

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE ADITIVOS NATURALES OBTENIDOS DE PLANTAS CRASAS EN LAS PROPIEDADES DE MORTEROS DE ADOBE

Olga María Medina Lorente, Begoña Carrascosa Moliner y María Teresa Doménech Carbó
Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València.

Autor de contacto: Begoña Carrascosa Moliner, becarmo@crbc.upv.es

RESUMEN: El presente estudio pretende indagar en el comportamiento de varios tipos de gomas vegetales extraídas de plantas de las familias cactácea y agavácea para mejorar la conservación de elementos de adobe. Las plantas seleccionadas fueron: *Agave americana* L., *Agave americana marginata* CV, *Opuntia ficus indica* L. MILL y *Austrocylindropuntia subulata* (MUHLPRDT. Backbg). Estas gomas vegetales se han incorporado, a diferentes concentraciones, como aditivo de los ligantes empleados en la elaboración de probetas de adobe, con la finalidad de evaluar las mejoras que estas sustancias orgánicas producen en el comportamiento hídrico y de resistencia mecánica de este tipo de materiales. Paralelamente, se ha estudiado la estabilidad química de estos morteros mediante la determinación de los posibles cambios colorimétricos experimentados por las probetas, cuando éstas se someten a envejecimiento artificial acelerado mediante luz ultravioleta.

Palabras clave: gomas vegetales, cactáceas, agaváceas, adobe, conservación, reposición.

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura de tierra es uno de los sistemas de construcción más antiguos y a su vez más expuestos al deterioro debido a la naturaleza fácilmente degradable de sus materiales integrantes. En el ámbito de la conservación y restauración del patrimonio, se han venido realizando congresos, desde hace más de tres décadas, que han constituido un auténtico foro de debate en el que se ha discutido acerca de las posibilidades de integrar estos métodos tradicionales de construcción en las modernas tendencias de arquitectura sostenible y mejorar las propiedades de los adobes para que mejore su resistencia frente a los movimientos sísmicos y la humedad.

Tras una exhaustiva revisión bibliográfica que ha permitido valorar una serie de investigaciones realizadas en los últimos años en las que se ha ensayado la incorporación de sustancias vegetales sobre soportes terrosos (Aranda y Suárez, 2013) (Martínez, 2008), (Kita y Daneels, 2014), generalmente sobre soportes mixtos de adobe y cemento Portland (Aranda, 2013) (Torres y Martínez, 2005) o morteros de cemento

(Durán *et al.*, 2012), se ha seleccionado para este estudio cuatro tipos de plantas crasas naturalizadas por todas las provincias del levante mediterráneo y que además, están consideradas como especies autóctonas invasoras. Estas plantas son: las agaváceas; *Agave americana* L. y *Agave americana marginata* CV y dos opuntias; *Austrocylindropuntia subulata* (MUHLPRDT. Backbg) y *Opuntia ficus indica* L. MILL (Figura 1).



Figura 1. a) *Agave americana* L., b) *Agave americana marginata* C.V., c) *Austrocylindropuntia subulata* (MUHLPRDT. Backbg), d) *Opuntia ficus indica* L. MILL.

2. OBJETIVO

Mediante estos estudios se pretende indagar en los cambios que estas gomas, procedentes de plantas crasas (polisacáridos heterogéneos), pueden aportar a bloques de adobe tradicional y observar en qué grado afecta la incorporación de estos aditivos las propiedades de estabilidad y resistencia a la degradación de este tipo de materiales.

3. METODOLOGÍA

3.1. Preparación de las probetas:

3.1.1. Extracción de las gomas vegetales.

Tras la selección de hojas procedentes de plantas adultas, se comenzó por eliminar las espinas y la piel, fragmentando la planta posteriormente en pequeños trozos de (4x4) cm aproximadamente. Las gomas fueron extraídas mediante maceración en frío en agua corriente durante 72 horas, estableciéndose dos concentraciones en torno al 5 y 10% por tipo de planta, estas concentraciones se determinaron en peso¹. Una vez concluido el tiempo, se procedió a eliminar los restos sólidos. La disolución resultante se reserva para ser añadida durante el amasado de las materias primas que se utilizan en la fabricación de los adobes.

3.1.2. Elaboración de probetas.

Fueron realizadas probetas de tamaños distintos: cilindros² de (4x1) cm, cubos de (4x4x4) cm y rectángulos³ de (10x7) cm. Destinando un total de 63 probetas para los estudios que se presentan a continuación. Los bloques fueron fabricados mediante la realización de adoberas de madera (Figura 2), a excepción de los cilindros de (4x1) cm que fueron elaborados manualmente.

Estas probetas se encuentran divididas en 5 grupos: adobes sin aditivo vegetal (probetas patrón, grupo 1) y adobes modificados con una goma vegetal: *Agave americana*, *Agave americana marginata*, *Opuntia ficus indica* y *Austrocylindropuntia subulata* (grupo 2 a 5), Cada uno de estos aditivos se incorporó al 5 y al 10% en la pasta de adobe.

