

ESTUDIOS PREVIOS EN MORTEROS TRADICIONALES DE CAL PARA LA EVALUACIÓN DE SU COMPORTAMIENTO HÍDRICO Y LA IDONEIDAD DE SER EMPLEADOS EN CLIMA TROPICAL

Begoña Carrascosa Moliner y Francisca Lorenzo Mora
Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València

AUTOR DE CONTACTO: Begoña Carrascosa Moliner, becarmo@crbc.upv.es

RESUMEN: *Los mayas emplearon el estuco para el revestimiento de sus edificaciones, proporcionando un acabado estético y ofreciéndoles protección frente a las condiciones climáticas. Los materiales constitutivos fueron proporcionados por el entorno, empleándose principalmente cal, sascab y aditivos orgánicos. Los estucos, convertidos hoy en vestigios, son un testimonio clave del modo de vida prehispánico ya que conservan numerosas huellas de color y grafitos incisos. Su deterioro, causado por las elevadas condiciones de temperatura y humedad hace necesaria su intervención mediante materiales afines y respetuosos. Se han realizado diferentes probetas de mortero tradicional maya, susceptible de ser empleados en la restauración, para evaluar sus diferencias y comprobar su comportamiento ante determinados ensayos físicos, para seleccionar aquellos más apropiados para tal fin.*

PALABRAS CLAVE: conservación, restauración, estucos de cal, morteros, maya, humedad, capilaridad.

1. INTRODUCCIÓN

La Blanca es un asentamiento maya ubicado entre la frondosa selva de El Petén Guatemalteco, en el corazón de las Tierras Bajas, cuyo momento de ocupación más destacado se sitúa entre los periodos Clásico Tardío y Terminal. Las ruinas de La Blanca se caracterizan por un diseño urbanístico singular y por la presencia de una imponente arquitectura, en cuyo interior se han encontrado interesantes grafitos tanto prehispánicos como coloniales, así como distintas huellas pictóricas.

Generalmente, los revestimientos prehispánicos presentan la misma estructura compositiva, si bien en ocasiones puede variar. Los estratos o capas preparatorias que se sitúan sobre el muro constructivo son dos; la primera de ellas aplicada directamente sobre la piedra caliza, llamada mortero y la siguiente aplicada sobre este mortero, llamada enlucido. Estas dos capas constituyen el soporte para la pintura o estrato pictórico. Ocasionalmente, se han documentado revestimientos de tan solo una capa de estuco, como ocurre sobretodo en los revestimientos de pisos, donde se suele encontrar una gruesa capa de estuco, con agregados de granulometría alta y muy compactada, y por el contrario otros estucos que presentan más de dos capas, posiblemente a causa de reparaciones o renovaciones de los estucos anteriores.

Estos morteros o pastas de cal, se componen fundamentalmente por hidróxido de calcio como conglomerante, arena blanca o sascab como carga y algunos aditivos de tipo orgánico, añadidos al agua que da plasticidad a la mezcla.

La piedra caliza era explotada en canteras abiertas y calcinada en piras de leña colocadas a nivel del suelo o en hoyos. Estas piras se constituían por madera de alto contenido en agua como la del Chacá (Bursera Simaruba), que aíslaba y mantenía el calor, produciendo un quemado lento y controlado. (SCHREINER 2002)

El producto obtenido, óxido de calcio, se hidrataba entonces para conseguir la cal definitiva con la que elaborar los estucos. Se conocen dos procedimientos de apagado de ésta, que según recoge la bibliografía pudo depender del área geográfica. En las Tierras Bajas Mayas del Norte es común el mezclado de la cal viva junto con el árido correspondiente y la introducción de éstos en balsas con agua en la que previamente se había dejado a remojo cortezas de árboles para que exudaran sus gomas. Este proceso se conoce con el nombre de apagado por inmersión.

Por el contrario, en las Tierras Bajas Mayas del Sur, por lo general, la cal viva tras ser calcinada se mezclaba con el árido y se dejaba a la intemperie en contacto con la alta humedad de la atmósfera para su apagado. Este proceso se conoce como pudrición y todavía se emplea en este área a día de hoy. (MUÑOZ 2006: 60)

En cuanto a los áridos empleados, encontramos pequeñas diferencias en los agregados, dependiendo de la geología de la zona. Los depósitos de sascab o arenas calcíticas son un fenómeno que ocurre en toda la península. El sascab, que en maya yucateco significa "arena blanca para hacer cal" es un tipo de arena blanca y ligera formada por la descomposición de rocas calizas en combinación con las diversas arcillas presentes en el subsuelo. (LITTMAN 1958: 172-176). Por lo general, esta carga árida se emplea comúnmente en los morteros junto con la matriz de cal, variando en su proporción, granulometría y presencia junto a otros minerales como diversas arcillas, dependiendo de la geología del lugar.

El empleo de distintos extractos vegetales en la composición de los estucos es una característica que se extiende a todo el área maya, encontrando a día de hoy lugares en los que todavía se emplean. Según la etnohistoria y diversas investigaciones publicadas, son numerosas las especies arbóreas de las cuales se pueden extraer resinas, mucilagos y gomas, aunque son estas últimas las más sencillas de extraer por solubilidad tras el remojo de las cortezas en



