiedades mecánicas, micromorfología, y caracterización química inorgánica y orgánica. Se lograron obtener muestras de 13 sitios: dos en la costa del Golfo, planicie de trópico húmedo, donde naturalmente aflora el petróleo (La Joya y Lomas del Real), cinco de trópico húmedo en la vertiente Pacífica, que carecen de petróleo pero tuvieron contacto con la Costa del Golfo a lo largo de su desarrollo histórico (La Blanca en Guatemala, Trapiche, Casa Blanca, Tazumal y San Andrés en El Salvador) y de sitios de tierras semiáridas, uno de los cuales estuvo en contacto con la costa del Golfo (Teotihuacan) y otros cinco que no, tres sitios en Michoacán y dos sitios en Zacatecas, (Fernández, 2018). Los estudios aún están en curso; aquí se presentan los resultados preliminares de química orgánica de muestras de seis de estos sitios.

3 SELECCIÓN Y PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS

Como es parte de una investigación en curso, para este trabajo se abordan sólo seis sitios (figura 1), dos están en la costa del Golfo. La Joya, en centro del estado de Veracruz, es un sitio monumental fechado del primer milenio de esta era, con evidencia de contacto con Teotihuacan (artefactos importados fechados hacia 350-550 d.C.) y contemporáneo con la expansión de un complejo ritual asociado al juego de pelota hacia la vertiente pacífica de Centromérica durante el periodo Clásico Tardío (600-900 d.C.) (Daneels, 2007). Lomas del Real (o Chac Pet) está ubicado en estado de Tamaulipas y es un sitio de tamaño menor, fechado para 300 a.C. a 200 d.C. (Ramírez; Silva; Velasco, en prensa, p. 277); su periodo

de ocupación coincide con un momento de amplia interacción uniendo Centroamérica por el istmo hasta el Golfo (Espinosa, 2015, p. 357-362).

Los otros sitios están en ambientes semiáridos. Teotihuacan, ubicado en un área semi-árida del norte del Valle de México (altitud de 2300 m, 160 mm precipitación anual) y fechado de 1 a 550 d.C., fue la megalópolis de Mesoamérica, unida por una extensa red de contactos con la mayor parte del territorio, incluyendo la Costa del Golfo (Manzanilla, 2018). Las muestras provienen de un conjunto residencial ubicado en una zona exclusiva de la ciudad, la Plaza de las Columnas. Los últimos sitios fechan del periodo Epiclásico (600-900 d.C.) y no tuvieron evidencia de contacto con la costa del Golfo. Se localizan en el municipio de Huetamo, cercanos al poblado de Piritícuaro: Lomas de Piritícuaro, Piaitícuaro y La Casita. Se encuentran en la llamada Tierra Caliente, de baja altitud (400 m), pero caracterizado por altas temperaturas y poca precipitación (26 mm) (Punzo et al., 2015).

Así, los sitios seleccionados son parcialmente contemporáneos, de ámbitos diferentes, dos con acceso a afloramientos de petróleo (los del Golfo) y cuatro en ámbitos semiáridos pero culturalmente muy distintos. Los primeros dos son construidos sólo de tierra, conforme a los ya reportado para las tierras bajas, mientras los otros cuatro coinciden en el uso de zócalos de piedra, con muros revestidos de tierra (a la vez recubierto de una delgada capa de estuco en el caso de Teotihuacan y los sitios de Michoacán).



Figura 1. Mapa del sector central de México, mostrando la ubicación de los sitios muestreados (los tres sitios de Michoacán están en torno a Piritícuaro) (obtenido de Google Earth, 17/05/2019)

A continuación se presenta la tabla de las 36 muestras analizadas (tabla 1). La mitad procede de La Joya, debido a la trayectoria de investigación realizada en este sitios por el proyecto paralelo UNAM DGAPA PAPIIT IN400816. Son 18 muestras: seis de adobe, cuatro de repellos, una de piso, una de relleno y seis de paleosuelos. Los últimos dos tipos de muestras se analizaron para tener un referente del tipo de residuo orgánico naturalmente presente en muestras que no fueron procesadas como material de construcción. De Loma del Real son dos pisos, uno de ellos (enlucido) con una mezcla de cal. De Teotihuacan son cuatro pisos y cinco muros, probablemente hechos por la técnica de *cob*. Las muestras de Michoacán son de muros: tres adobes, dos de *cob*, uno presumiblemente de tierra vertida y un repello en chaflán, uniendo base del muro con piso.