Las probetas fueron realizadas con 2 partes de tierra roja y 1 de arena -procedentes de los alrededores de Paiporta (Valencia)-, incorporando 1 parte paja por cada 5 de material terroso y 2/3 de agua con o sin las gomas.

Tras la obtención de las formas, fueron secados al aire libre, cambiando periódicamente las caras y la orientación de los bloques para facilitar un secado



Figura 2. Elaboración de las probetas de adobe mediante molde y presión manual.

homogéneo. El tiempo de secado superó los 30 días, durante ese periodo se registró una temperatura media de 23,4° C y un 60% de humedad relativa (HR), según los datos obtenidos por la Agencia Española de Meteorología (AEMET).

3.2. Instrumentación y ensayos de evaluación

3.2.1. Determinación de la variación de masa acumulada y densidad del caudal de vapor de agua.

Mediante este ensayo se pretende comprobar la variación de la transferencia de vapor de agua a través de adobes simples y adobes modificados mediante la incorporación de gomas vegetales a diferentes concentraciones, sometiéndolos a diferentes presiones parciales de vapor. Este parámetro es de gran importancia para la conservación de este tipo de materiales, ya que la obturación de los poros impide la libre transpiración de la humedad.

Dicho ensayo ha sido realizado siguiendo las pautas establecidas en la norma española: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua UNE-EN 15803:2009. Realizándose un total de tres probetas cilíndricas por cada serie a estudio.

- Procedimiento de ensayo:

Tras el preacondicionamiento de las probetas, el sistema seleccionado fue el denominado "cubeta húmeda", ya que proporciona información sobre las prestaciones de los materiales bajo condiciones de elevada humedad. Para ello fue empleada una solución acuosa salina saturada (nitrato potásico KNO₃ al 93%). Las probetas fueron montadas sobre un recipiente de dimensiones similares a éstas y selladas mediante Parafilm "M" con la cara de ensayo dirigida hacia arriba. Registrando la variación de la masa a intervalos de tiempo específico hasta alcanzar 192 horas.

Para conocer la variación de masa acumulada de cada serie de probetas fue aplicada la siguiente fórmula:

$$\Delta m_i = m_i - m_0$$

Donde m es la masa del conjunto de la probeta y recipiente (g).

La densidad de caudal de agua fue calculada mediante la fórmula:

$$g = G/A$$

donde, g es la densidad del caudal de vapor de agua en $g/(m^2 \cdot s)$

G es el caudal de vapor de agua a través de la probeta, en g/s .

A es el área de superficie de ensayo, en m^2 .

3.2.3. Evaluación de los cambios cromáticos de los probetas de adobe mediante espectrofotometría visible/colorimetría.

Considerando los efectos que las radiaciones lumínicas pueden ejercer en el deterioro de estos productos naturales, en este estudio se han evaluado los cambios cromáticos de las probetas expuestas a irradiación con luz UV en cámara de envejecimiento acelerado. Los cambios observados se han determinado mediante valoración visual y por espectrofotometría visible/colorimetría mediante técnica de contacto.

El envejecimiento acelerado de las probetas se ha realizado en una cámara QUV-Basic con lámpara UV UVA-315 (Q-Grupo laboratorio de productos) con una potencia de 40 w. Las probetas han estado irradiadas durante 300 h y las condiciones ambientales en la cámara de envejecimiento durante ese tiempo fueron 40°C y 50% HR.

Los cambios experimentados fueron observados visualmente mediante el apoyo de las tablas Munsell⁴ y registrados colorimétricamente. Este registro permite cuantificar las variaciones cromáticas que pueden experimentar las reproducciones de adobes a largo plazo. Se han aplicado las siguientes condiciones de medida: Iluminante estándar CIE tipo D65 (luz día, temperatura de color 6500°k), observador estándar 10° (Konica Minolta Sensing, Inc.), estableciendo como área de medida M (Magnum). Los datos obtenidos han sido tomados como componente especular incluida (SCI) y componente especular excluida (SCE).

Se ha seleccionado dos puntos diferentes por probeta. Para realizar el estudio de variación cromática se han realizado tomas a las 0, 24, 100, 200 y 300 horas de exposición UV en cámara de envejecimiento acelerado⁵.

Para la interpretación y valoración de los resultados fue utilizada la norma ASTM D 4303-03⁶ y en los datos

aportados por Melgosa *et al.* (2001)⁷, los cuales establecen como diferencia de color “supraumbral” 1.75 unidades CIELAB.