Figura 1. Estado inicial de las probetas

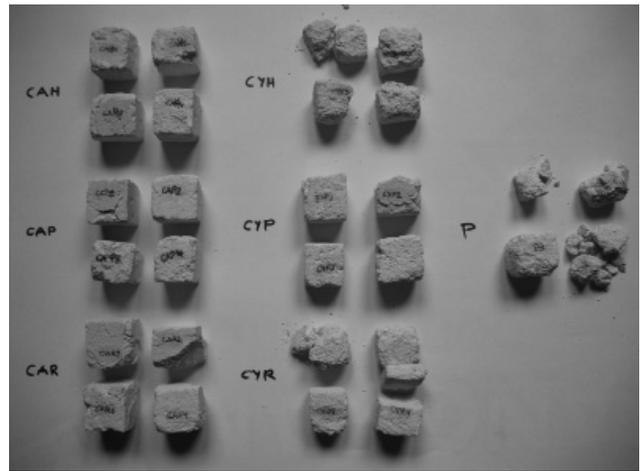


Figura 2. Estado de las probetas tras quince ciclos de cristalización de sales

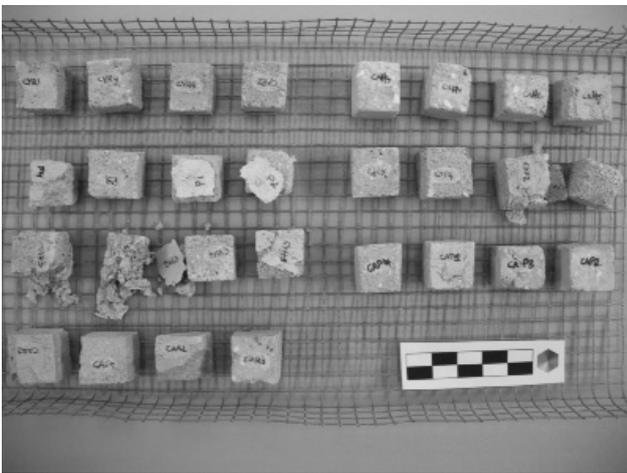


Figura 3. Desintegración de las probetas CYP2 y CYP3 durante el quinto baño

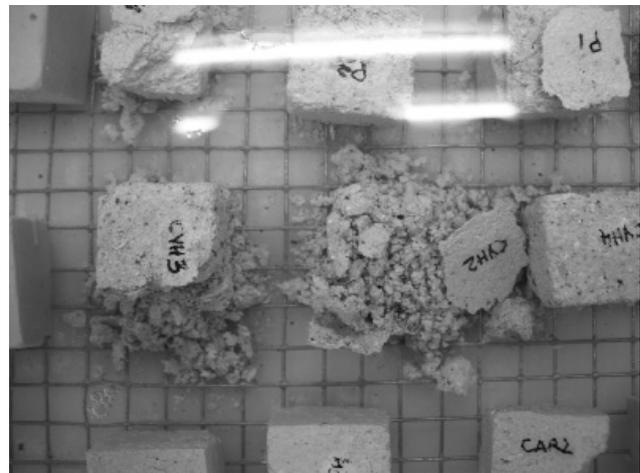


Figura 4. Desintegración de las probetas CYH2 y CYH3 durante la cuarta inmersión

agua. Algunos investigadores han realizado estudios con algunas especies arbóreas como el *Chucum* (*Havardia Albicans*), *Chacté* (*Caesalpinia Mollis*), *Jabín* (*Piscidia Piscipula*) y *Chacah* (*Bursera Simaruba*) o el *Holol* (*Heliocarpus Spp.*), cuyo significado en maya yucateco es árbol de corteza glutinosa, concluyendo que estas gomas intervienen en las propiedades de la cal, estabilizando la estructura durante la carbonatación (LITTMAN1960).

Casual o intencionadamente, la adición de las gomas vegetales a la cal viva, mejoró considerablemente el resultado de estas pastas. La explicación puede deberse a que los monosacáridos, que componen químicamente las gomas vegetales, procuran una mejor solubilidad de los óxidos de calcio.

Estudios experimentales en los que se han empleado extractos de gomas vegetales para apagar la cal viva, concluyen la importancia de esta mezcla previa ya que la reacción de apagado de la cal produce un aumento de temperatura de unos 300° C en el líquido, que unido a la alcalinidad del proceso, causa en la estructura de la goma su hidrólisis, es decir, la separación de los azúcares constitutivos y por ello una mejor integración de las partículas de *sascab* en la matriz de cal por efecto de la ebullición y movimiento. (MAGALONI 2001:161) Además, el poder higroscópico de estas gomas, ayudan a retener agua dentro del mortero, haciendo más lenta la carbonatación y por lo tanto obteniendo un estuco más compacto y resistente. (MAGALONI 1998: 54-55)

La gran calidad de estas expresiones artísticas junto con los materiales constitutivos del estuco en el que se crearon, y la

información que estos grafitos pueden aportar como documento gráfico, testigo contemporáneo de la vida y costumbres de sus habitantes mayas, hace que sea de vital importancia la conservación *in situ*, una vez descubiertos, para su estudio y la puesta en valor de este sitio arqueológico. Pero como sabemos, la excavación supone un fuerte impacto para los restos arqueológicos ya que el equilibrio que los materiales han mantenido durante siglos de sepultura, se ve interrumpido con su exhumación, rompiéndose de nuevo su estabilidad.

Si a esto le agregamos las condiciones climáticas a las que se exponen, propias de un clima tropical, determinado tanto por una alta temperatura, con una media anual en torno a 30° C, fuertes radiaciones lumínicas, así como por una alta humedad relativa media de más del 70%, los procesos de deterioro están garantizados desde el descubrimiento. Estas condiciones, y sobre todo el agua, favorecen la desintegración físico-química de los materiales y el ataque biológico en forma de colonizaciones en las estructuras, provocando, en un periodo corto de tiempo la degradación, descomposición y destrucción de sus materiales constitutivos.

Es por ello que surge la necesidad de encontrar materiales susceptibles de ser empleados en la restauración de estos revestimientos. Este material ha de ser afín al original para evitar reacciones adversas debidas a la incompatibilidad. Prueba de ello son las resinas acrílicas que comenzaron a emplearse en la década de los 70 del pasado siglo, y que con el paso del tiempo, su envejecimiento y estabilidad no sólo ha sido negativo, sino que ha provocado grandes daños e incluso pérdidas en estucos originales del área maya. Por ello, se

han comenzado a probar distintas composiciones de morteros, siempre empleando los materiales brindados por el entorno, tal y como lo hicieran en su día los antiguos habitantes de La Blanca. Con estos morteros se pretende realizar tanto refuerzos perimetrales en los estucos dañados, como la reintegración de aquellas lagunas que suponen un debilitamiento para los fragmentos originales. Otro problema muy frecuente en los revestimientos del área maya, son los daños provocados por las continuas cristalizaciones de sales, debido al agua en forma de lluvias, goteras o escorrentías, que transporta sales disueltas y favorecen el hinchamiento de las contenidas en el interior del estuco, provocando fisuraciones internas que debilitan la estructura, pudiendo llegar a producir desprendimientos, y provocando en muchos casos la total sulfatación del carbonato cálcico, convirtiendo estos estucos en un polvo deleznable.

