Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2024
JULY-DECEMBER 2024

Evaluación comparativa de la actividad antifúngica de los extractos de nurite (*Satureja macrostema*), de tomillo (*Thymus vulgaris*) y de la marca comercial Citrik®. Conservación de documentos con soporte de papel

Go to English version

DOI: 10.30763/Intervencion.303.v2n30.82.2024 • AÑO 15, NÚMERO 30: 145-172

Postulado: 29.01.24 • Aceptado: 18.07.24 • Publicado: 30.04.2026

Paulina Marlen Rivera Aguirre
Escuela de Conservación y Restauración de Occidente (ECRO), México
m.rivera@ecro.edu.mx
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-8975-972X

Juan Pedro Hernández Cebreros
Biblioteca Pública del Estado de Jalisco "Juan José Arreola" (BPEJ),
Universidad de Guadalajara (UdeG), México
juanpedro.hernandez@udg.mx
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0210-5087

Lucía Barrientos Ramírez
Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara (udeg), México
lucia.barrientos@academicos.udg.mx
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4451-8410

Alexandra Miguel Guevara Castillo
Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara (UdeG), México
alexandraguevara27@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2846-0941

Corrección de estilo por Alejandro Olmedo

RESUMEN

Esta investigación busca indagar respecto del uso de sustancias químicas para el control de biodeterioro en documentos con soporte de papel industrial, proponiendo alternativas menos nocivas, de origen vegetal. Se evaluaron dos aceites esenciales (AE) y un desinfectante comercial, frente a cuatro cepas fúngicas predominantes en probetas pertenecientes al acervo de la Biblioteca Pública del Estado de Jalisco "Juan José Arreola" (BPEJ), México. La aplicación se hizo dentro de una cámara de fumigación por medio de nebulización. El resultado se evaluó de acuerdo con el halo de crecimiento y número de colonias presentes en las cajas Petri; se comprobó que Citrik® Restauración y nurite (*Satureja macrostema*) son efectivos a concentraciones mayores a 5%, mientras que el extracto de tomillo (*Thymus*

JULIO-DICIEMBRE 2024
JULY-DECEMBER 2024

vulgaris) muestra resultados favorables a partir de 2%, teniendo eficacia en el decrecimiento de *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp. y *Penicillium* sp.

PALABRAS CLAVE

conservación, aceites esenciales, antifúngico, *Thymus vulgaris*, *Satureja macrostema*, fumigación

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la conservación de archivos, bibliotecas y museos se usaban plantas aromáticas como el cedro (*Cedrela odorata*) y el ciprés (*Cupressus sempervirens*) para repeler insectos, o bien, plantas tóxicas, como la genciana (*Gentiana lutea*), para envenenar la cola de los libros (Borrego-Alonso, 2015, p. 263). Sin embargo, esta práctica se reemplazó por productos químicos, cuya transmisión dependía más de la práctica y facilidad de obtención/aplicación que de un análisis riguroso del método de acción y del comportamiento del sustrato.

El estado de la cuestión revela la escasa investigación respecto de la limitada evaluación y utilización de productos de origen natural aplicados al patrimonio cultural. Sólo algunos/as autores/as hacen referencia a su potencial aplicación en la disciplina de la conservación de bienes culturales (Morales *et al.,* 2013, pp. 152-154; Río, 2019, pp. 28-29; Ali, 2020, pp. 81-85; Palla *et al.*, 2020, pp. 2-8; Russo y Palla, 2023, p. 11). En España, Italia y Cuba los estudios son más frecuentes, y versan sobre objetos de diversa materialidad, como: fotografía, madera, piedra, pintura mural, entre otros, atendiendo temas relacionados con su biodeterioro, aspecto fundamental para la conservación del material que aquí se aborda, que es el papel.

Por otra parte, las sustancias desinfectantes de origen químico-industrial comúnmente utilizadas para contrarrestar ese tipo de agentes biológicos suelen crear, además de resistencia a los microorganismos, remanencia en el soporte, que en su mayoría son perjudiciales para la salud humana (usuario-operario) y el ambiente. Asimismo, provocan cambios fisicoquímicos en el soporte en el que se aplican. No obstante, las sustancias biodegradables existentes en el mercado en general, y en el ámbito de la conservación en particular, proponen concentraciones sumamente variables en muy limitados materiales y especies fúngicas. Por consiguiente, el desinfectante *Citrik*® Restauración será marco de referencia para la investigación, al ser utilizado comúnmente en los procesos de conservación y en la Biblioteca Pública del Estado de Jalisco

"Juan José Arreola" (BPEJ), la que proporcionó con fines académicos —concretamente, para el desarrollo del presente trabajo— soportes de papel industrial categorizados como ejemplares de descarte.

De acuerdo con las necesidades previamente identificadas en la BPEJ, se aislaron los soportes seleccionados y se observó que presentaban características que diferían del resto del soporte. Así, el estudio se centró en el espectro fúngico y grado de inhibición de las sustancias aplicadas, registrando los ataques más significativos del papel con el objeto de identificar las especies de hongos presentes y, entonces, trabajar sobre los géneros más comunes de la colección.

Con esta investigación se busca contribuir con alternativas antifúngicas vegetales aplicadas al patrimonio documental y, a su vez, aprovechar las aportaciones de estudio multidisciplinar en áreas como la biotecnología. De esta manera, se podría trasladar el conocimiento y aplicación de los aceites esenciales (AE) tanto de tomillo (*Thymus vulgaris*) como de nurite (*Satureja macrostema*) al campo de la conservación y generar, así, nuevas líneas de investigación.

BIODETERIORO DEL PAPEL

El patrimonio documental estudiado está conformado por papel, adhesivos orgánicos e inorgánicos, tela y cartón, entre otros; mismos que presentan alto contenido de celulosa, glucosa, lignina, almidón y proteínas. Éstos se degradan con el paso del tiempo, conllevando su pérdida total o parcial, lo que en algunas ocasiones es imposible de impedir, pero sí de prevenir. Para retardar o frenar dicho proceso es necesario identificar los dos factores que desencadenan el deterioro: intrínseco y extrínseco.

El primero está relacionado con la materia prima; es decir, con la constitución del soporte: pulpas, tintas, pigmentos, encolantes, etc. El segundo se asocia con el medio y contexto externos; con los cambios climáticos de temperatura, iluminación, alta humedad relativa y contaminación; los que se presentan dentro del inmueble, por ejemplo, la falta de mantenimiento en el edificio, el mal estado de conservación de la colección, la acumulación de polvo, presencia de animales o microorganismos; así como de la interacción humana de forma directa e indirecta.

El descuido de estas condiciones puede, en algunas ocasiones, fomentar la proliferación de microorganismos[1] que utilizan el

[1] Las especies más comunes son: *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. (Sarasti, 2018, p. 61).

papel como fuente de alimento y pueden afectar la salud humana, causando enfermedades respiratorias, irritaciones dérmicas y alergias, dependiendo del tiempo de exposición y el estado de salud del usuario. Se ha reportado que algunos géneros aislados[2] de hongos en los documentos son capaces de producir compuestos orgánicos volátiles y micotoxinas, algunos de ellos asociados con olores fuertes a humedad y material antiguo (papel o tela), los cuales son altamente irritantes al sistema respiratorio (Hidalgo y Borrego, 2006, p. 3).

La aparición de las alteraciones causadas por el biodeterioro depende del tipo de sustrato que conforma a los objetos, por lo que, una pieza de piedra compacta tendrá límites críticos más amplios en comparación con aquellos de origen orgánico como lo es el papel. Por consiguiente, "[...] el biodeterioro no puede ser considerado como un fenómeno aislado, paralelamente, ocurren otros procesos de deterioro de tipo químico, físico o fisicoquímico con los cuales está estrechamente correlacionado [...]" (Borrego-Alonso, 2015, p. 260).

La presencia de hongos en documentos causa tres tipos de alteraciones: químicas, mecánicas y cromáticas (Rivero, 2014, p. 3). Los agentes microbiológicos y los principales factores que favorecen la degradación química del papel son la hidrólisis ácida, alcalina y enzimática, mismas que provocan la degradación de las fibras de celulosa.

Con respecto de las afecciones mecánicas, estos organismos van debilitando las fibras del soporte cuando absorben agua, crecen y se ramifican rápidamente para formar colonias entre ellas. En ese sentido, las hifas penetran formando una red de túneles en el área aglutinante, con lo que las células asociadas entre sí se adhieren a la superficie mediante una estructura tridimensional con canales y poros —utilizados tanto para la comunicación intercelular como para el mantenimiento de toda la comunidad— ideales para desarrollarse y subsistir en conjunto (Nazzaro *et al.* 2019, p. 5; Ali, 2020, p. 80). Aunado a esto, durante su desarrollo producen agua metabólica, lo que aumenta la humedad en el material y, posiblemente, la proliferación de otros agentes biológicos.