Los datos obtenidos son el resultado de calcular el valor medio de tres tomas por muestra del total de dos probetas de cada serie de adobes. La precisión de estas medidas viene dada por la desviación standard. Se ha trabajado con los datos SCI (con componente especular incluida) debido a no obtener diferencias entre SCI y SCE. En cuanto a los espacios de color se han utilizado los perceptivos CIEL*a*b* 1976⁸ y CIEL*C*H*. El cálculo de variación total del color (ΔE^*) ha sido mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Siendo:

$$\Delta L^* = L^* \text{ final} - L^* \text{ inicial}$$

$$\Delta a^* = a^* \text{ final} - a^* \text{ inicial}$$

$$\Delta b^* = b^* \text{ final} - b^* \text{ inicial}$$

3.2.4. Determinación de la resistencia a la abrasión.

El principio de este ensayo consiste en desgastar la cara expuesta del adobe con la ayuda de un material abrasivo en condiciones patrón. Para ello se ha tenido como referencia la normativa española UNE-EN 14157:2004 para la preparación de las probetas y la medición de la huella; utilizando tres probetas por serie previamente tintadas, de (10x7) cm y realizando tres huellas a una velocidad de 15 ciclos por minuto en cada una de ellas. El abrasímetro empleado fue el modelo 5750 *Linear Abraser*. *Taber Industries*, utilizando como material abrasivo: H-22 Calibrade, de vitrificado basto (indicado para piedra) de *Taber Industries*.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la variación de masa acumulada y densidad del caudal de vapor de agua.

Los resultados obtenidos muestran diferencias mínimas de comportamiento entre gomas de diferente especie así como en concentración en la que se incorporan al adobe (Figura 3). Los adobes preparados con gomas de la familia de los agaves han mostrado, en general, una menor densidad de caudal de vapor de agua en comparación con las gomas de opuntia. En particular, los adobes preparados con *Agave americana marginata* al 5% manifiestan comportamientos muy similares a la probeta patrón, siendo por tanto los que manifiesta

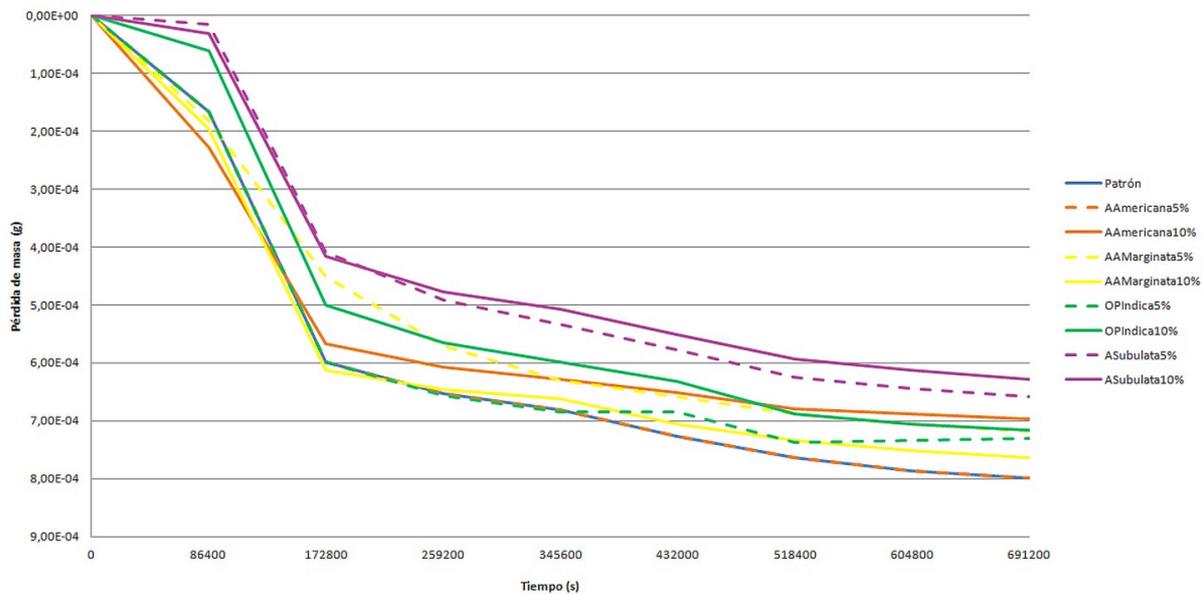


Figura 3. Diagrama mostrando la curva de pérdida de masa experimentada por las probetas con el tiempo durante el ensayo de determinación de la densidad de caudal de vapor de agua.

menor densidad de caudal al vapor de agua, seguidos de los adobes preparados al 10%.

El comportamiento observado en los adobes con goma de *Opuntia ficus indica* al 5% también es coincidente durante las primeras 96 horas del estudio al de los adobes patrón. A partir de ese tiempo comienzan a diferenciarse gradualmente hasta alcanzar una distancia de 0,12 g/s entre ellas al finalizar el estudio, reduciéndose por tanto la densidad y acercándose a los resultados obtenidos por las probetas con *Opuntia ficus indica* al 10% al finalizar el estudio. Se aprecian resultados muy similares en las probetas con goma de *Austrocylindropuntia Subulata* al 5% y 10%, coincidiendo en valores durante las primeras 72 horas y finalizando el ensayo con una diferencia entre ellas de 0,05g/s. Se trata de las gomas que aportan una menor densidad de caudal al vapor de agua, registrándose un promedio al finalizar el ensayo de 0,30g/s en comparación con el obtenido con los adobes patrón.