Tabla 1. Procedencia y tipo de muestras analizadas

#	Código	Sitio	Elemento arquitectónico	Registro arquitectónico	Cala/Cuadro	Descripción	Fecha	Masa total (g)
1	M39 (Kita)	La Joya	adobe M6B	Plataforma Norte etapa 1 (100 d.C.)	Y'31, N. 60	adobe en bloque	08/11/2017	600
2	M4A	La Joya	paleosuelo	bajo pirámide (pre-200d.C.)	U''29 (N), N. 88-90	clave Cesáreo 4A	16/02/2018	1721.58
3	M16-M	La Joya	repello	Plataforma Este IIIAinf (400 d.C.)	F'28, N. 69-70	Repello desmoronado	16/02/2018	211
4	MP-H26	La Joya	repello	Plataforma Este IIIAinf (400 d.C.)	H'26 N.74	desplante segundo escalón		396.5
5	M1A-PS	La Joya	paleosuelo	plaza sur	K''69, N.102-103	clave Cesáreo 1A	22/12/2016	567.5
6	M2-PS	La Joya	paleosuelo	bajo pirámide (pre-200 d. C.)	K''26, N. 97-98	clave Cesáreo 2	22/12/2017	572
7	MQR-43	La Joya	repello	Plataforma Norte	Q'/R'43, N. 27-30	Repello talud 4E	31/12/2013	535
8	PalN-6	La Joya	paleosuelo	Plataforma Norte		Paleosuelo 6	20/05/2013	580
9	M3-PS	La Joya	paleosuelo	bajo pirámide (pre-200 d. C.)	K''26, N. 103-104	Cesáreo 3	22/12/2017	600
10	M-S1 (M6A, M6B)	La Joya	adobe	Etapa I. Nivel 60	Y''31	2°adobe del muro del edificio de acceso	21/05/2009	1100
11	Pal-RS	La Joya	paleosuelo	sin asociación con edificios, post 200 d.C.	coordenadas UTM14Q 2109877N/799607E	Paleosuelo superior. Río Medellín	04/05/2017	200
12	MA5-ED	La Joya	adobe	Plataforma Este (5)	E'25 N 55-56	Adobe #16 y #17 muro NW cuarto principal	16/08/2007	322.5
13	PNI-A	La Joya	adobe	Plataforma Norte, primera etapa	L'32 N. 92-93	Muro perimetral	10/01/2018	160
14	MA-E14	La Joya	adobe	Plataforma Este	E'25 N 55-56	Adobe #14 muro NW cuarto principal	16/08/2007	337
15	MA2-E11	La Joya	adobe	Plataforma Este (2)	E'26 N 55-56	Adobe #11 muro NW cuarto principal	16/08/2007	234
16	MR-S26	La Joya	repello	Plataforma Este ECV X	G'28 N.65-85	Repello interior basamento IIIA inf. Fachada oeste, lado sur	17/09/2018	2000
17	MP-85P	La Joya	piso	Pirámide	E''''/F'''' N.85	Piso superior de la pirámide, asociado a alfarda	20/04/2006	176
18	MP-5R	La Joya	relleno	Pirámide	s/d	relleno 5 de pirámide (limo arena arcilla)	26/03/2011	200
19	TMP2-E	Lomas del Real	enlucido	Montículo 1	CDD17 N16 150 a160 cm	fragmento entre piso 6 y 8	s/d	315
20	TMP5-P	Lomas del Real	piso	Montículo 1	CC17 N. 130 a 140	piso 6 endurecido por fuego	s/d	200