Respecto de las alteraciones cromáticas, los hongos pigmentan como resultado del metabolismo, el crecimiento del micelio y la liberación de residuos ácidos y enzimáticos (Fernández y Maqueira, 2013, pp. 24-25). A causa de ello, se generan manchas de diversos colores dependiendo de su fase de desarrollo, los nutrien-

[2] *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Chaetomiun* sp., *Trichoderma* sp (Hidalgo y Borrego, 2006 p. 3).

tes, el tipo y pH del sustrato, y la presencia de otros organismos y factores ambientales sobre el soporte, lo que hace muy difícil su eliminación y presenta un desafío para la conservación. Como resultado de la degradación de la celulosa por la presencia y el metabolismo de los hongos, el papel adquiere un aspecto poroso y laxo; lo anterior va aunado a la acidificación del medio en el que se desarrollan.

Métodos de desinfección

Dentro de los métodos de desinfección de bienes culturales se ha reportado el uso de sustancias químicas tóxicas, como óxido de etileno, ortofenifenol, pentaclorofenol y fostoxín, algunos de los que, si bien tienen un amplio espectro biocida, están prohibidos para determinados usos en varios países de Latinoamérica y Europa (Sarasti, 2018, p. 61). Aparte de causar irritación en las vías respiratorias y los ojos, lesiones dérmicas y daños en el sistema nervioso central, así como aumentar el riesgo de cáncer, son difíciles de degradar y, por lo tanto, persisten en el soporte y el medio ambiente.

La larga reminiscencia en los materiales podría reducirse con lavados; sin embargo, no todos los documentos son susceptibles de dicho proceso después de la aplicación de las sustancias en discusión. Esto puede llegar a degradar la celulosa y causar la despolimerización de los materiales, la pérdida de flexibilidad, cambios de color, un envejecimiento acelerado, el incremento de la corrosión de las tintas ferrogálicas, entre otros (Valentín y García, 1999, p. 88; Rivero, 2014, pp. 9-10). A lo anterior se suma su alta toxicidad y que en ocasiones es necesario aumentar la concentración. Cappitelli, Cattò y Villa lo abordan de la siguiente manera:

> A pesar de su toxicidad, los biocidas tradicionales todavía se emplean en gran medida, sin embargo, tienen una duración breve y a menudo, deben repetirse con frecuencia y pueden causar resistencia en los agentes biológicos, modificando las estructuras internas y favoreciendo el crecimiento de organismos más dañinos (recolonización) (Cappitelli, Cattò y Villa, 2020, p. 4).

Actualmente se tienen métodos de desinfección que proponen ser ecosustentables en el área de la conservación, la restauración y otros campos. En el mercado el desinfectante químico comercial *Citrik*® Restauración, elaborado a partir de extractos cítricos (to-

ronja y naranja), es eficiente para la inhibición de bacterias, hongos, levaduras y esporas en diversos sustratos y superficies. De acuerdo con la ficha técnica del producto se reconoce el efecto de desinfección sobre la cepa fúngica de *Aspergillus niger*, sin hacer referencia a otros géneros frecuentes en patrimonio documental (Marco Polo Alta Tecnología en Preservación, 2022, p. 21).

Asimismo, en las disciplinas de la conservación-restauración se están incorporando metodologías que aplican tratamientos combinados, tales como la anoxia, en donde la cantidad de oxígeno se reduce a mínimas concentraciones y/o se sustituye con otros tipos de gases, como el nitrógeno o el óxido de etileno (Paz y López, s. f., p. 2). Si bien la anoxia parece ser una opción viable para la aplicación de sustancias químicas, la mayoría de las veces termina por ser un proceso de alto costo por el equipo y la infraestructura necesarios, lo que depende mucho de las dimensiones de la pieza. Cabe destacar que dicho tratamiento llega a ser ineficaz para ciertos microorganismos, ya que la condición anaerobia de varios de ellos les permite subsistir a este método, dejando esporas en un periodo de transición a una nueva condición. Es decir, en un estado de latencia en el que las células se han dañado, pero no están muertas, pueden mantenerse hasta que se vuelvan a presentar las condiciones idóneas para volver a desarrollarse.

Hay que destacar que cualquier aplicación debe realizarse después de la limpieza profunda del documento, ya que con ésta se retira el polvo y los restos de hifas de la superficie. No obstante, el crecimiento de los microorganismos se da entre las fibras del papel, no únicamente en superficie, por lo que estas dos acciones, de limpieza y de inhibición, deben de complementarse con el control de las condiciones ambientales.

Características de los AE utilizados para el estudio

La actividad de un aceite esencial (AE) (*Satureja macrostema*, *Thymus vulgaris*, *Citrik*® Restauración) varía dependiendo de su composición química. Este cambio puede relacionarse con factores como las condiciones ambientales, especie y etapa fenológica de la planta, la parte utilizada para extraer la esencia, tiempo de cosecha, método de extracción, zona geográfica, entre otros.

La *Satureja macrostema* es una planta arbustiva con olor a menta y flores de color rojo-anaranjado (Figura 1). Crece en los estados mexicanos de San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán y Oaxaca. Es de uso ritual, ornamental y medicinal en San Miguel Mixtepec, comunidad zapoteca de los Valles Centrales de Oaxaca (Orte-

ga-Ortega y Vázquez-García, 2014, p. 71). Cuenta con diversos nombres comunes, tales como nurite, tabaquillo, hierba de borracho, truche, garañona, té de monte, atóchietl, poleo, *cuencuenzpatli*, entre otros (Alonso, 2009, pp. 17-18). Se han reportado varias especies del género *Satureja* que poseen componentes antifúngicos (Damián-Badillo, Salgado-Garciglia, Martínez-Muñoz y Martínez-Pacheco, 2008, p. 32). Es el caso de *Satureja macrostema*, reconocido por sus efectos biocidas contra organismos del género *Colletotriuchum, Fusarium, Verticilum* y *Phytophthora*; además, inhibe el crecimiento de bacterias como *Salmonellla* sp*., Escherichia coli* sp*., Shigella* sp*., Staphylococcus aureus* y *Streptococcus* sp*.* (Salgado, 2004, en Carrillo, 2009, p. 16).



FIGURA 1. Planta de *Satureja macrosterma* en fase reproductiva (Fuente: Ortega-Ortega y Vázquez-García, 2014, p. 73).

De igual forma, otra especie conocida con actividad antimicrobiana a causa de sus AE es la *Lamiaceae*, o *Labiateae*, representada en todo el mundo por unas 3 000 especies. Esta familia incluye plantas herbáceas, anuales y perennes que se utilizan tradicionalmente como aromáticas (Russo y Palla, 2023, p. 4). Particularmente, el AE de *Thymus vulgaris*, o tomillo, es uno de los extractos comprobados y más estudiados, tanto en la antigüedad como en el campo de la biotecnología, como inhibidor en el desarrollo de microorganismos, por mencionar algunos: *Alternaria alternata*, *Fu-*

sarium tricinctum, las especies de *Aspergillus* sp.*, Phomopsis helianthi* y *Cladosporium cladosporioides* (Soković *et al.*, 2009, p. 14; Palla *et al.*, 2020, pp. 2-7). Esto indica que no sólo comparte propiedades químicas, aromáticas y medicinales con otros extractos, sino que también se destaca por su característica de ser un aceite clarificado; es decir, libre de impurezas e incoloro, del mismo modo que *Satureja macrostema*.

Las plantas tienen propiedades antibacterianas y antifúngicas producidas naturalmente en los tejidos de las células como mecanismos de defensa ante el ataque de microorganismos. Por ello, a lo largo de la historia, los AE se han estudiado en distintos campos, comenzando por la medicina tradicional y, hoy en día, se ha profundizado su análisis desde la biotecnología (Nazzaro *et al.,* 2019, p. 7). Es importante destacar su efectividad contra una vasta gama de microorganismos, incluso a bajas concentraciones, en un amplio rango de pH, pero también su solubilidad en agua y alcoholes, bajo costo y baja toxicidad para los humanos y el entorno (Borrego-Alonso, 2015, p. 262).

