

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

## Hacer mezclas de cal en Dzibanché. La temporalidad y la función como determinantes

Luisa Straulino Mainou  
Sergey Sedov  
Ana María Soler Arechalde  
Teresa Pi Puig  
Gerardo Villa Sánchez  
Sandra Balanzario Granados

# Estudios sobre conservación, restauración y museología

V O L U M E N IV

ISBN: 978-607-484-964-6

publicaciones@encrym.edu.mx  
www.encrym.edu.mx/index.php/publicaciones-encrym

### Palabras clave

Cal, estucos, técnica de factura.

### Resumen

El sitio arqueológico de Dzibanché, en Quintana Roo, tiene una gran cantidad de restos de estuco en diferentes complejos de edificios con diversos problemas de conservación. Estos vestigios fueron analizados con distintos métodos para conocer su técnica de manufactura, dando como resultado que no sólo la evolución técnica influye en la manera de hacer mezclas de cal, sino también su función y ubicación en las estructuras. Así, los estucos que están en el exterior, en los vanos y el interior de un edificio difieren en proporciones e incluso en composición tanto en los distintos estratos como en los materiales constitutivos.

### Introducción

La cal es un material que se ha utilizado desde tiempos remotos en Mesoamérica y fue clave para el desarrollo cultural de esa región en varios aspectos: en el estructural provee un cementante resistente para levantar muros, y en el estético provee material para hacer recubrimientos, relieves y esculturas, así como para pintar sobre su superficie modificando los espacios arquitectónicos. La cal fue de suyo importante para el progreso alimenticio, pues gracias a ella el maíz puede nixtamalizarse, aumentando sus propiedades nutritivas.

Además, el uso de cal como material constructivo es indicador de sofisticación técnica, ya que su producción requiere de transformaciones físico químicas complejas con una gran

cantidad de inversión energética. No obstante el interés que puede reportar este material, los trabajos son más bien escasos, en especial en el área maya (Brown 1987, 1990, 1996; Magaloni 1998, 2001; Guasch 2009; Villaseñor 2009, 2010; Vázquez y Villegas 1993; Hansen, Hansen y Derrik, 1995, 1997, 2002; McVey 1998; Goodall 2007; Zetina 2008; García 2011), donde solo se habían reportado diferencias en la técnica de manufactura a lo largo del tiempo. Sin embargo, en ninguno se habían reportado diferencias en la técnica de manufactura debido a la función arquitectónica de los recubrimientos en el edificio.

En este trabajo se presentan las diferentes proporciones encontradas según la temporalidad, función y ubicación de los recubrimientos en tres edificios de la zona arqueológica de Dzibanché en Quintana Roo (18°38'18.84" N 88°45'38.67" O). Este asentamiento tiene espacios ceremoniales, edificaciones cívicas y áreas residenciales concentradas en cuatro grupos con arquitectura monumental: el Grupo Principal, Tutil, Lamay y Kinichná, conectados por una extensa red de caminos o sacbes. Estos grupos constituían una entidad integrada y entre ellos hay un continuo de unidades habitacionales dispersas, interrumpido solo por aguadas y terrenos bajos inundables. El Grupo Principal de Dzibanché (véase figura 1), donde se encuentran las estructuras estudiadas, consiste en edificios monumentales, juegos de pelota y unidades habitacionales de élite. Sobre la construcción de las estructuras del sitio, cabe destacar que se construían canaletas de piedra para drenar el agua de las azoteas de los cuartos. El sitio tiene una ocupación continua desde el Preclásico tardío hasta el Posclásico. La época de mayor actividad y cuando se contaba con mayores recursos fue de mediados del Clásico temprano hasta principios del Clásico tardío (Nalda 2000, 2004).

Los edificios analizados fueron tres. Plaza Pom, que es un edificio residencial con un altorrelieve que muestra un reptil acuático con fragmentos de personajes en su lomo, el cual

se encuentra *in situ* y varios fragmentos hallados en derrumbe y que representan personajes, glifos, etc., manufacturado en estuco, que decoraba las fachadas exteriores, ha sido datado por métodos relativos hacia el 550-600 d. C. El Edificio 2 es un basamento funerario donde se muestrearon secciones de un bajorrelieve que decoraba la fachada norte del basamento y que representa una montaña florida con una cornisa de piedra verde; este relieve está en una subestructura datada por métodos relativos hacia el 450 d. C. Por último, se analizó la Pequeña Acrópolis (datada por métodos relativos hacia 550-600 d. C.), un conjunto de edificios administrativos con repellados distintos, de donde se tomaron muestras de secciones de repellados internos y externos, así como de pisos, con y sin capa pictórica (Nalda y Balanzario 2005, 2008a, 2008b, 2014).

## Muestras y métodos analíticos

Para este trabajo se aplicaron principalmente dos técnicas analíticas utilizadas extensivamente: arqueomagnetismo y petrografía, que se complementaron con otros análisis puntuales para responder algunas preguntas de investigación particulares.

## Datación por arqueomagnetismo

Las muestras (que corresponden a una pulgada de superficie de capa pictórica roja) deben ser orientadas al norte y embebidas en una resina sin componentes ferromagnéticos. Después pasan de una a tres semanas dentro de un blindaje para aislarlas de la magnetización viscosa. Posteriormente se miden en un magnetómetro JR6 de giro localizado dentro de un blindaje magnético con lo que se obtienen direcciones e intensidades, luego de haber sido expuestas a campos alternos

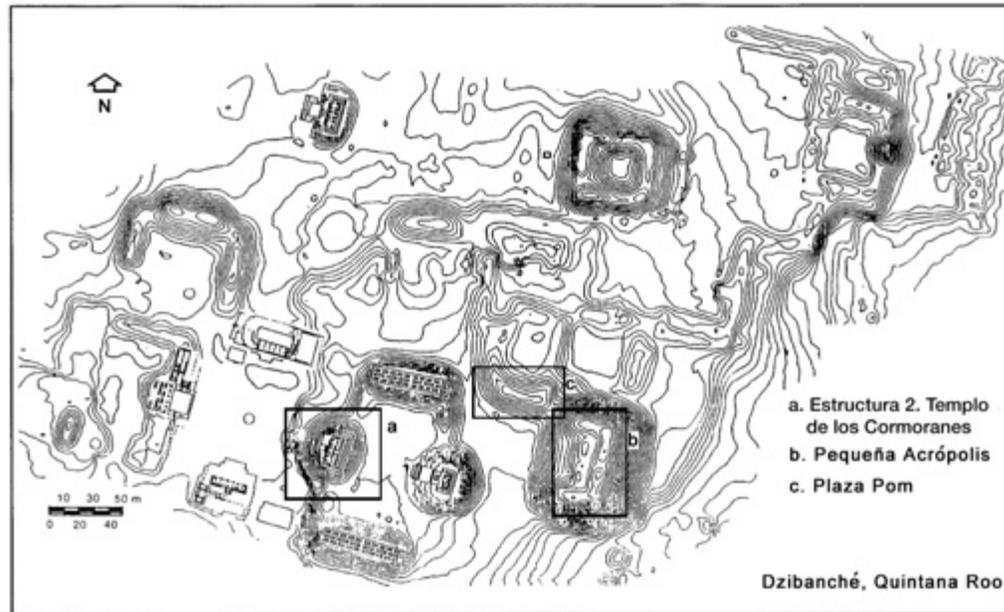


Figura 1. Plano del Grupo Principal de Dzibanché donde se encuentran señalados los edificios estudiados.