4.2. Cambios colorimétricos experimentados en las probetas de adobe tras la irradiación con luz UV.

4.2.1. Valoración visual de los cambios:

Del conjunto de probetas realizadas, según las tablas Munsell, se obtiene un color aproximado marrón-amarillento claro entre 10YR 8/6. 7.5YR 6/4 (light Brown) y 10YR 6/4 (light yellowish Brown), no apreciándose variaciones significativas de color ni brillo entre los adobes "patrón" y el resto de probetas donde se

	ΔE_{ab}^*							
	24H		100H		200H		300H	
	x	δ	x	δ	x	δ	x	δ
Adobe Patrón	1,26	0,36	1,10	0,73	1,15	0,60	1,19	0,48
Adobe + O. F. Índica 5%	0,76	0,29	1,42	0,82	0,96	-	1,81	0,19
Adobe + O. F. Índica 10%	1,39	0,45	1,40	0,34	1,22	0,68	1,23	0,06
Adobe + A. Subulata 5%	1,77	0,57	2,65	0,44	2,73	0,43	1,92	0,30
Adobe + A. Subulata 10%	1,59	0,47	2,02	0,72	2,22	0,41	2,30	0,52
Adobe + A. Americana 5%	1,93	0,34	2,51	0,16	2,97	0,58	1,40	0,03
Adobe + A. Americana 10%	1,14	0,15	1,47	0,11	0,66	0,51	1,30	0,98
Adobe + A. A. Margin 5%	1,05	0,46	1,70	0,09	1,33	0,03	1,43	0,25
Adobe + A. A. Margin 10%	0,78	0,47	1,86	0,13	1,55	0,59	1,02	-

Tabla 1. Valores medios (x) y desviación estándar (δ) correspondientes al incremento de color total ΔE^* de las probetas de adobe a las 24, 100, 200 y 300 horas de exposición a la radiación UV.

ha incorporado gomas vegetales, independientemente de su concentración.

Tras el envejecimiento acelerado por irradiación con luz UV el conjunto de probetas de adobe aparentemente no sufre un cambio de color apreciable visualmente de acuerdo a la clasificación de la tabla 1 B.1 Anexo B2⁹. Siendo, por tanto asignada para todas ellas la clasificación 0, esto es, con grado de diferencia no apreciable.

4.2.2. Valoración de los cambios tras el registro de datos:

Los cambios en cuanto a la variación de color total ΔE^* producidos tras la exposición a la radiación UV respecto al tiempo de exposición se muestran en el diagrama de barras de la Figura 4. Cabe señalar que se aprecian un ligero incremento de E^* en todas las probetas desde las primeras 24 h de irradiación, el cual se mantuvo, con ligeras fluctuaciones que están por debajo del error experimental, a medida que se aumenta el tiempo de exposición a la radiación hasta las 300

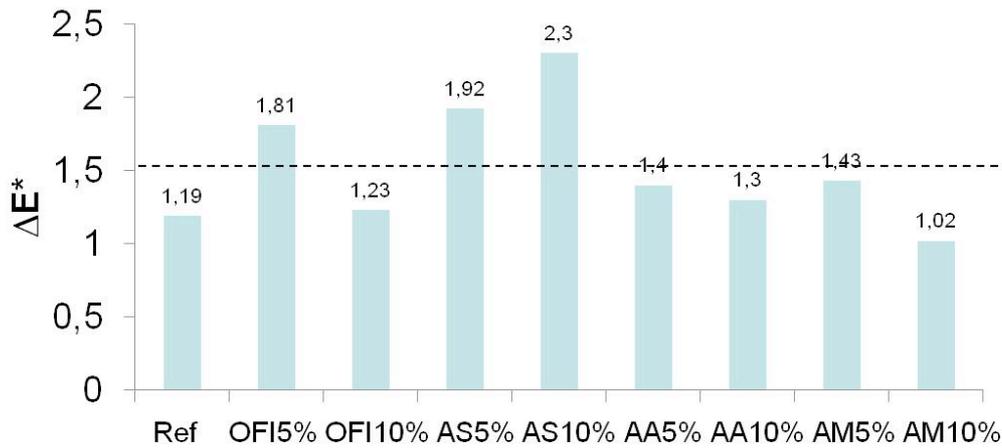


Figura 4. Variación de color total ΔE* en función del tiempo de irradiación-

horas. Estas fluctuaciones pueden ser debidas a las irregularidades que presentar las superficies pese a que se han realizado todas las mediciones en la misma área.

A lo largo del envejecimiento los cambios registrados en los adobes varían entre 0,50 y 3,00 unidades CIELAB, como también se observa en el diagrama de barras mostrado en la Figura 4. Considerando que las diferencias de color comienzan a ser visualmente apreciables en torno a 1,75-2 unidades CIELAB, los cambios colorimétricos experimentados tras los ensayos de envejecimiento con luz ultravioleta son diferencias no apreciables. Por tanto, los adobes ensayados presentan buena estabilidad a la irradiación con luz ultravioleta, pudiendo ser incluidos en la categoría I (según la norma ASTM D4303-3), por experimentar

cambios en cuanto a la variación de color total ΔE* inferiores a 4 unidades.