Dada la variada y a la vez ambigua información acerca de las técnicas de preparación de estos estucos por parte de los antiguos mayas, en especial en lo referido al apagado de la cal y a los aditivos orgánicos empleados, cómo se añadían y en qué momento del proceso debían agregarse, nos cuestionamos la necesidad de comparar el comportamiento de estos aditivos vegetales en los dos modos más usuales de preparar la cal para los estucos. Por una parte, añadir la maceración de los exudados vegetales en la mezcla del árido y del hidróxido de calcio, es decir, cal apagada por inmersión en balsas de agua corriente; y por otra parte, realizar el apagado de cal viva mediante agua en la que previamente se han macerado dichas cortezas y realizar con ésta la mezcla pertinente.

2. OBJETIVOS

-Realizar diversos tipos de estuco empleando dos metodologías diferentes de apagado de la cal y de mezclado de los elementos compositivos, y tres especies de cortezas glutinosas de árboles autóctonos y presentes en La Blanca, muy referenciados en la bibliografía existente, para verificar cómo han interactuado las gomas vegetales con los dos tipos de cal, y observar así diferencias que se reflejen en la dureza y compactación, porosidad y permeabilidad frente al agua, problema principal de los sitios arqueológicos del área maya.

-Comparar los resultados de los ensayos hídricos realizados a estos estucos experimentales con los obtenidos de un estuco tradicional, realizado con hidróxido de calcio y *sascab*, pero sin aditivos orgánicos.

-Seleccionar uno o varios estucos determinados, que tras los distintos ensayos muestre diferencias significativas en cuanto a comportamiento hídrico y en cuanto a resistencia a la cristalización de sales, dando los primeros resultados positivos sobre los que poder seguir realizando modificaciones para conseguir finalmente un estuco idóneo.

3. METODOLOGÍA

Tras la revisión bibliográfica de los diferentes materiales y técnicas de ejecución de los revestimientos prehispánicos y su aplicación de color, y visto que éstos pueden variar en función del área y la geografía del terreno, se decidió basar la elección de materiales para las pruebas en los existentes en el entorno de La Blanca, ya que con seguridad fueran estos los empleados de forma original por los artistas que ejecutaron estas obras. Cabe destacar que el estudio experimental de morteros prehispánicos se comenzó en el año 2008, con la realización de un muro expositivo que reproducía dichos estucos incisos.

Es por ello que la búsqueda y selección de los materiales y las proporciones de éstos, estaban decididos para la realización de las presentes probetas. Los materiales seleccionados y empleados para la elaboración de las probetas se resumen en la siguiente tabla.

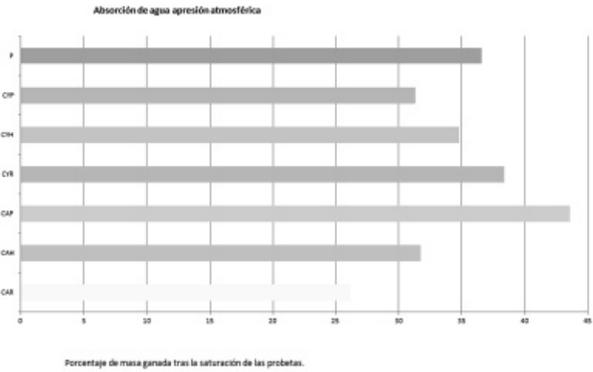


Gráfico 1. Porcentaje de masa ganada en las distintas probetas

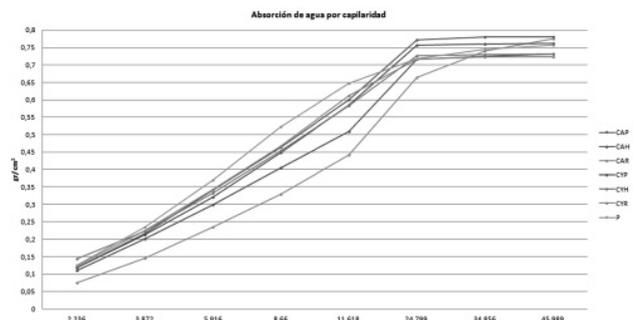


Gráfico 2. Curva de absorción de agua por capilaridad de las diferentes probetas en gr/cm².

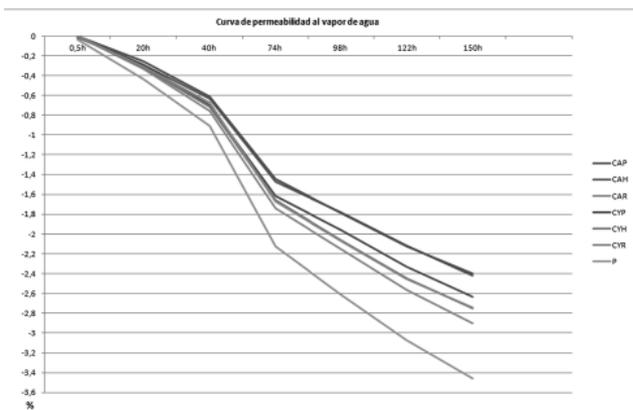


Gráfico 3. Curva de permeabilidad de las distintas probetas en gr/s

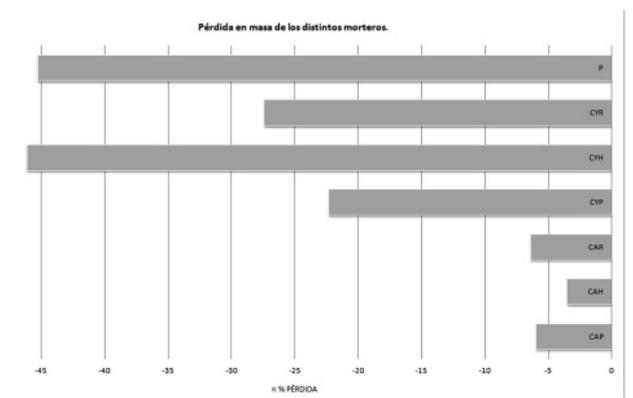


Gráfico 4. Porcentaje de pérdida de masa en las distintas probetas tras quince ciclos de cristalización de sales.