Edificio	Sección	Muro	No. De muestras	Nomenclatura
<b>Pequeña Acrópolis</b>	Edificio Sur (muestra 2)	13 Oeste	6	<b>2A,2B,2C,2G,2H,2I</b>
		12 Sur	3	<b>2D,2E,2F</b>
	Edificio este (muestra 3)	16 Norte	5	<b>3A,3B,3C,3D,3E</b>
		22 Norte	5	<b>3F,3G,3H,3I,3J</b>
	Edificio Norte (muestra 4)	35 Sur	5	<b>4A,4B,4C,4D,4E</b>
		35 Este	3	<b>4H,4I,4J</b>
35 Norte		2	<b>4F,4G</b>	
<b>Estructura 2 “Templo de los Cormoranes”</b>	Tercer cuerpo (muestra 1)	Friso plano del basamento bajo moldura	8	<b>1A,1B,1C,1D,1E,1F,1G,1H</b>

Figura 2. Tabla de muestras utilizadas para datación por arqueomagnetismo. Las marcadas en negritas fueron las que dieron resultados utilizables para la datación.

crecientes mediante un desmagnetizador Molspin. Después se realiza un análisis con estadística Bayesiana para compararlos con las curvas de variación secular de direcciones o intensidades y determinar edades de manufactura (véase figura 2).

## Petrografía

Para aplicar esta técnica se utilizan láminas delgadas de 30µm de espesor tanto de piedra, cerámica o materiales cementantes, las cuales se examinan con un microscopio petrográfico con doble polarizador. Las luces que pueden utilizarse para analizar los minerales son: luz transmitida, tanto luz polarizada (ppl) como con doble polarizador (xpl), usualmente bajo magnificaciones de 4x-400x, y en algunos casos la luz reflejada (rfl), muy útil para brindar cierto tipo de información como la presencia de óxidos de hierro en las muestras. El doble polarizador crea colores de interferencia causados por minerales cristalinos con doble índice de refracción. Para este trabajo se utilizó un microscopio petrográfico marca Olympus BX51 con cámara digital acoplada y software Image Pro Plus 5.1. Además, se desarrolló una metodología para analizar los datos obtenidos por petrografía que puede consultarse en Straulino, 2015, pp. 96-114. El análisis se aplicó a 23 muestras con diversas características que se presentan en la figura 3.

## Resultados

Las mezclas de cal fueron colocadas con cierto número de estratos con diferentes granulometrías, proporciones de materiales y grosores, según su ubicación y función (véase figura 4). Después de los análisis pudieron distinguirse cuatro tipos:

1. Repellado grueso gris, repellado medio blanco, enlucido con capa naranja al fresco, subsiguientes al falso fresco. Estos se encuentran en el Edificio 2 y la Plaza Pom, así como en el estuco superior de las fachadas exteriores de la Pequeña Acrópolis.
2. Repellado grueso gris, repellado blanco y enlucido con partículas pigmentantes de color rojo que corresponden a los repellidos de los muros internos de la Pequeña Acrópolis.
3. Repellado grueso gris, repellado medio grisáceo y enlucido color crema con capa de color anaranjada aplicada al fresco y subsecuente al falso fresco. Corresponden a los estucos encontrados en las jambas de la Pequeña Acrópolis y al estuco de la fachada externa inferior.
4. Repellado grueso blanco con enlucido blanco y pigmento rojo aplicado al fresco. Se encuentra en el piso de la Pequeña Acrópolis.

Ahora bien, los principales minerales y partículas que los contienen pueden dividirse en varias categorías: cementantes/inclusiones,<sup>1</sup> carbonatados/no carbonatados, agregados intencionalmente/accidentalmente, primarios/neoformados, inorgánicos/orgánicos. De ellos, los carbonatos son los minerales dominantes en las muestras, mientras los no carbonatados nunca exceden el quince por ciento. Las partículas orgánicas son las menos abundantes.

<sup>1</sup> En este trabajo se define inclusión como cualquier partícula que tenga un límite definido con la matriz de cal cementante. Esta decisión se tomó por la imposibilidad de distinguir si algunas de las partículas encontradas fueron agregadas intencionalmente como cargas o se hallan en la muestra por accidente en cualquiera de los procesos de fabricación de las mezclas de cal. En el área maya es muy complicado distinguir si estas inclusiones son cargas como tales (piedra caliza o sascab) o partículas que están allí accidentalmente (nódulos de cal que no fue bien mezclada, piedras parcialmente quemadas, etc.) dado que la composición mineral y la micromorfología son muy similares entre ambas.

Edificio	No. de muestra	Lugar de muestreo
<b>Edificio 2</b>	1	Estuco desprendido proveniente del segundo cuerpo bajo el relieve de la montaña sagrada del lado deteriorado.
	2	Estuco desprendido. Proveniente de unos esgrafiados en forma de piedra verde.
	3	Sección que ya estaba desprendida proveniente del lado derecho del relieve de la montaña .
	4	Sección ya desprendida del área entre ambas montañas.
	5	Sección desprendida del área de la montaña deteriorada.
	9	Sección tomada del área de la montaña sagrada
<b>Plaza Pom</b>	10	Muestra tomada <i>in situ</i> del área a la derecha de la montaña sagrada.
	6	Identificada por arqueología como VI- 19 Capa IIIc, 11 dic. 2009.
	7	Identificada por arqueología como ES-FN-1, derrumbe/nivel 2, 2009.
<b>Pequeña Acrópolis</b>	8	Identificada por arqueología como VI-18 Capa III c. La muestra que presenta capa pictórica azul sin amarillo fue denominada como 8a.
	11	muro 10 este
	12	muro 14 norte
	13	muro 14 norte
	14	muro 29 oeste
	15	muro 29 oeste
	16	muro 31 este
	17	muro 31 este
	18	muro 31 oeste
	19	muro 31 oeste
	20	muro 36 norte
21	piso	
22	muro 36 norte	
23	muro 9 sur	

Figura 3. Tabla de muestras utilizadas para hacer láminas delgadas y analizar por petrografía.

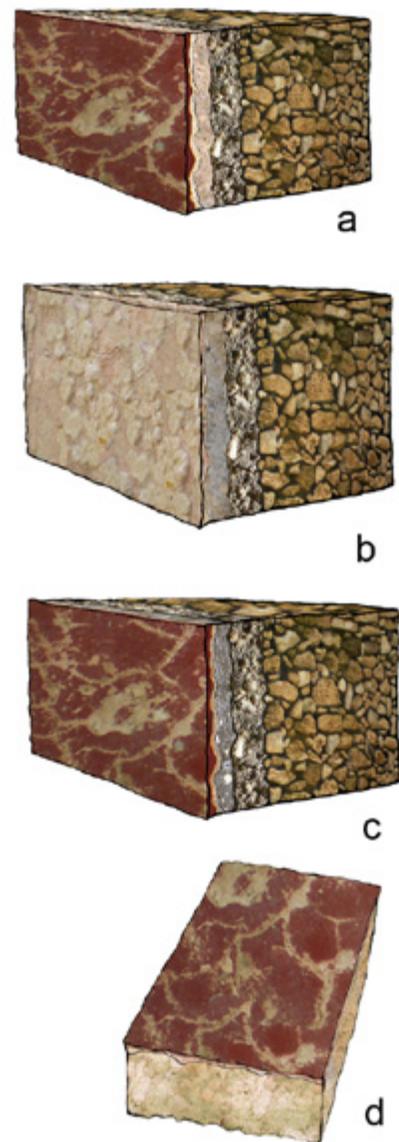


Figura 4. Esquemas de tipos de estucos: a. tipo 1, b. tipo 2, c. tipo 3, d. tipo 4.

## Carbonatos

Los carbonatos se dividen en carbonatos de calcio (calcita, lublinita,<sup>2</sup> aragonita) y dolomita.

La calcita se encuentra en forma tanto de micrita<sup>3</sup> como de esparita.<sup>4</sup> Cabe mencionar que la micrita es la forma de calcita dominante en todas las muestras y representa más del ocho por ciento de los minerales presentes. Está formando la matriz cementante, así como seis tipos de inclusiones diferentes (véase figura 5):

Clase 1. Inclusiones de micrita color gris más oscuras que el cementante. Muchas veces tienen óxidos de hierro dispersos en su estructura y otras veces los óxidos están localizados en un área de la partícula. Estas son las inclusiones más abundantes.