Los incrementos de luminosidad L*, croma C* y tono h° experimentados por el conjunto de adobes durante el tratamiento de envejecimiento acelerado se listan en la Tabla 2 y se muestra también en el diagrama de barras de la Figura 5. En dicho gráfico se observa que C* prácticamente no se modifica en ninguna de las probetas de adobe ensayada. L* y h* experimentan variaciones superiores al umbral de percepción en los adobes aditivados con *A. subulata*, *A. americana* y *O.F.indica*. El hecho de que en unos casos las mayores variaciones se produzcan en las probetas con menor concentración de goma vegetal sugiere que este parámetro no es determinante en la modificación del aspecto cromático

	t	ΔL*		ΔEab*		ΔC*		Δh°	
		x	δ	x	δ	x	δ	x	δ
		Adobe Patrón	24H	0,91	0,35	1,26	0,36	-0,85	0,17
	300H	0,94	0,25	1,19	0,48	-0,70	0,48	0,06	0,03
Adobe + O. F. Indica 5%	24H	0,42	0,04	0,76	0,29	-0,61	0,39	0,01	0,18
	300H	1,12	0,45	1,81	0,19	-1,31	0,65	0,00	0,05
Adobe + O. F. Indica 10%	24H	1,15	0,75	1,39	0,45	-0,27	0,83	-0,02	0,19
	300H	1,11	0,11	1,23	0,06	-0,40	0,51	-0,05	0,02
Adobe + A. Subulata 5%	24H	0,66	1,28	1,77	0,57	-1,43	0,12	0,11	0,07
	300H	1,16	0,43	1,92	0,30	-1,51	0,05	0,04	0,06
Adobe + A. Subulata 5%	24H	1,25	0,80	1,59	0,47	-0,83	0,30	0,03	0,17
	300H	2,00	0,74	2,30	0,52	-1,33	0,12	-0,06	0,21
Adobe + A. Americana 5%	24H	1,34	0,41	1,93	0,34	-1,19	1,01	0,00	0,21
	300H	1,04	0,32	1,40	0,03	-0,88	0,33	-0,07	0,12
Adobe + A. Americana 10%	24H	0,12	0,24	1,14	0,15	-1,12	0,13	0,01	0,20
	300H	0,80	1,14	1,30	0,98	-0,89	0,41	-0,01	0,17
Adobe + A. A. Marginata 5%	24H	0,59	0,81	1,05	0,46	-0,73	0,01	0,18	0,08
	300H	0,35	-	1,43	0,25	-0,91	0,42	-0,03	0,17
Adobe + A. A. Marginata 10%	24H	0,07	0,41	0,78	0,47	-0,73	0,47	0,05	0,14
	300H	2,10	2,98	1,02	-	-0,87	0,21	-0,18	0,02

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar SCI de los parámetros ΔL*, ΔE*, ΔC* y Δh° a las 24 y 300 horas de irradiación.

	t	L*(SCI)		a*(SCI)		b*(SCI)	
		x	δ	x	δ	x	δ
		Adobe Patrón	inicial	55,97	0,89	12,97	0,62
	300H	56,91	0,64	12,66	0,44	28,97	0,87
Adobe + O. F. Indica 5%	inicial	54,96	0,70	13,73	0,10	31,12	0,26
	300H	56,08	0,24	13,20	0,33	29,92	0,35
Adobe + A. Subulata 5%	inicial	54,57	0,74	13,78	0,03	31,27	0,09
	300H	55,73	0,31	13,15	0,04	29,89	0,03
Adobe + A. Americana 5%	inicial	52,71	1,53	13,99	0,11	31,51	0,21
	300H	53,76	1,22	13,68	0,09	30,69	0,06
Adobe + A. A. Marginata 5%	inicial	53,52	1,28	13,68	0,23	30,70	0,31
	300H	52,95	0,01	13,32	0,03	29,87	0,03
Adobe + O. F. Indica 10%	inicial	55,42	0,89	12,87	0,47	29,41	1,07
	300H	56,53	0,78	12,74	0,26	29,04	0,60
Adobe + A. Subulata 10%	inicial	54,51	1,40	13,63	0,48	30,55	0,75
	300H	56,51	2,14	13,23	0,26	29,57	0,55
Adobe + A. Americana 10%	inicial	53,84	0,63	13,48	0,30	30,31	0,44
	300H	54,64	0,51	13,12	0,04	29,49	0,11
Adobe + A. A. Marginata 10%	inicial	51,91	0,01	13,30	0,00	30,33	0,14
	300H	54,01	2,97	13,04	0,10	29,49	0,32

Tabla 3. Valores medios y desviación standard SCI de las coordenadas L*, a* y b*, antes y después de la irradiación.