21	TEO-01	Teotihuacan	muro interior	Alto de plataforma, Estructura 31B	16' P'	95 centímetros de ancho, núcleo de muro interior con poca piedra chica	18/07/2017	200.5
22	TEO-02	Teotihuacan	muro interior	Alto de plataforma, Estructura 31B	16' Q'	51 centímetros de ancho, núcleo de muro interior con poca piedra chica	18/07/2017	201.5
23	TEO-03	Teotihuacan	piso interior	Alto de plataforma, Estructura 31B	15' L'	piso de concreto teotihuacano con base de piso	18/07/2017	200
24	TEO-04	Teotihuacan	puro exterior	Muro perimetral en Estructura 31A	8' I'	posible muro perimetral, piedras grandes	18/07/2017	200
25	TEO-05	Teotihuacan	muro exterior	Subtalud en Estructura 33	31' H'	31 centímetros como mínimo, ancho indeterminado, bajo piso	18/07/2017	200
26	TEO-06	Teotihuacan	piso exterior	Estructura 33	30' H'	piso de concreto Teotihuacano con base de piso	18/07/2017	101.2
27	TEO-07	Teotihuacan	piso exterior	Piso compactado, Estructura 32B	15' H'	piso informal pegado a la cara norte del muro de piedra	18/07/2017	201.8
28	TEO-08	Teotihuacan	muro interior	Estructura 31B	17' L'	34 centímetros de ancho, esquina del núcleo del muro, con poca piedra chica	18/07/2017	100
29	TEO-09	Teotihuacan	piso exterior	Estructura 31A	8' J'	piso de concreto teotihuacano con base de piso	18/07/2017	233
30	Mi-1	Loma de Piritícuaro	adobe	Unidad excavación 2	RT 229, Nivel 1, bolsa 298	adobe	22/04/2015	203.5
31	Mi-2	Piaiticuro	muro	Unidad excavación 2	Locus 1	muro de <i>cob</i>	05/03/2016	201.5
32	Mi-3	Piaiticuro	muro		Nivel 3, caja 251	tierra batida	22/03/2016	201.4
33	Mi-4	La Casita	muro	Unidad excavación 1		muro de <i>cob</i>	15/03/2016	200
34	Mi-5	La Casita	repello	Unidad excavación 1		aplanado en chaflán	15/03/2016	210
35	Mi-6	Loma de Piritícuaro	adobe	Unidad excavación 2	RT 118	Muro	05/03/2015	204
36	Mi-7	Piaiticuro	adobe	Unidad excavación 2	RT 19	Muro 6	30/03/2016	205

4 METODOLOGÍA

Todas las muestras fueron procesadas acorde a un mismo protocolo. Primero se extrajeron los residuos orgánicos en el Laboratorio de Productos Orgánicos, y luego se analizaron por la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) en modo scan en el Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, ambos en el Instituto de Química de la UNAM. A continuación se resumen los pasos de los protocolos aplicados.

4.1 Extracción

De cada sedimento se tomó una muestra de 100 g, que se molió en mortero. Se le adicionó diclorometano y metanol en una proporción de 2:1 y se sometió por 15 minutos a un baño sónico; luego se filtró al vacío, se concentró el extracto en el rotovapor y se secó con nitrógeno.

4.2 GC-EM en modo SCAN

Para definir los compuestos orgánicos presentes en las muestras, los extractos se procesaron en un cromatógrafo de gases Agilent 7890B acoplado a un espectrómetro de masas Agilent 5977A como detector. Se utilizó una columna HP-5, 5% metil fenil siloxano (30 x 250 μm x 0,25 μm), con helio como gas acarreador (fase móvil) y un inyector en modo *splitless* a una temperatura de 300°C, inyectando 1 μL de la muestra. El programa de temperatura en el horno fue el siguiente: se inició en 80 °C durante 1 min, luego se aumentó 10°C/min hasta llegar a 150°C, manteniendo esta temperatura durante 1 min, luego se aumentó a 6°C/min hasta llegar a 310°C, en la que se mantuvo durante 6 min. Los resultados se analizaron con dos softwares MassHunter GCMS Qualitative® y MassHunter Unknowns Analysis®, usando la biblioteca NIST 14 para la identificación de los compuestos.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados agrupan las muestras en dos series: una que corresponde a los sitios de la costa del Golfo, otra los de ámbitos semiáridos.