Clase 2. Inclusiones micríticas grisáceas con poros de dimensiones considerables saturados de cristales aciculares de calcita. Ocupan el segundo lugar en abundancia.

Clase 3. Inclusiones micríticas con textura criptocristalina estratificada; los estratos pueden ser horizontales o tener formas irregulares. Ocupan el tercer lugar en abundancia.

Clase 4. Inclusiones de color pardo o siena, con nícoles cruzados.<sup>5</sup> Se ven casi isotrópicos con colores muy bajos excepto por pequeñas partículas con un patrón de “cielo nocturno”.

Clase 5. Inclusiones muy homogéneas de color similar al de la micrita cementante. Exhiben fracturas interiores.

Clase 6. Inclusiones de micrita con textura criptocristalina con zonas grisáceas y negras intercaladas.

2 Carbonato de calcio con hábito acicular. También se conoce como calcita acicular.

3 Cristales de calcita menores a 4-5 micras.

4 Cristales de calcita mayores a 4-5 micras. De 4-10 micras se le conoce como microesparita, de 10 a 50 micras como pseudoesparita y de 50 micras en adelante como esparita.

5 Polarizadores colocados de manera perpendicular en el microscopio petrográfico.

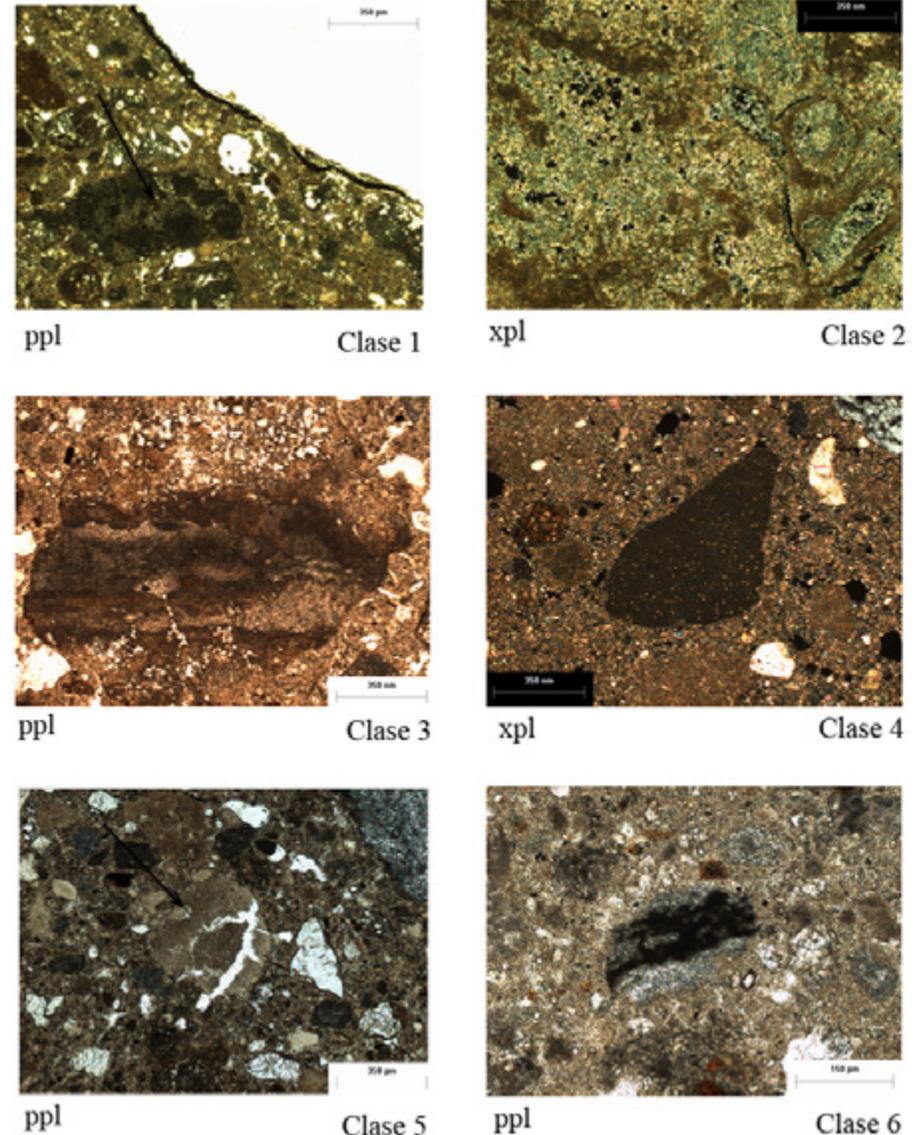


Figura 5. Fotografías de láminas petrográficas: clase 1. luz transmitida, partícula marcada con una flecha; clase 2. nícoles cruzados; clase 3. luz transmitida; clase 4. nícoles cruzados; clase 5. luz transmitida, partícula marcada con una flecha; clase 6. luz transmitida. Luisa Straulino.

Esparita y dolomita.- Los granos gruesos de calcita llamados esparita generalmente no se pueden distinguir de la dolomita en lámina delgada, por lo cual hay que realizar otros análisis. La difracción de rayos X mostró que los granos gruesos son de calcita, excepto en los relieves de Plaza Pom, donde alterna con dolomita. La esparita se encuentra generalmente formando parte de las inclusiones o rellenando fisuras (véase figura 6a).

Aragonita.- En las muestras se encontraron fragmentos de concha posiblemente formada por aragonita, aunque podría tratarse de su pseudomorfo de calcita. Se distinguen de los carbonatos de grano grueso cuando están en corte transversal porque generalmente tienen tres capas horizontales (véase figura 6c).

Lublinita.- Está conformada por calcita pero con un hábito cristalino acicular. Se encuentra en dos ubicaciones distintas, pero siempre formando una especie de tejido intrincado. La primera está en los poros de inclusiones micríticas o heterogéneas, y la segunda está en estratos superficiales sobre capas pictóricas e incluso en los costados y parte inferior. Este no es un mineral primario, sino un mineral neoforado por intemperismo biológico de la calcita (véase figura 6b).

### Minerales no carbonatados

Arcillas.- Se encuentran como inclusiones en sí mismas o como parte de partículas heterogéneas, siempre en bloque. Las arcillas que muestran blancos de primer orden como color de interferencia se consideran arcillas 1:1, las arcillas que muestran colores de interferencia amarillos se denominan arcillas 2:1. Un caso especial lo constituyen las partículas anaranjadas encontradas en capas pictóricas al fresco. Estas partículas son

arcillas pigmentadas naturalmente por goethita, es decir, son materiales edafogénicos naturales utilizados como pigmento (véase figura 6d).

Cuarzo policristalino, monocristalino y criptocristalino.- Generalmente se encuentra cuarzo criptocristalino que se distingue por sus fracturas concoideas. Las muestras con más cuarzo fueron las del interior de los cuartos de la Pequeña Acrópolis, aunque las capas pictóricas de Plaza Pom tienen trazas (véase figura 6e).

Las arcillas y el cuarzo podrían haber formado parte de las cargas carbonatadas que se adicionaron o podrían ser parte del suelo (horizontes B o C), en especial las que tienen manchas de óxido de hierro, lo cual indica intemperización de los minerales.

Yeso.- El sulfato de calcio se encontró formando eflorescencias en la superficie y subeflorescencias en los estratos superiores. Este mineral no es primario, es un mineral neoforado por intemperismo de causa antropogénica y proviene del cemento utilizado por las reconstrucciones arqueológicas.

Hematita.- Óxido de hierro anhidro que se caracteriza por su intenso color rojo bajo luz reflejada. Se encuentra en nódulos de redondeados a subredondeados o en partículas tan pequeñas que no pueden distinguirse con el microscopio utilizado. Suele hallarse en las capas pictóricas y hay pequeños nódulos en los repellados, así como concentraciones dentro de algunas inclusiones como arcillas (véase figura 6f).