MATERIAL	ORIGEN
Cal apagada	Sitio arqueológico Yax-Hi. Sitio muy cercano a La Blanca, donde calcinan y apagan la cal en balsas de agua.
Cal viva	Obtenida de la calera de San Benito, población cercana a La Blanca donde calcinan y apagan la cal mediante pudrición.
Sascab o arena blanca	Obtenida del subsuelo del sitio La Blanca
Cortezas del árbol de Ramón (<i>Brosimum.Alicastrum</i>)	Obtenidas de los propios árboles que se encuentran en el entorno de La Blanca.
Cortezas del árbol Pixoy (<i>Guazuma Uimifolia</i>)	
Cortezas del árbol Habín (<i>Pithecia Piceipula L.</i>)	
Agua	
	Laguna de La Blanca.

3.1 Preparación de los morteros

Se prepararon probetas de tres tamaños distintos: cubos de 4x4x4 cm, cubos de 2x2x2 cm y cilindros de 4x1 cm.

La composición de los morteros se estructuró en dos grupos atendiendo al tipo de cal presente. Grupo A cuya cal viva ha sido apagada con la maceración de los tres tipos de cortezas diferentes, dejándola apagar durante al menos tres semanas. Una vez convertida en una pasta fina, se procedió al mezclado con el árido en proporción 1:3. El agua añadida para dar plasticidad a la masa fue la reservada de cada maceración de corteza.

El grupo Y, se compone de cal previamente apagada por inmersión en balsa de agua, sin aditivo orgánico. Ésta se mezcló con el árido mencionado en proporciones 1:3 y el agua añadida para dar plasticidad a la masa fue la reservada de cada tipo de corteza macerada; añadiendo así gomas vegetales, pero no durante el proceso del apagado, sino después.

Por otra parte, se fabricaron probetas de mortero tradicional sin ningun aditivo orgánico, compuestas por cal apagada en agua, árido en proporción 1:3 y agua corriente para mejorar la mezcla. Así pues los estucos fabricados fueron siete tipos en total:

Las probetas se realizaron *in situ* bajo una cubierta de palma que

GRUPO	CAL	ARIDO	AGUA	Nombre
A	Cal viva apagada in situ con la maceración de tres cortezas.	Sascab	Apagado con macerado de corteza de Ramón	CAR
			Apagado con macerado de corteza de Habín	CAH
			Apagado con macerado de corteza de Pixoy	CAP
Y	Cal apagada mediante inmersión en balsa de agua corriente.	Sascab	Macerado de corteza de Ramón	CYR
			Macerado de corteza de Habín	CYH
			Macerado de corteza de Pixoy	CYP
P	Cal apagada mediante inmersión en balsa de agua corriente.	Sascab	Agua corriente	P

protegía de la lluvia pero que permitía la circulación libre de aire y humedad. Las condiciones de humedad relativa (HR) dadas en el sitio durante el mes de realización fueron elevadas debido a las intensas lluvias, con una media en torno al 80%. La temperatura se mantuvo entre los 25 y 30°C. Los datos meteorológicos fueron facilitados por la INSIVUMEH - Estación Meteorológica de Flores, en el Departamento de El Petén.

Las probetas fueron curadas durante al menos 20 días *in situ*, en las condiciones arriba mencionadas y fueron trasladadas seguidamente a los laboratorios del IRP, donde terminaron su proceso de carbonatación durante cuatro meses; con una temperatura media de

23°C y una HR media del 55%.

3.2 Justificación de los ensayos realizados

Como se ha mencionado, el problema que más daños causa a los estucos originales que se hallan en los sitios arqueológicos de área maya, es la humedad, tanto contenida en el aire como en forma de lluvias, filtraciones, escorrentía. Estas condiciones extremas provocan que el entorno en el que se enclavan estos estucos se encuentre continuamente saturado de humedad, acelerando los procesos de desintegración de este material inorgánico. Por ello, el objetivo principal es observar las diferencias entre ambos grupos de estuco y su respuesta frente a los diversos ensayos hídricos que ahora se describen.

a) Absorción de agua a presión atmosférica.

Este ensayo se ha realizado para comprobar la absorción que cada grupo de estuco presenta y si las gomas vegetales añadidas tiene efecto hidrofugante, y si es así, observar las diferencias entre grupos de estuco y entre las distintas especies de gomas vegetales.

Este ensayo se ha realizado según la norma española UNE-EN 13755, y para ello se han empleado dos probetas cubo de cada tipo y grupo de estuco realizado de dimensiones 4x4x4 cm, empleando un total de catorce piezas en el ensayo.

Después de secar hasta masa constante, cada probeta se pesa y se sumergen en agua a presión atmosférica durante periodos de tiempo específicos, en este caso 24h en las primeras mediciones y cada 72h en las últimas hasta conseguir la saturación. Se determina la absorción de agua a presión atmosférica, expresado como porcentaje, mediante el resultado de la saturación de agua, obtenida a masa constante, y la masa inicial de la probeta seca.

La expresión A_b de cada probeta se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Ab = ms - md / md \cdot 100$$

b) Absorción de agua por capilaridad.