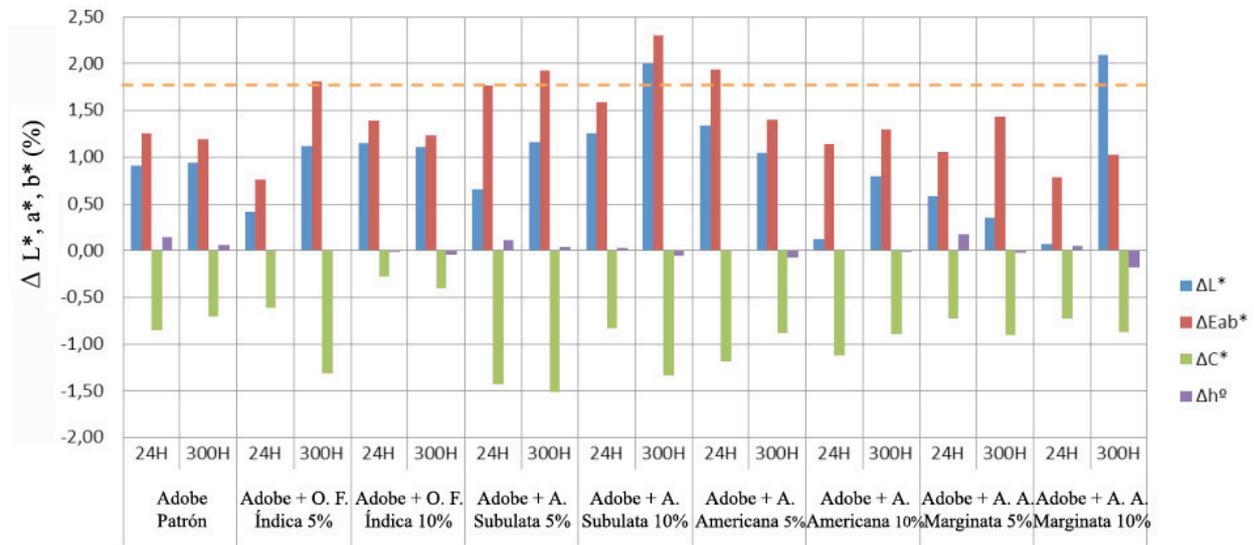


Figura 5. Representación del valor de ΔL^* , ΔE^* , ΔC^* y Δh° expresado en porcentaje tras el ensayo de envejecimiento artificial acelerado.

del adobe en el rango de concentración en el que se ha preparado en este experimento. Similares resultados se obtienen con las coordenadas L^* , a^* y b^* correspondientes a los adobes sin envejecer y tras 300 h de exposición luminosa listados en la tabla 3. El conjunto de adobes ensayados son de croma medio y, como se observa en la Figura 6, exhiben un mínimo desplazamiento hacia el verde (Δa^*). Estos cambios son más acusados en el los adobes elaborados con *Austrocylindropuntia subulata* al 5% y *Opuntia ficus indica* al 5%. La Figura 7 muestra, en detalle, la zona de interés del diagrama b^* vs a^* .

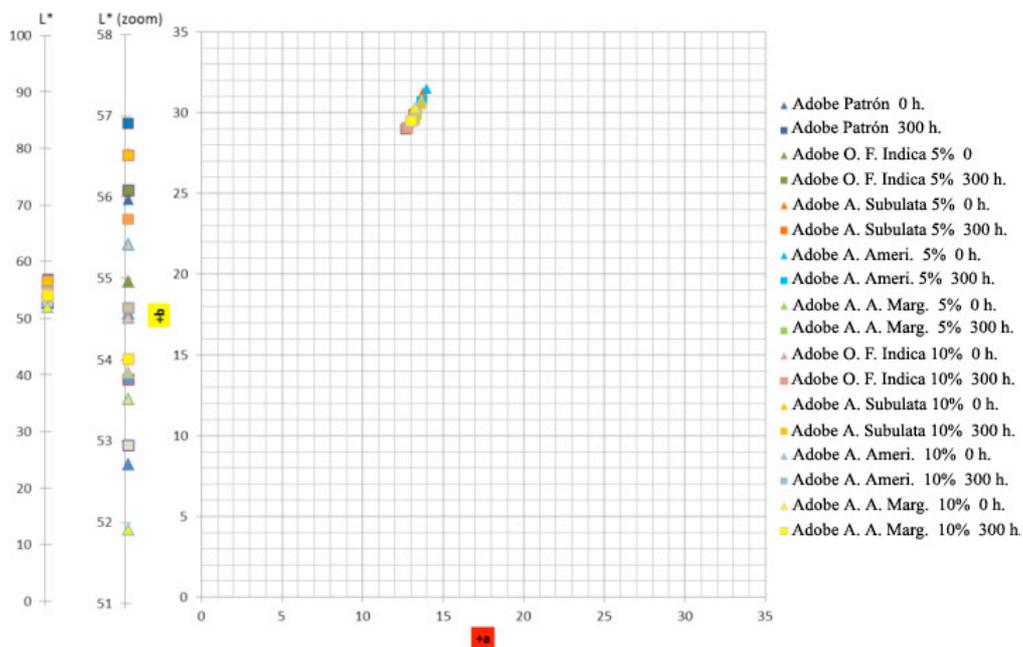


Figura 6. Representación del diagrama CIELAB. Valores de a^* y b^* correspondientes al conjunto de adobes antes y tras 300 h de irradiación.