Especularita.- Tiene la misma composición química que la hematita, aunque presenta un hábito cristalino "micáceo". Es de color gris plateado brillante y tiene una forma rectangular y angulosa. Se encontró únicamente en capas pictóricas (véase figura 6f).

**Limonita.**- Lo que conocemos como limonita es una mezcla de varios óxidos de hierro de color amarillo visible con luz reflejada. Se encuentran pocos nódulos en el repellado. Es abundante en capas pictóricas de tonalidad amarilla.

**Paligorskita.**- No pudieron distinguirse con petrografía las características partículas fibrosas de la parte mineral del azul maya. Sin embargo, con MEB-EDS pudo notarse que las capas azules tienen una composición de sílice, aluminio y magnesio y con DRX pudieron distinguirse picos de paligorskita. No se sabe de minas prehispánicas de paligorskita en la región, por lo cual se ha propuesto que es un mineral foráneo (véase figura 6g).

Además de estos minerales, hay partículas compuestas de varios de ellos denominadas partículas heterogéneas. Aquí se incluyen los estucos reutilizados y las partículas edáficas (véase figura 6h) que se conforman de una matriz que combina arcillas ferruginosas con micrita. Esta matriz engloba otras partículas tanto carbonatadas como no carbonatadas e incluso orgánicas.

### Inclusiones orgánicas

**Tejidos vegetales.**- Se localizaron tejidos vegetales leñosos (véase figura 7a) con estructuras típicas de la madera como traqueidas, radios y punteaduras y no leñosos que pueden mostrar las estructuras celulares (véase figura 7b) o estar conformados por fibras. Se localizaron principalmente en repellado medio y grueso.

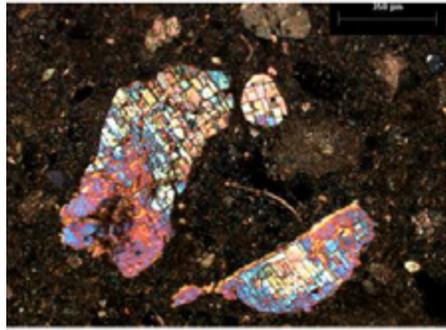
**Tejido vegetal carbonizado.**- Este conserva de vez en cuando estructuras o rasgos del tejido vegetal. Se localiza principalmente en repellados gruesos, aunque es particularmente abundante en los repellados medios de los aplanados en las jambas de la Pequeña Acrópolis (véase figura 7c).

**Cianobacterias.**- Son filiformes y de color verde. Se encuentran en la superficie de las muestras o en fisuras o espacios bajo las capas pictóricas. Se relacionan con la existencia de lublinita en las muestras (véase figura 7d).

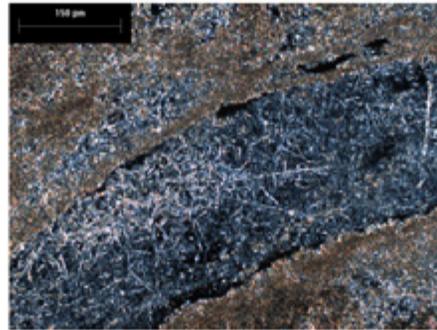
**Posibles esporangios.**- Son partículas redondas, de doble pared y color café rojizo o morado oscuro. Generalmente se encuentran agrupadas. Cabe mencionar que con MEB se localizaron redes de hifas formando micelios, esporas y esporangios (véase figura 7e).

**Posibles líquenes.**- Se observan como capas de diversas formas, aunque la mayor parte tienen formas redondeadas, de color amarillo-anaranjado. Se encuentran en la superficie de las muestras y se relacionan con la aparición de lublinita (véase figura 7f).

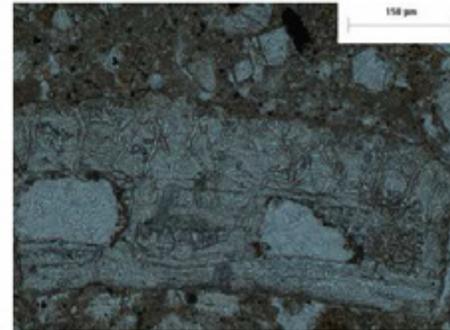
Se realizaron asimismo estudios con cromatografía de gases y espectrometría de masas en muestras de los tres edificios que demostraron que en los estucos intemperizados solamente se conserva glucosa, mientras en estucos conservados se observan monosacáridos como ramnosa, galactosa, manosa, xilosa, en diferentes porcentajes, así como glucosa y un compuesto llamado inositol proveniente de la descomposición de los monosacáridos (véase para porcentajes Straulino, 2015, pp.166).