5.1 Sitios del Golfo

La mayoría de los extractos de la Joya tienen presencia de hidrocarburos lineales: hexadecano, heptadecano, octadecano y los isoprenos pristano y fitano (figura 2). Una diferencia entre los adobes y paleosuelos es que en los últimos se identifican hidrocarburos de cadena larga como nonacosano (29 carbonos), triacontano (30 carbonos) y hentriacontano (31 carbonos) y solo se encuentra fitano o pristano, no los dos juntos.

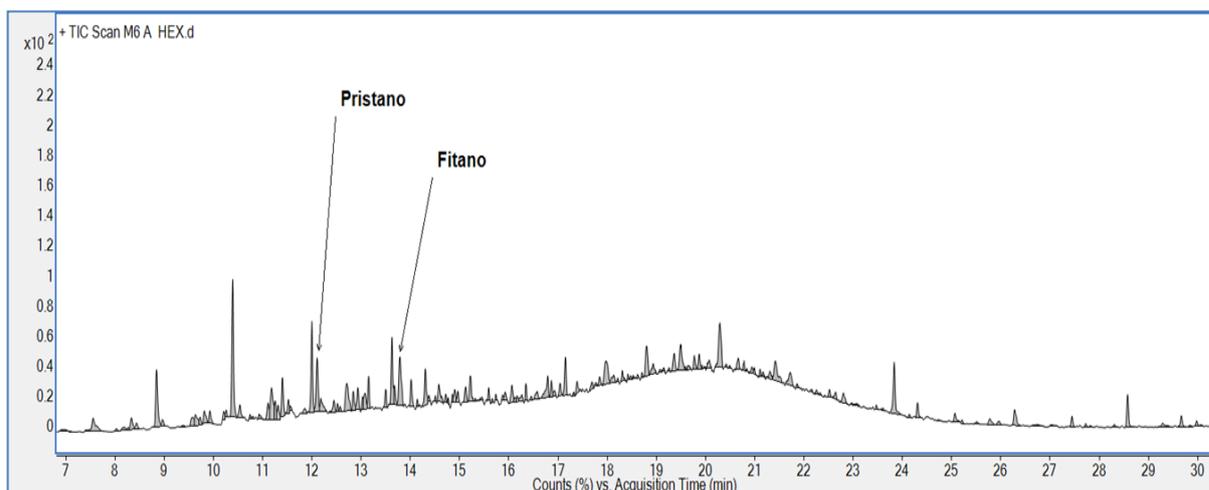


Figura 2. Cromatograma típico de La Joya, Veracruz (Muestra M6A)

Las muestras de Tamaulipas presentan abietano compuesto que es característico de pinos. La presencia de este compuesto sorprende, ya que es característico de bosques templados, cuyas comunidades más cercanas se encuentran en las laderas de la Sierra Madre Oriental, a más de 100 km de distancia río arriba. Sin embargo, la paleobotánica indica que los pólenes de la sierra se transportan en grandes cantidades en las intensas lluvias de verano, y se acumulan en las planicies costeras, donde se localiza el sitio de Lomas del Real. Al usar las arcillas y limos aluviales para la construcción, la presencia de tales compuestos se vuelve entendible. Los cromatogramas de Loma del Real se asemejan a La Joya por la presencia de triglicéridos en cuya composición predominan ácido palmítico y mirístico, así como en la presencia de pristano, aunque no se encuentre el fitano. Por otra parte, coinciden con las muestras de Michoacán y Teotihuacán en la presencia de oleamida, oleanitrilo y 13-docosenamida (figura 3).