En términos generales, el concepto de *agente antifúngico* engloba cualquier sustancia capaz de producir daños en las estructuras celulares del microorganismo, evitando su desarrollo y alterando su capacidad de supervivencia, crecimiento y/o reproducción (Gamboa, 2015, p. 6). Según Armas, Márquez y Pretell "Los tejidos vegetales cuentan con mecanismos de defensa cuando se ven expuestos a cierto estrés; una de las respuestas es la liberación de compuestos volátiles que poseen toxicidad contra algunos patógenos" (2011, p. 124). Dentro de los metabolitos secundarios con actividad antifúngica se encuentran los provenientes de la fracción líquida-volátil, mismos que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas o AE. Algunos de estos componentes son terpenos, fenoles, aldehídos aromáticos, cetonas, ésteres, ácidos y alcoholes (Gamboa, 2015, p. 6). Generalmente, los elementos mayoritarios determinan las propiedades biológicas y son conocidos como *quimiotipos* (Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios [AEMPS], 2016).

Los quimiotipos predominantes tanto del aceite esencial de *Thymus vulgaris* como de *Satureja macrostema* son el timol y carvacrol, los cuales son terpenoides a los que se les atribuye la acción antifúngica y antimicrobiana más fuerte (Galovičová *et al.,* 2021, p. 1). Debido a su estructura fenólica son capaces de destruir las células, al alterar la permeabilidad de la membrana celular y la fuga resultante de las partes que lo conforman (Samah y Hoda 2021, p. 1030).

En cuanto a los cítricos, se destaca que la mayoría de ellos se caracterizan por su elevado contenido de antioxidantes y baja toxicidad. En lo que respecta a *Citrus sinensis* (naranja) y *Citrus paradisi* (toronja), poseen propiedades antifúngicas, antimicrobianas y antialérgenas. En términos generales, el linalool es un compuesto monoterpeno volátil frecuente en los AE mencionados, cuya forma natural es común en muchas flores y plantas aromáticas que comparten casi las mismas propiedades.

Desde una perspectiva general, es posible observar que las sustancias con moléculas similares tienden a disolverse fácilmente entre sí. En ese contexto, tanto los AE como el alcohol son cadenas hidrocarbonadas; sin embargo, el alcohol exhibe una dualidad en sus moléculas, presentando regiones polares y no polares en su estructura. Esta particularidad le confiere la capacidad de interactuar con una amplia gama de compuestos. En contraste, el aceite también está conformado en su mayoría por cadenas hidrocarbonadas, pero se caracteriza por tener moléculas no polares. Por ende, los aceites esenciales tienen grupos funcionales casi similares que se atraen entre sí y favorecen la formación de soluciones donde ambas sustancias se integran de manera homogénea.

De acuerdo con el método propuesto para la aplicación de sustancias desinfectantes, el material constitutivo de las probetas, como las tintas, no presentaron riesgo de solubilidad, ya que el papel no se impregnó. No obstante, se llevaron a cabo pruebas de solubilidad con la finalidad de confirmar la disolución del AE en isopropanol a distintas concentraciones hasta observar si ambas sustancias son miscibles, se separan o presentaban algún estado de emulsificación, cambio de color, etc. Cabe mencionar que el isopropanol por sí solo no es considerado como esporicida (Rodríguez, 2006).

Parte del mecanismo de defensa (Figura 2) de los productos naturales procedentes de las plantas opera cuando el tejido experimenta cierta tensión, algunas células se vuelven tóxicas frente a otras para defenderse de cualquier alteración. Sin embargo, el funcionamiento general del AE tiene como finalidad inhibir el crecimiento de los microorganismos desnaturalizando proteínas, inhibiendo la ATPasa[3], distorsionando conidios y otras estructuras fúngicas, así como dañando el ADN (Cuenca, 2006, pp. 33, 34; Valdés-Pérez *et al.*, 2016, p. 82).

[3] Se ha referenciado que el eugenol inhibe las enzimas ATPasa, histidina decarboxilasa, amilasa y proteasa y la inhibición de la ATPasa propicia la muerte celular (Valdés-Pérez, 2016, p. 82).

Familia	Nombre científico	Quimiotipos	Microorganismos sobre los que tiene efecto	Mecanismo de acción
Lamiaceae	*Thymus vulgaris*	Carvacrol Timol Linalool	*Alternaria* *Aspergillus* *Candida* *Cryptococcus* *Fusarium* *Penicillium* *Rhizopus*	Afectan la permeabilidad de la membrana. Daño al ADN. Pérdida de elementos celulares. Desnaturalización de proteínas. Estrés metabólico. Interrupción de funciones vitales. Daño irreversible. Inhibición del crecimiento.
Lamiaceae	*Satureja macrostema*	Carvacrol Timol Fenoles Flavonoides Limoneno Linalool	*Candida Colletotriuchum Fusarium* *Phytophthora Trichophyton* *Verticilum*	
Rutaceae	*Citrus Sinensis*	Limoneno Linalool Citronela Flavonoides	*Aspergillus* *Trichophyton*	
Rutaceae	*Citrus Paradisi*	Linalool Citronela Flavonoide Limoneno	*Aspergillus*	

FIGURA 2. Características de los AE aplicados y los principales mecanismos de acción de las cepas fúngicas estudiadas (Tabla: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2024).

Desde el punto de vista estructural, la pared celular del hongo cumple un papel fundamental para su vitalidad; sirve como cubierta protectora, le brinda morfología celular, facilita tanto el intercambio de iones como la filtración de proteínas y participa en el metabolismo y catabolismo de nutrientes complejos. Es decir, actúa como una barrera, dejando pasar algunas sustancias a través de ella y excluyendo otras, de tal forma que parte de las que se encuentran en superficie pueden alterar las propiedades físicas y químicas de la membrana, impidiendo su funcionamiento normal (Nazzaro *et al.*, 2019, pp. 10-11).

Cabe destacar que la mayor parte de los hongos contienen ergosterol como el componente principal de la membrana. Por lo tanto, estrategias que alteran o bloquean las enzimas específicas involucradas en la síntesis de ergosterol afectan la permeabilidad de la membrana celular, ocasionando un daño irreversible al mo-

mento de producir cierto estrés metabólico e interrumpir el crecimiento y las funciones vitales, conllevando así la inhibición del crecimiento (Trigos, 2007, pp. 92-94; Tang, Shao, Tang y Zhou, 2018, p. 9).

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Selección del material de descarte con ataque de microorganismos

Para este proyecto se llevó a cabo la elección de las muestras de estudio teniendo como criterio libros pertenecientes al acervo de la BPEJ, elaborados entre los años 1800 y 1900, que tuviesen como soporte papel industrial, fabricado en máquina a base de especies maderables. En particular, aquellos que han sido aislados del resto por presentar diferentes tipos de daño biológico (microorganismo, insecto, roedor). Ya que el proceso experimental involucró retirar una hoja (Figura 3) y se contó con ejemplares en buen estado, se optó por esta temporalidad, evitando así la disociación de elementos si se tratase de un libro antiguo. Por otra parte, las especies que se desarrollan en el papel son las mismas, indistintamente de la temporalidad de este, además de que el uso de alcoholes puede afectar las proteínas presentes en los elementos constitutivos de un libro antiguo.



FIGURA 3. Selección de ejemplares de la BPEJ (Fotografía: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023).

Si bien estos materiales estaban separados y almacenados en condiciones de humedad controladas (55% ± 5%), iluminación (LED fría) y temperatura (21° ± 2° C), estaban categorizados como material de descarte para fines académicos. Estos ejemplares no tenían ningún proceso de intervención, presentaban notoria infestación microorgánica debido a que nunca habían sido limpiados ni fumigados. Tras completar la selección, se asignó a cada ejemplar un nombre utilizando las siguientes siglas:

- Guarda tipo carpeta, GTC
- Índice General Temático volumen IV, IGT
- *Mente fugaz* Núm. 9, MF
- *Geografía Universal Ilustrada*, GEO
- *Patrologiae Graecae Latine*, PGL

Proceso de obtención de muestras y cultivo de microorganismos

El proceso se inició comprobando que los microorganismos en los libros estuvieran activos; se hicieron cuatro tomas de muestra por cada ejemplar en diferentes zonas que presentaran manchas con características que macroscópicamente se diferenciaban del resto del soporte en color, textura algodonosa y/o morfología. Se colocaron separadores de papel sin adhesivo y libres de ácido para facilitar la manipulación; la toma de muestras se realizó en un entorno estéril, utilizando mecheros de alcohol. Se empleó un hisopo humedecido con 0.5 ml de agua destilada, aplicando el método de rodamiento. Con el objeto de obtener una mayor cantidad de muestra, se dejó que el hisopo se impregnara en la solución durante 3 minutos. A fin de reducir la humedad residual en la superficie del soporte, se colocó papel secante y malla *monyl* tanto debajo como sobre la zona por muestrear. El desarrollo del experimento se ejecutó, a excepción de la obtención de los AE, en el Laboratorio de Microbiología de la Coordinación de Conservación y Restauración de la BPEJ.