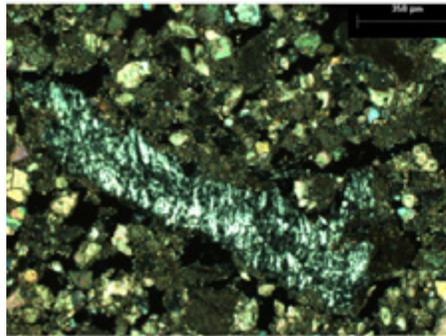
a



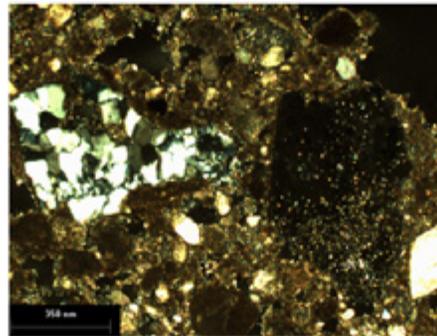
b



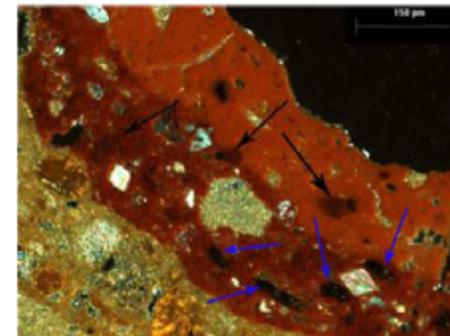
c



d



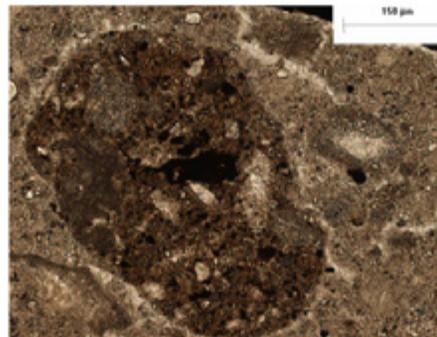
e



f

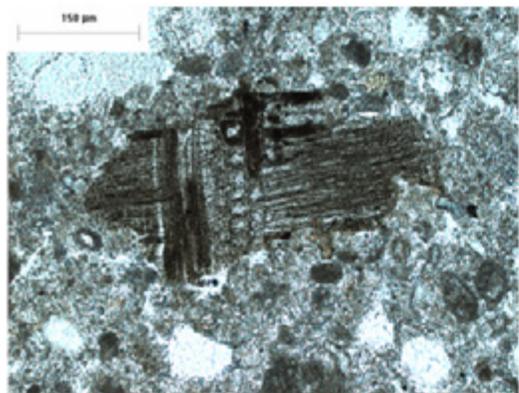


g

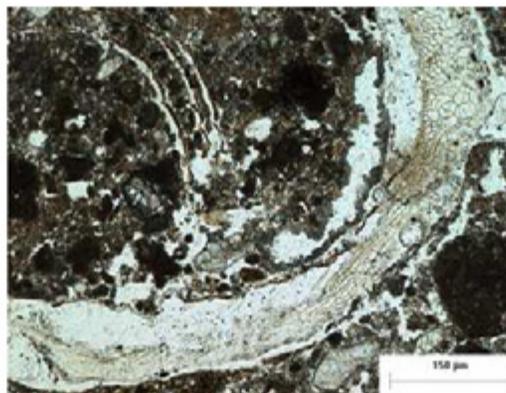


h

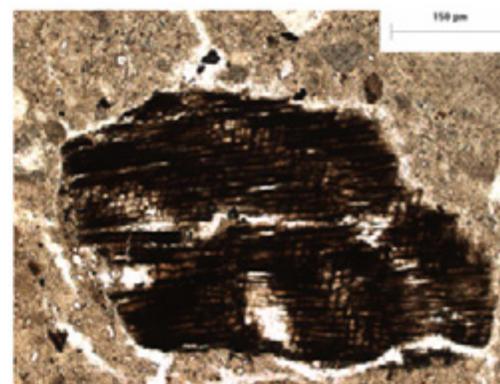
Figura 6. Fotografías de láminas petrográficas: a. cristales gruesos de carbonatos de calcio, nicoles cruzados; b. lublinita, nicoles cruzados; c. concha intemperizada, luz transmitida; d. arcilla 1:1, nicoles cruzados; e. cuarzo policristalino, nicoles cruzados; f. capas pictóricas, con flechas negras se marcan nódulo de hematita y con flechas azules se marca especularita, nicoles cruzados y luz reflejada; g. capa pictórica hecha con azul maya, nicoles cruzados y luz reflejada; h. partícula edáfica, luz transmitida. Luisa Straulino.



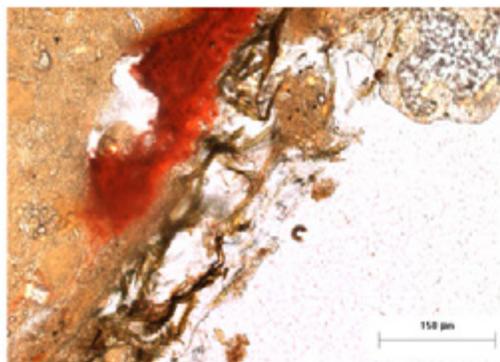
a



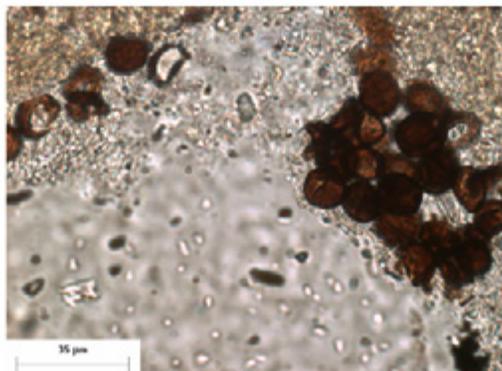
b



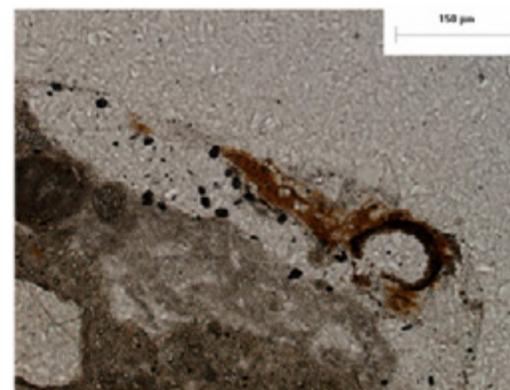
c



d



e



f

Figura 7. Fotografías de láminas petrográficas: a. tejido leñoso, luz transmitida; b. tejido no leñoso, luz transmitida; c. tejido vegetal carbonizado, luz transmitida; d. se observan cianobacterias de color verde seco sobre capa pictórica roja, luz transmitida con luz reflejada; e. posibles esporangios, luz transmitida; f. posibles líquenes, luz transmitida. Luisa Straulino.

### Proporciones de cementante e inclusiones

Al observar la figura 8 pueden advertirse relaciones interesantes: las proporciones de las jambas del Edificio este y norte de la Pequeña Acrópolis y las de Plaza Pom son similares, por lo cual se sugiere que fueron hechos en la misma época.

Las proporciones en el Edificio sur son muy diferentes a las de los Edificios este y norte de la Pequeña Acrópolis, lo cual puede relacionarse con su edad, pues parece ser más tardío que estos dos últimos.

Los componentes del Edificio 2 y Plaza Pom son iguales y muy similares en frecuencia, aunque las proporciones del primero son totalmente diferentes al resto. Ello parece indicar que las inclusiones en estos edificios son específicas para realizar relieves de estuco al exterior, mientras las diferencias en proporciones parecen deberse a que éste es el más temprano de todos.

Los componentes de los estucos en las jambas del Edificio este, del norte y del estuco externo inferior (había dos repellados, uno sobre todo en las fachadas exteriores) de la Pequeña Acrópolis, así como sus proporciones, son bastante similares, por lo cual puede inferirse que fueron realizadas al mismo tiempo. Los repellados de las jambas del Edificio sur y el estuco externo superior tienen similitudes, por ello se sugiere que son de la misma época.

Por otra parte, puede observarse que los estucos de los paramentos internos y el piso del Edificio este de la Pequeña Acrópolis tienen más o menos la misma proporción. Aunque seguramente fueron hechos más o menos en la misma época, la diferencia entre ellos radica en la granulometría. El piso tiene más y más grandes inclusiones y la diferencia de estos dos estriba en su función. Dicho piso requiere de resistencia y por eso tiene inclusiones de granulometría gruesa, así el espacio ocupado por estas cargas grandes ocupa mayor área que el cementante. El estuco de los paramentos internos tiene

tantas cargas de granulometría media en comparación con el área que ocupa el cementante porque estaba protegido por las bóvedas y, por lo tanto, no requería de tanta cal para ser resistente a la intemperie.

### Frecuencia de inclusiones en los distintos estratos

Los enlucidos tienen únicamente inclusiones carbonatadas y otras partículas con frecuencia muy baja, por lo cual puede inferirse que llegaron a estas mezclas de manera accidental.

En los repellados se nota un grupo que tiene una elevada cantidad de carbón que corresponden a las jambas de la Pequeña Acrópolis y al estuco externo inferior. Los repellados gruesos también contienen abundantes partículas de carbón. Posiblemente estas inclusiones se encuentren de manera intencional en las mezclas como forma de ahorrar energía, al no tener que limpiar la cal de los restos de carbón derivados de la calcinación o como un aditivo colocado para cambiar las propiedades de las mezclas, o incluso una combinación de ambas razones.

Es evidente también que los estucos internos tienen una gran cantidad de calcita de grano grueso en comparación con los demás, situación relacionada con su posición en el edificio. Al estar resguardados por bóvedas pueden tener menos cantidad de cementante, pues no están en contacto directo con el agua de lluvia principalmente. No obstante, al perder las bóvedas, estos son los estucos que más se deterioran por la rápida disolución de la matriz.

Se observa también que las inclusiones en el repellado medio y grueso son más o menos las mismas y con idéntica frecuencia, la diferencia radica en el tamaño de fracción representado.

En la figura 9 puede notarse que tanto el pedernal como las conchas se encuentran con frecuencias muy bajas y presentan dificultades para distinguirse con otras técnicas que no sea

el análisis de las láminas delgadas por estar como trazas y, por lo tanto, no poder distinguirse los picos, porque los picos de calcita dominan las muestras; o en el caso de las conchas porque pueden estar constituidas por pseudomorfos de calcita, y así es imposible distinguirlas de las inclusiones de carbonatos de calcio, excepto por sus propiedades ópticas y micromorfológicas.

