

Estudio comparativo de sistemas de consolidación y flexibilización (almidón- PEG, quitina-PEG y lactitol-PEG) para la conservación de objetos de fibras duras provenientes de contextos arqueológicos secos y húmedos en México

Comparative Study of Consolidation and Flexibilization Systems (Starch-PEG, Chitin-PEG, and Lactitol-PEG) for the Preservation of Hard-Fiber Objects Stemming from Dry and Wet Archeological Contexts in Mexico

Gloria Martha Sánchez Valenzuela

Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC),
Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH)
marthasmex@hotmail.com

Alejandra Alonso Olvera

Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC),
Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH)
ale.alonso.olvera@gmail.com

María Fernanda Escalante Hernández

Centro INAH Yucatán,
Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH)
mariacxa@gmail.com

Resumen

La presente INVESTIGACIÓN se enfocó en desarrollar y evaluar un método viable para la conservación de bienes arqueológicos manufacturados con fibras duras (palma), encontrados en contextos secos (Cueva del Lazo, Chiapas, México) y anegados (depósitos rituales de la Zona Arqueológica del Templo Mayor de Tenochtitlan, Ciudad de México, México), es decir, en las dos condiciones ambientales más favorables para la preservación de materiales celulósicos. Su finalidad fue probar tres diferentes productos de consolidación: almidón, lactitol y quitina, en mezcla con un flexibilizante (polietilenglicol, o PEG) en diferentes concentraciones. Se ponderaron los resultados post-tratamiento en relación con las características físicas macroscópicas en los objetos tratados, en particular: la ganancia en resistencia física, el mejoramiento en la cohesión de las fibras y la optimización de su flexibilidad. La microscopia electrónica de barrido (MEB) sirvió para visualizar la extensión de la consolidación en las estructuras celulares y, con ello, corroborar las características

macroscópicas logradas con los sistemas aplicados. Como resultado, este estudio determinó las variantes más adecuadas en el tratamiento de estabilización de elementos arqueológicos elaborados en fibras duras.

Palabras clave

consolidación; fibras duras; arqueología; lactitol; quitina; almidón; flexibilizante; polietilenglicol

Abstract

This research focused on developing and assessing a viable method for the conservation of archeological artefacts made of hard-fibers (palm), which were found in both with dry (Cueva del Lazo, Chiapas, Mexico) and wet (ritual deposits of the Archeological Site of the Templo Mayor de Tenochtitlan, Mexico City, Mexico) contexts; that is, the most favorable environmental conditions for the preservation of cellulosic materials. Its purpose was to test three different consolidation products: starch, lactitol, and chitin in a mixture with a flexibilizer (polyethylene glycol or peg) at different concentrations. The study evaluated the results post-treatment in relation to the macroscopic physical characteristics in the treated objects, particularly: the physical resistance gain, the improvement in the fibers' cohesion and the enhancement of their flexibility. Scanning electron microscopy (sem) served to visualize the extent of consolidation in the cellular structures and, thus, to corroborate the macroscopic characteristics achieved with the applied consolidation systems. As a result, this investigation determined the most adequate variants for the stabilization treatment of hard-fiber archeological elements.

Key words

consolidation; hard-fibers; archeology; lactitol; chitin; starch; flexibilizer; polyethylene glycol

Introducción

Las fibras vegetales, materia prima de tejidos e hilados, son materiales sumamente delicados, de gran fragilidad y difícil preservación en depósitos arqueológicos debido a su origen orgánico y, por lo tanto, percedera (Florian *et al.* 1990:140). Por lo general, este tipo de objetos está sujeto a diversos agentes de deterioro biológico y físico-químico, el más común de los cuales es la descomposición por ataque de insectos y microorganismos, así como a la presencia de alta humedad y el contacto con suelos ácidos o alcalinos, todos ellos, factores que causan alteración de las fibras provocando disgregación, fracturas y, finalmente, su desaparición (Florian *et al.* 1990:140). Sin embargo, los contextos arqueológicos en que las condiciones de humedad y temperatura son estables —sitios secos (cuevas o abrigos rocosos) o bien, anegados (cuerpos naturales de agua y depósitos inundados)—, son medios que favorecen la preservación y recuperación de diferentes fibras,

tejidos y otros materiales de origen orgánico (Florian *et al.* 1990:140). Tal es el caso de los depósitos de la Cueva del Lazo, Chiapas (México), un contexto seco y estable, y del Templo Mayor de Tenochtitlan (Ciudad de México, México), anegado.

Esta INVESTIGACIÓN aborda el estudio y tratamiento de restos vegetales que se hallaron en los ambientes mencionados y que representan no sólo dos diferentes problemáticas de conservación —permanencia en ambientes seco y anegado, respectivamente— sino también las condiciones de preservación óptimas para este tipo de materiales, por la mayor estabilidad en variables de humedad y temperatura del contexto.

Para iniciar, vale mencionar que, quizá debido a la escasa cantidad de restos arqueológicos de fibras vegetales —tejidos y no tejidos— que han sobrevivido hasta el presente, pocas son las investigaciones que se han enfocado en su conservación, en especial para los bienes manufacturados con fibras duras:¹ palma, específicamente para este estudio (Miranda-Ham y Sánchez 1996; Allington 1986; Carrlee y Senge 2016). Además, muchos de los tratamientos empleados por la conservación-restauración contemporánea han resultado poco satisfactorios: durante gran parte de la segunda mitad del siglo xx frecuentemente se aplicaron consolidantes conformados por distintas variedades de polímeros sintéticos de tipo termoplástico, sustancias que a la larga alteraban las características y apariencia física de los bienes tratados, ya que producían residuos (como ácido acético) que afectaban el sustrato constitutivo, o bien experimentaban reticulación polimérica, lo que ocasionaba pérdida de flexibilidad en las fibras, así como dificultad en su remoción o reemplazo (Florian *et al.* 1990:236; Miranda-Ham y Sánchez 1996). Por este motivo, esta INVESTIGACIÓN propuso experimentar con polímeros naturales para, con ello, recuperar las características físico-mecánicas de resistencia y flexibilidad de las fibras que conforman al bien cultural, a la par de refrendar el criterio normativo de compatibilidad química entre este último y el producto de conservación.

Al respecto, es de notar que, en el caso específico de la estabilización de artefactos arqueológicos elaborados por fibras duras (palma), ya se han probado algunos materiales, como el almidón y la metilcelulosa que, sin embargo, no produjeron resultados satisfactorios, tal y como lo indica el estudio de Miranda-Ham y Sánchez Valenzuela (1996:135). Basándonos en esta experiencia, y teniendo presente la problemática de dos diferentes proyectos de conservación de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) que requerían intervención directa sobre bienes arqueológicos, nuestro estudio se articuló como una iniciativa experi-

¹ Convencionalmente, con el término *fibras duras* se hace referencia a aquellas que se obtienen de hojas y tallos de una planta.

mental de evaluación de nuevos materiales conformados por mezclas de consolidantes y flexibilizantes, nuevas alternativas que buscarían recuperar tanto la resistencia física —cohesión y consistencia— del bien cultural como la flexibilidad de sus fibras constitutivas, esta última propiedad no muy frecuentemente atendida como requerimiento de conservación.

En específico, nuestro estudio se centró en probar tres diferentes productos de consolidación: almidón, lactitol y quitina, en combinación con un flexibilizante: polietilenglicol —mejor conocido por sus siglas PEG— en diferentes concentraciones. En la evaluación se ponderaron características físicas macroscópicas pre y postratamiento, especialmente la variable de ganancia en resistencia física y el mejoramiento en la cohesión y flexibilidad de las fibras; el examen organoléptico y la microscopia electrónica de barrido (MEB) constituyeron nuestras principales herramientas de valoración. Aquel permitió evaluar cambios detectables a escala macroscópica durante la manipulación en aspectos tales como la resistencia física, la flexibilidad y la cohesión, que son, justamente, propiedades disminuidas en las fibras durante su deterioro en depósitos arqueológicos, mientras que el MEB reveló referentes para visualizar la extensión de la consolidación en las estructuras celulares y, de esta manera, corroborar las características macroscópicas logradas con los sistemas consolidantes aplicados. Aunque es posible realizar pruebas mecánicas estandarizadas para verificar el mejoramiento alcanzado por un dado sistema de consolidación (*cf.* Smith *et al.* 2014), no se incluyeron en este estudio por considerar que a escala macroscópica era suficiente realizar la evaluación descrita, puesto que las fibras se encontraban originalmente tan frágiles y friables que cualquier mejoría sería visible y detectable a esa escala, particularmente al manipular al bien cultural con seguridad.²

Casos de estudio

En esta INVESTIGACIÓN se seleccionaron dos casos de estudio que se describen a continuación.

² Los métodos estandarizados para medir la degradación de fibras en cuanto a su integridad física evalúan la condición del bien en cuestión mediante, por ejemplo, la correlación digital de imagen y estudios que monitorean el estrés o fatiga mediante análisis de aminoácidos calibrados para determinar el grado de oxidación en las fibras de proteína (Smith *et al.* 2014). Otros exámenes de resistencia y flexibilidad determinan el punto de rotura a la extensión y a la carga, pero están diseñados para materiales en buen estado —generalmente de reciente factura—, más no para aquellos deteriorados, cuyos parámetros son muy por debajo de los esperados en los primeros (Smith *et al.* 2014). Por estas limitantes instrumentales, y debido a que el estudio de identificación de fibras no alcanzó a determinar género y especie —por lo cual no fue posible generar un patrón de referencia— nuestro estudio no contempló evaluaciones de propiedades mecánicas diseñadas para comparar las condiciones de materiales en buen estado y deteriorados.

Esteras de palma procedentes del contexto funerario de la Cueva del Lazo, Chiapas

La Cueva del Lazo se ubica en la parte noroeste del estado de Chiapas, dentro de la Reserva Especial de la Biosfera Selva El Ocote, en el municipio de Ocozocuatla. De acuerdo con Cruz (2004:6), este caso constituye un ejemplo de contexto arqueológico con características micro ambientales secas, ya que presenta una humedad relativa (HR) entre 50% y 64%, y una temperatura entre 21.5 °C y 26.6 °C: a pesar de que una HR de 64% puede considerarse ligeramente alta, la humedad ambiental es constante a lo largo del año, lo cual propicia la estabilidad en la microestructura de las fibras. Como lo afirma Sease (1994:9) estas condiciones limitan las fluctuaciones bruscas de contracción y expansión en las fibras, y con ello, se reducen los daños físicos, tales como microfisuras y rupturas; a la par, al no existir una alta concentración de humedad, y sí una temperatura constante, no se favorecen las reacciones físico-químicas de óxido-reducción que desencadenan los procesos de alteración orgánica (Sease 1994:9).

La exploración arqueológica de la Cueva del Lazo en 1997, dirigida por Giuseppe Orefeci, reveló un vasto patrimonio prehispánico en el que destaca el entierro de 10 infantes envueltos en textiles a manera de fardos funerarios (Linares 1998:150). Se localizaron, asociados a éstos, restos de cuerdas hechas de algodón, ixtle y palma, residuos de textiles, manojos de hilos de algodón, hierbas, hojas amarradas, recortes de corteza de calabaza con diseños esgrafiados de aves, fragmentos de estereras y petates finos, así como otros objetos manufacturados con materiales orgánicos (Linares 1998:150). De acuerdo con la cerámica encontrada, la temporalidad de este depósito data del periodo Clásico Tardío (650-900 d. C.), aunque la presencia de algunos tipos cerámicos más tardíos sugiere que la última utilización de la cueva podría haberse extendido al Posclásico Temprano (900-1250 d. C.). Las características de los vestigios indican que fueron grupos mixe-zoqueanos los que utilizaron la Cueva del Lazo con fines rituales (Linares 1998:150).

Materiales de palma de las ofrendas votivas del Templo Mayor de Tenochtitlan, Ciudad de México

Un grupo de estereras de palma se descubrió en las excavaciones arqueológicas del Templo Mayor de Tenochtitlan, concretamente, en las ofrendas 120 y 125, ubicadas al oriente del recinto sagrado. Su datación corresponde al Posclásico Tardío, en específico, a la V y VI etapas constructivas del complejo ceremonial, las cuales se sitúan alrededor de 1469 y 1486 d. C. (*cf.* Chávez 2009, Argüelles y Quezada 2009). Ambas ofrendas, conformadas por más de 1000 objetos de naturaleza orgánica e inorgánica, se encontraron dentro de cistas de piedra, donde se depositaron y sellaron total o parcialmente en la época

prehispánica, y permanecieron enterradas bajo los cimientos de las edificaciones virreinales hasta su hallazgo. Por este motivo experimentaron la filtración de agua en su interior, lo que llevó al anegamiento de todos los bienes contenidos (cfr. Argüelles y Quezada 2009; Chávez 2009). Esta condición derivó mayoritariamente del movimiento ascendente del nivel freático: en efecto, el suelo donde se ubica el recinto del Templo Mayor es de origen lacustre, cuya dinámica hidrológica implica presencia de cuerpos de agua a corta distancia de la superficie (cfr. Argüelles y Quezada 2009; Chávez 2009). Aunado a ello, los depósitos frecuentemente se han afectado por fugas de agua de las modernas redes de tuberías y drenaje aledañas (cfr. Argüelles y Quezada 2009; Chávez 2009). Tal como lo indican Unger *et al.* (2001:43-48), los contextos de alto contenido de humedad, o bien, anegados, favorecen la conservación de las fibras vegetales debido a dos variables: anoxia —falta de oxígeno— que, en consecuencia previene la oxidación de los materiales y, con ello, su disgregación— y biopreservación —pocos organismos (bacterias, principalmente) son capaces de sobrevivir bajo el agua y deteriorar los materiales orgánicos. Asimismo, es nuestra opinión que la contención de las materiales arqueológicos en una caja de piedra favoreció su estabilidad material, ya que evitó desecación continua, con sus consecuentes procesos de alteración. La presencia constante de humedad, a la par de la ausencia de luz, oxígeno y organismos biodeteriorantes, son condiciones que facilitan la preservación de materiales orgánicos en general (Unger *et al.* 2001:43-48). Aunque la presencia de sedimentos ácidos en el agua contribuyen a la lenta hidrólisis de los componentes celulósicos, en los contextos anegados se favorece la sustitución de celulosa por moléculas de agua, lo que preservan forma y tamaño del artefacto, mientras no exista pérdida de líquido (Unger *et al.* 2001:43-48).

Estado de conservación comparativo

A continuación se describe la condición física comparativa de los materiales elaborados con fibras duras hallados en los contextos arqueológicos descritos.

Esteras y cuerdas de palma de la Cueva del Lazo, Chiapas

Como hemos ya explicado, las condiciones ambientales de la Cueva del Lazo favorecieron notablemente la conservación del extenso patrimonio de origen orgánico hallado en el contexto funerario. No obstante, al realizar un diagnóstico específico de los materiales arqueológicos en palma ahí recuperados, observamos algunas alteraciones físicas, químicas y biológicas, que reflejan alteraciones en las propiedades de las fibras duras, mismas que incluyen desde su fractura hasta su disgregación (Figura 1).

Nuestro análisis propone que la mayoría de los deterioros resultaron de la degradación natural de los elemen-

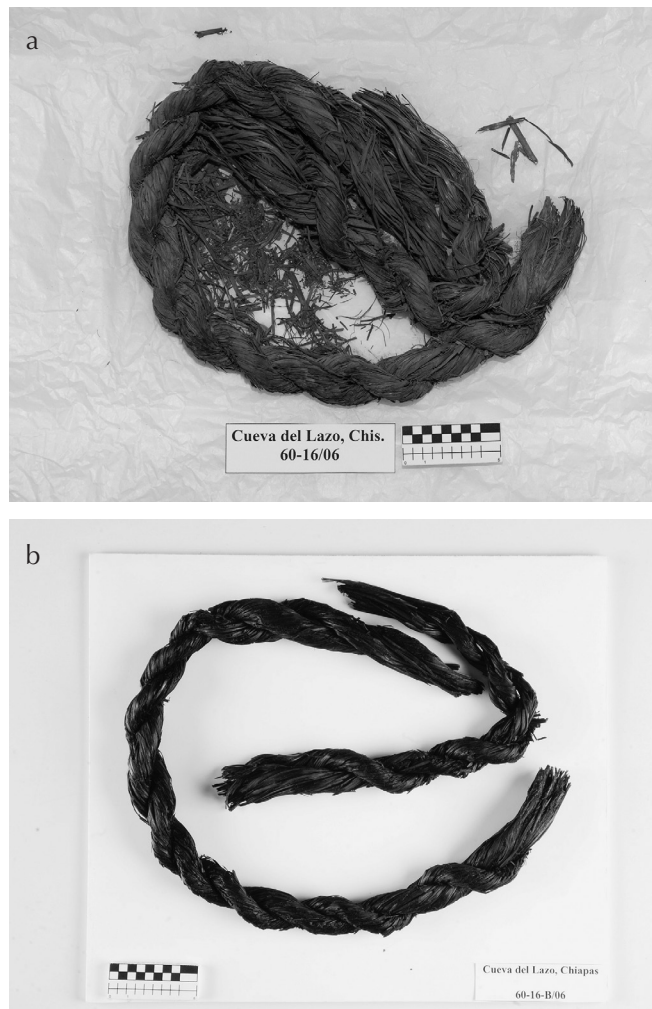


FIGURA 1. Cuerda con número clave 60-16/06 procedente de la Cueva del Lazo, Chiapas, a) se observan la fractura y disgregación de sus fibras; b) cuerda consolidada (Fotografía: Gloria Martha Sánchez Valenzuela, 2009; cortesía: CNCPC-INAH y Proyecto Arqueológico Río La Venta, Chiapas, Università di Bologna [Italia]).

tos constitutivos en el contexto arqueológico, debido a la acción de diferentes factores de alteración, a saber:

- En primer lugar, de acción transitoria, fue la acidez del medio originada por los productos de descomposición de los cuerpos humanos asociados a las ofrendas funerarias.
- En segundo término, la presencia de luz y temperatura que ocasionó diversas reacciones químicas, como rompimiento de cadenas poliméricas y enlaces moleculares de la celulosa, que volvieron sumamente frágil el material constitutivo.
- En tercer lugar, a causa de la pérdida natural de humedad en las fibras ante un ambiente seco, se generó un detrimento en sus propiedades de elasticidad y resistencia mecánica.
- En cuarto término es previsible que hayan ocurrido reacciones de oxidación, que se reflejan

en una alteración cromática de los materiales, lo cual se tradujo en una disminución en la intensidad de saturación del color propio, o cambio en su tonalidad.

Ahora bien, tal y como Florian *et al.* (1990:146-151) han explicado, los materiales de origen orgánico que se encuentran en condiciones ambientales estables, como las presentes en la Cueva del Lazo, sufren procesos de deterioro de acción lenta o paulatina, ya que se establece una homeostasis con el contexto arqueológico. No obstante, en el momento en que las condiciones de humedad y temperatura varían, lo que en cierta medida es inevitable durante la excavación, las reacciones físico-químicas se aceleran de manera vertiginosa, ocasionando daños en la estructura de los bienes arqueológicos (Florian *et al.* 1990:146-151). En nuestra opinión, una muestra de este tipo de alteraciones es la friabilidad presente en algunos textiles, petates y cuerdas de la Cueva del Lazo. En efecto, las fibras duras que conforman las esteras se encuentran completamente resacas, frágiles, con deformaciones, fisuras, grietas, roturas y disgregación material localizada.

Materiales de palma del Templo Mayor, Tenochtitlan, Ciudad de México

En el caso de los materiales de palma del Templo Mayor de Tenochtitlan, nuestro diagnóstico reveló diferentes alteraciones que, proponemos, derivaron de la acción de diversos factores de transformación, cuyo efecto fue variable en función de la proximidad con fuentes de humedad directa (alto nivel freático y fugas de la red de tuberías de agua potable) en el contexto de enterramiento. En efecto, la profundidad del depósito respecto del nivel de calle (6 m, aproximadamente) eliminó por completo la presencia de oxígeno y luz como detonantes de transformación por foto-oxidación. Otro factor positivo para la preservación de los materiales orgánicos fue la presencia de argamasas de piedra y cal, bloques de andesita, y rellenos constructivos de piedra y tierra muy compactos y finos en el contexto, ya que sirvieron para contener la humedad. Alternativamente, la compresión de los materiales del depósito, la erosión generada por el contacto con partículas abrasivas (sedimentos), el suministro de agua por filtraciones, el pH del agua contenida tendente a ácido y la acción de agentes bióticos (bacterias), a nuestro juicio, fueron responsables de las afectaciones macroscópicas y microscópicas de las esteras arqueológicas del Templo Mayor durante su permanencia en el contexto arqueológico. Como resultado de lo anterior, durante nuestra observación éstas presentaron, en lo general, un alto contenido de humedad que, a la par de mantener la estabilidad de la estructura celulósica, generó su debilitamiento por hidrólisis, gran fragilidad, poca cohesión y ausencia de resistencia mecánica, por el rompimiento de las cadenas de polisacáridos.

Aunado a ello, el daño por erosión presente en las paredes de las fibras presumiblemente fue resultado de la acción de bacterias y hongos anaerobios.³ La calidad del agua también puede considerarse un agente de deterioro, ya que los residuos clorados generados por potabilización, así como también la materia orgánica proveniente de las filtraciones de aguas residuales del sistema de drenaje, generó un pH ácido que, definitivamente, propició la degradación de la celulosa constitutiva de las fibras (Unger *et al.* 2001:168). Así, de acuerdo con nuestro diagnóstico, extremas condiciones de acidez, presencia de materia orgánica y anegación produjeron diferentes grados de alteración que se manifiestan en gran rigidez, fuerte contracción y deformación al secado de las esteras, mismas que, como el resto de los materiales orgánicos de las ofrendas votivas, se encontraban en un avanzado estado de pudrición, debido, principalmente, al rompimiento de las cadenas de celulosa, o hidrólisis, de sus componentes esenciales (Figura 2).



FIGURA 2. Artefacto elaborado con fibras duras rescatado por el Proyecto Templo Mayor, séptima temporada (PTM-7), Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), 2008 (Fotografía: Alejandra Alonso, 2008; cortesía: CNCPC-INAH y Proyecto Templo Mayor, séptima temporada, PTM-7, INAH)

³ En términos generales, las bacterias son los organismos colonizadores de todos los ambientes, tanto terrestres como acuáticos, especialmente lacustres, como el centro histórico de la Ciudad de México. En condiciones anaeróbicas, dentro del suelo existe una gran gama de microorganismos que contribuyen a la formación de suelos, naturales o artificiales (Díaz 2006:111-120; Escalante *et al.* 2004:583-593; Unger *et al.* 2001:132-136).

Planteamiento experimental

Como hemos mencionado, la presente INVESTIGACIÓN planteó realizar una serie de pruebas con materiales consolidantes y flexibilizantes⁴ que nos permitieran recuperar resistencia estructural y flexibilidad de las fibras que componen las esteras y las cuerdas arqueológicas tanto en estado seco como húmedo. El desarrollo experimental se limitó a tres sustancias consolidantes: almidón, quitina y lactitol, que permitieran recuperar resistencia física en el secado, y a un flexibilizante —polientielglicol, o PEG— que favoreciera, justamente, la recuperación de la elasticidad física en las fibras.

Consolidantes para fibras duras

De acuerdo con Florian *et al.* (1990:20), los consolidantes para fibras duras idealmente deben ser polímeros naturales, cuyas propiedades deben ser semejantes a las características de los polímeros (homo-polisacáridos) que conforman la celulosa, principal componente de las fibras vegetales. En concurrencia con ello, este trabajo se eligió el almidón,⁵ quitina⁶

⁴ Un consolidante es una sustancia que permite restablecer las propiedades de cohesión de un objeto, así como preservar y proteger la sustancia original para asegurar sus propiedades mecánicas y, entonces, manipular el bien de forma segura (Unger *et al.* 2001:363). Un flexibilizante es una sustancia que se agrega al consolidante para mejorar las propiedades de flexión de la fibra, esto es, que se doble o comprima sin que las fibras se deformen o se rompan (Unger *et al.* 2001:363).

⁵ El almidón es un polisacárido que procede de la polimerización de la glucosa. Los vegetales sintetizan almidón durante el proceso de fotosíntesis, almacenándose en los amiloplastos de reserva en vegetales. Este polímero ofrece características excelentes para su uso como adhesivo en la conservación, puesto que resiste el paso del tiempo, es químicamente estable, mantiene su capacidad de adhesión y es removible, requisitos establecidos como necesarios por las organizaciones internacionales especializadas en la conservación del patrimonio. Los almidones contienen dos estructuras moleculares: una lineal, conocida como *amilosa*, y una ramificada, conocida como *amilo-pectina*. Éstas tienen diferentes propiedades: en el caso de la amilasa, la alta estabilidad de su estructura lineal permite que, al secarse, la disolución forme una fuerte película porque el proceso de disolución de sus moléculas las asocia entre sí de manera que se vinculan por medio de enlaces de hidrógeno; por su parte, la estructura de amilo-pectina es más amorfa: la forma ramificada de sus moléculas no permite que éstas se alineen fácilmente y, por lo tanto, se produce un enlace de hidrógeno y una aglutinación más débil. En consecuencia, es posible deducir que la fuerza adhesiva de los almidones depende de la relación entre los contenidos de amilosa y la amilo-pectina: a mayor amilasa, mayor poder adhesivo (*cf.* Rampton 2005:3).

⁶ La quitina es el segundo aminosacárido más abundante en la Tierra. Se trata de un compuesto similar a la celulosa; es duro y forma parte de los exoesqueletos de los artrópodos, como los crustáceos y los insectos. La quitina es un polímero, es decir, una molécula de gran tamaño constituida esencialmente por azúcares (es un polisacárido) y oxígeno, cuyas moléculas, a su vez, son fibrosas y logran un material de gran resistencia química y mecánica. Un polisacárido es un polímero formado por moléculas más pequeñas que el azúcar encadenadas juntas, de manera

y lactitol,⁷ polímeros que, conforme con estudios previos (Conde 2007; Imazu y Morgòs 1997; Miranda-Ham y Sánchez 1996), contribuyen a la cohesión de las fibras y aumentan su resistencia.

Flexibilizantes para fibras duras

Con el fin de recuperar flexibilidad en las fibras celulósicas en bienes culturales y, así, preservar sus propiedades físicas (textura, flexibilidad y resistencia), varios restauradores han empleado sustancias poliméricas sintéticas, tales como el PEG,⁸ especialmente en su variedad de bajo peso molecular —v. gr. PEG 300—, para facilitar su penetración en el material orgánico (*cf.* Unger *et al.* 2001:406). Adicionalmente, la presentación en estado de gel del PEG 300, al permitir un contacto prolongado, favorece la impregnación de la estructura orgánica y su deposición.

Uso combinado de consolidantes y flexibilizantes para el tratamiento de fibras duras

Para las pruebas experimentales aquí desarrolladas se decidió usar disoluciones particulares en las siguientes proporciones:

- Almidón de arroz⁹ al 1, 2 y 3% en agua
- Quitina al 2% en agua
- Lactitol monohidratado al 30, 40, 50 y 60% en agua
- Polietilenglicol 300 al 10, 20, 30, 40 y 50% en agua

Para sumar las propiedades de los productos de intervención, se decidió emplear mezclas de polímeros de consolidación y flexibilización: lactitol-PEG, almidón-

que su estructura química es muy parecida a la celulosa, salvo que en la quitina el grupo oxidrido de la celulosa se sustituye por un grupo acetilamina. Esto permite un incremento de los enlaces de hidrógeno con los polímeros adyacentes, dándole al material una mayor resistencia (*cf.* Conde 2007).

⁷ El lactitol es un disacárido sintetizado industrialmente a partir del azúcar de la leche (galactosa), un alcohol azucarado formado por radicales de glucosa y galactosa. La estructura química del lactitol es 4- β -D-galactopiranosyl)-D-glucitol. Además, este compuesto es químicamente y microbiológicamente estable, puede soportar altas temperaturas y condiciones alcalinas, su higroscopicidad es baja y tiene antioxidantes, razones por las que se ha utilizado ampliamente en el mundo para la consolidación de madera (*cf.* Imazu y Morgòs 1997, 1999).

⁸ El polietilenglicol, conocido como PEG, presenta una estructura molecular que se caracteriza por su gran número de enlaces de éter y dos grupos de hidroxil terminales, que pueden formar rápidamente puentes de hidrógeno con la celulosa. Las propiedades que lo hacen idóneo para la conservación son: su pH, prácticamente neutro; no es volátil; penetración aceptable; lubricante, alto poder regulador del agua y resistencia al ataque microbiológico (*cf.* Miranda-Ham y Sánchez 1996).

⁹ El almidón utilizado fue el Neutral pH, Pure Rice Starch, Museum Quality Adhesives, de Lineco MC (Holyoke, Massachusetts 01041).

Muestra	Almidón	PEG 300	Muestra	Quitina	PEG300	Muestra	Lactitol	PEG
Muestra 1	Muestra patrón		Muestra 11	2%	10%	Muestra 15	30%	-----
Muestra 2	1%	10%	Muestra 12	2%	20%	Muestra 16	30%	30%
Muestra 3	1%	20%	Muestra 13	2%	30%	Muestra 17	30%	50%
Muestra 4	1%	30%	Muestra 14	2%	-----	Muestra 18	40%	-----
Muestra 5	2%	10%				Muestra 19	40%	30%
Muestra 6	2%	20%				Muestra 20	40%	50%
Muestra 7	2%	30%				Muestra 21	50%	-----
Muestra 8	3%	10%				Muestra 22	50%	30%
Muestra 9	3%	20%				Muestra 23	50%	50%
Muestra 10	3%	30%				Muestra 24	60%	40%

FIGURA 3. Muestras de referencia (patrón) y aquellas procedentes de artefactos arqueológicos rescatados en la Cueva del Lazo, Chiapas, así como pruebas experimentales realizadas (Tabla: Gloria Martha Sánchez Valenzuela, 2008; cortesía: CNCPC-INAH y Proyecto Arqueológico Río La Venta, Chiapas, Università di Bologna [Italia]).

PEG, quitina-PEG en proporción 1:1 volumen/volumen. Las mezclas se aplicaron sobre probetas de material arqueológico en estado húmedo (sin dejar secar) y seco, cuyo registro se sintetiza en las figuras 3 y 4.

Metodología

La metodología empleada implicó cinco fases experimentales.

Muestras de la ofrenda 120		Almidón	PEG 300
Muestra 880/1	Muestra 589/1	Muestra patrón	
Muestra 880/2	Muestra 589/2	1%	10%
Muestra 880/3	Muestra 589/3	1%	20%
Muestra 880/4	Muestra 589/4	1%	30%
Muestra 880/5	Muestra 589/5	2%	10%
Muestra 880/6	Muestra 589/6	2%	20%
Muestra 880/7	Muestra 589/7	2%	30%
Muestra 880/8	Muestra 589/8	3%	10%
Muestra 880/9	Muestra 589/9	3%	20%
Muestra 880/10	Muestra 589/10	3%	30%
Muestras de ofrenda 120		Lactitol	PEG 300
Muestra 880/11		40%	50%
Muestra 880/12 (2.5 cm ²)		40%	50%
Muestra de la ofrenda 125		Lactitol	PEG 300
Muestra 391/1 (2.5 cm ²)		40%	50%

FIGURA 4. Muestras de materiales arqueológicos en acervo del Museo del Templo Mayor (MTM) y pruebas experimentales realizadas (Tabla: María Fernanda Escalante Hernández, 2008; cortesía: CNCPC-INAH y Proyecto Templo Mayor, séptima temporada, PTM-7, INAH).

Elección de muestras

Para un mayor control de los resultados y observar la contracción del tejido se utilizaron 23 muestras de 2 cm² provenientes de una pieza de reciente manufactura de la región de Oaxaca que sirvieron como material de referencia. Además, se seleccionaron 24 muestras de fragmentos de esteras arqueológicas en estado seco,¹⁰ elaboradas con fibra dura (palma), procedentes de la Cueva del Lazo, Chiapas (México); se procuró que fueran de dimensiones semejantes (1 cm², aproximadamente). En paralelo, se escogieron 20 muestras de esteras con alto contenido de humedad provenientes de las ofrendas votivas de la bodega de materiales arqueológicos del Museo del Templo Mayor (MTM-INAH), cuyas dimensiones aproximadas eran de 1 cm² y provenían de las ofrendas 120 y 125; 10 muestras procedieron del artefacto 880, y otras del artefacto 589.

Registro de características físicas y morfológicas iniciales

El proceso experimental evaluó tres variables físicas macroscópicas: dimensiones (ancho, largo y grosor), las cuales se midieron con un vernier en ambos sentidos, registrándolas en centímetros; el peso, que se midió — para tener mayor precisión— con una balanza analítica,

¹⁰ Las muestras se tomaron de fibras sueltas pertenecientes a tres bienes culturales (cuerdas) de la colección, identificados de la siguiente manera: muestra patrón -1- y muestra 24 con número de clave (CNCPC) 60-16/06; las muestras 2 a 7 y 12 a 23 de la cuerda con número de clave (CNCPC) 60-01/06 y las muestras 8 a 11 de la cuerda con número de clave (CNCPC) 60-05/06. Sus datos arqueológicos son: 60-01/06 (194 LAV 97 Y2 EXP1 N16/ E7 CAPA A); 60-05/06 (2 LAV97 Y2 EXP1 N15-E6 CAPA SUPERIOR ASOCIADO A ESQ.1) y 60-16/06 (3 LAV97 Y2 EXP1 N15/E6 CAPA SUP ASOC ESQ.1 CORONA CON TEXTIL).

y el color, basándonos en la paleta cromática Pantone^{®11} y una tabla Munsell. También se ponderaron algunas de las características morfológicas de las fibras por observación en un microscopio electrónico de barrido de bajo vacío Jeol 6460 LV (MEB [SEM, Scanning Electron Microscope]). Antes de someterlas a las pruebas experimentales, se registraron las características físicas y morfológicas de las muestras seleccionadas; con la combinación de procedimientos se buscó evaluar el comportamiento macro y microscópico de las mezclas de consolidante-flexibilizante.

Preparación de las mezclas de consolidante-flexibilizante

Cada una de las soluciones de consolidantes y flexibilizante: almidón, quitina, lactitol y PEG, se preparó por separado en las concentraciones descritas. Posteriormente, se hizo la mezcla consolidante-flexibilizante (1:1). Cabe puntualizar que las 20 muestras arqueológicas con alto contenido de humedad procedentes del MTM-INAH se destinaron a las pruebas con almidón con PEG 300 en las diferentes concentraciones y en proporción 1:1. Para disolver el lactitol al 40% en agua fue necesario calentarlo, después se mezcló uno a uno con el PEG 300 al 50% en agua. Todas las mezclas de consolidante-flexibilizante se encontraban frías al momento de aplicarlas en las muestras.

Aplicación de mezclas en probetas

A excepción de las de referencia, todas las muestras se sumergieron en las diferentes concentraciones de consolidantes (almidón al 1%, al 2% y al 3%) y sus mezclas en solución con flexibilizante (PEG 300 al 10%, al 20% y al 30%) para asegurar su impregnación. Mientras que las muestras secas permanecieron en inmersión por 2 h, las húmedas sólo se mantuvieron por 15 minutos. Para las pruebas con lactitol-PEG en materiales húmedos, tomaron cuatro muestras adicionales de 1 cm², que se eligieron por razón de que presentaban un alto grado de deterioro por hidrólisis. Las fibras húmedas restantes se consolidaron por inmersión durante 48 h en lactitol monohidratado 40%-PEG 300 50% (1:1). Las muestras se consolidaron mediante el sistema de inmersión durante un lapso de 2 h, para asegurar la impregnación en toda la fibra.

Todas las muestras, una vez impregnadas, se extrajeron del recipiente y se colocaron en cajas de Petri para proceder a un secado paulatino dentro de una cámara cerrada con Tyvek[®]. El secado, a temperatura ambien-

¹¹ Pantone[®] LLC, conocido mundialmente como el lenguaje estándar para la comunicación del color, es una subsidiaria propiedad de X-Rite Incorporated y es reconocida como el proveedor de sistemas de color, así como la tecnología líder para la selección y la comunicación precisa del color a través de una variedad de industrias (Pantone LLC 2016).

te, tomó tres días para las fibras procedentes de contexto seco, mientras que requirió dos semanas para aquellas derivadas de contexto húmedo.

Registro de cambios físicos y morfológicos finales

Los cambios físicos finales se registraron nuevamente conforme a las variables por analizar: dimensión, peso y color, para compararlas con los valores iniciales.

Adicionalmente, se observaron en MEB aquellas muestras que mostraron los mejores resultados de evaluación física macroscópica, con el fin de valorar la impregnación de los consolidantes-flexibilizante en las fibras antes y después del proceso, así como comprobar las modificaciones de las características morfológicas de las fibras.

Análisis de resultados

Se analizaron las tablas elaboradas con cada una de las variables consideradas: peso, dimensiones, color y apariencia, antes y después del proceso de inmersión de las probetas, para registrar el comportamiento de cada una de ellas y determinar cuál fue la mezcla que mejores resultados arrojó para los fines de conservación.

Resultados

Evaluación física macroscópica

Esteras de fibras duras procedentes de contexto arqueológico seco: material etnográfico de referencia y probetas de material arqueológico de la Cueva del Lazo, Chiapas

La aplicación de almidón-PEG resultó una alternativa poco apropiada, ya que, aparte de dejar las fibras quebradizas, generó una gran contracción en sentido transversal, provocando espacios libres entre los ligamentos, lo que, a su vez, causó una deformación completa del tejido. La contracción produjo, además, roturas en la fibra, principalmente en sentido longitudinal. Asimismo, en la superficie quedaron restos del almidón, formando un velo blanquecino sobre el cual, en algunas muestras, se empezaron a desarrollar microorganismos. De las nueve muestras a las que se les aplicó almidón, la que mejores resultados evidenció fue la mezcla de almidón 3%-PEG 30%; sin embargo, incluso en ésta los resultados no fueron del todo satisfactorios, debido a que la fibra se mantuvo quebradiza.

La inmersión en quitina tampoco fue adecuada, ya que provocó la mayor contracción en las fibras tanto en sentido longitudinal como transversal, lo que deforma grandemente las muestras. Cuando se empleó una mezcla en combinación con el PEG, mejoraron ligeramente las características morfológicas finales, primordialmente, en cuanto a contracción se refiere. Sin embargo, se depositó una película entre los ligamentos del tejido, que cambió de manera considerable el color de la muestra.

El lactitol fue el consolidante que proporcionó mejores resultados. Cuando se aplicó sin flexibilizante, las fibras tendieron a deformarse y quedaron cristales en superficie que, no obstante, se eliminaron con la sola limpieza superficial con hisopo y agua caliente. Al combinar el lactitol con el PEG mejoraron los resultados experimentales, ya que, en lugar de que las fibras se contrajeran, presentaron hinchamiento en ambos sentidos, efecto que ayudó a conservar el tejido sin que sufriera deformaciones (Figuras 5 y 6). Aunque este cambio ciertamente significó

un ligero aumento en las dimensiones de las probetas, se valoró como un resultado adecuado, en tanto indicador de que las fibras se hidrataron y de que el consolidante penetró en los canales, devolviéndole al objeto sus características de flexibilidad y resistencia, lo que aumenta su estabilidad ante la manipulación. Cabe subrayar que las muestras tratadas con lactitol 40%-PEG 50%, lactitol 50%-PEG 30% y lactitol 50%-PEG 50% fueron las de mejores resultados en la evaluación de características físicas macroscópicas, aunque producen un cambio de color

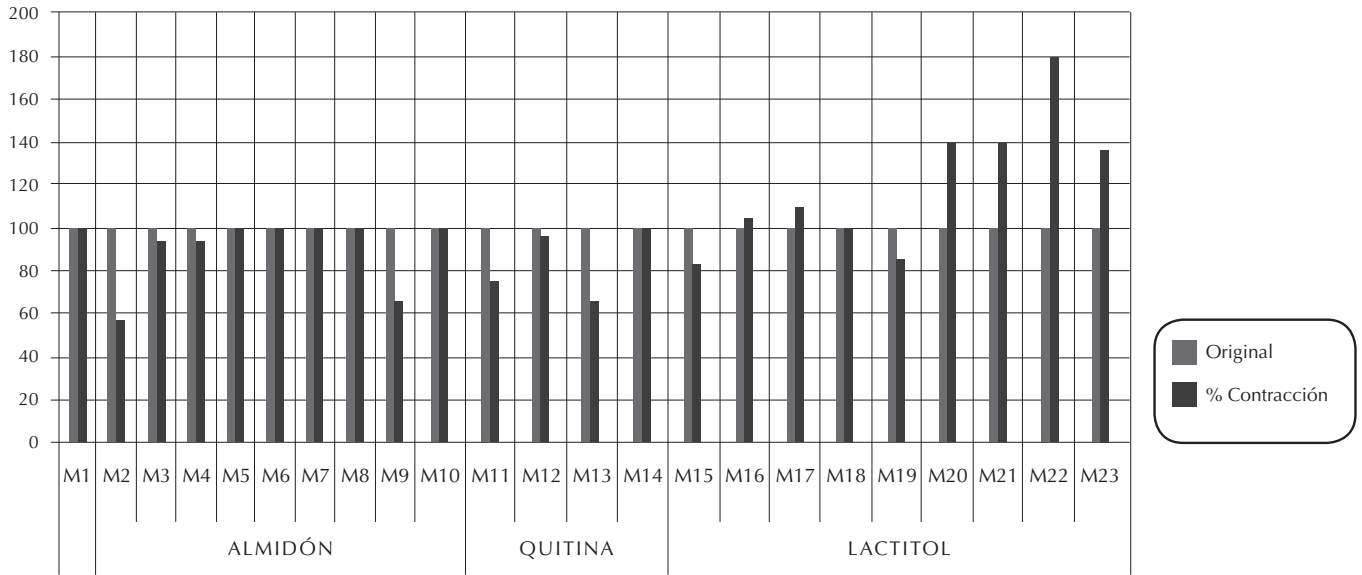


FIGURA 5. Índices de contracción de las fibras en sentido transversal de las muestras procedentes de la Cueva del Lazo, Chiapas (Gráfica: Gloria Martha Sánchez Valenzuela, 2008; cortesía: CNCPC-INAH).

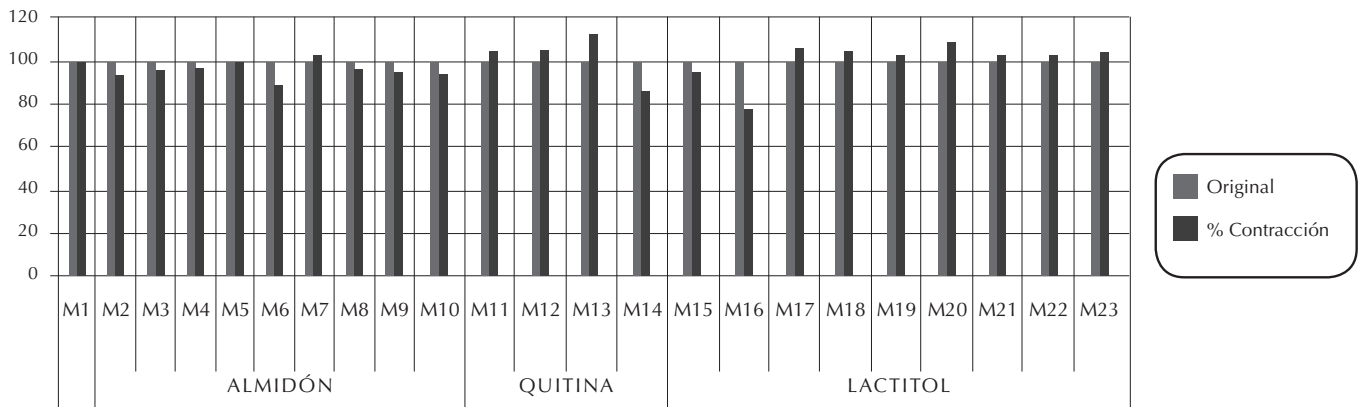


FIGURA 6. Índices de contracción de las fibras en sentido longitudinal de las muestras de artefactos recuperados en la Cueva del Lazo, Chiapas (Gráfica: Martha Sánchez Valenzuela, 2008; cortesía: CNCPC-INAH).

VARIACIÓN EN PESO (ofrendas 880 y 589)

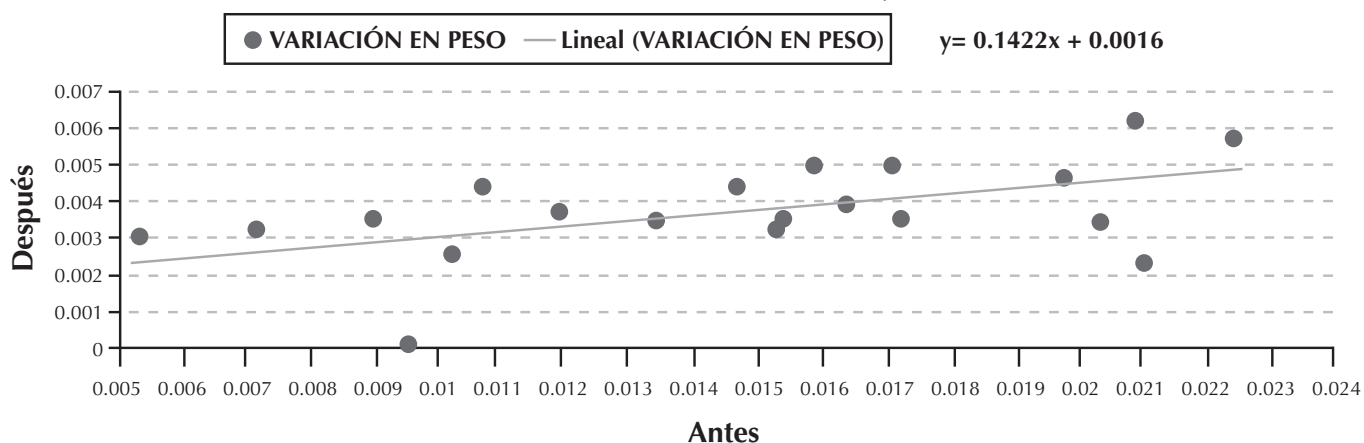


FIGURA 7. Variación en peso por tratamiento experimental en muestras procedentes de las ofrendas 880 y 589 del Museo del Templo Mayor (MTM) (Gráfica: María Fernanda Escalante Hernández, 2008; cortesía: CNCPC-INAH).

en la fibra, ya que ésta se oscurece ligeramente al quedar hidratada,¹² condición que, sin embargo, favorece la conservación de la pieza.

Esteras de fibras duras procedentes de contexto arqueológico húmedo: probetas de material arqueológico del Museo del Templo Mayor (MTM), Ciudad de México

El tratamiento de consolidación con almidón produjo un resultado pobre, pues a pesar de que las muestras se encontraban completas al final del secado, durante su manipulación en los procesos el registro de cambios físicos se generaron rupturas por la excesiva rigidez obtenida; de hecho, se documentó una gran tendencia a la fragmentación tanto en dirección a la fibra como en sentido perpendicular a ella. Es importante mencionar que la contracción producida por el almidón no fue homogénea en las diferentes muestras: tal como se expone en la Figura 7, la muestra 880/5 y la 880/8 presentaron el mayor índice de reducción de volumen. Considerando que en estas probetas el porcentaje de PEG 300 era de 10%, podemos inferir que, en la medida que se usa un menor porcentaje de este flexibilizante, se produce una mayor contracción. Asimismo, con base en la observación de este comportamiento, planteamos que la idea de que el flexibilizante actúa rellenando la estructura de la fibra de la palma y el almidón no cumple con el objeto de proporcionar cohesión a la fibra, ya que la rigidez es tal que ésta se rompe.

Es notable, además, que las muestras con la mezcla de PEG 300 al 30% (880/3, 880/6, 880/9) presentaron una mayor contracción que las de 20% (880/4, 880/7, 880/10); esto podría indicar que, ante una alta concentración de este flexibilizante, se impide la penetración del

¹² Cabe recordar que, al ser una fibra completamente reseca, la pérdida de humedad genera una disminución en la saturación del color, lo que significa que, al aplicar cualquier producto que la hidrate, a la par se altera la apariencia física del material.

almidón y parte del agua que se encontraba en la mezcla ocupó el espacio de la estructura, por lo que la muestra se contrajo al secarse. Este comportamiento parece confirmarse con lo observado en las muestras con 30% de PEG, pues, al secar, presentaron una capa blanca en superficie que, probablemente, es el almidón.

Es de destacar que también se manifestó un patrón de contracción diferencial entre muestras tratadas con lactitol.¹³ No obstante, en general las pruebas con este consolidante tuvieron algunos buenos resultados: después del secado, las fibras de las muestras presentaron gran manejabilidad, obtuvieron coherencia física y se unieron unas a otras, conservando la estructura del ligamento del tejido. Además, experimentaron poca pérdida de peso y contracción. Estos parámetros deben contrastarse con otros resultados no del todo satisfactorios: las muestras sufrieron cambios drásticos en la flexibilidad/rigidez, dependiendo del aumento/disminución de la HR ambiental, cuyos extremos reportaron desde textura pegajosa hasta fragilidad estructural. Por ello, consideramos no sólo que el tratamiento es poco controlable sino que también genera una gran inestabilidad en las características de las fibras. De hecho, para lograr que el material orgánico fibroso preserve cierta flexibilidad y manejabilidad, es necesario que se controlen las condiciones de exposición de los materiales intervenidos, manteniendo una HR constante (35%, aproximadamente).¹⁴ Ahora bien, en

¹³ Planteamos que una forma de evitar contracciones diferenciales consistiría en realizar cortes transversales de las muestras, lo cual, sin embargo, puede ser imposible en ejemplares con fibras con alto grado de alteración, como en el caso que nos ocupa. También creemos, no obstante, que las diferencias de disminución de volumen en las muestras de los artefactos 880 y 589 podrían haberse debido a la naturaleza de la fibra o a algún otro factor que no se logró advertir durante la evaluación de muestras, y no a la interacción con el consolidante-flexibilizante.

¹⁴ Cabe señalar que la absorción de humedad ambiental por el PEG no siempre es evidente en muestras pequeñas; sin embargo, planteamos

concordancia con Imazu y Morgòs (1997: 238-239), las variaciones de este comportamiento postratamiento no debe adjudicarse al lactitol, el cual mantiene estabilidad ante humedades hasta de 80%, sino al PEG. Efectivamente, este último es un material sumamente higroscópico que no sólo empieza a hidratarse a partir de su exposición a condiciones de 23% HR, sino que ya en un ambiente de 43% HR sufre variaciones considerables de volumen (Imazu y Morgòs 1997:238-239). Por lo tanto, es nuestra opinión que si con el proceso de consolidación buscamos lograr una estabilidad de las fibras, la higroscopicidad del PEG representa una limitante; por ello, aquí sugerimos probar con variantes con peso molecular bajo, que presumiblemente presentarán un mejor comportamiento ante un ambiente con alto contenido de humedad.

Ahora bien, dado que las mezclas de lactitol-PEG fueron las que mejores resultados proporcionaron a escala macroscópica, se decidió realizar dos pruebas más variando tanto las concentraciones de la tabla inicial como el método de aplicación. De tal forma, se preparó una mezcla de lactitol al 60%-PEG 40% con la intención de aumentar la resistencia, y, en lugar de aplicar la solución por inmersión y en caliente, se aplicó por goteo y en frío para que las fibras absorbieran el producto lentamente. El resultado fue una importante disminución en el riesgo de deformación, lo cual motivó a quienes suscriben a incluir estas muestras en la observación microscópica, conjuntamente con aquellas con otras soluciones consolidantes que presentaron mejores resultados.

En material arqueológico anegado no se realizaron pruebas con quitina, ya que, debido a los resultados negativos obtenidos en fibras secas, se optó por no sacrificar las mínimas muestras con que contábamos ni someterlas a esta sustancia, lo que con mayor probabilidad tendría resultados negativos. Adicionalmente, otro factor que importó en la decisión fue que la quitina se encontraba en medio ácido, lo cual empeoraría en mayor grado la hidrólisis de las fibras deterioradas.

Resultados de la evaluación en microscopia electrónica de barrido (MEB)

El análisis al microscopio que se realizó en las muestras que habían reportado los mejores resultados macroscópicos involucró la preparación de cortes longitudinales. En los resultados que se presentan a continuación dilucida-

que éste es un factor que podría ser responsable de que los resultados de peso y medidas cambien según la cantidad de humedad que haya absorbido el PEG. Así, la comparación del peso inicial y final determinó que las muestras más pesadas son las que proporcionalmente perdieron más agua, y que existe una homogeneidad en la pérdida de peso, lo que se representa en la Figura 5, por la línea de variación de peso. Es interesante notar que las que pierden más peso no son necesariamente las que se contraen más.

mos nuevos datos sobre el comportamiento de las mezclas consolidantes.

Fibras de esteras procedentes de contexto arqueológico seco de la Cueva del Lazo, Chiapas

Las muestras seleccionadas para observar en el MEB fueron aquellas que mejores resultados mostraron macroscópicamente tras la aplicación de los procesos. Se observaron en sentido longitudinal y transversal:

- Muestra 1 o patrón (60-16/06): fibra dura de palma sin aplicación consolidante y/o flexibilizante
- Muestra 10 (60-05/06): almidón 3%-PEG 300 30% 1:1
- Muestra 13 (60-01/06): quitina 2%-PEG 300 30% 1:1
- Muestra 14 (60-01/06): quitina 2%
- Muestra 21 (60-01/06): lactitol 50%
- Muestra 22 (60-01/06): lactitol 50%-PEG 300 30% 1:1
- Muestra 24 (60-16/06): lactitol 60%-PEG 300 40% 1:1

Almidón-PEG: En el corte longitudinal se observan las partículas de tierra y almidón depositadas sobre la superficie exterior de la epidermis, así como varias grietas longitudinales, provocadas por la contracción de las fibras en sentido transversal. En corte transversal no se distingue penetración del producto (Figura 8).

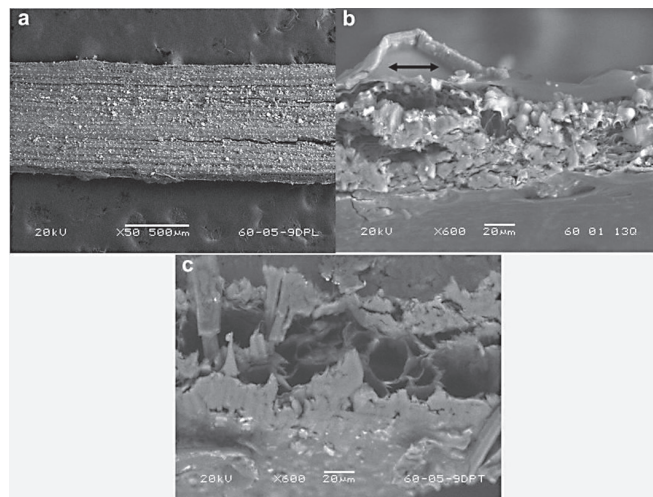


FIGURA 8. Muestras consolidadas con almidón procedentes de artefactos descubiertos en la Cueva del Lazo, Chiapas: a) MEB 50x, corte longitudinal; b) MEB 600x, imagen en que advierte la contracción transversal; c) MEB 600x, imagen en la que se aprecia que el almidón no penetró. Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia (SLAA-INAH). (Fotografías: José Antonio Alva Medina y Gloria Martha Sánchez Valenzuela, 2009; cortesía: CNCPC-INAH).

Quitina-PEG: Se observa la formación de una película heterogénea sobre la superficie de la epidermis tanto en el corte longitudinal como en el transversal de las mues-

tras. También se aprecia penetración del consolidante-flexibilizante entre las células del parénquima,¹⁵ así como una deformación de sus paredes, la cual, se presume, fue provocada por la contracción de la quitina-PEG (Figura 9).

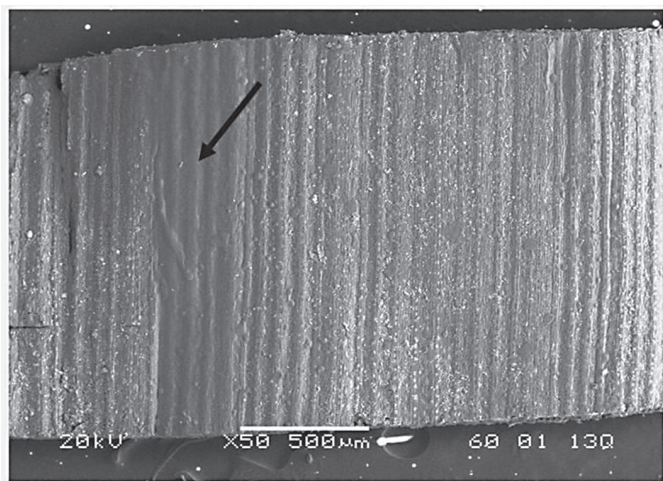


FIGURA 9. Muestra procedente de artefacto arqueológico descubierto en la Cueva del Lazo, Chiapas, consolidada con quitina en la que se muestra el recubrimiento, MEB 50x (Fotografía: José Antonio Alva Medina, SLAA-INAH; Gloria Martha Sánchez Valenzuela, CNCPC-INAH, 2009; cortesía: CNCPC-INAH).

Lactitol: El lactitol al 50% sin flexibilizante formó una capa heterogénea alrededor de la epidermis; las células del parénquima se deformaron y no se observa la cristalización del producto consolidante en superficie (Figura 10).

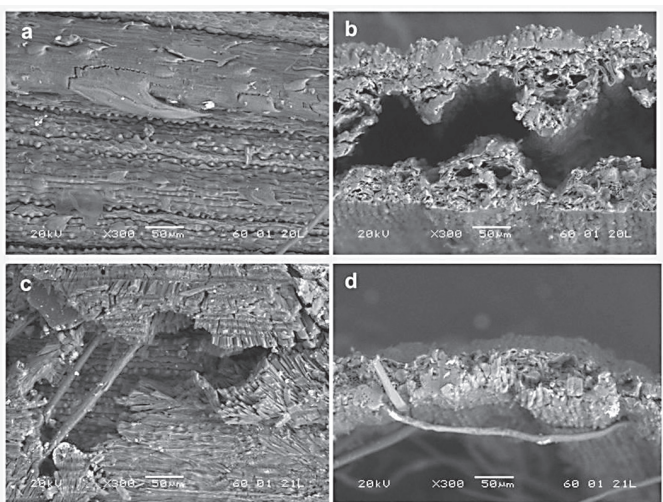


FIGURA 10. Muestras de artefactos arqueológicos descubiertos en la Cueva del Lazo, Chiapas, consolidadas con lactitol al 50%, MEB 300x (Fotografías: José Antonio Alva Medina, SLAA-INAH; Gloria Martha Sánchez Valenzuela, CNCPC-INAH, 2009, cortesía: CNCPC-INAH).

¹⁵ Las células del parénquima se encargan del sistema metabólico de la planta; son de pared delgada y tienen la función de producir y almacenar almidones, pigmentos, ceras, resinas, cristales, aceites y taninos (Florian *et al.* 1990:9).

Lactitol-PEG: En la muestra impregnada con lactitol 50%-PEG 30% se evidenció la formación de cristales tanto en la superficie de la epidermis como en el interior de las paredes del parénquima. Las muestras impregnadas con lactitol al 60%-PEG 40% evidenciaron una mayor penetración del producto consolidante-flexibilizante (Figura 11). En fibras secas la adición de PEG es recomendable para recuperar su flexibilidad, lo que evita su rigidez y ruptura por efecto del consolidante, mientras que en material anegado y con alto nivel de hidrólisis y material original residual limitado (celulosa y lignina) la aplicación de PEG no es tan efectiva, puesto que convierte la fibra en un material muy reactivo a la humedad relativa del aire. El lactitol resulta ser un consolidante apropiado y efectivo para cuerpos leñosos o maderables, donde la rigidez es una propiedad mecánica esperada y buscada, mientras que en las fibras duras tal propiedad no es recomendable, por razón de que elimina o disminuye la flexibilidad, aumenta la rigidez alcanzada y fragiliza el objeto.

Éste es un primer acercamiento a la combinación de ambos productos, y se recomienda probar otros porcentajes y métodos de aplicación para hallar el óptimo balance entre resistencia mecánica y flexibilidad.

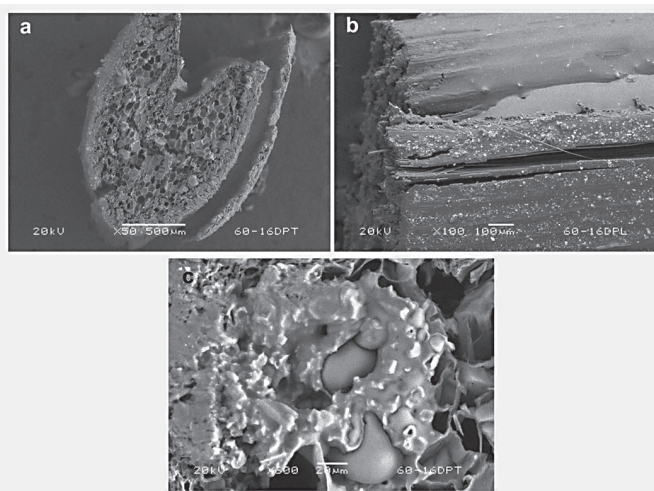


FIGURA 11. Muestras procedentes de artefactos arqueológicos descubiertos en la cueva del Lazo Chiapas, consolidadas con lactitol al 60%-PEG 40%: a) MEB 50x, corte transversal en que se observa la penetración; b) MEB 100x, capa superficial generada por aplicación por aspersión; c) MEB 600x, resultado por aplicación por goteo (Fotografías: José Antonio Alva Medina, SLAA-INAH; Gloria Martha Sánchez Valenzuela, CNCPC-INAH, 2009, cortesía: CNCPC-INAH).

Fibras de esteras procedentes de contextos arqueológicos: Museo del Templo Mayor (MTM), Ciudad de México

Para el análisis por MEB se seleccionaron, además de aquellas de referencia, las siguientes muestras: almidón 3%-PEG 20%, almidón 3%-PEG 20%, lactitol 40%-PEG 20% y lactitol 40%-PEG 20%, cuyos resultados se enuncian a continuación.

Muestra de referencia: se observó la forma en que originalmente estaban las fibras, donde fueron evidentes

los deterioros sufridos: separación, falta de orden y gran cantidad de sedimentos depositada en la superficie (Figura 12).

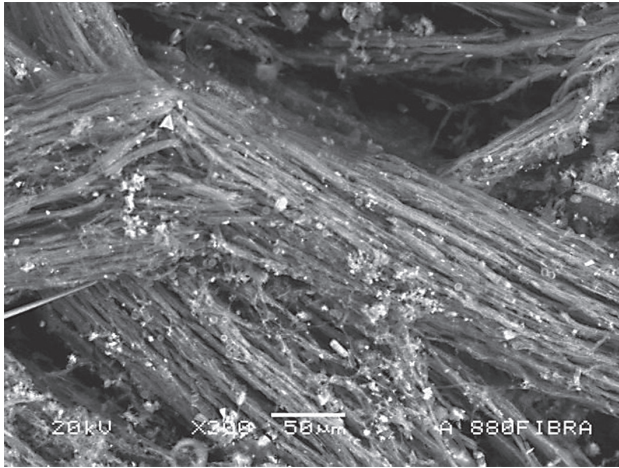


FIGURA 12. Muestra procedente de artefacto arqueológico en acervo del Museo Templo Mayor (MTM-INAH), MEB 300x, se observa el estado de las fibras antes de ser intervenidas (Fotografías: José Antonio Alva Medina; María Fernanda Escalante Hernández, ENCRYM-INAH, 2009, cortesía: CNCPC-INAH).

Almidón-PEG: En las muestras consolidadas con almidón 3%-PEG 20% se observó que el primero formaba una capa irregular en superficie, indicativa de que la sustancia penetró pobremente en las fibras; incluso en algunas se detectaron áreas que carecían de material que las aglutinara.

Lactitol-PEG: Se detectó una capa homogénea que recubre casi por completo la superficie y une a las fibras. También se registró la formación de los cristales del lactitol en la superficie de la fibra y en algunas otras secciones intermedias (Figura 13).

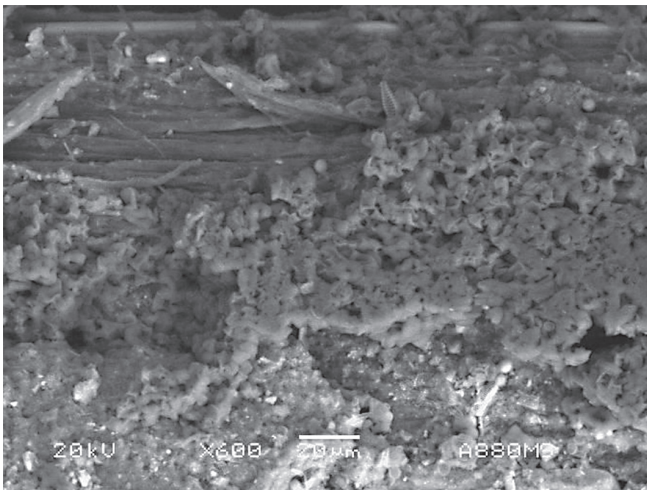


FIGURA 13. Muestra procedente de artefacto arqueológico en acervo del Museo Templo Mayor (MTM-INAH), intervenidas con almidón 3%-PEG 300 20%, MEB 600x (Fotografía: José Antonio Alva Medina, SLAA-INAH; María Fernanda Escalante Hernández, ENCRYM-INAH, 2009; cortesía: CNCPC-INAH).

Gracias al estudio por MEB se evidenció que el sedimento y otros materiales ajenos a la fibra que se depositaron en su superficie se incluyeron por completo en la capa de consolidante-flexibilizante, por lo cual será prácticamente imposible eliminarlos después del tratamiento. En los casos en que sea factible, antes de la consolidación, realizar una limpieza para deshacerse de los sedimentos sin perjudicar la estabilidad de la fibra, ésta debe practicarse; en otros, como el nuestro, no fue viable eliminarlos a causa de la fragilidad estructural, por lo que quedaron incluidos en la misma, pero su deposición no perjudica el comportamiento posterior al tratamiento: incluso es material de relleno que, con seguridad, genera cohesión, mientras que tampoco altera visualmente al objeto a escala macroscópica.

Desafortunadamente, debido a que este estudio no incluyó la preparación de cortes transversales, no fue posible determinar la penetración de los consolidantes-flexibilizantes (particularmente, del lactitol-PEG) en la estructura de las fibras en diferentes sentidos. Asimismo, queda pendiente la observación en MEB de fibras tratadas con ciertas sustancias consolidantes: almidón solo, con PEG y con lactitol, para completar el estudio de su comportamiento en las fibras (Figura 14).

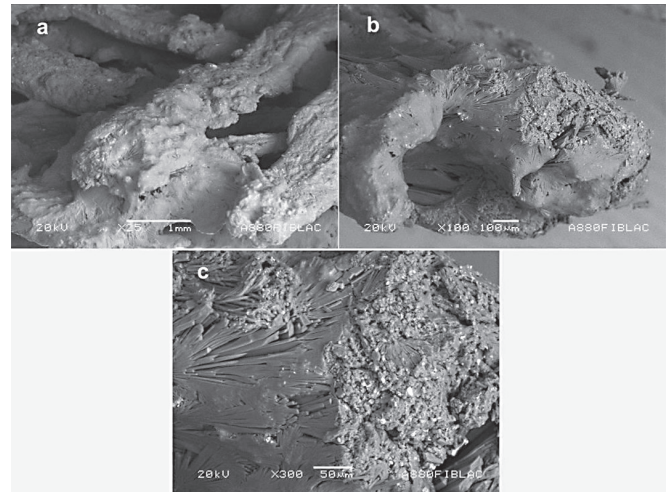


FIGURA 14. Muestras procedentes de artefactos arqueológicos en acervo del Museo Templo Mayor (MTM-INAH), intervenidas con lactitol-PEG: a) MEB 25x, se observa la unión de las fibras; b) MEB 100x, se aprecia la capa superficial y la penetración; c) MEB 300x, forma de los cristales (Fotografías: José Antonio Alva Medina, SLAA-INAH; María Fernanda Escalante Hernández, ENCRYM-INAH, 2009, cortesía: CNCPC-INAH).

Discusión y consideraciones finales

Con base en el desarrollo experimental aquí expuesto, podemos afirmar que:

El lactitol es el consolidante que proporciona resultados aceptables para la conservación de fibras duras (palma) arqueológicas; su comportamiento mejora al añadirle un producto flexibilizante como el PEG. En el caso de fibras procedentes de contextos secos, este resultado es

aún más evidente, ya que la aplicación de lactitol-PEG reduce la contracción de las células del parénquima. Cabe recalcar que en este tipo de materiales es muy importante el método de aplicación y de secado, que deben efectuarse de manera controlada y paulatina para lograr resultados completamente satisfactorios. Nuestra investigación señala que en los materiales de la Cueva del Lazo el método de aplicación por inmersión generó un secado rápido que no favorece la penetración de la disolución, mientras que una aplicación paulatina, por goteo, ayudó a que penetrara la mezcla de consolidante-flexibilizante, llegando a las estructuras internas de las fibras, recubriendo gran parte de los elementos celulares, formando una capa o película que disminuyó la contracción de las fibras, evitando así la deformación de los tejidos y, al mismo tiempo, aumentando la resistencia ante la manipulación. Estos efectos positivos se beneficiaron por el procedimiento de secado paulatino, que impidió que se formaran cristales en superficie, a la par de que creó un recubrimiento más homogéneo.

En una valoración de las pruebas realizadas sobre las fibras con alto contenido de humedad procedentes del Templo Mayor de Tenochtitlan, el producto que obtuvo los mejores resultados en diversas escalas fue el lactitol monohidratado (sin flexibilizante). En general, tal como señalan los creadores del método, Imazu y Morgòs (1999:10), su uso es una técnica muy eficiente, pues es fácil de controlar y aplicar, es estable en diversos rangos de pH y de temperatura, tiene resistencia al crecimiento de microorganismos, su higroscopicidad es baja, lo que, en suma, lo hace un producto fácilmente aplicable, incluso *in situ*. Además, como se usa con cierta regularidad en la industria, es fácil de conseguir y relativamente económico. No obstante, su combinación con el PEG no fue una buena opción, principalmente, por la alta higroscopicidad de este último, a lo cual debe agregarse el hecho de que se oxida y forma ácidos orgánicos en altas temperaturas (cfr. Imazu y Morgòs 1999:10).

Nuestra investigación también subrayó la importancia del control de los métodos de aplicación y secado para la consolidación de fibras duras húmedas. En general no fue apropiado haber sumergido las muestras en el lactitol frío, pues ocasionó que los cristales se quedaran en superficie y que ese alcohol no penetrara del todo en las fibras.

Respecto de los análisis y parámetros establecidos para evaluar la efectividad de las muestras, en especial el caso del lactitol, concluimos que es necesario hacer pruebas de mayor alcance y precisión, ya que nuestra investigación sólo abarcó cuatro variables con diversidad de proporciones (40%-50%), así como un limitado número de criterios de evaluación. De modo que, aunque ya hemos establecido algunas conclusiones sobre buenos resultados, debemos determinar las proporciones exactas que en las fibras con pobres propiedades físicas y mecánicas producen los mejores efectos. Consideramos que aún

sigue vigente la idea del uso combinado de un consolidante con un flexibilizante. Sin embargo, ahora nos queda la tarea de investigar y buscar un material estable que nos ayude a evitar la rigidez que en ocasiones produce el lactitol, y, una vez que lo hallemos, hacer las pruebas pertinentes con el fin de establecer una concentración adecuada para la consolidación de fibras duras y semirrígidas provenientes de contextos anegados.

En lo que toca al análisis con el MEB, la mayor limitación de nuestra investigación fue no haber realizado cortes transversales para determinar el grosor de la capa que forma el lactitol en superficie y los rangos de penetración al interior de la fibra. Esto es de gran importancia para evaluar la verdadera efectividad del proceso, pues, a pesar de que, gracias al microscopio, se detectó que se formaron cristales en secciones internas de la fibra, no logramos reconocer si se está efectuando una consolidación como tal.

Vale apuntar que la consolidación de las fibras vegetales de esteras provenientes de contextos arqueológicos inundados aún es un reto dentro del trabajo de conservación. Todavía falta mucho por investigar antes de encontrar soluciones cada vez más satisfactorias y adecuadas para este tipo de bienes culturales. Sin embargo, este primer acercamiento nos muestra un panorama general del comportamiento de algunos consolidantes, a la par que, en nuestra opinión, traza el camino a seguir para perfeccionar el método y encontrar las opciones más apropiadas para la conservación de bienes tejidos con fibras duras. Así, proponemos seguir investigando con diferentes materiales. Entre ellos, sugerimos, por un lado, la combinación lactitol-trehalosa,¹⁶ cuya mezcla permite aumentar tanto las concentraciones, hasta 90%, como el punto de fusión y, en el secado, disminuir el tamaño del cristal que se forma adecuándose más a las intersecciones de las fibras, y por otro, el Klucel[®] (AIC Wiki 2016), material que se emplea en la consolidación de pulpa de celulosa (Page 1997); sin embargo, no tenemos referencia de su aplicación en fibras duras, que, por sus características y propiedades, podría aumentar la resistencia y, al ser factible su disolución en alcohol, facilitar la penetración en las fibras.

Por último, es de destacar que este estudio nos permitió evaluar la dificultad de encontrar un balance entre la

¹⁶ Trehalosa (α-D-glucopiranosil-(1,1)-α-D-glucopiranosido). Es un disacárido no reductor formado por dos moléculas de glucosa, donde la unión glucosídica es de tipo α (1-1) e involucra los grupos OH de los dos carbonos anoméricos. Partiendo de dos glucosas reductoras dulces, se consigue un disacárido no reductor con un bajo poder edulcorante. Se encuentra presente en una amplia gama de organismos, y lleva a cabo funciones como azúcar de reserva y protector ante el estrés abiótico. Posee amplias aplicaciones biotecnológicas, puesto que protege proteínas y membranas biológicas, lo cual permite que pueda usarse como preservador de alimentos, enzimas, vacunas, células, tejidos y órganos (Schiraldi *et al.* 2002:420-425).

sustancia consolidante, que debe proporcionar estabilidad y resistencia mecánica, con un flexibilizante, que recupere esta propiedad original de las fibras. Esta experiencia nos llevó a entender la complejidad del tratamiento y las múltiples variables que influyen en el resultado final. Debido al gran deterioro de estos materiales, no es posible realizar mediciones rigurosas sobre el mejoramiento de la propiedad de flexión, ya que el resultado es aún limitado debido a los múltiples puntos de fractura de la fibra como resultado de su alteración y la recuperación de tal propiedad repercute en la estabilidad mecánica, que se percibe macroscópicamente al tacto y en la manipulación del objeto. Con este tipo de prácticas experimentales se sistematizan los procedimientos y los indicadores de evaluación que deben crearse y considerarse a futuro para optar o descartar su uso.

Agradecimientos

Nuestra gratitud al Proyecto Arqueológico Río La Venta, Chiapas; en particular, al doctor Davide Dominici, por todas las gestiones realizadas que, a nombre de la Università di Bologna, Italia, la Secretaría de Relaciones Exteriores de Italia y la Associazione La Venta, financiaron los trabajos de conservación de los materiales de origen orgánico recuperados de la Cueva del Lazo, Chiapas.

Agradecemos también al Proyecto Templo Mayor, Séptima Temporada, (PTM-7) y al del Museo del Templo Mayor (MTM), Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), por brindar todas las facilidades para la realización de esta experiencia académica: a su director, el doctor Leonardo López Luján, quien amablemente nos proporcionó las muestras utilizadas en el trabajo experimental, así como los medios para realizar esta investigación, y a las arqueólogas Ximena Chávez, Alejandra Aguirre, Osiris Quezada y Amaranta Argüelles, quienes excavaron las ofrendas 125 y 120 y, además de darnos la posibilidad de utilizar la información generada sobre el contexto y los hallazgos de ambos depósitos, nos facilitaron dibujos, fotografías y nos brindaron el acceso a su registro arqueológico.

Nuestro reconocimiento al ingeniero químico José Antonio Alva Medina y a la maestra Aurora Montúfar, de la Subdirección de Apoyo Académico (SAA) del INAH, quienes nos apoyaron en el análisis de las muestras en MEB y en la identificación visual de las fibras, respectivamente. A la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRYM-INAH), por la utilización de los talleres y laboratorios para llevar a cabo la fase experimental, y a la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC-INAH), por brindarnos los materiales necesarios para la investigación.

Referencias

AIC-Wiki

2016 "Adhesives for Paper", *Paper Conservation Catalog*, American Institute for Conservation-Wiki [página web], documento electrónico disponible en [http://www.conservation-wiki.com/wiki/Adhesives_for_Paper], consultado en noviembre de 2016.

Alonso Olvera, Alejandra, Teresa Reyes Tzompazti y Demetrio Mendoza Anaya

2001 "Conservación de maderas arqueológicas húmedas: perspectiva actual y retos para el futuro en México", *Conserva*, 5:57-79.

Allington, C.

1986 "The Consolidation of Cellulosic Fibre Materials", abstracts of papers presented at Symposium 86: *The Care of Ethnological Materials*, Ottawa, Canadian Conservation Institute, 55-56.

Argüelles, Amaranta y Osiris Quezada

2009 "Proyecto Templo Mayor, Séptima Temporada, Informe de la Operación 2", mecanoescrito, México, MTM-INAH.

Carrlee, Ellen y Dana Senge

2016 "Treatment Results for Waterlogged Archaeological Basketry at the Alaska State Museum", proceedings of the 12th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference. May 13 to 17, 2013 Istanbul, Turkey. Editors Tara Grant and Clifford Cook. Pp. 263-269. Published by the International Council of Museums (ICOM), Committee for Conservation, Working Group on Wet Organic Archaeological Materials. Printed in Canada by Lulu.com

Chávez, Ximena

2009 "Proyecto Templo Mayor Séptima Temporada Informe de la Operación 1", mecanoescrito, México, MTM-INAH.

Conde, Mónica

2007 "Las promesas de la quitina. El segundo polímero natural más abundante", *Ambiente Plástico*, documento electrónico disponible en [http://www.ambienteplastico.com/artman/publish/article_769.php], consultado en noviembre de 2016.

Cruz Flores, Sandra

2004 "Dictamen y propuesta de conservación de los materiales arqueológicos procedentes de la Cueva del Lazo", mecanoescrito, México, CNCPC-INAH.

Díaz Rodríguez, Jorge Abraham

2006 "Los suelos lacustres de la Ciudad de México", *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6 (2):111-130.

Escalante-Lozada, Adelfo, Guillermo Gosset-Lagarda, Alfredo Martínez-Jiménez y Francisco Bolívar-Zapata

2004 "Diversidad bacteriana del suelo: métodos de estudio no dependientes del cultivo microbiano e implicaciones biotecnológicas", 38:583-592.

Florian, Mary-Lou E., Dale Paul Kronkright y Ruth E. Norton

1990 *The Conservation of Artifacts Made from Plant Materials*, Marina del Rey/EUA, The Getty Conservation Institute.

- Imazu, Setzuo y Andràs Morgòs_
- 1997 "Conservation of Waterlogged Wood Using Sugar Alcohol and Comparison the Effectiveness of a lactitol, sucrose, and PEG 4000 treatment", en Per Hoffmann, James A. Spriggs, Kristiane Strætkvern y David Gregory (eds.), *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, York, 1996, Bremerhaven 1997: 235-254.
- 1999 "Lactitol Conservation in an Open Air Environment of Large Wood Elements of a 5th Century, A. D. Dogout Pipeline", en Janet Bridgland (ed.), *ICOM Committee for Conservation 12th Triennial Meeting Lyon*, 29 August-3 September, Londres, James & James, II: 614-618.
- Linares Villanueva, Eliseo
- 1998 "Cuevas arqueológicas del río La Venta, Chiapas", tesis de maestría en arqueología, México, ENAH.
- Miranda-Ham, Susana y Gloria Martha Sánchez Valenzuela
- 1996 "Conservación de textiles y cordelería prehispánica, cuevas: 'El Gallo' y 'La Chagüera', Ticumán, Morelos", tesis de licenciatura en restauración, México, ENCRYM-INAH.
- Page, Susan
- 1997 "Conservation of Nineteenth-century Tracing Paper: a Quick Practical Approach", *The Book and Paper Group Annual*, vol. 16, The American Institute of Conservation, documento electrónico disponible en [<http://cool.conervation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v16/bp16-09.html>], consultado en noviembre de 2016.
- Pantone LLC
- 2016 "About Pantone" [página web], X-Rite, Incorporated, ©Pantone LLC, Carlstand, Nueva Jersey, documento electrónico disponible en [<http://www.pantone.com/about-us?from=topNav>], consultado en octubre de 2016.
- Rampton, Amelia
- 2005 *Almidón de la casaba y almidón de trigo: estudio comparativo para su uso en la conservación de papel*, The Getty Conservation Institute, documento electrónico disponible en [http://ge-iic.com/files/2congresoGE/Almidon_de_la_casaba_y_de_trigo.pdf], consultado en octubre de 2016.
- Schiraldi, Chiara, Isabella di Lernia y Mario de Rosa
- 2002 "Trehalose Production: Exploiting Novel Approaches", *Trends in Biotechnology*, 20 (10):420-425.
- Sease, Catherine
- 1994 *A Conservation Manual for the Field Archaeologist*, Cotsen Institute of Archaeology, documento electrónico disponible en [<https://escholarship.org/uc/item/8ft6488x>], consultado en octubre de 2016.
- Smith, Margaret J., Thomas Hugh Flowers y Frances J. Lennard
- 2015 "Mechanical Properties of Wool and Cotton Yarns Used in Twenty-first century Tapestry: Preparing for the Future by Understanding the Present", *Studies in Conservation*, 60 (6): 1-9, Current Research in Conservation Science Issue.
- Vanden, Berghe
- 2012 "Towards an Early Warning System of Oxidative Degradation of Protein Fibres in Historical Tapestries by Means of Calibrated amino acid Analysis", *Journal of Archaeological Science*, 39 (5):1349-59.
- Unger, Achim, Arno P. Schniewind y Wibke Unger.
- 2001 *Conservation of Wood Artifacts. A Handbook*, Natural science in archaeology, Berlín/Nueva York, Springer.

Síntesis curricular del/os autor/es

Gloria Martha Sánchez Valenzuela

Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC),

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México
marthasmex@hotmail.com

Licenciada en restauración de bienes muebles (ENCRYM-INAH, México), maestra en gestión de patrimonio cultural y doctora en bellas artes (Universidad Complutense de Madrid [UCM], España). Desde 1993 labora en Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México, como responsable de diversos proyectos de conservación arqueológica, tales como: el diagnóstico y conservación de las pinturas murales prehispánicas del estado de Oaxaca; la conservación de las piezas de origen orgánico pertenecientes a la Cueva del Lazo, Chiapas, y de la Cueva de la Candelaria en Torreón, Coahuila, entre otros. Además colabora con la Coordinación Nacional de Museos y Exposiciones (CNME) del INAH en supervisión, peritaje y diagnóstico del patrimonio cultural en exposiciones nacionales e internacionales.

Alejandra Alonso Olvera

Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC),

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México
ale.alonso.olvera@gmail.com

Licenciada en restauración de bienes muebles (ENCRYM-INAH, México), maestra en antropología (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], México) y doctora en arqueología (University of Calgary [UCalgary], Canadá). Desde 1993, colabora como restaurador perito en la CNCPC-INAH, México. Cuen-

ta con experiencia docente en campo y en aula en asignaturas de conservación arqueológica, arqueología y antropología. Tiene a su cargo proyectos de conservación e investigación de bienes arqueológicos diversos, en torno de su alteración y tecnología de manufactura. Se ha centrado en estudiar, experimentar y evaluar métodos de conservación y restauración en objetos de madera y otros de naturaleza orgánica. A su vez, coordina trabajos de restauración en elementos decorativos de la arquitectura en el área maya, y participa en proyectos de investigación sobre procesos de alteración en diversos bienes arqueológicos.

María Fernanda Escalante Hernández

Centro INAH Yucatán, Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México

mariacxa@gmail.com

Egresada de la licenciatura en restauración de bienes muebles (ENCRYM-INAH, México). A partir de octubre del 2012 se integró al INAH como conservadora de bienes arqueológicos: ha colaborado en los proyectos de conservación de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, del Río Bec, Campeche y en el Proyecto Arqueológico del Templo Mayor, Séptima Temporada, Ciudad de México, todos en México. Asimismo, ha participado en la conservación de materiales prehispánicos de los sitios arqueológicos de Nachtún y Holmúl, Guatemala. Actualmente es coordinadora de la sección de conservación y restauración del Centro INAH-Yucatán en donde se ha sumado a las tareas de documentación, diagnóstico, investigación y socialización del patrimonio cultural del estado, particularmente, de los sitios arqueológicos de Mayapán y Chacmultún, México. También trabaja uniendo esfuerzos institucionales con el Departamento de Patrimonio del Ayuntamiento de Mérida, Yucatán, México, para la conservación y difusión de los parques ecoarqueológicos de esa ciudad.

Postulado/Submitted 18.09.2015

Aceptado/Accepted 05.01.2017

Publicado/Published 31.01.2017