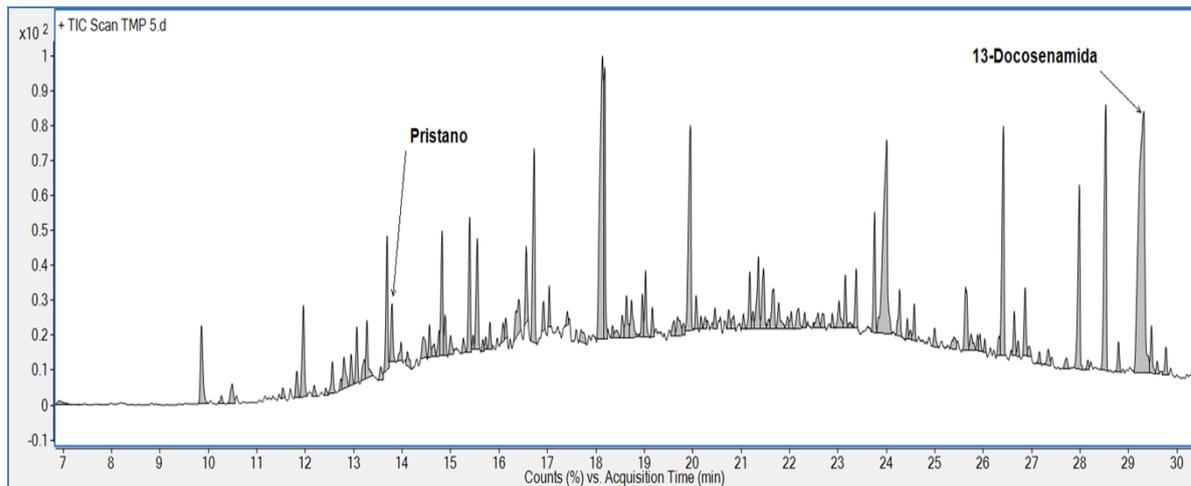


Figura 3. Cromatograma típico de Loma del Real, Tamaulipas (Muestra TMP5-P)

Se resalta la presencia de pristano en las muestras del Golfo, un isoprenoide que es ausente de las muestras de los otros sitios. Este compuesto se encuentra en petróleo, pero en el caso de La Joya, también aparece en los paleosuelos, por lo que puede ser un indicador de contaminación ambiental en contextos regionales donde existen afloramientos naturales. Como es el único compuesto de origen petrolífero que se encuentra en Loma del Real, no se puede descartar que en este caso fuera una contaminación. Esto es diferente en el caso de La Joya, cuyas muestras constructivas mostraron tener de manera recurrente los biomarcadores típicos de hidrocarburos fósiles (Daneels et al., 2016). Aunque la presencia de biomarcadores en La Joya sea en cantidades muy pequeñas, la forma molecular de los hidrocarburos se distingue de los presentes en los paleosuelos, por lo que sí es viable hablar de un añadido intencional, ya que los estudios de construcción moderna indican que solo son necesarios porcentajes bajos de derivados petrolíferos para estabilizar la tierra (Minke, 2006, Hall; Najim, Keikahaei, 2012) y los experimentos realizados en La Joya muestran su efectividad a partir del 1% (Daneels; Kita, 2018).

5.2 Sitios de ámbitos semiáridos

Todas las muestras de Teotihuacan tienen 13-docosenamida; varias tienen presencia de oleamida, oleanitrilo y algunas del compuesto campesterol, que provienen de plantas (figura 4).

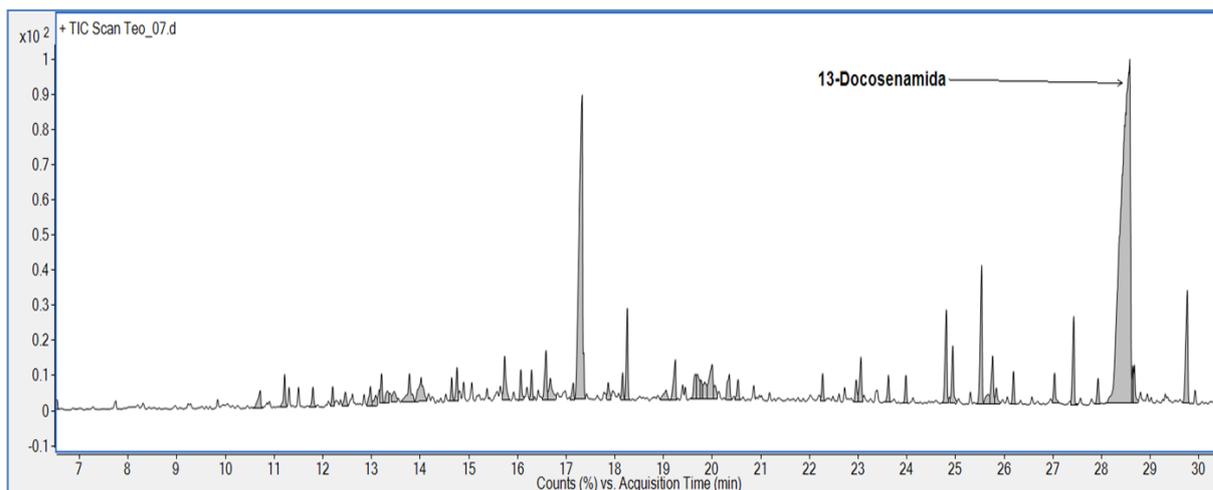


Figura 4. Cromatograma típico de Teotihuacan, EdoMex (Muestra Teo-7)

