

Desinfección de bienes culturales aplicando una metodología combinada: aceites esenciales y anoxia

Nieves Valentín | bióloga y asesora científica

URL de la contribución <www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/5375>

RESUMEN

Las propiedades microbidas e insecticidas de determinadas plantas autóctonas se conocen desde tiempos remotos. No obstante es a partir del siglo XX cuando comienzan a desarrollarse investigaciones multidisciplinarias sobre especies para uso medicinal, agrícola y protección del medio ambiente. Actualmente los análisis químicos y genéticos permiten seleccionar productos específicos, derivados de plantas, para eliminar microorganismos e insectos en bienes culturales. Sin embargo, la principal dificultad reside en el método de aplicación. El producto debe penetrar en las estructuras de los materiales históricos para erradicar el agente de biodeterioro. Los tratamientos en fase de vapor o pulverización pueden ser insuficientes, especialmente en colecciones de libros, textiles o piezas de madera.

En un proyecto de colaboración entre el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), se investigó el aceite esencial de *Artemisia absinthium* para eliminar hongos, *Penicillium chrysogenum* y *Fusarium verticilloides*, desarrollados en material celulósico. El producto se aplicó mediante un sistema dinámico de desinfección, basado en el método de anoxia. Se empleó un flujo continuo de gas inerte, nitrógeno, burbujeado en una solución con aceite esencial de *Artemisia absinthium*, diluido en etanol. La técnica que combina baja concentración de oxígeno y un aceite esencial ha sido eficaz en los objetos tratados.

Los productos derivados de las plantas, aunque sean naturales, pueden tener un impacto negativo en la salud, ambiente, o producir alteraciones en los materiales históricos. Aspectos como la viabilidad y sostenibilidad son, asimismo, comentados.

Palabras Clave

Aceites esenciales | Anoxia | Bienes culturales | Biodeterioro | Desinfección | Desinsectación | Dinámico | Microbidas | Sostenibilidad | Tratamiento |



Desarrollo de *Penicillium chrysogenum* | foto Nieves Valentín, autora de todas las imágenes del artículo si no se indica lo contrario

INTRODUCCIÓN

Los biocidas tóxicos se han utilizado regularmente para controlar el biodeteriorio de los bienes culturales. Actualmente, la legislación de numerosos países limita o prohíbe su uso, cuando se evidencian riesgos para la salud de las personas, impacto ambiental o alteraciones de las propiedades físico-químicas de los objetos históricos. También se pretende que los tratamientos elegidos sean sostenibles y viables. Compatibilizar estos aspectos es complicado, especialmente, en instituciones culturales con colecciones diversas, escasos recursos y ubicadas en países de clima húmedo y cálido.

En 1989 comenzaron a aplicarse atmósferas con bajo contenido de oxígeno para desinsectar materiales históricos. Es un tratamiento químico no tóxico, no invasivo, no destructivo, conocido como anoxia. Consiste en reemplazar el aire por un gas inerte, nitrógeno, en un espacio herméticamente cerrado que contiene el bien cultural. Con ello se elimina el 100 % de los insectos en todas las fases de sus ciclos biológicos. Representó un avance en la aplicación de métodos “verdes” para la conservación del patrimonio histórico (Valentín 1989, 1993).

En el caso de hongos y bacterias aerobias, una concentración de oxígeno menor del 0.1 % interrumpe y decrece su desarrollo. La humedad relativa (HR) aconsejable es 45-50 %, y la temperatura (T), 20-22 °C durante 4-5 semanas. Las bacterias anaerobias no son erradicadas, pero se evita su multiplicación debido a la insuficiente humedad (Valentín, Lidstrom y Preusser 1990).

Anoxia es el procedimiento más seguro para objetos delicados con biodeterioro. Es sostenible. Su viabilidad depende de las posibilidades de la institución. Requiere un coste inicial en equipos y materiales que se rentabiliza en función del número de tratamientos a realizar.