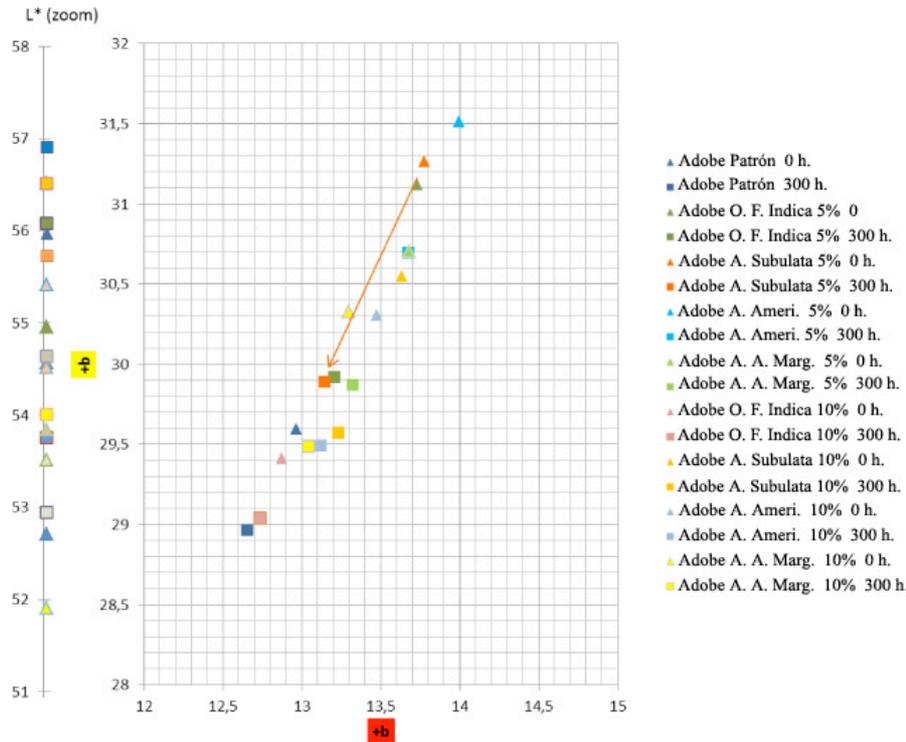


Figura 7. Detalle del diagrama CIELAB mostrado en la Figura 6. Valores de a* y b* correspondientes al conjunto de adobes antes y tras 300 h de irradiación.

4.3. Determinación de la resistencia a la abrasión.

Los resultados obtenidos muestran comportamientos diferentes en el conjunto de adobes ensayados. Los adobes a los que se ha adicionado *Agaváceas* muestran una resistencia a la abrasión muy similar a las probetas patrón, en cambio los adobes con *Opuntias* parecen ganar cierta resistencia, sobretodo en las probetas preparadas en concentraciones del 10%. En particular, los adobes preparados con *Opuntia ficus indica* y *Austrocylindropuntia subulata* al 10% muestran una mayor resistencia (Figura 8). Este comportamiento puede deberse a la influencia de otros factores que alteren los resultados, como por ejemplo irregularidades en las superficies de las probetas, la rugosidad y/o la dirección del grano, el tipo, la presencia de paja en superficie, etc.

5. CONCLUSIONES

A través de los resultados obtenidos, se observa que la adición de gomas vegetales en el rango de concentración ensayado (5-10%) produce, en general,

ligeras mejoras en el comportamiento de los adobes. Las gomas de estas plantas parecen reducir la permeabilidad al vapor de agua, incrementando en cierto grado la resistencia a la abrasión. Si bien no se aprecian grandes diferencias entre el tipo de goma vegetal incorporado, las gomas que parecen contribuir en mayor medida a la mejora de las propiedades y a la conservación del adobe pertenecen a la subfamilia

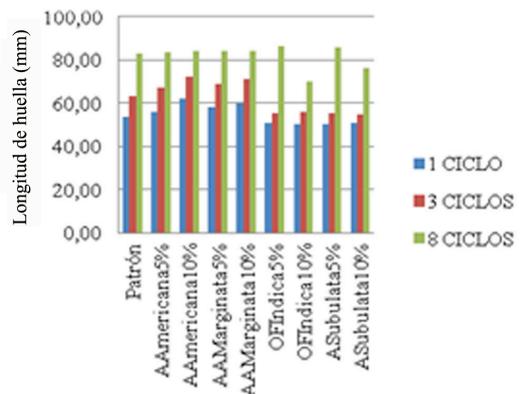


Figura 8: Diagrama de barras mostrando los valores de los resultados obtenidos en las probetas sometidas al ensayo de resistencia a la abrasión a una velocidad de 15 ciclos por minuto.

