

# CONTROL *IN SITU* DE LA PERMEABILIDAD DE AGUA EN MORTEROS DE CAL CON ADITIVOS ORGÁNICOS, EMPLEADOS EN LA REINTEGRACIÓN DE ESTUCOS MAYAS.

Lda. Francisca Lorenzo Mora y Dra. Begoña Carrascosa Moliner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València.

**Autor de contacto:** Begoña Carrascosa Moliner ([becarmo@crbc.upv.es](mailto:becarmo@crbc.upv.es))

**RESUMEN:** El agua es uno de los principales factores de deterioro que afecta y degrada los estucos mayas ubicados en zonas tropicales, a través de la lluvia o mediante la absorción capilar de agua procedente del subsuelo. En el sitio arqueológico de La Blanca, Guatemala, se están estudiando distintos morteros susceptibles de ser empleados en la restauración de los estucos originales que allí se conservan. Para ello, la aplicación y exposición *in situ* de probetas, y el control de la permeabilidad de agua durante las campañas sucesivas de trabajo, resulta de gran importancia para observar principios de envejecimiento tales como la erosión o el incremento de la porosidad, que ayuden a seleccionar los morteros con mejores cualidades de durabilidad y compatibilidad con los materiales originales y con las condiciones ambientales propias del lugar.

**PALABRAS CLAVE:** Estucos, mayas, ensayos, permeabilidad, conservación, patrimonio.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las ruinas de La Blanca se hallan en el Departamento de Petén, Guatemala y suponen un buen ejemplo de la magnitud arquitectónica, técnica y artística que la cultura maya llegó a adquirir en el periodo Clásico (250-1000 n.e). En el interior de las estancias que forman la Acrópolis de este asentamiento, se conserva gran parte de los estucos de revestimiento que los antiguos mayas aplicaban sobre los muros con fines conservativos y decorativos (Figura 1).

Tras la exhumación de las estancias, el proceso de deterioro de los estucos se reactiva tras el largo periodo de sepultura, donde se habían mantenido en un medio más estable. Las duras condiciones ambientales del clima tropical, con elevada humedad y temperatura, y la espesa vegetación que crece rápida y furtivamente sobre las ruinas en este enclave selvático, suponen factores de deterioro muy graves, así como difíciles de controlar.

Por ello, las tareas dirigidas a la conservación de estos materiales se hacen indispensables para garantizar su salvaguarda y mantenimiento a largo plazo. En este sentido, nos encontramos estudiando diferentes morteros de reintegración que puedan ser aplicados *in situ*, ayudando a reforzar y estabilizar los estucos originales. Esta investigación trata de reproducir las posibles técnicas que los antiguos mayas emplearon en la elaboración de los estucos, bajo la premisa de que dicho mortero sea totalmente compatible con el original, además de accesible, económico y sostenible.

Además de ser ensayadas en laboratorio, estas probetas han sido aplicadas *in situ*, para evaluar su comportamiento y durabilidad real y a largo plazo. Para el control del deterioro de los morteros, resulta interesante la medición de la absorción de agua ya que puede determinar daños que no se observan a simple vista, especialmente la aparición de micros fisuras que se hayan ido desarrollando con el tiempo y que favorezcan el aumento de la porosidad, y por ende una mayor absorción de agua.

En este trabajo se muestran los resultados de las mediciones realizadas en dos campañas de trabajo consecutivas, sobre dos grupos de probetas elaborados con distinta técnica; así como las mediciones realizadas sobre algunos de los estucos originales que se conservan en La Blanca.



Figura 1. Interior de una de las estancias revestidas de estuco en la Acrópolis de La Blanca.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal que persigue el presente trabajo tiene como finalidad:

-Controlar el deterioro de las diversas probetas, sometidas a estudio, expuestas en el sitio de La Blanca, mediante el ensayo de penetrabilidad de agua realizado en las sucesivas campañas de trabajo del Proyecto.

Derivado de este primer objetivo, las mediciones que se obtengan de dicho ensayo serán indispensables para:

-Comparar el rango de absorción de las probetas sometidas a estudio con la absorción que presentan los estucos originales que se conservan en este sitio arqueológico.

-Establecer comparativas entre las diversas probetas en estudio y la variabilidad observada en las mediciones de dos campañas de trabajo sucesivas; pudiendo relacionar el deterioro de la superficie en exposición con el incremento de la absorción de agua.