Todas las muestras de los tres sitios michoacanos muestran presencia abundante de 13-docosenamida. También se ha encontrado en algunas muestras oleamida, que es la amida del ácido oleico, su nitrilo el oleanitrilo y el éster del ácido esteárico, que pueden provenir de plantas (figura 5).

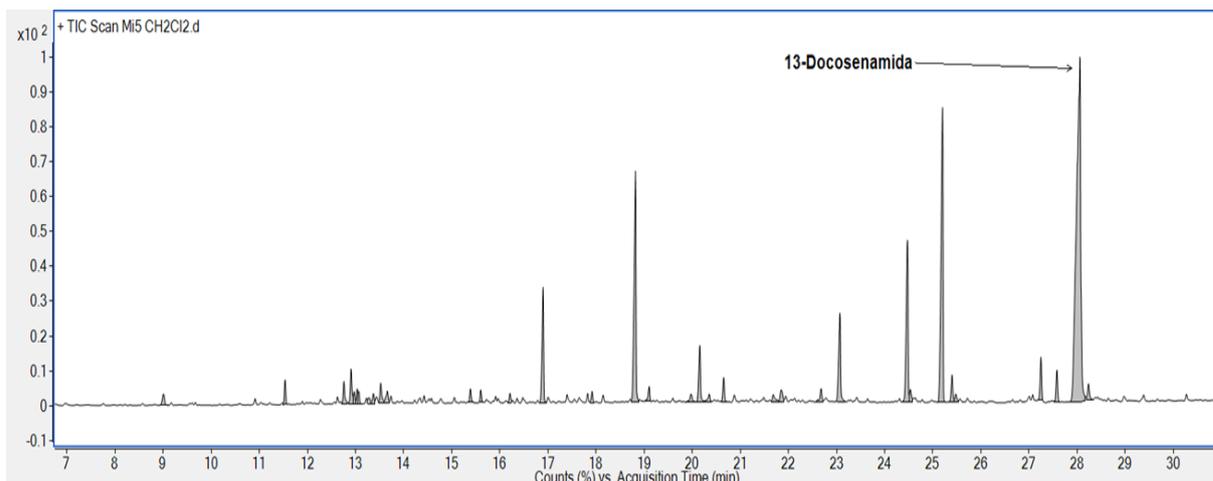


Figura 5. Cromatograma típico de Michoacán (Muestra Mi-5)

En todas las muestras de Teotihuacan y de Michoacán hay presencia de triglicéridos, con predominio de ácidos palmítico y palmitoleico, y se encuentra el compuesto 13-docosenamida (que también es presente en Lomas del Real en el Golfo). Este último proviene del ácido erúrico, particularmente característico de la familia de las *Brassicaceae*. Las especies más conocidas de esta familia corresponden a plantas comestibles importadas del Viejo Mundo después de la conquista española de América, como el repollo blanco y morado, la coliflor, el brócoli, la colza, etc. Sin embargo, existen especies nativas en América, como el *Lepidium*, que es una hierba común de tierras semiáridas y se ha encontrado con bastante frecuencia en el Valle de México (falta aún la información específica para la Tierra Caliente de Michoacán). La recurrencia y la presencia significativa de este compuesto en los cromatogramas de las 16 muestras de tierras semiáridas sugiere que pudiera representar un aditivo intencional. Sin embargo, para poderlo comprobar, será necesario obtener de los mismos sitios muestras de paleosuelos; si está presente el compuesto en la misma intensidad que en las muestras constructivas, se puede tratar de una contaminación ambiental.