En este ensayo se pretende evaluar la absorción de agua de los estucos fabricados, para comparar el efecto de las gomas vegetales añadidas con respecto al estuco Patrón, dado que los principales daños producidos en los estucos originales se producen en las zonas bajas de los muros, que se encuentran en contacto con la humedad del subsuelo, siendo necesario el empleo de un estuco de reintegración adecuado para estas zonas.

El procedimiento empleado ha sido según la norma española UNE-EN 15801:2009, cuyo principio se basa en la determinación de la cantidad y la velocidad a la que una probeta absorbe agua por capilaridad a través de la superficie de ensayo cuando está en contacto con agua. Han sido empleados cuatro cubos de cada tipo de estuco distinto de dimensiones 2x2x2 cm.

Tabla 1. Promedio en Gr. de cada grupo de probetas en la medición inicial y las sucesivas pesadas

Probetas	m_d	48h	72h	96h	104h	128h	152h	224h	248h	272h	296h	320h
CAR	76,76	101,38	101,85	102,095	102,155	102,195	102,21	102,4	102,4	102,4	102,4	102,4
Desviación		11,4834141	11,5258405	11,5611959	11,5329116	11,5894801	11,6955462	11,681404	11,6672619	11,6672619	11,6672619	11,6672619
CAH	82,685	107,795	108,365	108,465	108,415	108,44	108,5	108,605	108,635	108,66	108,665	108,665
Desviación		1,33643182	1,4495689	1,4495689	1,37885822	1,40007143	1,4707821	1,46371104	1,42128463	1,40007143	1,39300036	1,39300036
CAP	81,415	109,16	109,625	109,755	109,78	109,805	109,915	109,99	110	110,025	110,025	110,025
Desviación		6,71751442	6,73872762	6,8094383	6,7882251	6,78115403	6,73872762	6,71751442	6,71751442	6,71044335	6,71044335	6,71044335
CYR	79,04	105,765	106,31	106,41	106,48	106,54	106,6	106,7	106,735	106,785	106,795	106,795
Desviación		2,46780267	2,48901587	2,50315801	2,54558441	2,58801082	2,54558441	2,63043723	2,66579257	2,70821897	2,69407684	2,69407684
CYH	82,39	108,59	109,235	109,24	109,37	109,43	109,435	109,535	109,565	109,565	109,565	109,565
Desviación		1,76776695	1,87383297	1,83847763	1,81019336	1,81019336	1,74655375	1,71826948	1,70412734	1,70412734	1,70412734	1,70412734
CYP	77,26	102,875	103,495	103,58	103,555	103,57	103,57	103,705	103,74	103,74	103,74	103,74
Desviación		2,17081782	2,2839549	2,36173665	2,22738636	2,22031529	2,22031529	2,25567063	2,2627417	2,2627417	2,2627417	2,2627417
P	72,8	98,48	99	99,1	99,22	99,25	99,25	99,36	99,36	99,4	99,42	99,42

Tras el secado hasta masa constante, las probetas se ponen en contacto con una superficie plana empapada en agua, sacándose y pesándose cada cierto periodo de tiempo. Los intervalos de tiempo han sido muy cortos en las primeras mediciones, empezando por cinco segundos, siendo quince minutos el mayor periodo de contacto.

La cantidad de agua absorbida por la probeta por unidad de superficie Q_i (gr/cm²), en el tiempo T_i (s), se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Q_i = [(m_i - m_0) / A]$$

c) Determinación de la permeabilidad al vapor de agua.

Con este ensayo se pretende comprobar la transpiración de los estucos fabricados y la influencia que las distintas gomas vegetales y los distintos procedimientos de apagado de la cal tienen en la porosidad y permeabilidad de estos estucos. Este parámetro es de gran importancia ya que el estuco susceptible de ser empleado en la restauración de los revestimientos originales, ha de ser lo suficientemente permeable para favorecer la libre transpiración de la humedad contenida en el soporte pétreo, así como evitar la cristalización de sales solubles entre ambos estratos.

Este ensayo ha sido realizado conforme a la norma española UNE-EN 15803, empleando tres probetas cilíndricas de cada tipo de estuco de dimensiones 4x1cm, siendo un total de veintiuna probetas. El procedimiento realizado se denomina cubeta húmeda y aporta directrices sobre el comportamiento de los materiales en condiciones de humedad elevada. A una humedad elevada, los poros de la probeta empiezan a llenarse de agua lo que aumenta el transporte de agua en estado líquido y reduce el de vapor de agua. Los resultados de este ensayo proporcionan información sobre el transporte de agua en estado líquido en los materiales porosos.

Las probetas se montan sobre un recipiente del mismo diámetro y se sella la unión mediante Parafilm "M"®, consiguiendo una junta de estanqueidad adecuada. Previamente en el recipiente se introduce una solución salina saturada, en este caso nitrato potásico (KNO₃), para conseguir una humedad relativa de 93% en el aire, a una temperatura de 23°C. Se realizan diferentes pesadas en intervalos de tiempo.

Para cada serie de probetas se calcula la variación de la masa acumulada (m_i) en %, mediante la siguiente formulación:

$$\Delta m_i = (m_i - m_0) / m_0 \cdot 100$$

d) Resistencia a la cristalización de sales.

Dada la elevada humedad pero también la elevada temperatura en los sitios arqueológicos del área maya, sobretodo si se encuentran expuestos a las condiciones ambientales, es un factor de deterioro

muy grave la cristalización de sales tanto en el interior como en el exterior del estuco en forma de eflorescencias, ya que provoca de forma rápida la desintegración de su estructura interna, en forma de material pulverulento y resquebrazado.

Con este ensayo de deterioro por acción de un agente agresivo, en este caso sales, se evalúa la resistencia relativa que los distintos tipos de estuco fabricados poseen frente a las alteraciones que provocan los ciclos de cristalización de sales.

El ensayo se ha realizado conforme a la norma española UNE-EN 12370: 1999, empleando cuatro probetas cúbicas de cada tipo de estuco de dimensiones 2x2x2 cm, siendo en total veintiocho las probetas ensayadas.