Tampoco es posible distinguir por otros medios las partículas edáficas, pues están constituidas por muchos minerales que se distinguirían por separado en análisis como DRX. Además, los minerales que las conforman también son parte de otras inclusiones, por lo cual interpretar los resultados sin haber estudiado láminas petrográficas sería complicado.

Edificios			Estratos										Edades
			Enlucido				Repellado			Repellado gris			
			MA	C	PO	PI	MA	C	PO	MA	C	PO	
Pequeña Acrópolis	Este	Jambas	1	0.14	0.02		1	1.41	0.17	-----	-----	-----	422-521 d. C.
		Externo superior	1	0.15	0.06		1	1.00	0.22	-----	-----	-----	Sugerida 500-531 d. C.
		Externo inferior	1	0.11	0.03		1	1.69	0.38	-----	-----	-----	Sugerida 422-521 d. C.
		Piso	1	0.16	0.12		1	3.10	0.33	-----	-----	-----	Sugerida 422-521 d. C.
		Interior	1	0.21	0.02	0.01	1	3.00	1	-----	-----	-----	Sugerida 422-521 d. C.
	Norte	Jambas	1	0.12	0.02		1	1.34	0.32				463-508 d. C.
	Sur	Jambas	1	0.15	0.06		1	0.94	0.15				500-531 d. C.
		Interior	-----	-----	-----	-----	1	1.20	0.5	1	2	0.63	Sugerida 500-531 d. C.
Plaza Pom			1	0.24	0.06		1	1.40	0.14	-----	-----	-----	Sugerida 422-521 d. C.
Edificio 2			1	.020	0.20		1	0.63	0.31	1	0.94	0.37	274-316 d. C.

Figura 8. Tabla de proporciones en relación con la edad obtenida por arqueomagnetismo. Los colores iguales en las sombras de la tabla se marcan para facilitar los que fueron realizados al mismo tiempo.

Ubicación		Enlucido								
		pm	ph	pg	a	cb	pd	co	pl	s
Pequeña Acrópolis	Jambas edificio este	2.5	1	3	1	1	-	-	-	-
	Externo superior	3	1	2	-	-	-	-	-	-
	Externo inferior	2	1	2	-	-	-	-	-	-
	Piso edificio este	2	-	2	-	-	-	-	-	-
	Internos edificio este	2	-	5	-	-	-	-	-	-
	Jambas edificio sur	3	-	2	1	-	-	-	-	1
	Jambas edificio norte	3	-	2	1	1.5	-	-	1	1
Plaza Pom		3	1	3	1	-	-	-	-	-
Edificio 2		2.5	1	2.5	1	1	-	-	-	-

Figura 9. Tabla de frecuencia de inclusiones: pm-partículas micríticas, ph-partículas heterogéneas, pg-carbonatos de grano grueso, a-arcillas, cb-carbón, pd-pedernal (cuarzos micro y criptocristalinos), co-concha, pl-tejidos vegetales, s-suelo (partículas edáficas). Los números en la frecuencia corresponden a: 1-muy escaso (menos de 5 por ciento del área ocupada por inclusiones), 2-escaso (6-15 por ciento del área ocupada por inclusiones), 3-común (15-40 por ciento del área ocupada por inclusiones), 5-dominante (más de 70 por ciento del área ocupada por inclusiones).

Ubicación	Repellado medio								
	pm	ph	pg	a	cb	pd	co	pl	s
Pequeña Acrópolis	Jambas edificio este	4	4	4	2	3	1	2	1
	Externo superior	4	3	3	2	1	-	1	-
	Externo inferior	4	4	4	3	4	1	3	1
	Piso	4	4	4	2	1	-	-	-
	Internos	3	2	5	3	1	1	-	1
	Vano norte	4	3	4	3	4	-	1	1
	Interno sur	3	2	4	3	1	-	-	-
Jambas sur	4	5	4	3	4	1	1	1	
Plaza Pom	4	3	4	3	2	1.5	1	1	2
Edificio 2	4	3	3	1.5	1	1	1	1	2.5

Ubicación	Repellado grueso								
	pm	ph	pg	a	cb	pd	co	pl	s
Pequeña Acrópolis	Interior sur	3	4	4	3	4	-	2	-
Edificio 2		4	3.5	3	2.5	3	1.5	1	1.5

Figura 9. Tabla de frecuencia de inclusiones: pm-partículas micríticas, ph-partículas heterogéneas, pg-carbonatos de grano grueso, a-arcillas, cb-carbón, pd-pedernal (cuarzos micro y criptocristalinos), co-concha, pl-tejidos vegetales, s-suelo (partículas edáficas). Los números en la frecuencia corresponden a: 1-muy escaso (menos de 5 por ciento del área ocupada por inclusiones), 2-escaso (6-15 por ciento del área ocupada por inclusiones), 3-común (15-40 por ciento del área ocupada por inclusiones), 5-dominante (más de 70 por ciento del área ocupada por inclusiones).

## Discusión

Los cuatro tipos de estucos corresponden a distintas maneras de hacer y colocar mezclas de cal según las necesidades y funciones de cada espacio en cada edificio.

En cuanto a las inclusiones, puede plantearse que las tres primeras clases de inclusiones micríticas, las más abundantes, pertenecen a las formaciones de alteritas<sup>6</sup> en la región, es decir caliches y sascab. La clase 3 se identifica sin duda alguna con los caliches por su estratificación, mientras la clase 1 de estructura esencialmente peloidal y la clase 2 conformada por fragmentos alterados también pueden formar parte de estos caliches o de las formaciones de sascab que se constituyen de material alterado de las calizas parentales (Scholle, James y Read, 1989, p. 168, Straulino, 2015).

De las clases 4, 5 y 6 puede plantearse lo siguiente: partículas parecidas a la clase 4 y con las mismas características fueron identificadas por Villaseñor (2010, p. 205) como grumos de cal. La clase 5 fue identificada por Guillot (2015) como posibles piedras que no se calcinaron por completo y se fracturaron por la decarbonatación de las mismas durante la cocción, aunque también podrían ser grumos de cal viva que no se apagaron adecuadamente o no se mezclaron bien (cf. Coutelas, 2003, pp. 30-33). La clase 6 pueden ser grumos de cal, pero contaminados con cenizas y restos de carbón (Guillot, 2015). Por las características de algunas de ellas también puede sugerirse que fueron partículas de roca mal calcinadas y saturadas de hollín. Otra posibilidad es que solo se trate de

6 Resultado de la alteración química de una roca. Nos referimos al sascab y los caliches, que son lajas duras que se hallan en el paisaje kárstico de Yucatán. Los caliches suelen coronar la estratigrafía siendo lajas duras de carbonatos de calcio de centímetros a metros de profundidad bajo las cuales se encuentran de uno a varios metros de sascab. Bajo estas alteritas ya se halla la formación rocosa geológica.

fragmentos de micrita con secciones con relieve óptico mucho más alto que el circundante (Straulino, 2015).

Asimismo, los granos gruesos de carbonatos tienen rasgos de disolución o, frecuentemente, hierro disperso en su estructura. Esto indica que son materiales intemperizados que además estuvieron expuestos a la precipitación o iluviación de óxidos de hierro de horizontes superiores parecidos a los procesos pedogenéticos descritos por Cabadas, Solleiro, Sedov, Pi-Puig y Alcalá, 2010 y Sedov, Solleiro-Rebolledo, Fedick, Pi-Puig, Vallejo-Gómez y Flores-Delgadillo, 2008. Caso especial es el de las inclusiones de grano grueso de los paramentos internos de la Pequeña Acrópolis que tienen bordes angulosos y frescos. Esto podría señalar que pertenecen directamente a una formación rocosa geológica y no a sus alteritas, como los anteriores, pero por su forma pueden ser pseudomorfo de calcita de una roca dedolomitizada<sup>7</sup> (véase Straulino, 2015, pp. 196-197).