Para comparar con muestras modernas, se recolectó *Lepidium virginicum* en el Valle de México, obteniendo un extracto por molienda de las semillas. Los resultados de resonancia magnética nuclear de protón (^1H RMN) y de espectrometría de masas por impacto electrónico indicaron la presencia de triglicéridos, pero al querer disolver la muestra para su

análisis por CG-EM, para ver si se encontraba ácido erúxico o sus derivados, se observó que el extracto se polimerizó, volviéndose viscoso e insoluble, lo que no permitió su análisis. Sin embargo, esta propiedad es interesante y será objeto una investigación más profundizada.

6 CONSIDERACIONES FINALES

Con respecto a la hipótesis de investigación original, la presencia de derivados de petróleo como aditivo en la construcción de tierra parece ser un fenómeno localizado en La Joya. No hay evidencia que se haya usado en los otros sitios, ni siquiera en el norte del Golfo donde los afloramientos costeros son abundantes. En el caso de Lomas del Real, la presencia del pristano, en ausencia de otros compuestos petrolíferos, se interpreta mejor como una contaminación ambiental en los bancos de sedimentos.

El resultado más interesante de esta investigación, a nivel preliminar, es la aparición en todos los demás sitios (excepto La Joya) de otro compuesto, la 13-docosenamida, con una señal muy fuerte. De momento, el origen probable de este compuesto se infiere de plantas de la familia de las *Brassicaceae*, pero los análisis de uno de los géneros nativos más comunes de México, el *Lepidium*, no produjo resultados comparables a los obtenidos de las muestras constructivas arqueológicas. Sin embargo, la polimerización del extracto sugiere que pudiera ser interesante como aditivo. Esto abre una nueva vía de investigación sobre un posible aditivo derivado de plantas en sitios de Mesoamérica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chazelles, C.-A. de, Klein, A., Pousthomis, N., (eds.) (2011). Les cultures constructives de la brique crue. Échanges transdisciplinaires, 3. Actes du colloque international, Toulouse, 16-17 mai 2008. Montpellier, Francia: Éditions de l'Espérou, École d'architecture du Languedoc-Roussillon.
- Daneels, A. (2007). Monumental earthen architecture at La Joya, Veracruz, Mexico. Report 07021. Crystal River, Florida, Estados Unidos: Foundation for the Advancement of Mesoamerican Research. Disponible en <http://www.famsi.org/reports/07021/07021Daneels01.pdf>
- Daneels, A. (2015). Los sistemas constructivos de tierra en el México prehispánico. En Tierra, Sociedad, Comunidad. 15º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Cuenca, Ecuador: Proyecto vliirCPM-Universidad de Cuenca/PROTERRA. p. 219-232.
- Daneels, A., Kita, Y. (2018). Derivados de petróleo para estabilizar cubiertas de sacrificio de arquitectura prehispánica. En Arquitectura en Tierra. Tecnología sostenible y reutilización patrimonial. XIV Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra, Tradición e Innovación 2017. México. Valladolid, España: Cátedra Juan de Villanueva. p. 267-268. Disponible en <https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2018mexico/20XIVCIATTI2017.pdf>
- Daneels, A., Romo de Vivar, A., Morales, P., Linares, A. (2016). Identificación de estabilizantes en la arquitectura de tierra prehispánica en el Golfo de México. 16º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Asunción, Paraguay: FADA-UNA/PROTERRA/CEDES/hábitat (recurso electrónico). Disponible en https://www.academia.edu/30052829/SIACOT_2016_sobretiro_con_ISBN.pdf
- Espinosa, A. R. (2015). La tradición cerámica Huasteca de la Sierra Gorda. Tesis de maestría. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en <http://132.248.9.195/ptd2015/octubre/0736214/Index.html>
- Fernández, G. (2018). La tradición de arquitectura de tierra en Zacatecas. Memorias. 18º Seminario de Arquitectura y Construcción con Tierra: Tierra, cultura, habitat resiliente y desarrollo sostenible. La Antigua Guatemala, Guatemala: USAC-CII/PROTERRA. p. 296-306. Disponible en <https://www.dropbox.com/s/s3cmwpx91lwxdk/Libro%20de%20memorias%2018%C2%B0%20SIACOT.pdf?dl=0>
- Hall, M. R., Najim, K. B., Keikahaei, P., 2012. Soil stabilization and earth construction: materials, properties and techniques. En: Hall, M. R., Linsdsay, R., Krayenhoff, M. (eds.). Modern earth buildings. Materials, engineering, construction and applications. Cambridge, Gran Bretaña: Woodhead. p. 222-255.