Para este proceso se utilizó un medio de cultivo de la marca Dibico Malt Extract Agar® siguiendo las instrucciones del fabricante. Se empleó agua destilada y todo se preparó y esterilizó en autoclave a 121° C por 15 minutos. El proceso de vaciado en cajas Petri se realizó dentro de una campana de flujo laminar, colocando 25 ml en cada una de ellas.

Se inoculó en un solo sentido en cajas Petri y se depositaron las muestras por 7 días en una estufa marca Felisa® a 28° C, en condiciones de oscuridad y >60% de humedad relativa. Este equipo

permite ajustar el sistema de calefacción y termostato acorde con las necesidades de estudio, posibilitando mantener la temperatura y humedad óptima por un tiempo determinado para promover el desarrollo de los microorganismos.

Identificación de microorganismos

Con el propósito de determinar las especies de hongos presentes en los ejemplares seleccionados, se llevó a cabo la identificación mediante tinción simple con azul de lactofenol; colorante ácido que tiñe el citoplasma y la quitina presente en las células fúngicas y, al mismo tiempo, mantiene húmeda la preparación para apreciar con mayor facilidad su estructura micelial (López *et al.*, 2014, p. 16). El procedimiento consistió en seleccionar las colonias por analizar y cortar segmentos de cinta adhesiva (1 cm^2). Posteriormente, se colocó una gota del colorante en el portaobjeto, mientras que, con el lado adhesivo de la cinta, se tocó la parte superior del hongo para rescatar sus esporas e inmediatamente posicionarla sobre el portaobjeto mencionado. Esta técnica permitió determinar únicamente el género, utilizando microscopio estereoscópico marca Zeigen®.

Con este primer análisis de actividad microbiana se observó crecimiento micelial, en el que predominaron cuatro géneros, como se muestra en las Figuras 4 a 7: *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp. y *Rhizopus* sp.

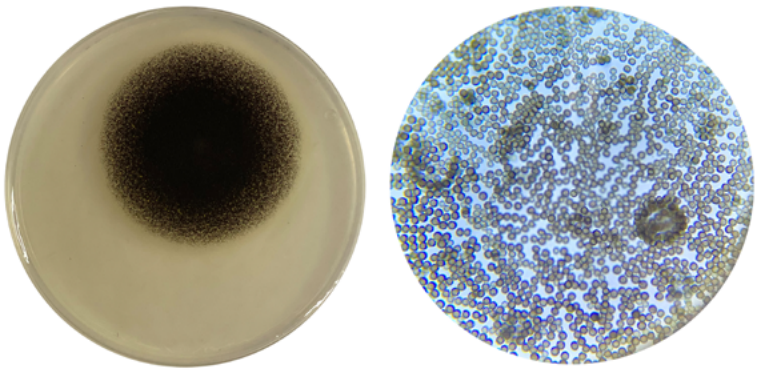


FIGURA 4. A) El color marrón y la textura algodonosa y aterciopelada son las principales características macroscópicas de *Aspergillus* sp. B) Estructura micelial de *Aspergillus* sp. en estado de gemación, observación a 100X (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

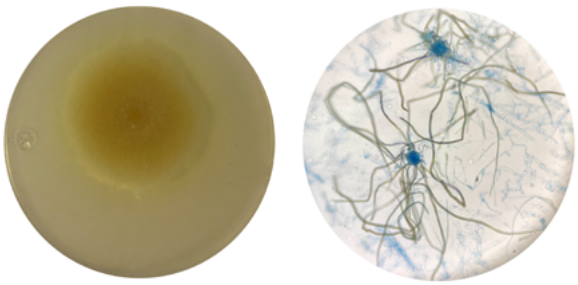


FIGURA 5. A) Colonia aterciopelada, con pliegues radiales de color crema que tienden a oscurecerse en tonos marrones. B) Sepas ramificadas de *Cladosporium* sp., observación a 10X (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

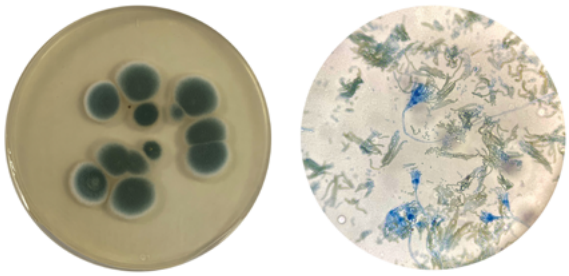


FIGURA 6. A) Colonias aterciopeladas con micelio color blanco o amarillo claro enmarcando la circunferencia; la superficie de crecimiento fundamental está coloreada de verde grisáceo. B) Estructura morfológica que caracteriza a *Penicillium* sp., el conidióforo que presenta en forma de pincel, observación a 40X (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

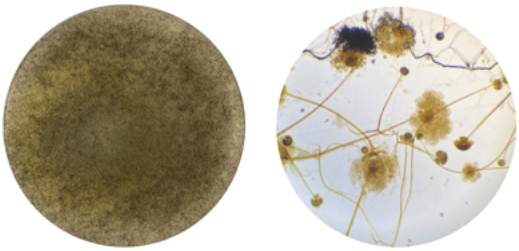


FIGURA 7. A) Colonias de rápido crecimiento color café, aspecto velloso-algodonoso. B) Estructura micelial de *Rhizopus* sp., con hifas ramificadas parecidas a hilos con esporangióforos de forma esférica, observación a 10X (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

Proceso de obtención y preparación de AE

La obtención de los AE de *Thymus vulgaris* y *Satureja macrostema* se hizo en las instalaciones del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI), específicamente, en el Departamento de Madera, Celulosa y papel (DMCyP), pertenecientes a la Universidad de Guadalajara (UdeG). El proceso de extracción se realizó mediante hidrodestilación en un sistema de vidrio compuesto por

un matraz globo, un condensador, una manta calefactora y una trampa Clevenger continua con un recolector de 10 ml. Una vez molido y lavado, se pesó el material vegetal (50 g) y se agregaron 200 ml de agua. Se empleó calor hasta que el agua hirvió, con un tiempo de extracción de 4 horas. El aceite esencial aislado y retenido en la trampa, con un volumen de aproximadamente 1 ml, se separó por decantación. La humedad residual se eliminó del aceite esencial con sulfato de sodio anhidro.

Por lo que respecta al desinfectante *Citrik*® Restauración, fue proporcionado por la BPEJ. Partiendo del hecho de que el mismo presenta pocos estudios puntuales con relación a su acción sobre gamas amplias tanto de materiales como de especies fúngicas. Se tiene una variación bastante versátil en cuanto a las concentraciones idóneas para su aplicación en relación con los tipos de materiales y de sustancia disuelta y condiciones del entorno en el que se aplique, aunque esto no obsta a que sea ampliamente utilizado en el campo de la restauración y en la BPEJ. Por todo lo anterior, se optó por trabajar con cuatro concentraciones: a 2%, 5%, 7% y 10%, disueltas en alcohol isopropílico marca Karel98® absoluto y empleadas por medio de nebulización. De ese modo, las hojas seleccionadas se dividieron en cuatro cada una y, por lo tanto, se trabajó con veinte muestras.

Aplicación de AE antifúngicos en probetas fungicidas

En cuanto a la aplicación, se ejecutó en una cámara de fumigación Marco Polo modelo Ex-Libris® (CFE-110), que tiene un sistema de canal, a través de una manguera que permite el paso de partículas finísimas a su interior. Su diseño facilita el monitoreo durante el proceso tanto de la apariencia como de la temperatura y la humedad al interior.

Posteriormente, en la cámara se introdujeron las probetas horizontalmente, separadas entre sí mediante rejillas. Los AE y el desinfectante comercial *Citrik*® Restauración se diluyeron en isopropanol y se aplicaron por medio de un nebulizador marca Omron®, modelo NE-C801LA. Se utilizaron 5 ml por cada concentración. Se eligió el nebulizador, en lugar del humidificador, porque pulveriza el líquido en partículas finas, evitando mojar la superficie de contacto. Además, el isopropanol se evapora rápidamente sin dejar remanentes.

Al finalizar cada aplicación, las probetas reposaron en la cámara por 15 minutos con el ventilador encendido para permitir la circulación del residuo que quedó en el ambiente. Transcurrido ese tiempo, se realizó un muestreo periódico en las mismas zonas para

las concentraciones: 2%:24 horas; 5%:24 y 48 horas, y 15 días; 7%:24 y 48 horas y 15 días; y, finalmente, 10%:24 y 48 horas y 15 días (Figura 8), para, así, obtener resultados cuantitativos sobre la posible inhibición de cada sustancia. Se inoculó en cajas Petri en un solo sentido a manera de estriado y se incubaron las mismas a 28° C en una estufa marca Felisa® durante 7 días.

Sustancia fungicida	Concentración aplicada	Toma de muestra periódica posterior a la desinfección	Evaluación de halo de crecimiento
Thymus vulgaris	2%	24 hrs	7 días de incubación (28°C)
	5%	24 hrs, 48 hrs y 15 días	
	7%		
	10%		
Satureja macrostema	2%	24 hrs	
	5%	24 hrs, 48 hrs y 15 días	
	7%		
	10%		
Citrik Restauración ®	2%	24 hrs	
	5%	24 hrs, 48 hrs y 15 días	
	7%		
	10%		

FIGURA 8. Número de repeticiones y niveles de experimentación (Tabla: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2024).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos confirman que todos los aceites tienen actividad antifúngica y varían según la concentración aplicada y el tipo de microorganismo. En lo que respecta a las concentraciones a 2%, *Aspergillus* sp. muestra mayor inhibición para *Thymus vulgaris*, en comparación con *Satureja macrostema* y Citrik® Restauración (Figura 9); no obstante, la colonia abarca casi toda la superficie de la caja Petri, aunque se reduce considerablemente al aumentar la concentración a 7% y 10% (Figuras 13 y 15), con presencia de una a dos colonias que abarcan ¼ de superficie en las tres sustancias (Figura 14).

En relación con la presencia de *Cladosporium* sp., abarcó ¼ de superficie y se inhibió por completo a 7% con *Thymus vulgaris*, *Satureja macrostema* y Citrik® Restauración (Figura 10). Por otro lado, *Penicillium* sp. presenta decrecimiento en el halo a medida que se eleva la concentración para *Satureja macrostema* y Citrik® Restauración (Figuras 11, 12 y 14); asimismo, se observa inhibición considerable en la circunferencia de la colonia para *Thymus vul-*

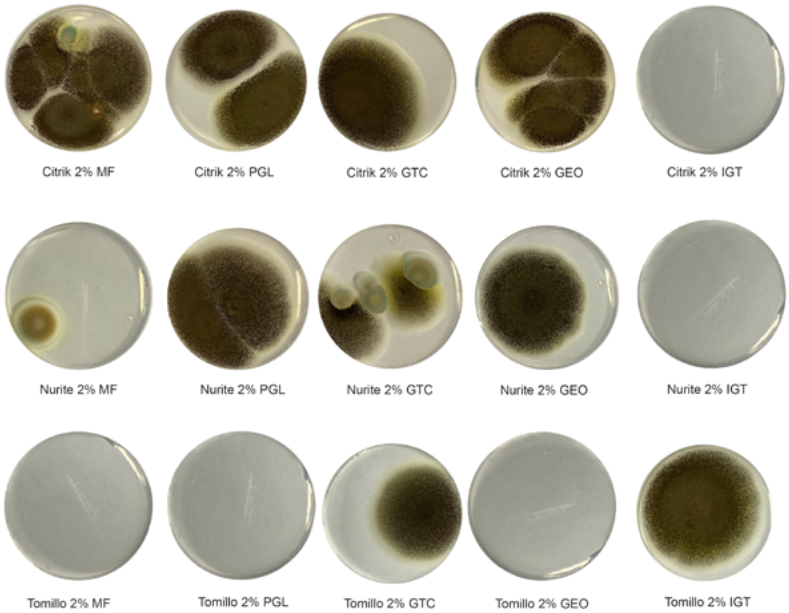


FIGURA 9. Resultados de concentración a 2%, 24 hrs., después de la aplicación. Siete días de incubación (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

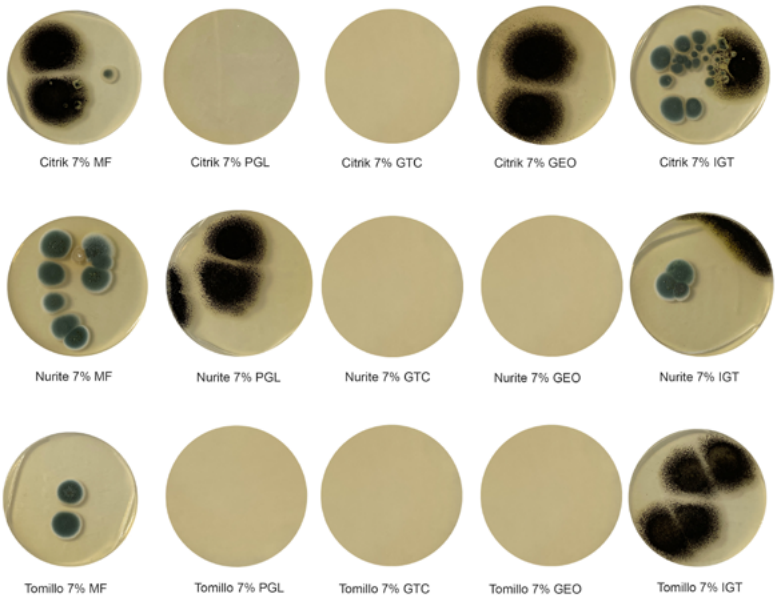


FIGURA 13. Resultados de concentración a 7%, 15 días después de la aplicación. Siete días de incubación (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

garis (Figuras 10, 12 y 13). En cuanto a *Rhizopus* sp., no muestra cambios significativos en relación con *Satureja macrostema* y Citrik® Restauración (Figura 10 y 14), a diferencia de *Thymus vulgaris*, que presenta total inhibición.

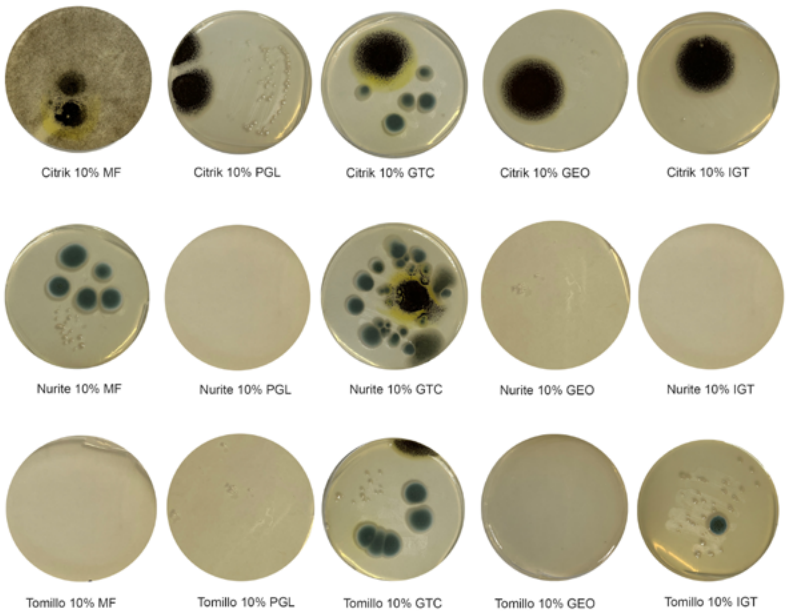


FIGURA 14. Resultado de concentración a 10%, 24 hrs., después de la aplicación. Siete días de incubación (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

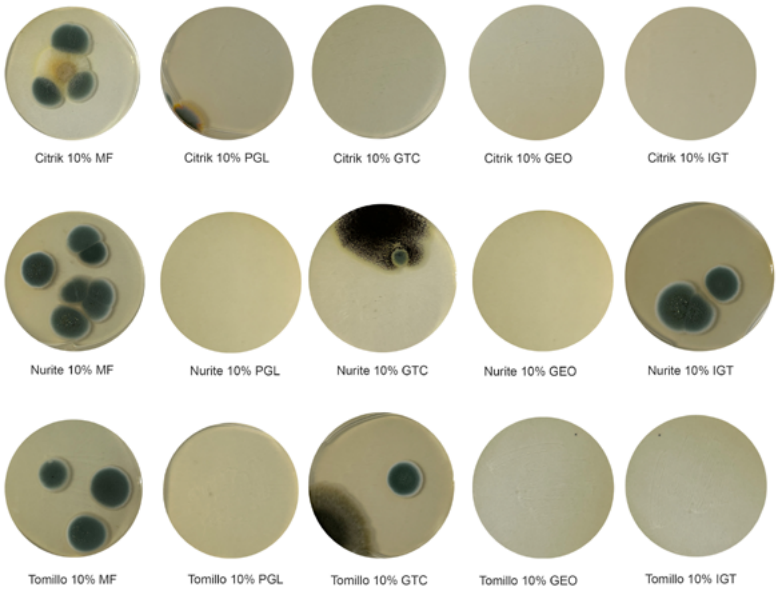


FIGURA 15. Resultado de concentración a 10%,15 días después de la aplicación. Siete días de incubación (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

Finalmente, con las tres sustancias aplicadas, el *Cladosporium* sp. es el hongo más susceptible, ya que todas las concentraciones evaluadas lo inhiben, seguido por *Aspergillus* sp., que, en términos de sensibilidad, incrementa su efectividad conforme aumenta el porcentaje. En cambio, *Penicillium* sp. exhibe una notoria resistencia, evidenciada por el decrecimiento gradual en el halo a concentraciones más altas.

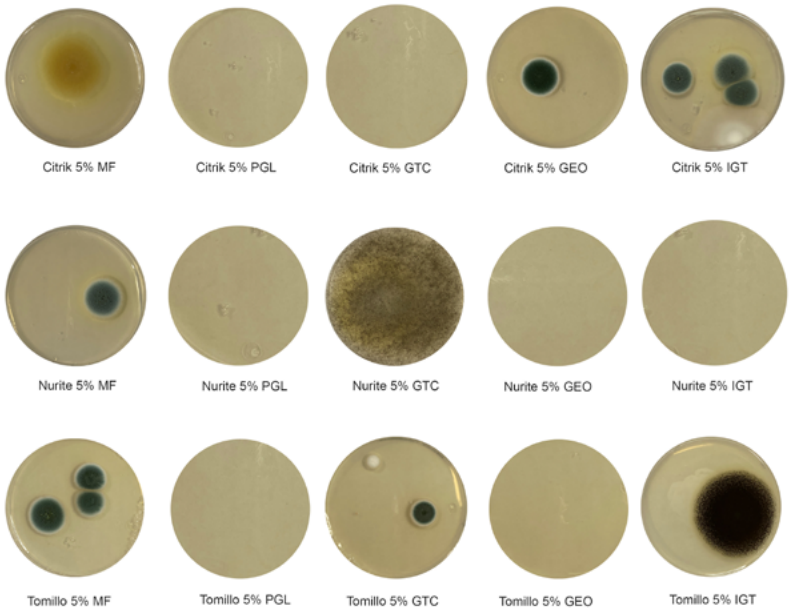


FIGURA 10. Resultados de concentración a 5%, 24 hrs., después de la aplicación. Siete días de incubación (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

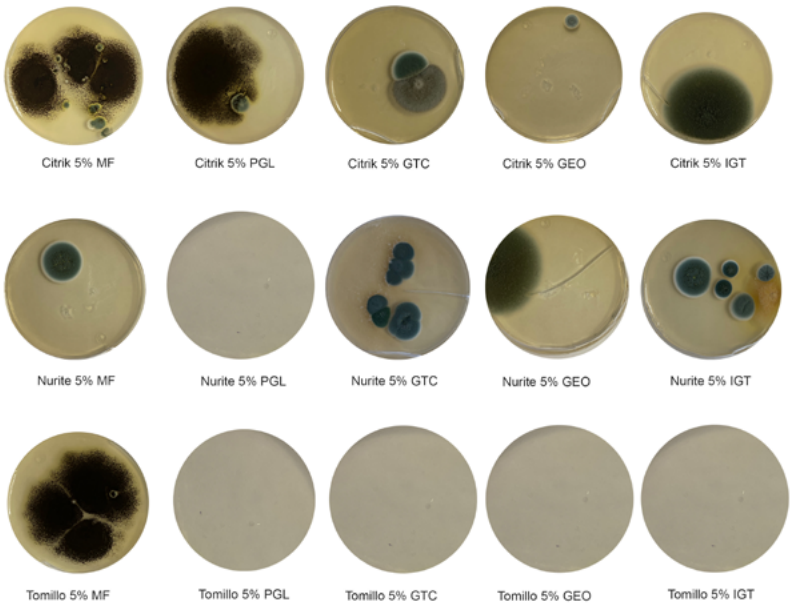


FIGURA 11. Resultados de concentración a 5%, 15 días después de la aplicación. Siete días de incubación (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

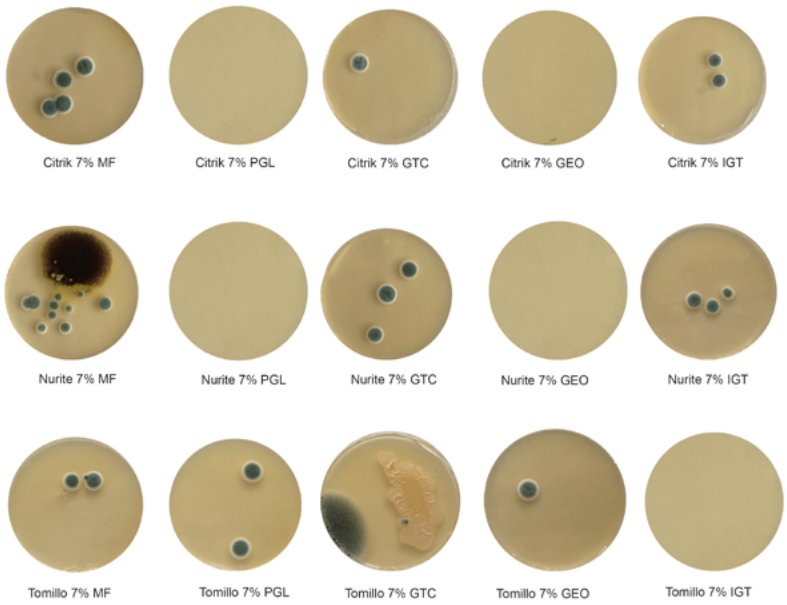


FIGURA 12. Resultados de concentración a 7%, 48 hrs., después de la aplicación. Siete días de incubación (Fotografías: Paulina Marlen Rivera Aguirre, 2023; cortesía: Laboratorio de Microbiología, Coordinación de Conservación y Restauración, BPEJ).

CONCLUSIONES

En el ámbito de la conservación de archivos, bibliotecas y museos, históricamente se utilizaron plantas aromáticas tanto para envenenar la cola de los libros con el fin de extinguir microorganismos como para repeler insectos. Sin embargo, esos métodos fueron desplazados por productos químicos, y el conocimiento sobre ellos se transmitía principalmente a través de la práctica y la disponibilidad, más que por un análisis profundo de su efectividad.

Existe poca información sobre el uso de productos naturales en la conservación del patrimonio cultural, pocos profesionales en restauración han mencionado su aplicación en objetos de fotografía, madera, piedra y pintura mural. Por mencionar algunos, en 2011 el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) desarrolló un proyecto de investigación sobre extractos naturales para la conservación de los bienes culturales en soporte orgánico como alternativa a los microbicidas e insecticidas convencionales sobre objetos sometidos a biodeterioro, utilizando especies del género *Thymus* (Morales *et al.,* 2013, pp. 148-162).

Asimismo, en 2016 el Archivo Nacional de la República de Cuba ahondó en la evaluación de la actividad antifúngica del AE de clavo de olor puro, disuelto en etanol a 70%. Los componentes del papel mantuvieron su apariencia en presencia del AE sin mostrar una afectación importante a nivel microscópico, aún después de ser sometido a 25 años de envejecimiento acelerado. A pesar de esto, a nivel macroscópico presentó manchas sobre el soporte de acuerdo con el porcentaje de concentración, pues en altas

concentraciones las manchas se tornaron más oscuras (Valdés-Pérez *et al.* 2016, pp. 79-80). Asimismo, se utilizó AE de *Organum vulgare, Thymus vulgaris* y *Syzygium aromaticum* en seis géneros diferentes de hongos, aislados de las pinturas murales de la ermita de Santa María de Arcos en Tricio, La Rioja, España. Se comprobó la capacidad antifúngica de los AE al 10% sobre la superficie de una probeta de características similares a las pinturas (Río, 2019, pp. 49-51).

En 2020 la Universidad del Cairo (UC) de Egipto, evaluó la actividad antimicrobiana de cinco aceites en fase de vapor (lavanda, clavo, anís, canela y tomillo) sobre fotografías de gelatina de plata, albúmina e impresiones cromogénicas, se demostró que los AE probados son capaces de inhibir o ralentizar el crecimiento de microorganismos; además, no se presentaron cambios de color ni de brillo sobre los casos de estudio, hasta después de ser sometidos a envejecimiento, aunque el cambio fue mínimo (Ali, 2020, pp. 81-85).

Por su parte, en el Museo Internacional de Títeres de Palermo Antonio Pasqualino de Italia, Palla y colaboradores también evaluaron los AE de *Origanum vulgare* y *Thymus vulgaris* contra la colonización de hongos y la infestación de insectos en esculturas de madera, en donde se confirmó su eficacia disminuyendo el halo de inhibición fúngico y en conjunto con la reducción de oxígeno y el uso de los AE se examinó su propiedad repelente (Palla *et al.,* 2020, pp. 2-8).

En particular, los resultados obtenidos confirman que la actividad antimicrobiana de los AE varía según el tipo de microorganismo, la cantidad y qué tan joven o antigua sea la infestación, la composición química y concentración del aceite, las características del material constitutivo y el grado de deterioro.

Aunque no exista un tratamiento universal para la inhibición del crecimiento fúngico, es importante destacar que los productos de origen natural, como son los AE, son una alternativa para reducir la toxicidad de los biocidas convencionales.

Estos hallazgos muestran que se necesita profundizar en la investigación sobre productos alternativos a los biocidas químicos sintéticos, no sólo en México, sino en todo el mundo. Recientemente, Roberta Russo y Franco Palla lo constatan según un análisis de los países que abordan el estudio sobre aceites esenciales titulado *Aceites esenciales vegetales como biocidas en estrategias sostenibles para la conservación del patrimonio cultural*, en el que refieren que no existe literatura uniforme sobre las aplicaciones de AE ni protocolos compartidos para la comunidad acadé-

mica. Los estudios son más frecuentes en Europa (Italia, Portugal, Serbia, Malta, Polonia, Grecia y Rumania) que en otros continentes (América, África y Asia) (Russo y Palla, 2023, p. 11).

Por lo tanto, es necesario identificar de forma previa al proceso de fumigación mediante cultivos, los organismos colonizadores, con observaciones macro y microscópicas, antes de tomar decisiones sobre los métodos de dicho tratamiento. Cada organismo reacciona de manera distinta ante diversas concentraciones y composiciones químicas del fungicida, así como a las características del material constitutivo y del grado de deterioro que presente.

Es importante considerar que los fungicidas generalmente están diseñados para ser selectivos y dirigirse a células específicas, de modo que el producto actua aun si no inhibe totalmente el crecimiento. El que el fungicida interrumpa o altere las funciones vitales significará que el hongo no será capaz de colonizar más allá de donde se encuentre activo, permitiendo así, controlar el biodeterioro del sustrato, lo anterior acompañado del monitoreo de las condiciones idóneas de humedad relativa, temperatura e iluminación en el entorno donde se desarrolla el microorganismo.

Por otro lado, los AE extraídos de plantas con propiedades antifúngicas bien documentadas han emergido como una opción a prácticas más sostenibles en cuanto a avances técnicos de tratamientos de conservación. La versatilidad de los aceites esenciales permite su aplicación en una variedad de contextos. Por ende, también destaca el beneficio de la medicina antigua y el conocimiento transmitido de generación en generación acerca del poder curativo de diversas plantas que forman parte de la biodiversidad única de México; saber que amplifica la paleta de opciones, respecto a las plantas disponibles para trascender en futuras investigaciones centradas en los AE, los microorganismos y su relación con factores ambientales a los que los objetos están expuestos comúnmente. Así también, enriquecen estudios puntuales para conocer el comportamiento a corto, mediano y largo plazo de los sustratos con los que interactúan y, así, determinar métodos de aplicación según las necesidades y características de las obras, promoviendo el uso de estrategias sustentables en el área de la conservación-restauración de bienes culturales.

El proceso de fumigación por medio de aceites esenciales aquí expuesto se puede ejecutar en una cámara, en el caso de varios volúmenes, o bien, de manera puntual, en un espacio cerrado por medio de nebulización manual. Se comprobó que el *Citrik*® Restauración y *Satureja macrostema* son efectivos a concentraciones mayores a 5%, mientras que el *Thymus vulgaris* muestra resulta-

dos favorables a partir de 2%. Al ser productos de origen vegetal, no caducan y la cantidad necesaria de estos es mínima, por lo que su vida útil se alarga. Así, desde una perspectiva multidisciplinaria, el conocimiento en el área de la microbiología de los organismos y la comprensión de los mecanismos de biodeterioro son determinantes para asegurar la conservación del patrimonio cultural, ya sea en papel o en otros materiales que lo constituyan.

En suma, el estudio puntual tanto del objeto como de las condiciones en las que se encuentra —ya sea de alteración, deterioro y/o contexto— abren el diálogo para la toma de decisiones desde perspectivas tanto interdisciplinarias como socioculturales en cuanto a las necesidades de la pieza a intervenir. Es fundamental hacer consciencia del impacto que tienen o pueden tener los métodos de los tratamientos aplicados en el área de la conservación-restauración, no sólo en la pieza que se ha de tratar, sino también en el entorno natural y los riesgos para el ser humano que estos implican. A la par, aprender y aplicar métodos ecoamigables fomenta una ética profesional alineada con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

REFERENCIAS

Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). (2016). *Guía sobre aceites esenciales en productos cosméticos.* Consejo de Europa, Comité para la Protección de la Salud 2016 de los Consumidores (CD-P-SC).

Ali, M. (2020). Effect of Five Essential Oils as Green Disinfectants on Selected Photographic Prints: Experimental Study. *Conservation Science in Cultural Heritage, 20*(1), 79–97. https://doi.org/10.6092/issn.1973-9494/12791.

Alonso, N. (2009). *Actividad antioxidante de* Satureja macrostema [tesis de maestría]. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-Instituto Politécnico Nacional.

Armas, C., Márquez, L. y Pretell, C. (2011). Efecto del aceite esencial de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y su combinación sobre la acción antifúngica en *Aspergillus flavus* en agar chicha de maíz (*Zea mays* L.), variedad morado. *Pueblo Continente, 22*(1), 123–131. https://journal.upao.edu.pe/PuebloContinente/article/view/459/424

Borrego, S. (2015). Los biocidas vegetales en el control del biodeterioro del patrimonio documental. Perspectivas e impacto. *Revista CENIC Ciencias Biológicas, 46*(3), 256–269. https://www.redalyc.org/pdf/1812/181241373005.pdf

Cappitelli, F., Cattò, C. y Villa, F. (2020). The Control of Cultural Heritage Microbial Deterioration. *MDPI. Microorganisms, 8*(1542), 1–20. https://doi.org/doi:10.3390/microorganisms8101542

Cuenca, B. E. (2006). *Evaluación de tres materiales químicos como fungicidas y su efecto sobre algunos papeles y tintas* [tesis de maestría]. Facultad de Ciencias-Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Damián, L. M., Salgado, R., Martínez, R. E. y Martínez, M. M. (2008). Antifungal Properties of Some Mexican Medicinal Plants. *The Open Natural Products Journal, 1*, 27–33. http://doi.org/doi:10.2174/1874848100801010027

Fernández, L. y Maqueira, E. A. (2013). Evaluación de contaminación fúngica en un depósito de libros. Caracterización fisiológica de los aislados. *Reina*, 22–26.

Galovicová, L., Borotová, P., Valková, V., Vukovic, N. L., Vukic, M., Stefániková, J., Dúranová, H., Kowalczewski, P. L., Cmiková, N. y Kacániová, M. (2021). Thymus vulgaris Essential Oil and Its Biological Activity. *MDPI, 19*, 1–17. https://doi.org/10.3390/plants10091959

Gamboa, J. (2015). *Actividad antimicóica del aceite esencial de Citrus aurantium L. "naranja" frente a la cepa de Trichophyton mentagrophytes* [tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Cristóbal de Humanga, Facultado de Ciencias Biológicas, Escuela de Formación Profesional de Biologia, Ayacucho, Perú.

Hidalgo, Y. y Borrego, S. (2006). Aislamiento y caracterización de hongos en documentos de la Biblioteca Nacional José Martí. *Bibliotecas. Anales de Investigación, 2*, 1–6. https://cip.brapci.inf.br/download/73306

López, L., Hernández, M., Caolín, C., Ortega, S., Cerón, G. y Franco, R. (2014). Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología. *Investigación en Discapacidad, 3*(1), 10-18. https://www.medigraphic.com/pdfs/invdis/ir-2014/ir141b.pdf

Maha, A. (2020). Effect of five essential oils as green disinfectants on selected photographic prints: Experimental study. *Conservation Science in Cultural Heritage*, 20, 79–97.

Marco Polo Alta Tecnología en Preservación. (2022). *Instructivo: Cámara de fumigación EX – LIBRIS ® CFE-110E*. Editorial Marco Polo, S.A. de C.V., L.A.B. El marqués, Querétaro, México, 20-21.

Morales, R., Blanco, P., Lalana, P., Pardo de Santayana, M., y Nieves Valentin. (2013). Extractos naturales para la desinfección y desinsectación de bienes culturales. Las plantas medicinales y el patrimonio histórico. *La Ciencia y El Arte, IV. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio,* 148–162.

Nazzaro, F., Fratianni, F., d'Acierno, A., Coppola, R., Ayala-Zavala, F. J., Gómez, A. y De Feo, V. (2019). Essential Oils and Microbial Communication. In *Essential Oils-Oils of Nature* (pp. 1-25). *IntechOpen*. https://www.intechopen.com/chapters/66472

Nieves V. y García, R. (1999). El biodeterioro en el museo. *Arbor 164*(645), 85–107. https://doi.org/10.3989/arbor.1999.i645.1598

Ortega, T. y Vázquez, V. (2014). *Satureja macrostema*: situación ambiental, conocimiento local y roles de género. *Revista Madera y Bosques, 20*(2), 71–86. https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/165/216

Palla, F., Bruno, M., Mercurio, F., Tantillo, A. y Rotolo, V. (2020). Essential Oils as Natural Biocides in Conservation of Cultural Heritage. *Molecules, 25*(730), 1–12. https://doi.org/10.3390/molecules25030730

Paz, J. de la y López, A. (s. f.). Los insecticidas en la lucha por la conservación del patrimonio documental en países de clima tropical. Laboratorio de Conservación Preventiva. Archivo Nacional de la República de Cuba. https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/insecticidas-lucha-conservacion-patrimonio-documental/insecticidas-lucha-conservacion-patrimonio-documental.pdf

Río, C. del (2019). *Actividad antifúngica de tres aceites esenciales contra hongos aislados de pintura mural*. Universidad Politécnica de Valencia. http://hdl.handle.net/10251/129409

Rivero, J. (2014). *Control del biodeterioro fúngico en documentos con soporte de papel* (tesis de licenciatura). Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. https://dspace.uclv.edu.cu/items/e4450beb-52ce-40bb-bc2d-e1681c793bdf

Rodríguez, A. U. (2006). La desinfección-antisepsia y esterilización en la atención primaria de salud: Laboratorios. *Revista Cubana de Medicina General Integral, 22*(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252006000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Russo, R. y Palla, F. (2023). Plant Essential Oils as Biocides in Sustainable Strategies for the Conservation of Cultural Heritage. *Sustainability, 15*(8522), 1–16. https://doi.org/10.3390/su15118522

Samah, M. y Hoda, S. (2021). Antimicrobial nanoemulsión formulario based on thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil for UF labneh preservation. *Elsevier, 10*, 1029–1041. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.073

Sarasti, L. E. (2018). Evaluación del efecto antifúngico de vapores de aceites esenciales de naranja, limón y toronja para la preservación de documentos. *Conserva, 23*, 59–73. https://www.cncr.gob.cl/sites/www.cncr.gob.cl/files/images/articles-

Soković, M. D., Vukojević, J., Marin, P. D., Brkić, D. D., Vajs, V., y van Griensven, L. J. L. D. (2009). Chemical composition of essential oils of Thymus and Mentha species and their antifungal activities. *Molecules, 14*(1), 238-249.

Tang, X., Shao, Y-L., Tang, Y-J. y Zhou, W-W. (2018). Antifungal Activity of Essential Oil Compounds (Geraniol and Citral) and Inhibitory Mechanisms on Grain Pathogens (Aspergillus flavus and Aspergillus ochraceus). *Molecules, 23*(9), 2018. https://doi.org/10.3390/molecules23092108

Trigos, Á. (2007). Encontrando el punto débil de los hongos. *CDigital Universidad Xalapa-Enríquez*, 91–96. https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/34583/hongos2d2.pdf;jsessionid=-17509D3CA892B123D80D587F9FFED4CF?sequence=2

Valdés, O., Borrego, S., Vivar, I., Anaya, M. y Molina, A. (2016). Actividad antifúngica del aceite esencial de clavo de olor en el control del biodeterioro fúngico de documentos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 47*(2), 78–85. https://www.redalyc.org/pdf/1812/181245821002.pdf

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2024
JULY-DECEMBER 2024

SOBRE LA AUTORA

Paulina Marlen Rivera Aguirre
Escuela de Conservación y Restauración de Occidente (ECRO), México
m.rivera@ecro.edu.mx
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-8975-972X

Licenciada en Restauración de Bienes Muebles y Egresada de la Escuela de Conservación y Restauración de Occidente (ECRO). Ha trabajado como conservadora-restauradora de colecciones privadas. Realizó una estancia académica en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV, España), enfocada en restauración de papel y textiles. Es miembro del Seminario Permanente de Investigación del Biodeterioro en Libros y Documentos de la Universidad de Guadalajara (UdeG). Su línea de investigación versa sobre las propiedades antifúngicas de los aceites esenciales para la conservación de documentos.

Juan Pedro Hernández Cebreros
Biblioteca Pública del Estado de Jalisco "Juan José Arreola" (BPEJ), Universidad de Guadalajara (UdeG), México
juanpedro.hernandez@udg.mx
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0210-5087

Licenciado en Restauración de Bienes Muebles y conservador-restaurador de colecciones públicas y privadas. Coordinador de Conservación y Restauración en la BPEJ. Miembro del Subcomité de Normalización para la Preservación de Acervos Documentales, del Comité Técnico de Normalización Nacional de Documentación (Cotenndoc). Miembro del Grupo Interdisciplinario de Archivos de la UdeG. Trabaja en proyectos de Recuperación de planos del banco de proyectos de la Coordinación General de Servicios Administrativos e Infraestructura Tecnológica (CGSAIT-UdeG). Asesor en la Universidad Politécnica para el establecimiento del Laboratorio de Conservación como parte de la beca CODICIS y Formación del Seminario Permanente de Investigación del Biodeterioro en Libros y Documentos.

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2024
JULY-DECEMBER 2024

Lucía Barrientos Ramírez
Departamento de Madera, Celulosa y Papel,
Universidad de Guadalajara (UdeG), México
lucia.barrientos@academicos.udg.mx
orcid: https://orcid.org/0000-0003-4451-8410

Doctora en Ciencias Biológicas y Agropecuarias, forma parte del comité editorial de la revista internacional *Acta Cientific Veterinary*. Ha participado como juez en eventos científicos. Participa en proyectos de Aprovechamiento Sustentable del Cultivo de Piña (*AnanasComosus L*. Merril) en México Investigación, así como de Aislamiento e identificación de metabolitos secundarios de plantas medicinales. Su publicación más reciente es *Antibacterial Activity of the Essential Oils of Satureja macrostema*, en coautoría con Jesús Vargas-Radillo, Edison Antonio Osorio Muñoz, José Antonio Silva Guzmán y Raúl de Anda Rodríguez, *Molecules,* 2023.

Alexandra Miguel Guevara Castillo
Departamento de Madera, Celulosa y Papel,
Universidad de Guadalajara (UdeG), México
alexandraguevara27@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2846-0941

Maestra en Ciencia de Productos Forestales e Ingeniera Química por la UDEG. Actualmente, estudiante del programa "Doctorado en Ciencia de Biomateriales Sustentables" del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Trabajó como profesora investigadora en el área de química y biología aplicada a la conservación y restauración de bienes muebles en la ECRO. Su trabajo se ha centrado en química de la madera y durabilidad natural. Ha participado en congresos nacionales e internacionales. Sus proyectos se centran en la elaboración de biomateriales a partir de micelio de hongos xilófagos y aprovechamiento de materiales lignocelulósicos residuales. Publicó en la ECRO el libro *La materia del tiempo,* 2020, y otro, en prensa titulado *Innovación en biomateriales sustentables para un mundo mejor: un enfoque multidisciplinario.*