Las arcillas y el cuarzo pueden pertenecer a los elementos alóctonos<sup>8</sup> de las rocas utilizadas o de las alteritas, aunque incluso están presentes en las cubiertas edáficas de la región. Se determinó que ni las arcillas ni el cuarzo tuvieron activación térmica y por lo tanto no formaron zonas de reacciones hidráulicas, por lo cual puede descartarse que estos minerales provengan de la piedra utilizada para hacer cal, pues de ser así tendrían que haberse calentado a 900° y por lo tanto haber sufrido modificaciones. Por el contrario, podrían haber formado parte de las cargas adicionales o ser parte del suelo

7 La dedolomitización es un proceso inverso al que produce dolomita. Sucede cuando en la diagénesis la solución está muy enriquecida de iones calcio. La solución puede supersaturarse con  $\text{CaCO}_3$  con respecto a  $\text{MgCO}_2$ . La dolomita entonces se disuelve y en su lugar precipita calcita cristalina como pseudomorfo o en una forma nueva.

8 Material transportado de otro lugar hacia donde se deposita.

(de los horizontes B o C), sobre todo aquellas con manchas de óxidos de hierro.

A su vez, las conchas (intemperizadas y muy incompletas) y las partículas edáficas (horizonte A, por la gran cantidad de carbón y tinte parduzco dado por materia orgánica) pueden haber sido adicionadas de manera accidental al revolver las mezclas directo sobre el suelo.

El carbón está en gran cantidad en todos los repellados gruesos y en repellados medios de las jambas de la Pequeña Acrópolis. Muy probablemente lo hayan añadido como aditivo de manera intencional para modificar las propiedades de las mezclas de cal o quizá no se hayan separado las cenizas de la caliza quemada al apagarse lo que supondría un ahorro energético. Con respecto a adicionar carbón de madera a las mezclas se encontró en la literatura europea que las cenizas se utilizaban en la fabricación de morteros expuestos sucesivamente a ambientes húmedos y secos (Coutelas 2003, p. 84).

Por otro lado, la hematita, la limonita y la goethita son minerales formados por óxidos de hierro presentes en los suelos de la región (Sedov *et al.*, 2008, Cabadas *et al.*, 2010). Su constante asociación con arcillas hace pensar que los mayas aprovechaban los horizontes B del suelo para obtener pigmentos útiles. La especularita y la paligorskita son minerales de un origen geológico distinto al ambiente de Dzibanché, por lo cual fueron importados. La hematita especular requiere de procesos térmicos para su formación, ya sean volcánicos o hidrotermales y la paligorskita se forma a partir de la alteración de ceniza volcánica en un ambiente marino somero y rico en magnesio, y aunque hay muchos depósitos de este mineral en la península de Yucatán, los únicos depósitos reconocidos culturalmente por los habitantes del área maya como proveedores de este mineral son el cenote de Sakalum y el yacimiento de Yo'Sah Kab (Arnold, 2005; Arnold, Bohor, Neff, Feinman, Williams, Dussubieux y Bishop, 2012).

Comúnmente se dice que los estucos del área maya en general tienen aditivos orgánicos para cambiar las propiedades de las mezclas de cal, y se ha demostrado en diferentes ocasiones que hay monosacáridos presentes en las muestras (Magaloni, 2001; Vázquez, 2010; Jáidar, 2007). A nuestro parecer, la presencia de monosacáridos no es suficiente para aseverar, como lo indican algunas fuentes etnográficas, que los mayas ponían aditivos en todas las mezclas de cal. Como puede verse en las secciones anteriores se encontraron además de carbón, otros residuos vegetales como tejidos leñosos y no leñosos. Los monosacáridos encontrados durante este trabajo se parecen más a los hallados en componentes de los mismos, como son la celulosa y las hemicelulosas.

Empero, no hay que olvidar la presencia de microorganismos, pues en los estudios de técnicas de manufactura suelen olvidarse tanto los agentes como los mecanismos y efectos de intemperismo desviando las posibles interpretaciones de los resultados. La cantidad de polisacáridos que los componen y producen es enorme: pueden tener exopolisacáridos, polisacáridos capsulares. Producen también sustancias extracelulares conformadas por distintos monosacáridos, los mismos que forman los polisacáridos de las plantas. Por ello, la presencia de estos compuestos no determina la presencia de aditivos como gomas, por lo cual hay que ser cuidadosos con este tipo de señalamientos.

Aunado a esto se presenta el hecho de haber encontrado inositol, producto de la descomposición de los monosacáridos, por lo que muy probablemente las proporciones en las cuales se encuentran estos ya no correspondan con su compuesto originario, pues se han degradado con el tiempo. Así, es difícil decir que cierta combinación de monosacáridos en tales porcentajes corresponde con los espectros de tal compuesto original, ya que las muestras utilizadas como comparativos generalmente no están deterioradas.

Ahora bien, las diferencias entre las proporciones en los estucos parecen deberse a dos factores: la temporalidad y la función arquitectónica de los edificios. Así, los repellados en interiores tenían una baja proporción de cal en comparación con las cargas y además tenían cargas mucho más angulosas, lo cual proporciona mayor porosidad a las mezclas de cal. Por otro lado se encontró en los pisos otra de las mezclas con una proporción alta de cargas. Posiblemente eso se deba a que por la tracción de la gente al caminar se necesitaba un material resistente dado por las cargas, en comparación con la matriz de cal que en general tiende a erosionarse más rápido.

Además se nota que en general las mezclas de cal de exteriores tienen menos poros y mucha mayor cantidad de matriz de cal, lo que las hace más resistentes a la disolución provocada por el agua de lluvia.

Incluso la elección de hematita especular para las capas pictóricas de las jambas y fachadas exteriores implica un acto deliberado, pues con la luz del sol, estas partículas brillarían con diferentes intensidades.

Ahora bien, en relación con las dataciones y los registros epigráficos que existen para Dzibanché, puede decirse que los edificios de la Pequeña Acrópolis se habrían construido con un margen de un poco más de 100 años (422-531 d. C.), construyéndose al último el Edificio sur. Según la cronología propuesta por Martin y Grube (2002, pp. 101-104) y Velázquez (2004), los edificios que coronan el basamento de este edificio se habrían construido (o al menos puede decirse que se repellaron) en los gobiernos de la dinastía Kaan, anteriores a Testigo Cielo (561-572 d. C.), que corresponden a Yuknoom Ch'e'n I (?-520 d. C.) y Tuun K'ab' Hix (520-546 d. C.).

El altorrelieve de Plaza Pom correspondería también a esta época, lo cual coincide con la aparición de un glifo facturado en estuco que se lee *k'uhul ahau Kaan* en los escombros de este edificio. El relieve de la Estructura 2 (se ubica en una

de las estructuras subanteriores a la construcción del templo, que se data para 530-560 d. C.) se habría construido incluso antes de cualquier mención de la dinastía Kaan (272-316 d. C.), revelando la capacidad constructiva y el conocimiento técnico que ya tenía en el Clásico temprano la sociedad que habitaba este lugar. Cabe señalar que las dataciones obtenidas con arqueomagnetismo revelan cuándo fue colocada la capa pictórica roja en los repellados. Estas dataciones fueron en casi todos los casos de 50 a 100 años más tempranas que las apuntadas por la arqueología. No obstante, cabe recordar que todas las técnicas tienen un rango de error determinado, y para proponer una cronología del sitio lo mejor es tomar las dataciones obtenidas por varios medios y realizar un estudio con estadística Bayesiana (Soler, et al.).

## Conclusiones

Los mayas que vivían en Dzibanché tenían un conocimiento técnico innegable para hacer mezclas de cal adecuadas para cada espacio y cada función en los edificios que construían, ya fueran basamentos funerarios, edificaciones administrativas o residenciales. Modificaban las proporciones y los materiales utilizados, según las características de resistencia o estabilidad que querían obtener e incluso ahorrraban energía y material, haciendo el conocimiento técnico no solo efectivo sino eficiente. Incluso manejaban los pigmentos según fuera conveniente, al fresco o al falso fresco y con diferentes calidades, reservando la brillante hematita especular para las secciones donde iba a incidir directamente el sol, con lo cual daban un brillo peculiar a los acabados. Estos conocimientos, como puede observarse, estaban ya desarrollados para el Clásico temprano y la técnica se fue transmitiendo y modificando, según necesidades, a lo largo del tiempo.