## 3. METODOLOGÍA

Este ensayo se ha dirigido a las probetas de mortero de cal que se realizaron en las campañas de trabajo de 2013 y 2015 (Tabla 1) en el sitio arqueológico. Estas probetas se aplicaron sobre soporte pétreo y se ubicaron en las mismas condiciones atmosféricas que envuelven a los estucos originales, con el fin de realizar un seguimiento del envejecimiento natural a largo plazo. El presente ensayo hídrico complementa la inspección organoléptica de las probetas y ayuda a una mejor valoración del envejecimiento de las diferentes composiciones de mortero en estudio. Las mediciones se han realizado, por ahora, en dos años consecutivos (2016 y 2017), y se espera poder seguir realizándolas con periodicidad para el correcto control del deterioro.

Paralelamente se seleccionaron varios puntos de estuco original de diferentes estancias de La Blanca, en los que se realizaron también mediciones de penetrabilidad de agua, que sirvieron para determinar su comportamiento hídrico, así como para su comparación con los morteros de cal en estudio.

El ensayo se ha realizado siguiendo el método de examen RILEM II.4. Para ello se emplea un tubo o pipeta, (también denominado Karsten) que tiene forma de L y una base circular de 2,5 cm, que apoya contra la superficie. Su altura es de 12 cm y tiene una capacidad de 5 ml. Cuando el tubo está lleno de agua, ejerce en la superficie del material una presión de 1177,2 Pascales, o a una presión dinámica del viento de 157,8 km/h (RILEM 1980). El ensayo consiste en adherir el tubo en la superficie a ensayar, mediante una masilla de sellado,

fácilmente removible. Se llena de agua hasta la marcación superior (0 ml) y se anota la cantidad de agua absorbida en los periodos de tiempo estimados.

Tabla 1. Relación de probetas que se han ensayado mediante el método Rilem II.4

Grupo	Apagado	Árido	Corteza	%	sigla
Cal viva apagada por inmersión	Agua (IA)	<i>sascab</i>	Pixoy	0,5	IASP5
				2	IASP2
			Ramón	0,5	IASR5
				2	IASR2
			Habin	0,5	IASH5
				2	IASH2
	Macera do (IM)	<i>sascab</i>	Pixoy	0,5	IMSP5
				2	IMSP2
			Ramón	0,5	IMSR5
				2	IMSR2
			Habin	0,5	IMSH5
				2	IMSH2
Cal viva apagada por pudrición	HR (PS)	<i>sascab</i>	Pixoy	0,5	PSP5
				2	PSP2
			Ramón	0,5	PSR5
				2	PSR2
			Habin	0,5	PSH5
				2	PSH2

### 3.1. Elaboración y curado de las probetas

Para elaborar las probetas se recopilaban los materiales locales necesarios que se describen en la tabla 1. La cal viva fue adquirida en ambas ocasiones en una calera de la localidad cercana San Benito, donde se calcina de manera tradicional la piedra caliza<sup>1</sup> (Figura 2).



Figura 2. Calera de San Benito, Petén. La cal viva se deja a la intemperie para su apagado.

En cuanto al árido, se empleó *sascab*, un tipo de arena calcítica, fina y amarillenta, que aparece en depósitos del subsuelo y se forma por la descomposición de la piedra caliza (Littman: 1958). Este tipo de árido se encuentra mencionado en fuentes etnohistóricas como

material muy empleado por los antiguos mayas en la elaboración de los estucos.

Siguiendo la técnica de amnufactura prehispánica, se emplearon aditivos vegetales (Littman: 1960) que fueron extraídos por maceración de las cortezas de tres árboles oriundos, el Ramón (*Brosimum Alicastrum*), el Pixoy (*Guazuma Ulmifolia*) y el Habin (*Piscidia Piscipula L.*). Las cortezas se sumergieron en agua y se dejaron en remojo durante 72 horas.

Para calcular el porcentaje de exudado que se obtiene de cada tipo de corteza se realizó un ensayo previo de cocción donde se determinó la cantidad de exudado o goma obtenida de cada tipo de corteza (Lorenzo y Carrascosa: 2015). Las maceraciones se realizaron en dos concentraciones diferentes; 0,5% y 2%, con tal de comparar las diferentes propiedades que estos aditivos aportan a los morteros de cal una vez endurecidos (Figura 3).