Opuntia, mientras que los adobes preparados con agaváceas tienen comportamientos más cercanos a las probetas patrón. Destaca el comportamiento obtenido en los adobes preparados con goma de *Austrocylindropuntia subulata*, presentando mayor mejora en la densidad de caudal de vapor de agua, así como en la resistencia a la abrasión, en particular en los adobes al 10%. Esto sugiere que, a medida que va incrementándose el contenido en goma, va reduciéndose la porosidad y aumentando la resistencia a la abrasión, por lo que incrementaría la durabilidad del adobe.

El ensayo de envejecimiento acelerado ha mostrado que la incorporación de goma vegetal a estos adobes no

modifica sustancialmente su aspecto visual. Pese a que los cambios más sustanciales se han registrado en los adobes preparados con *Austrocylindropuntia subulata* (ΔE^* máximo 2,30), estos valores se mantienen por debajo del umbral de percepción visual.

A través de los resultados obtenidos en estos ensayos, el objetivo es continuar profundizando en la influencia que estas sustancias tienen en el comportamiento de los adobes tradicionales, ampliándose el número de ensayos y análisis de los materiales expuestos.

BIBLIOGRAFÍA

Aranda Jiménez, Y. (2010). "BTC adicionados con diferentes concentraciones de mucilago de nopal y sábila en el agua de mezclado". *X SIACOT, Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (Salto, Uruguay) 119-128

Aranda-Jiménez, Y. y Suárez-Domínguez, E. (2013). "Efecto de la impermeabilidad del Mucilago de Nopal en bloques de tierra comprimidos". Universidad de la Salle, Guanajuato. *Nova scientia*. vol.6 no.11, León, México.

Carlos Bravo, A. y Romsay, J. (2007). "Evaluación del comportamiento físico-mecánico del adobe estabilizado con cal y goma de tuna". *Anales científicos*. Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú). 196-207.

Castilla Pascual, F. (2004). *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

Castilla Pascual, F. (2011). "Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra

contemporáneas". *Informes de construcción*, Vol 63, 52. 143-152.

Guillot, D., Laguna, E. y Rosselló, J. (2009). *Flora alóctona valenciana: familia Cactaceae*. Monografías de la revista Bouteloua, nº 5, 148. Huesca.

Magno Molina, C. y Marisa Valdivia, V. (2007). "Uso de la goma de tuna como impermeabilizante de morteros de tierra". *Anales científicos*. Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú). 152-161.

Martínez-Camacho, F.; Vázquez-Negrete, J.; Enrique Lima, V. y Bosch, P. (2008). "Texture of nopal treated adobe: restoring Nuestra Señora del Pilar mission". *Journal of Archaeological Science*.

Sáenz, C. et al. (2006) *Utilización agroindustrial del nopal*. Rosell, C. (Ed). Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO, 126. 106-107.

Torres Acosta, A. y Cano Barrita, P. *Las bondades del nopal*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC). Enlace: www.imcyc.com/ct2007/oct07/tecnologia.htm

NOTAS

1 Durante la búsqueda bibliográfica se han encontrado diferentes métodos de extracción: la liofilización y la maceración en frío o caliente. El sistema más frecuente es la maceración en frío, donde los tiempos varían desde unos pocos días a semanas (Castilla, 2004:55) (Aranda et al., 2007:315) (Torres y Cano, 2015). En cuanto al método cuantitativo, no existe un tratamiento establecido, en algunos casos la proporción de estas plantas en agua no se especifica. La Universidad Pontificia de Lima (Perú) indica agregar la cantidad de agua necesaria hasta cubrir al ras los restos de cactus (Castilla, 2004:55), otros estudios (Molina y Valdivia 2007)(Bravo y Romsay, 2007) realizan una "goma madre" (agua-cactus en proporción 1:1) para disolverla posteriormente a diferentes porcentajes. También se han encontrado preparaciones de agua-cactus al 7:1 (Sáenz et al., 2006) que se han incorporado directamente al material terroso. Por otro lado, Torres (2014) indica dos formas de obtener el extracto; una mezclando la planta con agua potable en diferentes proporciones en peso y dejándolas a temperatura ambiente y otra mediante la cocción de las piezas para acelerar el proceso.

2 Norma española: UNE-EN 15803:2009

3 Norma española: UNE-EN 14157:2004

4 Munsell® Soil Color Charts. Year 2000 Revised Washable Edition.

5 ASTM D 4303-03 Standard Test Methods for Lightfastness of Colorants Used in Artists Materials. Este es el numero 8

6 ASTM D 4303-03 Standard Test Methods for Lightfastness of Colorants Used in Artists Materials.

7 M. Melgosa, M.M. Pérez, A. Yebra, R. Huertas, E. Hita. Algunas reflexiones y recientes recomendaciones internacionales sobre evaluación de diferencias de color. Óptica Pura y Aplicada. Vol.34, 2001

8 UNE-EN 15886. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies. Este es el numero 5

9 UNE-EN ISO 3668. Pinturas y barnices. Comparación visual del color de pinturas.