Después de secar hasta masa constante, las probetas se marcan con una etiqueta y se sumergen en una solución de sulfato sódico al 14% durante dos horas. Seguidamente se secan en estufa de aire caliente a 60°C durante 24h. Este ciclo se repite quince veces.

Se determina la variación de la masa en porcentaje, expresado como una diferencia de la masa relativa M (pérdida o ganancia de masa), con respecto a la masa seca inicial M_d , o bien como el número de ciclos necesarios para provocar la degradación de la probeta, mediante la fórmula:

$$\Delta M = (m_f - m_d) / m_d \cdot 100$$

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.

Tras realizar este ensayo se han calculado las medias de cada grupo de probetas formado por dos ejemplares y su desviación, con tal de poder calcular el porcentaje de ganancia de masa. (Tabla 1)

Después de 248 h de ensayo, el grupo de probetas que más incremento ha experimentado ha sido CAP, el correspondiente a la cal apagada mediante la maceración de corteza de *Pixoy*, con un 43,51%; mientras que el grupo que menos absorción presenta es CAR, el correspondiente a la cal apagada mediante la maceración de corteza de *Ramón* con un 26,13%. Este grupo es además el primero en alcanzar una masa constante a las 224h de ensayo.

No se observa ningún patrón claro de absorción para los grupos de probetas realizados con un determinado tipo de la cal, ni absorciones parecidas en los grupos que presentan los mismos aditivos vegetales, encontrando para el mismo grupo A (CAP, CAH Y CAR) absorciones muy diversas que van del máximo y mínimo porcentaje, hasta una absorción media como es el caso del estuco CAH con 31,67%. De igual modo se observa en el grupo Y (CAP, CYH y CYR) absorciones variadas entre el 31 y 38%. Llama la atención el porcentaje relativamente bajo de la muestra patrón

Tabla 2. Promedio de absorción de agua por capilaridad por unidad de superficie Q_i (gr/cm²) en el tiempo t_i (s)

Probetas	0,5h	20h	40h	74h	98h	122h	150h
CAP	-0,013336	-0,28672401	-0,63346003	-1,47362806	-1,78035607	-2,12042408	-2,4204841
CAH	0	-0,25731311	-0,60942579	-1,44230769	-1,78764897	-2,12621885	-2,39707476
CAR	0	-0,32770883	-0,76000558	-1,73615953	-2,15451123	-2,56589039	-2,90057175
CYP	0	-0,29130254	-0,70051325	-1,61603551	-1,96282425	-2,33042031	-2,6355944
CYH	0	-0,31735081	-0,71748879	-1,65574336	-2,06278027	-2,44912039	-2,75267334
CYR	0	-0,30668432	-0,67609953	-1,67282359	-2,07011919	-2,45347459	-2,74621872
P	-0,03627131	-0,43525571	-0,90678273	-2,12549873	-2,61153428	-3,07580704	-3,46028292

que con un 36,5%, se sitúa por debajo de otros grupos con aditivo vegetal. En resumen podemos interpretar que las gomas vegetales añadidas a los estucos, tanto en el apagado de la cal (grupo A), como a la cal apagada (grupo Y), no interfieren en la absorción del agua por inmersión, no presentando efectos de hidrofugacidad o impermeabilización. (Gráfico 1)

b) Determinación de la absorción de agua por capilaridad.

Calculada la cantidad de agua absorbida por probeta, por unidad de superficie en el tiempo (Tabla 2), y realizada la curva de absorción, se aprecian resultados parecidos en los distintos grupos, ya que los coeficientes de absorción de las distintas probetas presentan curvas similares. Se observa una absorción muy similar en las probetas CAP, CYH, CYR Y CYP, sobretodo en las cinco primeras medidas, incrementándose el coeficiente de absorción de CYP y CAP hasta 0,76 y 0,78 gr/cm² respectivamente, siendo ésta última la probeta con mayor índice de absorción.

Las probetas CAR y CAH, presentan una curva de absorción inferior en las seis primeras pesadas, por debajo de la línea de las demás probetas. En las dos últimas mediciones, se incrementa bruscamente hasta alcanzar los 0,77gr/cm² la probeta CAR y 0,73 gr/cm² la probeta CAH. Al contrario que las demás, la probeta P, presenta una curva de absorción superior en las cinco primeras pesadas, pero se estabiliza en la sexta pesada, alcanzando finalmente un incremento de 0,75 gr/cm².

Se puede deducir que las probetas del grupo Y, fabricadas con la maceración de las cortezas vegetales y cal apagada, muestran mayor avidez por el agua, absorbiendo más rápidamente al principio y estabilizándose en las últimas pesadas. El grupo A, compuesto por las probetas realizadas mediante el apagado de la cal con el agua de las maceraciones, presenta una absorción más lenta y gradual al principio, aunque algunas alcanzan las máximas cotas. La probeta patrón P, absorbe agua rápidamente al principio, en un coeficiente más alto que el resto, pero se estabiliza perdiendo intensidad hacia el final. (Gráfico 2)

Las bajas absorciones de las probetas CAH y CYH, pueden significar un efecto hidrorrepelente en las probetas por el contenido en extracto de la goma de *Habin*.

Tabla 3.Variación de la masa acumulada Δm en función del tiempo (t).

Probeta	Md	Md1	Mf
CAP	6,6875	6,7	6,305
Desviación	0,521496245	0,525800976	0,575123175
CAH	6,445	6,4625	6,235
Desviación	0,472616829	0,47507017	0,447101778
CAR	7,5825	7,6025	7,1325
Desviación	0,676282732	0,676282732	0,85281397
CYP	6,5675	6,585	5,1225
Desviación	0,652756974	0,653834842	0,916965103
CYH	6,325	6,345	3,3975
Desviación	0,476759898	0,476759898	0,38491341
CYR	5,6825	5,7725	4,21
Desviación	1,019293056	0,880052082	1,21449578
P	5,51	5,5275	3,0075
Desviación	0,830461719	0,832961584	1,612479974

c) Determinación de la permeabilidad al vapor de agua.

Este ensayo ha tenido una duración de ocho días, dada la lentitud de pérdida de masa en las sucesivas pesadas, no habiéndose alcanzado una estabilidad en la masa y finalizándose el ensayo al considerarse suficiente la información obtenida para la realización de la curva de variación de la masa acumulada.(Tabla 3)

En el gráfico representativo se observan curvas muy parecidas en las primeras 40h para todas las probetas excepto para la probeta P, que siempre se mantiene por debajo del resto mostrando una mayor permeabilidad al perder masa más rápidamente, llegando a una pérdida de 3,46% de masa. (Gráfico 3)

A partir de las 72h, las probetas CAP y CAH se mantienen en la misma línea, registrando una pérdida de 2,42 y 2,39 % respectivamente. Las probetas CAR, CYP, CYH y CYR, mantienen una curva similar, siendo poca la variación entre ellas, y siendo la probeta CAR la más permeable con un 2,90% de pérdida, exceptuando la probeta P.

La diferencia que se observa entre los grupos A y Y, fabricados con aditivos orgánicos, y el grupo P, estuco realizado sin ningún aporte de goma orgánica, puede ser indicadora de cierto efecto impermeable en las probetas con aditivos orgánicos, ya que su pérdida de masa es considerablemente menor, como resultado de una menor permeabilidad, posiblemente por la reducción de porosidad en el estuco.

Sin embargo la diferenciación entre los grupos Y y A no es tan notoria, si bien CAP y CAH, son las probetas que menos pérdida de masa muestran.

d) Determinación de la resistencia a la cristalización de sales.

Las probetas han sido sometidas a quince ciclos de deterioro por cristalización de sales, durante los cuales se han podido observar los primeros resultados muy pronto. En la cuarta inmersión en solución salina, se fragmentan parte de las probetas CYH2, CYH3, CYP2, CYH1, P1, P3 y P4, quedando las probetas del grupo A intactas. Tras el quinto baño se descartan CYH2, CYH3, P4, CYP2 y CYP3 por estar demasiado resquebrajadas.

En el sexto baño se descartan las probetas P2, P3, P1, CYH1 y CYH4; y tras el séptimo baño las probetas CYR2, CYR4 y CYP4. Las probetas son secadas y pesadas después del ensayo. Al calcular los porcentajes de pérdida de masa, obtenemos un gráfico muy representativo(Gráfico 4) en el que se observa una gran diferencia entre el grupo A, realizado mediante el apagado de la cal con la maceración de las cortezas vegetales, y el grupo Y, con un pequeño aporte orgánico tras el apagado en agua de la cal (Fig.1 y 2).

Se puede decir que las probetas del grupo A han resistido perfectamente los quince ciclos de cristalización, presentando pérdida de masa pero en un porcentaje muy bajo; por el contrario, el grupo Y presenta grandes pérdidas de masa desde los primeros ciclos, llegando al máximo porcentaje de pérdida para la probeta CYH, con un 46,08%, que supera incluso a las probetas P, sin aditivo orgánico, que se queda en un 45,2%. (Fig.3 y 4 y tabla 4)

En conclusión puede decirse que tras este ensayo en el que todas las probetas han experimentado pérdida de masa, se observa una gran diferencia en cuanto a la resistencia que ofrece el grupo A frente a los grupos Y y P, siendo el primero más firme. Este resultado lleva a pensar en la posibilidad de que la metodología empleada en el apagado de la cal, empleando tres maceraciones de cortezas diferentes, tiene una influencia directa con la

Tabla 4. Curva de permeabilidad de las distintas probetas en gr/s

Probetas	2,236	3,872	5,916	8,66	11,618	24,799	34,856	45,989
CAP	0,119330065	0,216633987	0,340392157	0,463574346	0,601004902	0,771715686	0,780081699	0,780081699
CAH	0,110578606	0,2017507	0,299253035	0,404389881	0,509773284	0,716160423	0,724307014	0,731852533
CAR	0,075908304	0,145061995	0,23420199	0,32996684	0,441673875	0,664226499	0,740127595	0,77599481
CYP	0,118660131	0,212282455	0,321556453	0,448831219	0,58584711	0,757434961	0,759341279	0,762112649
CYH	0,144715074	0,222418811	0,332073376	0,45334329	0,584221814	0,72656633	0,730476409	0,732375919
CYR	0,12433364	0,225055804	0,342210478	0,467546941	0,612110469	0,716489955	0,722627254	0,723668921
P	0,126181049	0,235655705	0,369496068	0,522592787	0,648111264	0,717647059	0,745065719	0,757320621

compactación del estuco, su dureza y sobre todo su resistencia a las continuas cristalizaciones de soluciones salinas en su interior.

5 CONCLUSIONES

La realización de estos primeros ensayos hídricos sobre los distintos tipos de estuco fabricados, han permitido obtener los primeros datos de contraste entre los tres grupos sometidos a ensayo.

Por una parte, se observan pocas diferencias en los ensayos de absorción de agua a presión atmosférica y de absorción de agua por capilaridad, no identificándose ningún patrón de absorción identificativo para alguno de los grupos de estuco. Con lo cual, no podemos dictaminar que la metodología empleada en el apagado de la cal, tanto si los exudados de goma vegetales se han empleado para el apagado de la cal viva, como si éstos han sido añadidos después, tenga un efecto directo en los estucos, ofreciendo un carácter hidrorrepelente o aislante, que dificulte la absorción de agua. De hecho, en ambos ensayos, los resultados obtenidos para los grupos A e Y son parecidos al grupo patrón P, preparado sin aditivos orgánicos, que muestra incluso menor absorción de agua que los que portan las gomas orgánicas.

En el caso del ensayo de permeabilidad al vapor de agua, si que se observa una diferencia clara entre los grupos A e Y y el grupo patrón P, ya que éste presenta una mayor permeabilidad al contar con una variación mayor de la masa acumulada, perdiendo mayor cantidad y de forma más rápida desde las primeras mediciones. El grupo A e Y se comporta de forma similar perdiendo menor cantidad de masa. La reducción de la porosidad en los estucos realizados mediante el aporte de gomas orgánicas, puede ser la causa de su mayor resistencia a la difusión del vapor de agua.

La resistencia a la cristalización de sales que han presentado las probetas del grupo A, difieren notoriamente tanto del grupo Y como del grupo P. El aporte de los aditivos orgánicos en los grupos A y Y ha supuesto una mejora en la cohesión y dureza de estos estucos con respecto a la probeta patrón (P), la cual ha comenzado a desintegrarse desde el segundo ciclo, mostrándose débil, deleznable y con una porosidad mayor y más irregular. Las probetas Y, aunque han resistido mejor que el grupo P, también se han ido desintegrando durante los ciclos, perdiendo su forma y laminándose. El grupo A, que se ha mostrado fuerte y resistente hasta el final, sugiere que el procedimiento de apagado de la cal mediante el agua de macerado de cortezas vegetales, influye en la estabilidad y cohesión interna del estuco haciéndolo más fuerte y resistente.

En conclusión podemos decir que el empleo de las gomas vegetales en el apagado de la cal para la fabricación de los estucos prehispánicos, mejora las características de dureza y resistencia de su estructura interna, haciéndolos más fuertes frente a las condiciones de salinidad con las que a menudo se encuentran estos vestigios. Este incremento de dureza no parece tener consecuencias en cuanto a la permeabilidad, dados los resultados

de los ensayos hídricos, lo cual puede ser muy favorable a la hora de ser empleado como estuco de restauración, ya que la transpiración de la humedad contenida en los muros de sillares es de vital importancia para su conservación. Una disminución drástica de la porosidad que impidiera el paso de la humedad, sería un aspecto negativo para un estuco de reintegración sometido a unas condiciones de humedad y temperatura tan elevadas y cambiantes como las del clima tropical.

La realización de otros ensayos físicos como los de porosidad y dureza, pueden ser determinantes para seguir concretando las características de ambos grupos de estucos, realizados conforme a la bibliografía existente, y poder finalmente seleccionar un estuco apropiado, susceptible de ser empleado en las reintegraciones de los estucos incisos originales que revisten los muros de las antiguas ruinas mayas.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen expresamente el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad, a través de la financiación del proyecto de investigación con número de referencia BIA2011-28311-C02-01, así como el patrocinio del Ministerio de Educación Cultura y Deportes, a través de la financiación obtenida por el Proyecto Arqueológico La Blanca dentro del programa de ayudas para Proyectos Arqueológicos en el Exterior, y que han contribuido de forma determinante a hacer posible las investigaciones y la obtención de resultados que se exponen en esta publicación.

NOTAS

1 Para más información acerca de la reproducción de los estucos incisos, véase Carrascosa, Lastras y Lorenzo: 2008.

BIBLIOGRAFÍA

AA.VV. (2009): "Estudio y caracterización de morteros para la restauración arquitectónica". En X Congreso latinoamericano de patología y XII Congreso de calidad en la construcción. CONPAT, Chile.

Carrascosa B, Lastras M y Lorenzo F., (2008): "La conservación de los grafitos de La Blanca. Investigaciones sobre materiales, procesos y técnicas". En Los grafitos mayas. Cuadernos de arquitectura y arqueología maya 2. Vidal C y Muñoz G, (Eds.) Pp.120-132, UPV. Valencia, 2009.

Fortes Revilla, C y M.T Blanco Varela, (2001): "Influencia de tratamientos de hidrofugación en las propiedades de morteros de cal y cal y puzolana". En Materiales de construcción. Vol 51 n°262.

Hansen, E. F. Y C. Rodríguez Navarro, (2002). "Los comienzos de la tecnología de la cal en el mundo Maya: Innovación y continuidad desde el Preclásico Medio al Clásico Tardío en Nakbe, Petén, Guatemala". En: XV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2001 J.P. Laporte, H. Escobedo y B. Arroyo (Eds.), pp.183-187, Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Littman, E., (1958). "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and stuccos: The Composition and Origin of Sascab". En American Antiquity 24(2), pp. 172-176.

Littman, E., (1960). "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: The Use of Bark Extracts in Lime Plasters". En: *American Antiquity* 25 (4), pp. 593-597.

Magaloni, D.,(2001). "Materiales y técnicas de la pintura mural maya". En *La pintura mural prehispánica en Mexico.II. Área maya. Tomo III. B de la Fuente (Dir.) L Staines (Coord.)* Pp. 155-196. Instituto de Investigaciones Estéticas U.N.A.M. México.

Magaloni, D.,(1998). "El arte en el hacer: Técnica pictórica y color en las pinturas de Bonampak". En *La pintura mural prehispánica en Mexico II. Área maya Bonampak. Tomo II. B de la Fuente (Dir.) L Staines (Coord.)* Pp. 49-80. Instituto de Investigaciones Estéticas U.N.A.M. México.

Muñoz Cosme, G.,(2006). "Arquitectura maya". ed.: Biblioteca TC. Valencia.

English version

TITLE: *Preliminary studies on traditional lime mortar to evaluate its hydrological behavior and suitability for use in tropical climates*

ABSTRACT: *The ancient Mayan culture used stucco coating for their buildings, thus providing an aesthetic appearance and offering protection from the weather. The constituent materials were provided by the environment, mainly lime, "sascab" and organic additives. The stuccoes, which are now remains, are a key witness to the prehispanic lifestyle since they retain many traces of color and carved graffiti. Deterioration caused by high temperature and humid conditions has made it necessary to intervene using similar and respectful materials.*

Different traditional Mayan mortar specimens have been taken and might be used in restoration, to assess their differences and see their reaction to certain physical tests, to select those most appropriate for this purpose.

KEYWORDS: *conservation, restoration, lime stuccos, plasters, humidity, mortar, capillarity*