Figura 3. Macerado de las cortezas en dos porcentajes de concentración.



Figura 4. Apagado de la cal viva mediante inmersión en el agua de las cortezas.

El apagado de la cal se realizó empleando dos métodos diferentes, ambos empleados por la cultura maya,

dependiendo de la zona geográfica, apagado por pudrición y apagado por inmersión (Muñoz: 2006, Magaloni: 2001) (Figura 4).

### 3.1.1 Grupo IAS

Las probetas IA se componen de cal apagada por inmersión en agua corriente, y *sascab* como árido. Posteriormente se añadió agua de maceración en los dos porcentajes de concentración diferentes (0,5 y 2%), para dar plasticidad a la mezcla. Se obtuvieron 6 tipos de mortero y dos morteros Patrón, sin aditivos vegetales (ISP, IAP).

### 3.1.2 Grupo IMS

Estas probetas se realizaron con la cal apagada por inmersión en el agua de las diversas maceraciones en ambas concentraciones (0, 5 y 2%); como árido se empleó de nuevo *sascab*, y se añadió agua de cada maceración para dar plasticidad a la mezcla. Se obtuvieron un total de 6 tipos de mortero.

### 3.1.3 Grupo PS

Se componen de cal apagada por pudrición, es decir dejada a la intemperie para que la humedad ambiental produzca la reacción por la que se transforma el óxido de calcio en hidróxido de calcio. Esta cal apagada se mezcló con *sascab*. Para mejorar la plasticidad del mortero se añadió una parte del agua de las maceraciones, obteniéndose un total de 6 tipos de mortero y un mortero Patrón (PSP), sin aditivo vegetal.

Una vez elaborados los morteros, se aplicaron *in situ*, sobre una zona de muro reconstruida y poco visible del interior de una de las estancias de la Acrópolis de La Blanca. La aplicación fue mediante espátula, previa humectación del soporte y se fratasó el mortero con una semilla de Corozo, para compactarlo y evitar su fisuración. Los grupos IAS e IMS se aplicaron en 2013 y el grupo PS en 2015. Por ello, el tiempo de curado en el momento de realizar el ensayo es de tres años para las probetas de los grupos IAS e IMS; y de un año para las probetas del grupo PS (Figura 5).



Figura 5. Probetas expuestas sobre el soporte pétreo, antes de ser ensayadas.

### 3.2. Procedimiento de ensayo

Las mediciones se realizaron en las campañas de trabajo de los años 2016 y 2017, durante el mes de abril.

#### 3.2.1 Medición de las probetas IAS, IMS y PS

El procedimiento de ensayo consistió en colocar el tubo o pipeta en posición vertical sobre la superficie de cada probeta, sellando la base circular mediante una masilla específica para asegurar la estanqueidad de la misma. Al disponer solamente de una probeta de cada tipo de mortero y ser de pequeño formato, sólo se pudo realizar una medición por tipo de mortero. Los tiempos establecidos para anotar la absorción de agua fueron de 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30 minutos, si bien en algunas probetas se pudo alargar y en otras acortar el tiempo por la rápida absorción. Colocada la pipeta en la correspondiente probeta, se llenó de agua hasta la marca "0" y se comenzó a contar el tiempo anotando los mililitros absorbidos en cada tiempo establecido (Figura 6).

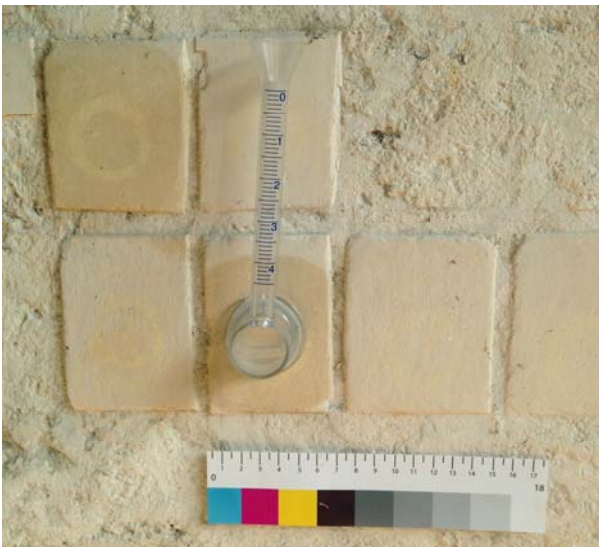


Figura 6. Procedimiento de ensayo.

Este método se repitió en todas las probetas, aunque algunas de ellas no resistieron la tracción de la pipeta al ser retirada, desprendiéndose la probeta al finalizar el ensayo.

#### 3.2.1 Medición de los estucos originales.

Para la medición de los estucos originales se tuvo que seleccionar varias estancias y zonas donde realizar el ensayo, dado que por cuestiones de tiempo y trabajo en el sitio era imposible tomar mediciones en todas las estancias. Los cuartos seleccionados fueron los centrales de cada Ala de la Acrópolis: 6J2-4, 10 y 16, y 6J1-3. Las mediciones se realizaron en el muro principal de cada estancia, a 1,50 m. del nivel del piso interior.

Los tiempos seleccionados para anotar la absorción de agua fueron los mismos que se emplearon para las probetas, aunque se tuvieron que ampliar hasta los 90 minutos en ocasiones. El procedimiento se realizó del mismo modo descrito, y los estucos se mostraron firmes y fuertes tras el ensayo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados de la primera medición.

Realizadas las mediciones en las probetas de estuco, se obtuvieron los gráficos lineales correspondientes donde se pudieron ver los siguientes resultados:

Las curvas que muestran los gráficos lineales son ascendentes y graduales, siendo casi iguales para la mayoría de los tipos de mortero, tanto en el grupo IAS, como en el IMS, la excepción la marcan las probetas IASP2 (cal apagada por inmersión en agua, más sascab, más una parte del agua de la maceración de Pixoy al 2%) y IASR5 (Cal apagada por inmersión agua, más sascab más una parte de agua de la maceración de Ramón al 0,5%), que muestran una absorción ligeramente más lenta en ambos grupos (Gráfico 1 y 2).

Gráfico 1. Curvas de absorción de las probetas del grupo IAS

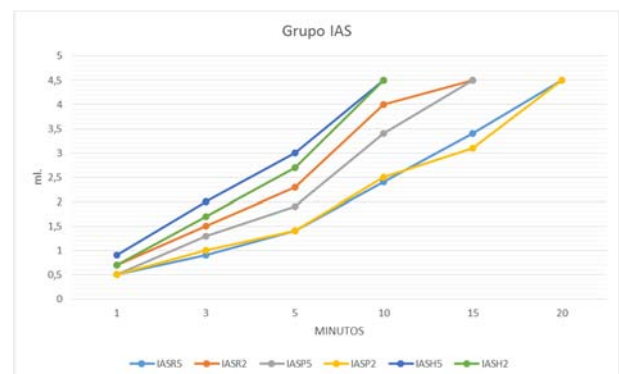
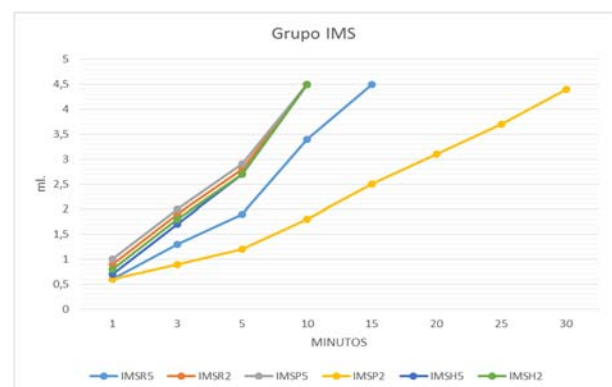


Gráfico 2. Curvas de absorción de las probetas del grupo IMS.



Calculada la absorción en cm<sup>3</sup>, se observa una menor permeabilidad en dichas probetas, tanto para el grupo

IAS, con la cal apagada por inmersión en agua, como en las del grupo IMS, con la cal apagada por inmersión en el agua de los macerados. A los 5 minutos de ensayo, se observa una absorción de 1,4 cm<sup>3</sup> para las probetas IASP2 e IASR5 y de 1,2 y 1,9 cm<sup>3</sup> para las probetas con el mismo aditivo orgánico en el grupo IMS. Paralelamente, cabe destacar que la probeta que menos absorción presenta de ambos grupos es la Patrón ISP (realizada con cal apagada por inmersión en agua y *sascab*, sin aditivos orgánicos), con 0,9 cm<sup>3</sup> a los 5 minutos.

Las curvas de que presenta el grupo PS, realizado mediante cal apagada por pudrición y *sascab* como árido, son algo diferentes a los grupos de inmersión. Cabe decir que de los 6 tipos de mortero de este grupo, la probeta PSH5 se halló desprendida al comienzo de la campaña de trabajo, por lo que no se pudo realizar su seguimiento (Gráfico 3).

Gráfico 3. Absorción de agua para el grupo PS.

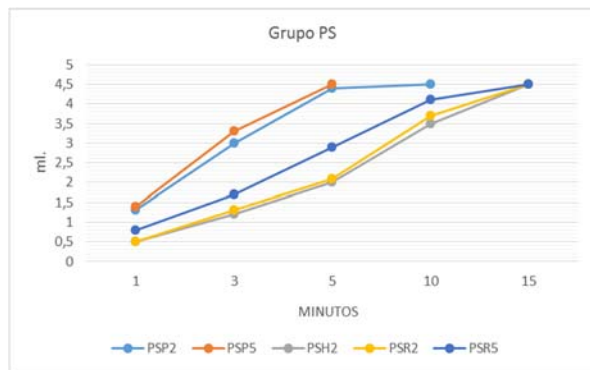
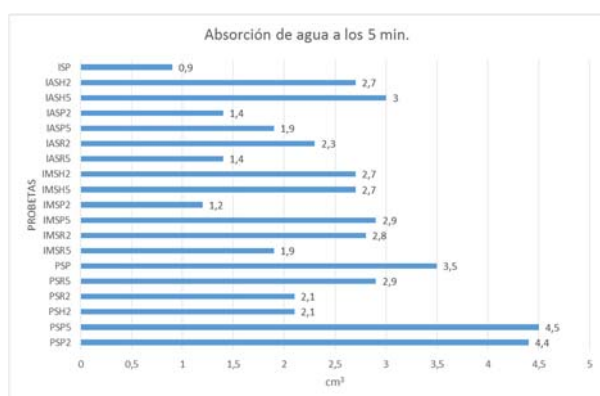


Gráfico 4. Absorción de agua a los 5 minutos para los tres grupos IAS, IMS y PS.



Las probetas realizadas con el macerado de Ramón (PSR2 y PSR5) en sus dos proporciones (0,5 y 2%), y el mortero realizado con Habin al 2% (PSH2), presentan una absorción ligeramente más lenta que el resto de morteros, sobretodo en las tres primeras mediciones. En el cálculo de los cm<sup>3</sup> absorbidos a los 5 minutos de ensayo, PSH2 y PSR2 muestran 2 y 2,1 cm<sup>3</sup> absorbidos

respectivamente, frente a los 4,4 ó 4,5 cm<sup>3</sup> absorbidos por los morteros que contienen Pixoy (Gráfico 4). Al finalizar el ensayo en las probetas de este grupo, se fueron desprendiendo al retirar la pipeta, quedando solamente adherida la probeta Patrón (PSP).

## 4.2. Resultados de la segunda medición.

Transcurrido un año, se volvieron a realizar las mediciones en las probetas que se habían mantenido adheridas al soporte.

Las curvas de absorción que presentan los gráficos son similares a las del año anterior, siendo graduales y produciéndose ésta entre los 5 y 30 minutos en el grupo IAS, y entre los 10 y 15 minutos en el grupo IMS (Gráfico 5).

Gráfico 5. Curvas de absorción de las probetas del grupo IAS.

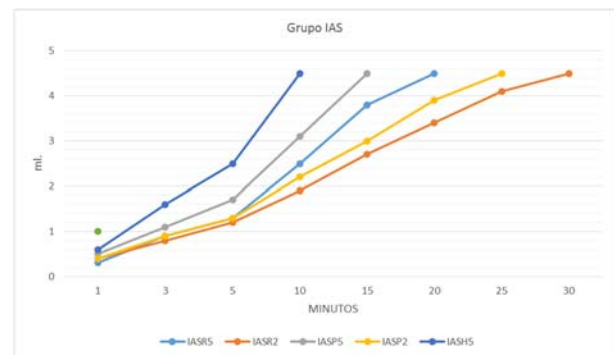
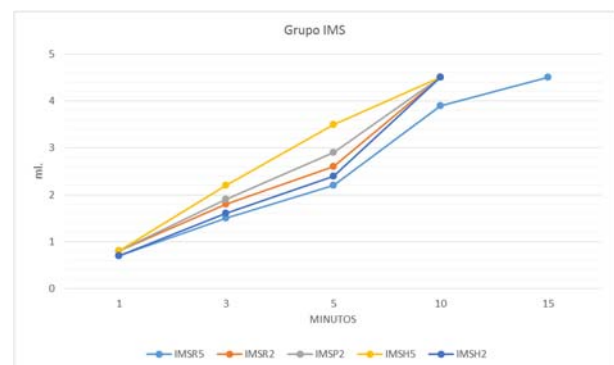


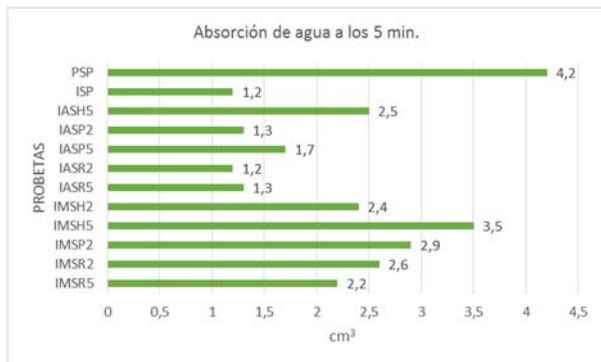
Gráfico 5. Curvas de absorción de las probetas del grupo IAS.



A los 5 minutos de ensayo, las probetas que menor absorción presentan son del grupo IAS (IASR2, IASP2 e IASR5), que junto al mortero Patrón, suman entre 1,2 y 1,3 cm<sup>3</sup>. Paralelamente, la probeta con mayor índice de absorción es IMSH5 con 3,5 cm<sup>3</sup> (Gráfico 6).

El grupo PS, realizado con la cal apagada por pudrición no pudo ser medido de nuevo ya que todas las probetas excepto una (PSP), se desprendieron el año anterior. La probeta patrón se ensayó, mostrando una absorción muy alta de 4,2 cm<sup>3</sup> a los 5 minutos (Gráfico 6).

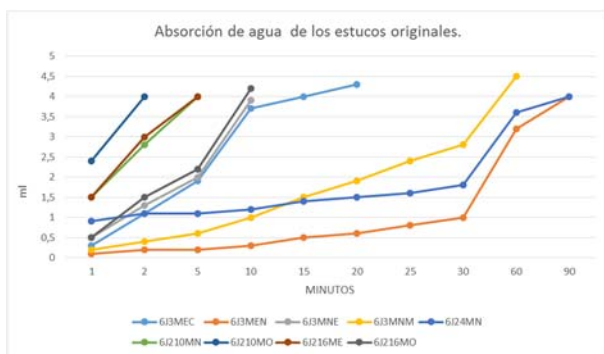
Gráfico 6. Absorción de agua para los grupos IAS, IMS y PS.



### 4.3. Absorción de los estucos originales.

Las curvas que muestra el gráfico obtenido con las mediciones tomadas sobre los estucos originales de La Blanca muestran direcciones bastante distintas. Se distinguen dos patrones de absorción; los puntos medidos en el muro Este de 6J3, tanto en el mortero como en el enlucido (6J3MNM-6J3MNE), así como la medición del muro Norte del cuarto 6J2-4 (6J24MN), responden a una absorción muy lenta y estable en los 30 primeros minutos. Estas mediciones se prolongaron hasta los 90 minutos, tiempo que se demoró la absorción total de la pipeta (Gráfico 7).

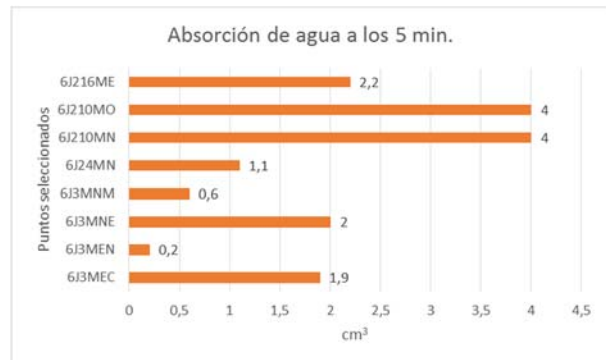
Gráfico 7. Curvas de absorción de los estucos originales.



El resto de puntos medidos (6J3MNE, 6J3MEC, 6J210MN, 6J210MO, 6J216ME y 6J216MO), presentaron una curva más similar a las obtenidas por las probetas, con una absorción completa comprendida entre los 2 y 15 minutos.

A los 5 minutos de ensayo, la zona con menos cantidad de agua absorbida corresponde al punto 6J3MEN, con 0,2 cm<sup>3</sup>, mientras que las que mayor cuantía presentan son los puntos del muro Norte y Oeste del cuarto 6J2-10 (6J210MO, 6J210MN), con 4 cm<sup>3</sup> absorbidos (Gráfico 8).

Gráfico 8. Absorción de agua para los estucos originales.



## 5. CONCLUSIONES

Tras estas dos primeras mediciones en las probetas que se están estudiando, se han podido establecer algunos patrones concluyentes en función de la técnica de manufactura empleada en la elaboración del mortero, así como del aditivo orgánico empleado.

En la primera medición realizada sobre las probetas se determinó que los morteros de todos los grupos presentan una absorción parecida, si bien en los grupos IAS e IMS, los morteros realizados con Pixoy al 2% (IASP2, IASR5) y con Ramón al 0,5% (IMSP2, IMSR5), tienen una permeabilidad ligeramente menor, sobretodo en los 10 primeros minutos, posiblemente debido al efecto hidrorrepelente de los aditivos vegetales. De estos tres grupos, la absorción más rápida es para el grupo realizado con la cal apagada por pudrición, mientras que los grupos con la cal apagada por inmersión son algo menos absorbentes.

Se puede decir que los morteros del grupo PS presentan mayor porosidad, debido en parte a la mayor granulometría que supone la cal apagada a la intemperie, ya que ésta presenta una textura irregular en forma de miga. La cal apagada por inmersión se presenta en forma de pasta fina, con lo que se producen unos morteros más homogéneos y compactos, reduciendo la porosidad.

Con respecto a la segunda medición de la absorción de las probetas, se observa que los patrones son muy similares a la primera medición, si bien en esta ocasión no se produce una absorción más lenta de las probetas IASP2, IASR5, IMSP2 e IMSR5. La absorción total del agua se crea entre los 10 y los 30 minutos. Los cálculos de absorción de agua en cm<sup>3</sup> a los 5 minutos del ensayo, muestran muy poca diferencia entre la primera medición y la segunda, incrementándose ésta ligeramente en la mayoría de las probetas, la segunda vez. Este sutil aumento podría corresponderse a un crecimiento de la porosidad en superficie, debido al intemperismo, produciéndose erosión o microfisuras en la superficie. La poca adhesión de los morteros del grupo PS no permitió el ensayo en la segunda ocasión, siendo esto un

factor a tener en cuenta en la futura elección del mortero idóneo, ya que, aunque supone ser un material más débil que el original y por lo tanto inócuo y reversible, no tiene la suficiente adhesión como para garantizar su durabilidad en una intervención de restauración.

En cuanto a las mediciones efectuadas sobre los estucos originales, cabe resaltar el alto grado de resistencia a la penetración de agua que presentan en particular los estucos de la estancia 3 de 6J1, y del cuarto 4 de 6J2, los cuales absorben entre 0,2 y 2 cm<sup>3</sup> en los primeros 5 minutos. Esta baja absorción los hace comportarse como una superficie con un tratamiento de consolidación, a pesar de la degradación que presentan. Este comportamiento puede deberse en primer lugar por la homogeneidad granulométrica y baja porosidad de las pastas de cal empleadas, en segundo lugar, por el trabajo de compactado y bruñido del estuco al ser aplicado, y en tercer lugar por la adición de agua con extractos vegetales durante este trabajo de acabado (De Landa: 2002). Este hecho coincide con la tonalidad ligeramente rojiza que presentan los estucos de estos dos cuartos, que podría deberse a esta labor de pulimentado.

A diferencia de estas zonas, el resto de mediciones en los estucos originales presentan una absorción más rápida, con tiempos comprendidos entre los 2 y 20 minutos. Estos patrones se corresponden con la absorción que presentan las probetas, si bien éstas no cuentan con una degradación tan fuerte como la de los estucos.

De los grupos de probetas ensayados, los morteros realizados con cal apagada por pudrición no presentan buenos resultados de absorción ya que es excesivamente rápida, siendo esto un inconveniente a la hora de aplicarse como mortero de reintegración en un área geográfica tan húmeda y lluviosa. Además, estos morteros han presentado una adhesión insuficiente al soporte, al no resistir la tracción ejercida por la pipeta al ser retirada.

De los morteros realizados con cal apagada por inmersión, destacan ligeramente los del grupo IMS, ya que, al contener mayor cantidad de exudados vegetales en su composición, disminuyen la porosidad y provocan cierta hidrorrepelencia; por lo que estos morteros, especialmente los realizados con Pixoy al 2% (IMSP2) y con Ramón al 0,5% (IMSR5), manifiestan un comportamiento adecuado, que paralelamente se está evaluando a través de otros ensayos complementarios, tanto *in situ* como de laboratorio.

En conclusión, se podría decir que este ensayo ha servido para estimar el rango de absorción que presentan las probetas de mortero en estudio y su evolución en el tiempo. Si bien se observa un ligero incremento de la absorción en la segunda medición, es

necesario seguir realizando anualmente estas mediciones para obtener nuevos datos con los que poder tener una perspectiva más amplia en la evolución del deterioro. La medición en los estucos originales ha puesto de manifiesto el alto nivel de ejecución de estos revestimientos, que se compactaron y alimentaron con las gomas vegetales, dando como resultado unos estucos brillantes, fuertes y muy compactados; capaces de resistir el deterioro de más de veinte siglos.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen expresamente su apoyo al Vicerrectorado de Alumnado y Extensión Universitaria de la Universitat Politècnica de València, a los Proyectos “La arquitectura maya. Sistemas constructivos y conservación” (BIA2011-28311-C02-01) y “Arquitectura maya. Sistemas constructivos, estética formal y nuevas tecnologías” (BIA2014-53887-C2-1-P); ambos financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno español; y, por último, a la dirección del Proyecto La Blanca y a todas las personas que han formado y forman parte de su equipo y hacen que el proyecto siga adelante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balakrishna, M. N, Rahman, M.M, Chamberlain, D.A, Mohammad, F. & Evans, R. (2013) Determination of flow rate of water in concrete by Rilem tube method. En *International Journal of structural and civil engineering research*. Recurso en línea <http://www.ijscer.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=122&id=100> (consultado 4/09/2017)
- Carrascosa, B. Lastras, M. & Lorenzo, F. (2009) La conservación de los grafitos de La Blanca. Investigación sobre materiales, procesos y técnicas. En Vidal y G. Muñoz (Eds.) *Los grafitos mayas. Cuadernos de arquitectura y arqueología maya 2*. (Pp.119-132), Valencia.
- Coimbra, C.A (2011) Evaluation of the variability of the Karsten tube in-situ test technique on measuring liquid water permeability of renders and ceramic tile coatings. Instituto superior técnico, Universidad técnica de Lisboa.
- De Landa, D. (2002) *Relación de las cosas de Yucatán*. Ed. Dastin. Madrid.
- 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).

Lorenzo Mora, F. & Carrascosa Moliner, B. (2015) Estudio de morteros tradicionales de cal en área maya. Comportamiento de distintos áridos frente a ensayos físico-químicos. En *Arché* nº 10, (Pp. 57-66). Valencia.

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

Morris, H. Jean, C. & Axtell, A. (1931) *The temple of the warriors at Chichen Itzá, Yucatán*, Carnegie Institute of Washington.

Muñoz, G. (2006a) *Arquitectura maya*. ed.: Biblioteca TC. Valencia.

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

Rilem II.4 Water absorption tube test. Recurso online <http://www.amtlabs.com/docs/RILEM%20II.4%20Test%20Method.pdf> (consultado 12/08/2017).

Ueda, H. & Suzuki H. (2016) Water penetrability into concrete surfaces and interface between concrete and repair materiales. En *QR of Railway Technical Research Institute* Vol 57, nº 1 (Pp.36-41)

---

<sup>1</sup> La cultura maya calcinaba la piedra caliza en grandes piras de leña antes de la llegada de los españoles. A raíz de la conquista, se introdujeron los hornos cerrados de piedra para la quema de cal, sistema que ha perdurado hasta la fecha y que se sigue empleando en el área como método tradicional, frente a la producción industrial de cal.