Es indispensable mencionar lo efectivo del análisis con láminas delgadas. Permite conocer en poco tiempo y a un muy bajo costo: mineralogía, micromorfología, efectos de intemperismo, materiales primarios y neoformados, distribución espacial de cada elemento, etc., distinguiendo incluso partículas o minerales hallados en muy poca cantidad. Incluso pueden observarse elementos biológicos y orgánicos como tejidos vegetales y saber si aún conservan parte de la cristalinidad de la estructura celulósica, así como verificar la presencia de microorganismos como cianobacterias, hongos y líquenes. Cabe señalar que tiene limitaciones, como la incapacidad para distinguir entre granos gruesos de calcita y dolomita, y que la identificación de los componentes depende de la pericia, habilidades y conocimientos de quien efectúa el análisis; pero son fácilmente subsanables.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Politécnica de Valencia, en especial a las doctoras Teresa Doménech y Laura Osete, por la identificación de los compuestos orgánicos de las muestras, en el marco de una estancia académica financiada por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Igualmente agradecemos al Centro INAH Quintana Roo y a la delegada Adriana Velázquez Morlet, por las facilidades otorgadas para la toma de muestras.

## Referencias

Arnold, D. E. (2005), "Maya blue and palygorskite", *Ancient Mesoamerica*, vol. 16, núm. 1, pp. 51-62.

\_\_\_\_ B. F. Bohor, H. Neff, G. M. Feinman, P. R. Williams, L. Dussubieux y R. Bishop (2012), "The first direct evidence of Pre-Columbian sources of palygorskite for Maya Blue", en *Journal of Archaeological Science*, vol. 39, pp. 2253-2260.

Brown, G. (1987), "Mortars for Tropical Archaeological Sites", en *American Preservation Technology Bulletin*, vol. XIX, núm. 3, pp. 43-50.

\_\_\_\_ (1990), "Testing of Concretes, Mortars, Plasters, and Stuccoes", en *Archaeomaterials*, vol. 4, pp. 185-191.

\_\_\_\_ (1996), *Analyses and History of Cements*, Canadá, Gordon Brown, Publisher.

Cabadas, H. A., E. Solleiro, S. Sedov, T. Pi-Puig y R. Alcalá (2012), "The complex genesis of red soils in Peninsula de Yucatan, Mexico: Mineralogical, micromorphological and geochemical proxies", *Eurasian Soil Science*, vol. 43, núm. 13, pp. 1-19.

Coutelas, A. (2003), "Petroarcheologie du mortier Gallo-Romain. Essai de reconstitution et d'interpretation des chaînes opératoires: du materiau au matier antique", tesis de doctorado, Universidad París I, no publicada.

García, C. (2011), “La tecnología de la escultura arquitectónica modelada en estuco de la Sub II C-I: implicaciones sociales para el preclásico en Calakmul”, tesis de maestría, Mérida, Facultad de Ciencias Antropológicas, Universidad Autónoma de Yucatán.

Goodall, R. A. (2007), *Spectroscopic Studies of Maya Pigments*, tesis de doctorado, Australia, School of Physical and Chemical Science, Queensland University of Technology.

Guasch, N. (2009), “Caracterització dels materials constitutius de les bases de preparació de les pintures murals a les terres baixes maies del nord (península de Yucatán, Mèxic)”, tesis de máster, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.

Guillot, C. (2015), “L’art de bâtir a Río Bec”, borrador de tesis, Universidad de Montreal, en preparación.

Hansen, E. F., R. D. Hansen y M. R. Derrick (1995), “Los análisis de los estucos y pinturas arquitectónicas de Nakbé: resultados preliminares de los estudios de los métodos y materiales de producción”, en *Memorias del VIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 1994*, Guatemala, Museo Nacional de Antropología y Etnología, pp. 456-470.

\_\_\_\_ C. Rodríguez-Navarro y R. Hansen (1997), “Incipient Maya burnt lime technology: characterization and chronological variations in Preclassic plaster, stucco and mortar at Nakbé, Guatemala”, en B. Vandivier, J. R. Druzik, J. F. Merkel y J. Stewart (coords.), *Materials Issues in Art and Archaeology V*, Pittsburgh, Materials Research Society, pp. 207-216.

\_\_\_\_ C. Rodríguez-Navarro (2002), “Los comienzos de la tecnología de la cal en el mundo Maya: innovación y continuidad desde el Preclásico Medio hasta el Clásico Tardío en Nakbé, Petén, Guatemala”, en *XV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, Guatemala, Museo Nacional de Antropología y Etnología, pp. 183-187.

Jáidar, Y. (2007), “Los extractos vegetales usados como aditivos en los morteros de cal con fines de conservación”, tesis de licenciatura, México, Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía.

Magaloni, D. (1998), “El arte en el hacer: Técnica pictórica y color en las pinturas murales de Bonampak”, en De la Fuente, Beatriz (coord.), *La pintura mural prehispánica en México. Bonampak. Vol. II*, México, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, pp. 49-80.

\_\_\_\_ (2001), “Materiales y técnicas de la pintura mural maya”, en De la Fuente, Beatriz (coord.), *La pintura mural prehispánica en México. Área maya*, vol. II, México, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, pp. 155-198.

Martin, S. y N. Grube. (2002), *Chronicle of the Maya Kings and Queens: Deciphering the Dynasties of the Ancient Maya*, Nueva York, Thames & Hudson.

McVey, L. (1998), “A Characterization and analysis of the floor plasters from the acropolis at Copan”, tesis de maestría, Pennsylvania, Graduate program in Historic Preservation, University of Pennsylvania.

Scholle, P.A., N. P. James y J. F. Read (1989), *Carbonate Sedimentology and Petrology*, vol. 4, American Geophysical Union, Short Courses in Geology.

Sedov, S., E. Solleiro-Rebolledo, F. L. Fedick, T. Pi-Puig, E. Vallejo-Gómez y M. L. Flores-Delgadillo (2008), “Micromorphology of a soil Catena in Yucatán: pedo-genesis and geomorphological processes in a tropical Karst Landscape”, en Kapur, S., A. Mermut y G. Stoops (coords.), *New Trends in Soil Micromorphology*, Berlín, Springer, pp. 19-37.

Straulino. L. (2015), “Hacer mezclas de cal en Dzibanché durante el Clásico Temprano: La temporalidad y la función arquitectónica como determinantes”. tesis de maestría, México, UNAM.

Vázquez, X. y M. Villegas (1993), “Los estucos modelados del Palacio y del Templo de las Inscripciones de Palenque: una metodología de análisis para la técnica de manufactura”, tesis de licenciatura, México, Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía.

Vázquez de Agredos, M. L. (2010), *La pintura mural maya. Materiales y técnicas artísticas*, Mérida, Centro Peninsular en Humanidades y Ciencias Sociales-UNAM.

Velásquez, E. (2004), “Los escalones jeroglíficos de Dzibanché”, en Nalda, E. (coord.), *Los cautivos de Dzibanché*, México, INAH-Conaculta.

Villaseñor, I. (2009), “Lowland Maya lime plaster technology: a diachronic approach”, tesis doctoral, University College London.

\_\_\_\_\_ (2010), *Building materials of the ancient Maya. A study of archaeological plasters*, Saarbrücken, Lambert.

Zetina, S. (2008), “Análisis de la técnica de manufactura de los mascarones de estuco del Edificio A-1 y B-4 de Kohunlich, Quintana Roo”, tesis de licenciatura, México, Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía.