

ENERO-JUNIO 2024  
JANUARY-JUNE 2024

# Tratamiento anóxico para la erradicación de insectos en los libros corales del Museo del Convento de los Descalzos, Lima, Perú

[Go to English version](#)

DOI: 10.30763/Intervencion.296.v1n29.75.2024 · AÑO 15, NÚMERO 29: 149-166

Postulado: 27.09.2023 · Aceptado: 04.03.2024 · Publicado: 31.07.2024

**Javier Nakamatsu**Departamento de Ciencias, Sección Química,  
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP),  
Perú[javier.nakamatsu@pucp.pe](mailto:javier.nakamatsu@pucp.pe)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-7716>**Jhonatan Arízaga**Departamento de Ciencias, Sección Química,  
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP),  
Perú[jjarizagat@pucp.edu.pe](mailto:jjarizagat@pucp.edu.pe)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5752-1032>**Ivon Canseco**Escuela Nacional Superior Autónoma de Bellas  
Artes del Perú (Ensabap),  
Museo de Arte Contemporáneo de Lima (MAC-  
Lima), Perú[imacava@gmail.com](mailto:imacava@gmail.com)ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0181-3153>**Patricia Gonzales**Departamento de Ciencias, Sección Química,  
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP),  
Perú[pgonzales@pucp.pe](mailto:pgonzales@pucp.pe)ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0136-5813>

Corrección de estilo por Alejandro Olmedo

**RESUMEN**

Una de las causas principales de pérdida de patrimonio histórico en los museos es el ataque de insectos. En el Museo del Convento de los Descalzos (Lima, Perú) este problema es muy agudo, especialmente en sus libros corales, que datan de los siglos XVII a XIX, debido a los materiales utilizados en su fabricación. Algunos tratamientos para desinsectar objetos requieren compuestos que pueden dañarlos o que son tóxicos. Una alternativa no agresiva y efectiva para la desinsectación es el tratamiento anóxico. En este caso, los libros fueron introducidos en bolsas de aluminio plastificado llenas de nitrógeno y con un inhibidor de oxígeno. La eficacia del tratamiento fue confirmada con placas radiográficas de los libros. Este método de desinsectación,

poco costoso y fácilmente adaptable, fue exitoso y constituye una buena manera de detener el deterioro por infestación de xilófagos, tanto de los libros corales como de otros objetos de valor artístico e histórico.

### **PALABRAS CLAVE**

libros corales, anoxia, desinsectación, atmósfera inerte

### **INTRODUCCIÓN**

**L**os libros corales (también conocidos como libros de coro o cantorales) son aquellos que contienen los cantos del oficio divino y de la misa. Por lo general, incluyen tanto el texto de los cantos como la música para ellos. Se caracterizan por tener gran tamaño, ya que los cantores debían leerlos a distancia, desde un facistol colocado en el centro del espacio destinado al coro en las iglesias (Sierra, 2014, p. 43). Con frecuencia, al iniciarse la construcción de un monasterio comenzaba también para éste la producción de los libros corales, y, muchas veces, los mismos monjes se encargaban de fabricarlos, con la ayuda de escribanos e iluminadores. En otras ocasiones, el nuevo monasterio adquiría los libros corales de la colección de otro monasterio (García, 2005, p. 152; Sierra, 2014, p. 52). Las dimensiones y la calidad de los libros y su procedencia dependían del tamaño del coro y del facistol, y, principalmente, de los recursos de los que disponía el monasterio (Estrela, 2015, p. 10).

Además del texto y la música de los cantos, estos libros contienen iluminaciones (ilustraciones y aplicaciones metálicas) de diferentes tipos: decorados que abarcan toda la página, orlas, capitulares decoradas, etc. Se utilizaron entre el siglo xv y la primera mitad del siglo xx (aunque su producción ya había comenzado a decaer desde el siglo xvii), y si bien su contenido fue siempre el mismo (los cantos de la Iglesia católica), las iluminaciones pasaron por diversos estilos a lo largo de la historia (Sierra, 2014, p. 48). Por los elementos que los comprenden: texto, música e iluminaciones, estos libros son de gran interés en diversas áreas de estudio, que van desde la historia hasta la musicología.

En su fabricación se empleó gran variedad de materiales, como pieles curtidas, madera, clavos y, en las cubiertas, broches, además de hilos de cáñamo y lino para las costuras. El soporte para la escritura fue, inicialmente, el pergamino y, en tiempos más recientes, el papel. Se utilizaron tintas para la escritura, pigmentos de origen mineral y vegetal para las ilustraciones, aglutinantes para los pigmentos y tintas y aplicaciones metálicas para las ilumina-

ciones (Crespo, 2014, p. 91). La presencia de esta diversidad de materiales heterogéneos en los libros corales y las interacciones entre ellos pueden constituir un punto de partida para su deterioro (Bueno-Vargas, 2006, p. 44; Crespo, 2014, p. 105).

Adicionalmente, puesto que los libros se utilizarían de manera permanente en los ritos católicos, su manipulación constante contribuía a su desgaste, aparte de que en muchos casos sufrían modificaciones a lo largo del tiempo; de modo que se pueden encontrar folios añadidos, raspados, correcciones y remiendos (Bueno-Vargas, 2006, pp. 51-54; Crespo, 2014, p. 105; Sierra, 2014, p. 55). Finalmente, las condiciones ambientales, como la iluminación, las fluctuaciones en la temperatura y en la humedad relativa ( $H_R$ ) y los factores biológicos (hongos e insectos) también actúan a favor de su deterioro (Bueno-Vargas, 2006, pp. 44-45; Crespo, 2014, p. 97).

El Museo del Convento de los Descalzos (distrito del Rímac, Lima, Perú) cuenta con una colección de cerca de 14 000 libros antiguos, entre los que resaltan 30 libros corales que datan de los siglos xvii a xix. El más pequeño mide 53 cm x 46.7 cm y el más grande, 63 cm x 45.5 cm. Están hechos en pergamino y papel, llevan tapas de madera cubiertas con piel y están cosidos con fibra de cáñamo. Están escritos con letra gótica y notación musical cuadrada, en tinta negra sobre pentagramas de líneas en tinta roja. En algunos de ellos, las capitulares están decoradas y otras presentan también, diseños florales policromados y lacerías (Figura 1). Los libros se ubican en la Sala de libros corales en el claustro de San Francisco. Ésta es una habitación no climatizada, con iluminación y ventilación limitadas, sujeta a las temperaturas —no obstante— moderadas y a la elevada humedad, típica de Lima. Si bien, el acceso a esta sala está restringido para evitar la exposición excesiva de los libros a la luz y a otros factores que puedan acelerar su deterioro, las condiciones ambientales ya mencionadas proveen el clima propicio para el desarrollo de xilófagos.

Una de las principales amenazas para la colección son las termitas *Cryptotermes brevis*; se alimentan de la celulosa, principalmente de la madera, y producen un excremento característico, en forma de esferas muy pequeñas, el cual ayuda a evidenciar su presencia. Esas termitas, a diferencia de las de tipo subterráneo, no necesitan estar en contacto con un suelo húmedo: con que la humedad ambiental sea lo suficientemente alta para proporcionarles el agua necesaria, pueden vivir en la madera que han infectado, sin necesidad de salir de ella (Trematerra y Pinniger, 2018, p. 229).

Otros insectos encontrados frecuentemente en las colecciones de libros infestadas son los pececillos de plata o langostos (cono-

ENERO-JUNIO 2024  
JANUARY-JUNE 2024



FIGURA 1. Ilustraciones y escritura al interior de los libros corales (Fotografías: Javier Nakamatsu, Jhonatan Arízaga, Ivon Canseco y Patricia Gonzales; cortesía: Museo del Convento de los Descalzos).

cidos en inglés como *silverfish*), que pertenecen a la especie *Lepisma saccharina*. Son insectos no alados, generalmente de color plateado (de ahí su nombre), que prefieren vivir alejados de la luz y en ambientes húmedos. Se alimentan de diversos materiales orgánicos, como papel, cartón y madera, y, principalmente, de aquellos que contienen polisacáridos, como el almidón o sus derivados. Sus excrementos causan manchas en las superficies de cartón o de papel. El pececillo de plata —así como también algunos otros insectos— puede permanecer inactivo durante meses ante la falta de alimentos, una característica que hace difícil su eliminación (Querner, 2015, p. 601).

Los métodos para lidiar con una infestación por insectos se pueden dividir en dos categorías: los *químicos* (que involucran compuestos tóxicos para los insectos) y los *no químicos*. En el primer grupo existen diversos tipos de tratamientos para desinsectar objetos históricos: con compuestos tóxicos (pesticidas), que se dividen en grupos según la manera en la que se aplican —en forma de polvo (como el *para*-diclorobenceno o el naftaleno)—, con líquidos (agentes biológicos como los piretroides y las hormonas de crecimiento), con aerosoles o gas (como el bromuro de metilo) o por liberación controlada (como el fosfato de 2.2-diclorovinildimetilo) (Linnie y Keatinge, 2000, pp. 1-2; Querner, 2015, p. 597).

El problema con este tipo de tratamientos es que, por lo general, no son efectivos para la destrucción de los huevos de los insectos, además de que exponen a las personas a sustancias tóxicas no sólo durante su aplicación, sino también posteriormente, pues esos compuestos eventualmente quedan impregnados en el material de

los libros. Éste, por otra parte, puede dañarse a causa de reacciones con esos compuestos y, de esta manera, pueden producirse manchas o decoloraciones, especialmente si contienen solventes orgánicos, como ocurre en la mayoría de los casos (Querner, 2015, p. 597; Selwitz y Maekawa, 1998, p. xi). Finalmente, algunos de los compuestos citados son persistentes, de manera que también afectan el medio ambiente a largo plazo.

Entre los métodos no químicos para la eliminación de insectos en piezas de museo se encuentra el tratamiento térmico (aplicación tanto de frío como de calor), la exposición a radiación de microondas, el tratamiento con atmósferas sin oxígeno (anóxicas) y la electrocución (con altos voltajes y bajas corrientes eléctricas). En la práctica, la mayoría de estos métodos no es aplicable a cualquier objeto infestado con insectos.

Una alternativa que se viene utilizando desde hace un tiempo es el tratamiento por choque térmico. Esto requiere someter el objeto infestado a temperaturas a las cuales la mayoría de los insectos no están expuestos normalmente, como es el rango de 15 a 25° C (Valentín, 1998, p. 18). Se ha utilizado el tratamiento térmico, tanto subiendo como bajando la temperatura, para la desinsectación de objetos de museo. Es posible utilizar temperaturas altas, pero dado que, por lo general, esto acelera las reacciones de degradación de los materiales y su deshidratación, su aplicación es limitada a ciertos tipos de materiales y se efectúa sólo en tiempos cortos. Por ejemplo, se ha reportado la exposición durante cuatro horas a 52° C de las piezas infestadas (Museums & Galleries of NSW, 2011), o a temperaturas mayores por unos treinta minutos (Lewis y Haverty, 1996, pp. 928-929).

Otra posibilidad, recientemente planteada y que se está estudiando, es el tratamiento por calentamiento utilizando radiación de microondas. Se ha reportado que los periodos cortos de exposición a microondas (alrededor de dos minutos) de objetos de madera infestados pueden ser suficientes para exterminar los insectos sin llegar a deshidratar o dañar la madera (Chidichimo, Dalena, Rizza, y Beneduci, 2017 p. 5). Por el contrario, la organización benéfica English Heritage, del Reino Unido, ha diseñado procedimientos para el tratamiento en frío, recomendando temperaturas de -18 a -20° C durante catorce días, o tres días a -30° C (Lauder y Pinniger, 2019, p. 1). No obstante, esta técnica se vuelve complicada para el tratamiento de objetos sensibles a estas temperaturas o por la capacidad física de la cámara de tratamiento, la cual se recomienda que sea capaz de bajar la temperatura rápidamente para garantizar su efectividad (Zhang, 2012, p. 335). También se

ha informado del uso de ciclos de congelamiento-descongelamiento con el fin de que la desinsectación sea más efectiva, lo que requiere equipamiento con mayores exigencias técnicas.

En cuanto a la anoxia, consiste en exponer al objeto infestado a una atmósfera deficiente en oxígeno, de tal modo que cause un daño permanente a la plaga (se ha reportado 100% de mortandad en todos los estadios de vida). Una manera de realizar el tratamiento anóxico es introducir el material infestado en una cámara de vacío y retirar el aire. Con esa idea, Chidichimo y compañía expusieron muestras de madera con larvas de *Hylotrupes bajolus* a presiones de  $10^{-2}$  Ba de 8 a 144 horas, ocasionando su muerte por deshidratación entre 10 y 25 días después del tratamiento (Chidichimo, Dalena y Beneduci, 2015, p. 271).

Este tipo de tratamiento también puede llevarse a cabo con cámaras que permiten reemplazar el aire con un gas inerte, generalmente nitrógeno o argón (aunque también se ha utilizado dióxido de carbono). Estos gases son los preferidos debido a cuestiones de seguridad en relación con su manipulación y debido al bajo potencial de daño al objeto a tratar. Esto se puede llevar a cabo en condiciones de humedad y temperatura controladas, lo que, en comparación con la aplicación de vacío, reduce la posibilidad de dañar el objeto tratado. En el caso de los insectos, Chidichimo y compañía explican que el mecanismo que ocasiona la muerte es la desecación. Los espiráculos (agujeros —o aberturas— por los cuáles el oxígeno ingresa en la tráquea de los insectos) son sensibles a la concentración de oxígeno en el aire, de modo que cuando es menor, se abren más y con mayor frecuencia, lo que deshidrata al insecto. Por lo general, una pérdida de 20 a 30% del peso del insecto le causa la muerte (Chidichimo, Dalena y Beneduci, 2015, p. 271).

Las condiciones anóxicas tienen ventajas adicionales: no sólo detienen el desarrollo de los insectos y los hongos, sino también previenen la oxidación de materiales y retardan el desvanecimiento del color de los manuscritos por oxidación de los pigmentos (Hanson, Daniel, Ravenel y Maekawa, 1993, p. 1; Rust y Kennedy, 1993, p. 4; Selwitz y Maekawa, 1998, p. xi; Valentín, 1998, p. 19). Además de la selección del gas que se ha de utilizar, un factor sumamente importante es el tiempo del tratamiento, ya que depende tanto del tipo de insecto y su estadio de desarrollo como de la temperatura y el contenido de oxígeno residual. Dado lo explicado anteriormente, una mayor temperatura, y menor cantidad de oxígeno, requiere un tiempo de tratamiento menor, ya que esas condiciones favorecerían la desecación del insecto. Se han reportado datos para dife-

rentes especies, que van desde uno hasta poco más de veinte días de tratamiento (Selwitz y Maekawa, 1998, p. 46). Sin embargo, la determinación de ese tiempo también depende de los materiales y de la estructura del objeto que se ha de tratar, puesto que se requiere que los gases penetren en todo el material hasta alcanzar a los insectos.

Las labores de conservación preventiva de los libros corales del Museo del Convento de los Descalzos se iniciaron en 2013. Ese año, la Segunda Jornada de Arte, organizada por el museo, llevó como tema: El libro es arte. Conservación preventiva en bibliotecas. El evento contó con la presencia de una especialista en conservación y restauración de la Biblioteca Nacional de España (BNE), quien llevó a cabo la capacitación de dos personas que pudieran luego encargarse de la conservación de la colección.

Tras esa primera capacitación, los libros que se encontraron con plagas activas de xilófagos (termitas, *Cryptotermes brevis*) se aislaron y trataron con Prematek, un producto líquido insoluble en agua, elaborado por Tecnoquímica, S. A., Perú, que contiene un compuesto organometálico de estaño a una concentración de 1% en un hidrocarburo alifático. Este producto se utiliza comúnmente para la eliminación tanto de polillas como de la putrefacción por hongos de la madera, pero presenta problemas de irritación al contacto con la piel y los ojos. Desde su tratamiento con Prematek, los libros se han mantenido limpios de polvo, envueltos en Sontara<sup>1</sup> y colocados en estanterías de madera. También se lleva un registro permanente de las condiciones de temperatura y humedad relativa de la sala de los libros corales.

La conservación de los libros corales constituye una constante preocupación para el Museo del Convento de los Descalzos. Como se mencionó anteriormente, las condiciones climatológicas en Lima favorecen una alta incidencia de infestación por xilófagos, y esto supone una amenaza para la integridad de la colección. Se requiere, entonces, un sistema que pueda emplearse periódicamente como tratamiento ante cualquier posible infestación de los libros corales. Para que ese sistema sea sostenible en el tiempo, tiene que ser de bajo costo y debe tanto considerar la salud del personal del museo como, en la medida de lo posible, también ser aplicable a otros objetos de la colección. Por ello, se decidió diseñar un sistema de desinsectación por anoxia empleando bolsas de aluminio plastificado. En este documento se presentan, a modo

<sup>1</sup> Sontara es un paño multicapas no tejido, de alta resistencia mecánica y muy absorbente, que no contiene aglomerantes ni adhesivos químicos y que también se emplea para la limpieza de superficies, pues no deja pelusas.

de ejemplo, los resultados obtenidos con el tratamiento de uno de los libros corales y la comparación con un libro que no se sometió a tratamiento alguno.

### MATERIALES Y MÉTODOS

En total se trabajó con nueve libros, que se sometieron a un tratamiento anóxico con nitrógeno gaseoso e inhibidor de oxígeno, aunque algunos, sólo con inhibidor (Figura 2). El protocolo de tratamiento fue sugerido por la especialista en microbiología, la doctora Nieves Valentín, quien se había retirado recientemente del Instituto del Patrimonio Cultural Español (IPCE). Esto fue realizado en una segunda etapa de capacitación en el museo.

Libro <sup>a</sup>	Tipo y tiempo de tratamiento	Comentarios <sup>b</sup>
<b>15</b>	<b>Sin tratamiento (control)</b>	<b>Rayos-X: intervalo de 173 días</b>
18	Sin tratamiento (control)	
1	Anóxico: sólo inhibidor de O <sub>2</sub> 22 días	
4	Anóxico: sólo inhibidor de O <sub>2</sub> 28 días	
7	Anóxico: sólo inhibidor de O <sub>2</sub> 28 días	
3	Anóxico: N <sub>2</sub> + inhibidor de O <sub>2</sub> 25 días	
9	Anóxico: N <sub>2</sub> + inhibidor de O <sub>2</sub> 22 días	
13	Anóxico: N <sub>2</sub> + inhibidor de O <sub>2</sub> 22 días	
<b>23</b>	<b>Anóxico: N<sub>2</sub> + inhibidor de O<sub>2</sub> 22 días</b>	<b>Sensor: T, HR y O<sub>2</sub> Rayos-X: intervalo de 230 días</b>
26	Anóxico: N <sub>2</sub> + inhibidor de O <sub>2</sub> 22 días	
30	Anóxico: N <sub>2</sub> + inhibidor de O <sub>2</sub> 25 días	Sensor: T, HR y O <sub>2</sub>

<sup>a</sup>: La codificación de los libros corresponde al Museo del Convento de los Descalzos.

<sup>b</sup>: T: temperatura; HR: humedad relativa.

FIGURA 2: Tabla de los libros corales que fueron objeto del estudio (se resaltan los que fueron evaluados). (Fotografías: Javier Nakamatsu, Jhonatan Arízaga, Ivon Canseco y Patricia Gonzales; cortesía: Museo del Convento de los Descalzos).

ENERO-JUNIO 2024  
JANUARY-JUNE 2024

Al momento del tratamiento de los libros, éstos se encontraban en mal estado de conservación y con una infestación de termitas activa (*Cryptotermes brevis*), localizada principalmente en las tapas (Figura 3), a pesar del tratamiento con Prematek cinco años atrás. El Libro 23, que sirve como ejemplo en este informe, presentaba roturas en la cubierta y faltantes del soporte en las esquinas. Si bien la madera de las tapas aparentaba estar fuerte y mantenerse íntegra, en la cubierta se observaron orificios del ataque de insectos y detritus (residuos de descomposición del material). Las guardas estaban pegadas por una tela y adhesivos orgánicos, que podrían haber servido de alimento a los xilófagos.

FIGURA 3. Libro coral del siglo XIX (Libro 23) dañado por termitas (Fotografías: Javier Nakamatsu, Jhonatan Arízaga, Ivon Canseco y Patricia Gonzales; cortesía: Museo del Convento de los Descalzos).



Dadas las dimensiones del Libro 23: 42.5 x 59.5 x 17.8 cm, se colocó en una bolsa de aluminio plastificado de 1 x 1 m (FlexiArt®). Una vez introducido el libro, la bolsa se selló, primero, parcialmente con calor, y gran parte del aire se retiró de su interior con ayuda de una aspiradora. Posteriormente se introdujo gas nitrógeno, humedecido previamente, haciendo pasar el gas a través de un volumen de agua. Enseguida, por segunda vez se retiró el gas del interior de la bolsa y se volvió a llenar con nitrógeno para disminuir aún

más el contenido de oxígeno. Esta operación se repitió una vez más y luego se introdujo un paquete de 0.5 kg de un inhibidor de oxígeno de Hanwell®, que en su composición contiene alrededor de 50% en masa de hierro elemental, antes del sellado total de la bolsa. En el interior de ésta se colocó también, junto con el libro, un registrador de temperatura y humedad y un sensor remoto de oxígeno (AnoxiBug, de Hanwell®) para dar seguimiento a las condiciones del tratamiento. El libro permaneció en atmósfera anóxica durante 22 días. Se tomaron placas radiográficas a las tapas del libro antes y 208 días después del tratamiento.

Se debe tener precaución al momento de manipular el gas nitrógeno: manómetro y conectores adecuados, sujeción del balón para evitar su caída y ventilación del ambiente en caso de fuga, por encontrarse a una presión elevada. Una vez sellada la bolsa del sistema, no hay peligro, pues el gas está confinado en su interior. Por otro lado, el inhibidor de oxígeno siempre cuenta con una resistente cubierta protectora que facilita su manipulación y protege al operario.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Libro 23 se sometió a una atmósfera anóxica durante 22 días, en una habitación a temperatura ambiente. En la Figura 4 se muestra el proceso que se siguió para su tratamiento: la introducción en la bolsa y su sellado, así como el registro de la temperatura y humedad relativa en el interior de la bolsa durante todo el tratamiento. En ese periodo la bolsa no cambió su volumen, es decir, no hubo pérdida de gas del interior: el material de ésta es idóneo. Al mismo tiempo se demostró la efectividad del sellado con calor. La temperatura dentro de la bolsa varió entre 17 y 19° C, según las condiciones ambientales de la habitación, la cual carecía de un sistema de temperatura controlada, y la humedad relativa osciló en el rango de 57 a 60 por ciento.

Es importante mantener en la bolsa un determinado grado de humedad, puesto que las humedades relativas muy bajas pueden hacer que algunos materiales, principalmente aquellos que tienden a absorber agua, como es el caso del objeto de este estudio, se vuelvan rígidos o poco flexibles (deseccación). Por otro lado, un exceso de humedad favorece el crecimiento de microorganismos cuando el tratamiento se prolonga por mucho tiempo. En tiempos cortos, una alta humedad puede aumentar la flexibilidad de algunos materiales y favorecer su deformación cuando está acompañada de cambios de temperatura, lo que puede resultar

## Intervención

ENERO-JUNIO 2024  
JANUARY-JUNE 2024

en la ondulación de los papeles y los cartones, por ejemplo. En este proceso de estudio no se observó ningún cambio de este tipo. El contenido de oxígeno medido al interior de la bolsa fue menor que 0.2% (el sensor AnoxiBug, de Hanwell®, alerta si este límite se sobrepasa). Esto muestra que el sistema, es decir, el tipo de bolsa utilizado y el inhibidor de oxígeno Hanwell® así como la metodología planteada y efectuada pudieron mantener las condiciones anóxicas en el interior durante todo el tratamiento.



FIGURA 4. Tratamiento anóxico del Libro 23: sellado térmico en bolsa llena de nitrógeno, monitoreo de humedad y temperatura durante el tratamiento (Fotografías: Javier Nakamatsu, Jhonatan Arízaga, Ivon Canseco y Patricia Gonzales; cortesía: Museo del Convento de los Descalzos).

La eficiencia de la desinsectación es difícil de verificar y evaluar. En unas muestras especialmente diseñadas para facilitar la recolección del material celulósico procesado por los insectos, Chidichimo y compañía comprobaron el cese de su actividad pesando dicho material después de su tratamiento (Chidichimo, Dalena y Beneducci, 2015, p. 270). En este caso, para la verificación de la eficacia del tratamiento se decidió comparar las placas radiográficas tomadas del Libro 15 (control, no sujeto al tratamiento anóxi-

co), con un intervalo de 173 días entre las tomas de placas. Como puede apreciarse en la Figura 5, en el periodo de poco menos de seis meses entre los análisis, el daño causado por las termitas aumentó en las tapas del libro control, donde las cavidades se extendieron y se ramificaron.

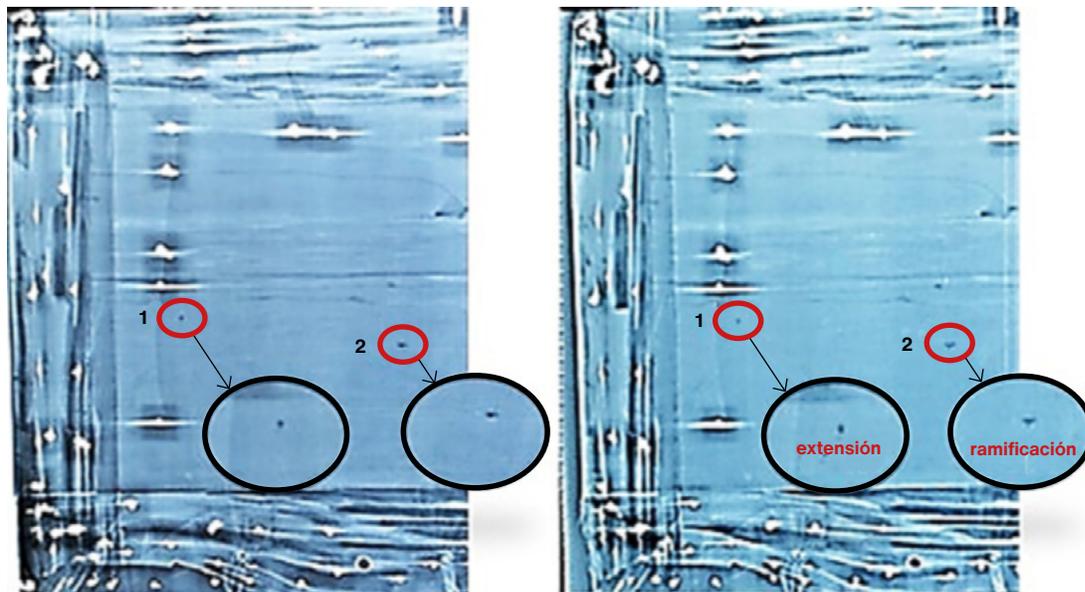


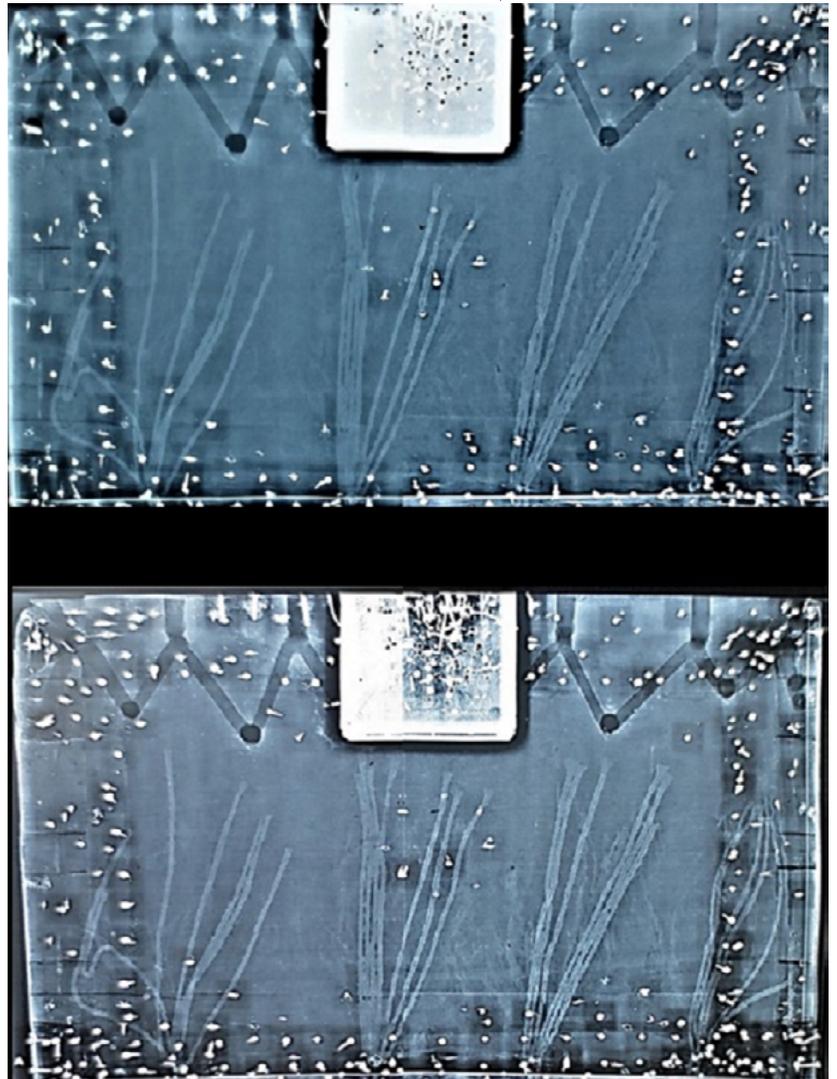
FIGURA 5. Placas radiográficas de la tapa anterior del Libro 15 (control sin tratamiento anóxico), que muestran la actividad de las termitas. La placa de la derecha fue tomada 173 días después que la de la izquierda (Fotografías: Javier Nakamatsu, Jhonatan Arízaga, Ivon Canseco y Patricia Gonzales; cortesía: Museo del Convento de los Descalzos).

De igual manera, se evaluó el efecto en el Libro 23, que se sometió a una atmósfera anóxica durante 22 días. En la Figura 6 se muestra la placa radiográfica tomada a la tapa anterior del libro antes del tratamiento, así como otra placa que se tomó 230 días después de la primera (tras 208 días de haber finalizado el tratamiento anóxico). A diferencia del libro control, en este caso no aparecen evidencias de un aumento de daño al libro una vez tratado, incluso cuando el intervalo de evaluación de éste fue de casi dos meses más que el de control. Esto indica que el tratamiento detuvo la actividad destructiva de los xilófagos en el libro. Los demás libros tratados no se sometieron a verificación por rayos X, para reducir los riesgos asociados a su manipulación y traslado (el museo no cuenta con este equipamiento, por lo que los libros 23 y 15 se trasladaron a un centro médico para la toma de radiografías).

## Intervención

ENERO-JUNIO 2024  
JANUARY-JUNE 2024

FIGURA 6. Placas radiográficas (tomadas con un intervalo de casi 8 meses) de la tapa anterior del Libro 23 sometido al tratamiento anóxico (arriba: antes del tratamiento y abajo: 230 días después de la toma de la primera placa) (Fotografías: Javier Nakamatsu, Jhonatan Arízaga, Ivon Canseco y Patricia Gonzales; cortesía: Museo del Convento de los Descalzos).



El protocolo desarrollado en este trabajo hizo que fuera eficaz el tratamiento anóxico de libros de grandes dimensiones, utilizando materiales y equipos normalmente disponibles y sin necesidad de presupuestos significativos: en la medida de lo posible, se emplearon artefactos domésticos, como una aspiradora para retirar el aire dentro de la bolsa y una plancha eléctrica para su sellado.

Es probable que las condiciones del tratamiento aplicado en este estudio aún no sean las óptimas, primordialmente en cuanto al tiempo de exposición a la atmósfera anóxica. Esto se debe a que se tuvo como prioridad la efectividad del tratamiento para desinsectar los libros, que estaban en muy alto riesgo de sufrir un mayor deterioro, debido a la infestación. Se necesita hacer más estudios de optimización tanto del tiempo del tratamiento como de la cantidad de inhibidores de oxígeno necesarios.

## CONCLUSIONES

El Perú tiene un patrimonio cultural material muy rico y diverso, cuya conservación y puesta en valor requiere un esfuerzo interdisciplinario. Dadas las condiciones climatológicas de la ciudad de Lima, la infestación y el daño por termitas es uno de los mayores riesgos que afronta el patrimonio documental, y sobre todo el que está constituido en madera. El tratamiento anóxico constituye una alternativa interesante para atacar ese problema con materiales y herramientas fáciles de conseguir y sin usar compuestos químicos peligrosos.

En este trabajo se ha demostrado que es posible generar y mantener una atmósfera anóxica de manera efectiva y de bajo costo para el tratamiento seguro de materiales infestados. No es necesario contar con equipamiento sofisticado y costoso como lo son las cámaras selladas y las bombas de vacío; sino, simplemente, con bolsas de aluminio plastificado, nitrógeno gaseoso y un inhibidor de oxígeno. Si bien la principal dificultad y costo del tratamiento utilizado está en la implementación de la fuente de nitrógeno puro y de los accesorios para su manejo adecuado, esto se afronta solo una vez. Las bolsas de baja permeabilidad al oxígeno y el agente inhibidor de este gas se pueden adquirir conforme surja la necesidad, y sus costos son mucho menores. Adicionalmente, con el sistema planteado, se limita la cantidad de gas necesario para el procedimiento, mediante la selección de bolsas con tamaños que se ajusten a las dimensiones de los objetos que se han de tratar. Por todo ello, consideramos que esta metodología es útil para el tratamiento de libros y otros objetos de interés infestados por xilófagos; y aplicable periódicamente de manera preventiva.

Asimismo, la metodología planteada, puede constituir también, una forma de almacenamiento práctica y segura de objetos valiosos en atmósfera anóxica aun en ambientes riesgosos; es decir, con alta humedad y expuestos a la infestación de insectos o microorganismos. Finalmente, se demostró que la toma de radiografías constituye una técnica efectiva para detectar la actividad de los xilófagos en la madera y, por ello, para evaluar el grado de éxito de su tratamiento. Además, ha demostrado su eficacia, haciendo visibles las diferencias ocasionadas por termitas.

A modo de cierre, es importante considerar que, en Perú, son muy pocos los lugares que cuentan con equipos de rayos X dedicados a objetos patrimoniales. Por ende, fue clave demostrar que las tomas de radiografías brindada en los centros médicos funcionan perfectamente para la conservación de estos bienes; y convierte al ejercicio que aquí desarrollamos en una valiosa y eficaz herramienta, de fácil acceso para los y las conservadoras de nuestro país.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de la Dirección de Gestión de la Investigación y la Sección Química de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP: proyecto DGI-2017-3-0029). Se agradece a la Fundación Descalzos del Rímac por las facilidades de acceso a los libros corales, y a la doctora Nieves Valentín, por su asesoría para dicho trabajo.

## REFERENCIAS

Bueno-Vargas, J. (2006). Deterioro en encuadernaciones manuscritas de gran formato: Causas intrínsecas de alteración en los libros de coro. *Cuadernos de Restauración*, 6, 43-56. <https://idus.us.es/handle/11441/49932>

Chidichimo, G., Dalena, F. y Beneduci, A. (2015). Woodworm Disinfestation of Wooden Artifacts by Vacuum Techniques. *Conservation Science in Cultural Heritage*, 15, 267-280. <https://doi.org/10.6092/issn.1973-9494/6179>

Chidichimo, G., Dalena, F., Rizza, A. y Beneduci, A. (2017). Insect-Infested Wood Remediation by Microwave Heating and Its Effects on Wood Dehydration: A Case Study of *Hylotrupes bajulus* Larva. *Studies in Conservation*, 63, 97-103. <https://doi.org/10.1080/00393630.2017.1314584>

Crespo, L. (2014). Libros de coro: naturaleza y conservación. En *Cantorales. Libros de música litúrgica en la BNE* (pp. 91-110). Biblioteca Nacional de España. <https://www.bne.es/es/publicaciones/cantorales>

Estrela, C. (2015). Estudio técnico y del estado de conservación de un libro litúrgico de gran formato (cantoral) del Real Monasterio de Santo Espíritu del Monte, Gilet. Estrategias para su conservación (Tesis de grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales). Facultad de Bellas Artes de San Carlos. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/52540>

García, J. A. (2005). Los libros corales de la Catedral de Cádiz. *Historia. Instituciones. Documentos*, 32, 145-174. <https://revistascientificas.us.es/index.php/HID/article/view/4954>

Hanlon, G., Daniel, V., Ravenel, N. y Maekawa, S. (1993). Dynamic system for nitrogen anoxia of large museum objects: A pest eradication case study. *AIC Annual Meetings*. [https://wag-aic.org/1993/WAG\\_93\\_hanlon.pdf](https://wag-aic.org/1993/WAG_93_hanlon.pdf)

ENERO-JUNIO 2024  
JANUARY-JUNE 2024

Lauder, D. y Pinniger, D. (2019). *Freezing guidelines for controlling an insect pest infestation*. Consultado el 5 de septiembre de 2023. <https://www.english-heritage.org.uk/siteassets/home/learn/conservation/collections-advice--guidance/freezing-guidelines-for-controlling-insect-pest-infestation.pdf>

Lewis, V. R. y Haverty, M. I. (1996). Evaluation of Six Techniques for Control of the Western Drywood Termite (Isoptera: Kalotermitidae) in Structures. *Journal of Economic Entomology*, 89, 922-934. <https://doi.org/10.1093/jee/89.4.922>

Linnie, M. J. y Keatinge, M. J. (2000). Pest control in museums: toxicity of *para*-dichlorobenzene, "Vapona"<sup>TM</sup>, and naphthalene against all stages in the life-cycle of museum pests, *Dermestes maculatus* Degeer, and *Anthrenus verbasci* (L.) (Coleoptera: Dermestidae). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 45(1-2), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00034-2)

Museums & Galleries of NSW. (2011). *Managing pests in the collection: Integrated Pest Management (IPM)*. Community Museums Program. New South Wales Government. <https://mgnsw.org.au/sector/resources/online-resources/collection-care/managing-pests-collection/>

Querner, P. (2015). Insect Pests and Integrated Pest Management in Museums, Libraries and Historic Buildings. *Insects*, 6(2), 595-607. <https://doi.org/10.3390/insects6020595>

Rust, M. K. y Kennedy, J. M. (marzo de 1993). The Feasibility of Using Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums. GCI Scientific Program Reports. Dept. of Entomology, University of California, Riverside/ Getty Conservation Institute. [http://hdl.handle.net/10020/gci\\_pubs/modified\\_atmospheres](http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/modified_atmospheres)

Selwitz, C. y Maekawa, S. (1998). Preface. En *Research in conservation: Inert gases in the control of museum insect pests* (pp. xi-xiv). The Getty Conservation Institute. [https://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/pdf\\_publications/inert\\_gases.html](https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/inert_gases.html)

Sierra, J. (2014). Los libros corales. En *Cantoriales. Libros de música litúrgica en la BNE* (pp. 43-64). Biblioteca Nacional de España. <https://www.bne.es/es/publicaciones/cantoriales>

ENERO-JUNIO 2024  
JANUARY-JUNE 2024

Trematerra, P. y Pinniger, D. (2018). Museum Pests–Cultural Heritage Pests. En Christos G. Athanassiou y Frank H. Arthur (Eds.). *Recent Advances in Stored Product Protection* (pp. 229-260). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56125-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56125-6_11)

Valentín, N. (1998). Preservation of Historic Materials by Using Inert Gases for Biodeterioration Control. En Shin Maekawa (Ed.). *Oxygen-Free Museum Cases*, cap. 3, (pp. 17-30). The Getty Conservation Institute. <https://www.getty.edu/publications/resources/virtuallibrary/0892365293.pdf>

Zhang, B. (2012). Study on the Efficacy of Freezing Against Museum Pest Insect *Demestes maculates*. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 4(3): 333-336. <https://maxwellsci.com/print/crjbs/v4-333-336.pdf>

## **SOBRE LOS AUTORES**

### **Javier Nakamatsu**

Departamento de Ciencias, Sección Química,  
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Perú

[javier.nakamatsu@pucp.pe](mailto:javier.nakamatsu@pucp.pe)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-7716>

Licenciado en Química por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y doctorado en Química por la Louisiana State University, EE. UU. Es profesor del Departamento de Ciencias de la PUCP, donde se desempeña como docente tanto en pregrado como en posgrado. Además, investiga los temas relacionados con el reciclaje químico de plásticos sintéticos, la obtención, caracterización y aplicaciones de biopolímeros, la formación de geopolímeros a partir de desechos industriales, la estabilización de suelos con fibras y materiales poliméricos y, recientemente, la formulación de mezclas para impresión 3D para construcción. Actualmente es coordinador del Grupo de Investigación en Modificación de Materiales.

### **Jhonatan Arízaga**

Departamento de Ciencias, Sección Química,  
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Perú

[jjarizagat@pucp.edu.pe](mailto:jjarizagat@pucp.edu.pe)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5752-1032>

Licenciado en Química por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en 2018. Actualmente cursa una Maestría en Ciencias e Ingeniería de los Materiales, también en la PUCP. Cuenta con experiencia en asisten-

ENERO-JUNIO 2024  
JANUARY-JUNE 2024

cia de proyectos de investigación de materiales de patrimonio artístico y cultural mediante diferentes técnicas analíticas (FRX, Raman, GC-MS, FT-IR), y experiencia laboral en control de calidad de muestras minerales y de suelos para la industria minera, en las empresas ALS Perú y Cía. Minera Agregados Calcáreos, S. A. Entre sus áreas de interés se encuentra el desarrollo de recubrimientos autorreparables para la prevención de la corrosión en materiales metálicos.

### Ivon Canseco

Escuela Nacional Superior Autónoma de Bellas Artes del Perú (Ensabap), Museo de Arte Contemporáneo de Lima (MAC-Lima), Perú

[imacava@gmail.com](mailto:imacava@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0181-3153>

Bachiller en Artes Plásticas y Visuales con especialidad en Conservación y Restauración por la Escuela Nacional Superior Autónoma de Bellas Artes del Perú (Ensabap). Egresada de la Maestría en Docencia Universitaria de la Universidad Nacional de Educación “Enrique Guzmán y Valle”. Desde junio de 2022 se desempeña como conservadora en el Museo de Arte Contemporáneo de Lima, y desde 2016 ejerce la docencia en la Ensabap. Entre 2015 y 2017 fue coordinadora del Taller de Conservación y Restauración de Papel de la Fundación Descalzos del Rímac, responsable del proyecto *Conservación Preventiva de la Colección de Libros Corales del Museo del Convento de los Descalzos* y conservadora del Museo del Convento de los Descalzos.

### Patricia Gonzales

Departamento de Ciencias, Sección Química,  
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Perú

[pgonzales@pucp.pe](mailto:pgonzales@pucp.pe)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0136-5813>

Licenciada en Química por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y doctora en Bioquímica y Biofísica Molecular por la University of Pennsylvania (Filadelfia, EE. UU.). Es profesora del Departamento de Ciencias de la PUCP, donde se desempeña como docente e investigadora. Su línea de investigación se centra en el análisis químico de objetos arqueológicos y artísticos, y coordina el Grupo de Análisis de Materiales de Patrimonio Cultural.