Lorenzon, M. (2017). Earthen architecture in Bronze Age Crete. From raw materials to construction. Tesis de doctorado. Gran Bretaña: Universidad de Edinburgo.

Manzanilla, L. (2018). Teotihuacan, ciudad excepcional de Mesoamérica. Opúsculos 15. Ciudad de México, México: El Colegio Nacional. Páginas pertinentes disponibles en <https://libroscolnal.com/products/teotihuacan-ciudad-excepcional-de-mesoamerica>

Minke, G. (2006). Building with earth, design and technology of a sustainable architecture. Berlin, Alemania: Birkhäuser. Disponible en https://archive.org/details/Gernot_Minke-Building_With_Earth

Punzo, J. L., Rangel, D., Ibarra, E., Zarco, J. (2015). Primeros datos sobre el uso de adobe y cal en época prehispánica en la región michoacana del río Balsas medio, México. En Tierra, Sociedad, Comunidad. 15º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Cuenca, Ecuador: Proyecto vliirCPM-Universidad de Cuenca/PROTERRA. p. 270-283.

Ramírez, G., Silva, T., Velasco, J. E. (en prensa). Arquitectura prehispánica de tierra en la cuenca lacustre de los ríos Tamesí y Pánuco. En Daneels, A. (ed.). Arquitectura mesoamericana de tierra. Volumen I. Ciudad de México, México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 265-328.

Vissac, A., Bourguès, A., Gandreau, D., Anger, R., Fontaine, L. (2017). Argiles et biopolymères. Les stabilisants naturels pour la construction en terre. Villefontaine, Francia: CRATerre éditions. Disponible en <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01682536/document>.

AGRADECIMIENTOS

Se obtuvieron y analizaron las muestras de los distintos sitios con el permiso del Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) de México y con financiamiento del CONACYT (CB2015-254328). La tercera autora agradece la beca de estudio de la UNAM DGAPA PAPIIT IN400816 y la beca de licenciatura de CONACYT CB2015 254328.

El procesamiento de las muestras se realizó en el Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el Laboratorio de Productos Naturales, bajo la coordinación del Dr. A. Romo de Vivar Romo por Laura Chávez; los análisis de CG-EM se procesaron por Laura Chávez, con el apoyo de Everardo Tapia Mendoza y Mayra León Santiago, en los equipos del Laboratorio Nacional (LANCIC) bajo la supervisión de Marisol Reyes Lezama. Las muestras de Teotihuacan fueron proporcionadas por David Carballo, de la Universidad de Boston, en el marco de su proyecto en la Plaza de las Columnas de Teotihuacan con financiamiento de la National Science Foundation, Senior Research Grant, Archaeology (BCS-1522630); las muestras de Michoacán se recibieron de los proyectos de José Luis Punzo Díaz, del Centro INAH-Michoacán, y las de Tamaulipas de Gustavo Ramírez Castilla, del Centro INAH-Tamaulipas.

AUTORES

Annick Daneels, doctora en antropología, doctora en arqueología, arqueóloga; investigadora del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM; miembro del Consejo Consultivo de la Red Iberoamericana PROTERRA; desde 2004 a cargo de la línea de investigación de Arquitectura Mesoamericana de Tierra y directora de los proyectos PAPIIT IN400816 (2016-2018) y CONACYT CB2015-254328 (2016-2019).

Alfonso Romo de Vivar Romo, doctor en química, maestro en química, químico; investigador emérito de la UNAM y del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México; fundador de la Revista Latinoamericana de Química; Premio Universidad Nacional y IOCD-Syntex Award for Chemical Excellence.

Laura Judith Chávez García, pasante de licenciatura en química en la UNAM, becaria de los proyectos PAPIIT IN400816 y CONACYT CB2015 254328; realiza las extracciones de la nueva serie de muestras de La Joya, Veracruz, y de los otros sitios contemplados en este artículo, para definir los compuestos orgánicos en construcciones prehispánicas de tierra, como parte de su tesis profesional.