Entre los métodos físicos, se cuenta con el choque térmico por altas o bajas temperaturas y las microondas. Las altas temperaturas se aplican a objetos con infestación. Las bajas temperaturas inactivan la multiplicación de microorganismos e insectos. Los insectos más resistentes pueden ser eliminados a -50 °C, pero los microorganismos se conservan y vuelven a activarse a temperatura ambiente (Strang 2001). El procedimiento se suele emplear en caso de desastres, colecciones afectadas por inundación o plagas. Aunque es económico y rápido, no se usa habitualmente en museos por su posible impacto en las propiedades físicoquímicas de los materiales delicados.

Las microondas son efectivas para eliminar insectos en superficies de madera, preferiblemente sin relieves. Pueden representar un riesgo de alteración para objetos conformados por distintos materiales (Vivancos 2007).

Como alternativa, las investigaciones sobre extractos y aceites esenciales de plantas con actividad biocida están aportando resultados favorables en el área del patrimonio cultural.

Las plantas autóctonas se han empleado con frecuencia en medicina, perfumería o rituales religiosos. En el siglo IV ya se empleaban vapores de plantas como antídoto de veneno (Laird y Phillips 2011).

En el siglo VIII, el mundo islámico utilizó agua sometida a cocción con raíz de acacia o de espino blanco, con el fin de fabricar papel resistente al desarrollo de insectos.

Las momias egipcias, datadas a partir de 3500 a. de C, se trataron con resinas de coníferas, mirra, laurel, tomillo, canela, para evitar la proliferación de insectos, microorganismos y mal olor. Similarmente, las plantas se aplicaron en otras momias: guanches (Tenerife), americanas y chinas. La eficacia en la conservación a largo plazo viene condicionada también por las características climáticas y geográficas del país.

En el Reino Unido (s. XVII), se publicaron descripciones sobre más de 400 plantas, muchas de ellas utilizadas para curar enfermedades infecciosas y otras dolencias (Culpeper 2019).

Las expediciones realizadas a América, China, India y Japón, durante los siglos XIX y XX, permitieron la investigación de nuevas especies vegetales que los pueblos indígenas utilizaban para combatir enfermedades y proteger sus alimentos.

Actualmente, la genética molecular y análisis químicos de las plantas, ha ampliado el ámbito de aplicación en el área sanitaria, agrícola, cosmética, y conservación del patrimonio histórico. Ello ha incidido en el desarrollo de nuevos mercados y profesionales especializados. No obstante, no todos los extractos y aceites esenciales aplicados para eliminar el biodeterioro son seguros para el medio ambiente, salud y el propio bien cultural. Algunos, pueden atraer insectos. El aceite esencial de *Lavandula angustifolia*, espliego, tiene propiedades antimicrobianas (Rakotonirainy y Lavedrine 2005), pero no es efectivo frente a ciertos insectos y puede actuar como atrayente según su preparación. La planta los atrae especialmente durante la floración. La interacción de todos estos factores requiere mayor investigación.

Además de plantas vasculares superiores, se han descrito algas que poseen polifenoles con actividad antifúngica. Entre los líquenes, *Usnea barbata* y *Caloplaca saxicola* producen un antibiótico, ácido úsnico, activo frente a bacterias Gramnegativas (Castro, Pastor de Abramy Collantes 2011; Molina 2014). Su aplicación a bienes culturales infectados es prometedora.

EXTRACTOS DE PLANTAS Y ACEITES ESENCIALES PARA EL CONTROL DEL BIODETERIORO

Se pretende:

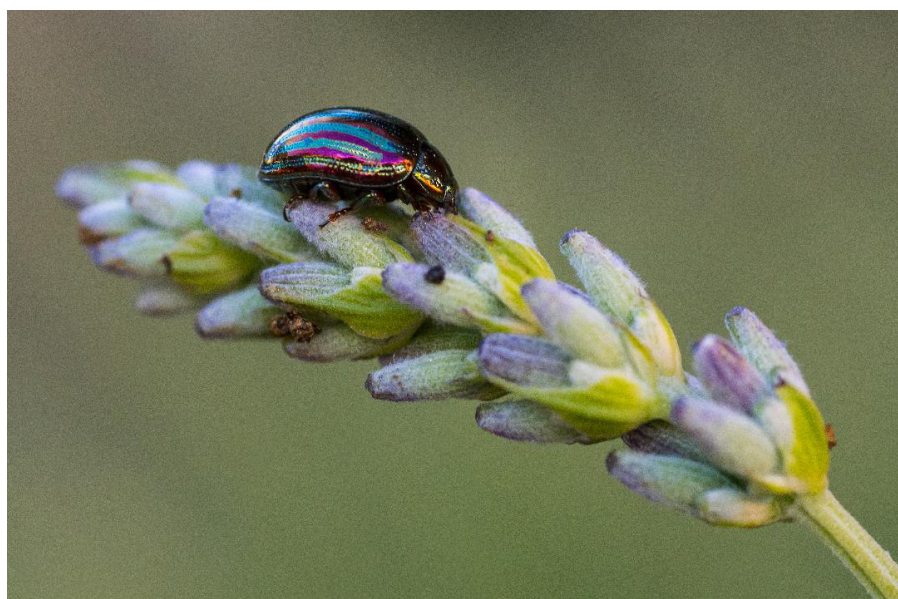
- > Disponer de una alternativa sostenible y viable a los procedimientos convencionales.
- > Establecer protocolos con metodologías apropiadas para tratar colecciones de numerosos objetos.
- > Aportar una respuesta frente a la creciente resistencia de los microorganismos a microbicidas.

Para determinar los productos derivados de plantas más eficaces y su método de aplicación es necesario:

A) Obtener el producto a partir de la planta identificada por biología molecular

Es conveniente diferenciar entre extractos y aceites esenciales. La diferencia reside en su forma de obtención.

El extracto se obtiene por maceración de la planta con un solvente como agua, etanol, metanol u otro. Es necesario obtener los productos solubles de la planta. El aceite esencial se obtiene por destilación, arrastre de vapor de agua, condensación y separación del aceite esencial. Para ello, el vapor de



Lavandula angustifolia, espliego, tiene actividad antimicrobiana | foto Marcos del Mazo

agua a elevada temperatura penetra por la parte inferior de un recipiente que contiene la planta elegida, y sale por la abertura superior arrastrando vapor con el aceite esencial, que pasa a un condensador, se enfría y se vuelve líquido. Finalmente, llega a un decantador donde se separa el aceite esencial del hidrosol.

B) Determinar la composición química del producto y mecanismo de actuación

La molécula que se encuentra en mayor cantidad en la composición del vegetal se denomina quimiotipo. Permite clasificar la composición química de la planta y define las características del aceite esencial/extracto y sus aplicaciones.

Los aceites esenciales pueden tener en su composición varios principios activos y por tanto, diferentes quimiotipos. *Salvia rosmarinus* (romero) tiene un quimiotipo, alcanfor, molécula que aparece mayoritariamente en su composición, posee acción analgésica; el segundo quimiotipo, cineol, tiene actividad antibacteriana.

El quimiotipo de una planta puede variar en función de su ubicación geográfica y clima que le afecta.

La composición de los aceites esenciales se determina mediante el acoplamiento de cromatografía de gases-espectrometría de masas. En el caso de extractos, se emplea la misma técnica, siempre que se usen disolventes apolares; y cromatografía de líquidos-espectrometría de masas, cuando se trate de soluciones polares como agua o etanol (Bailén et ál. 2013)

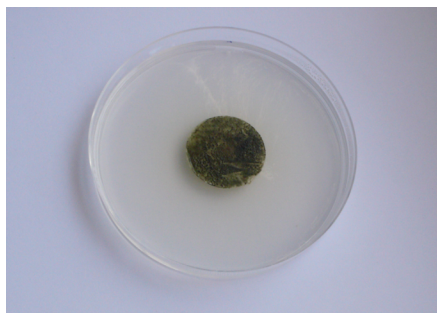
Los aceites esenciales con carácter biocida suelen estar compuestos por: terpenos (monoterpenos y sesquiterpenos); aldehídos y cetonas, ésteres; y colorantes (flavonas, azuleno). Concretamente, los terpenos aromáticos, hidrocarburos cíclicos de carácter hidrofóbico, se acumulan en la membrana celular microbiana alterando su estructura y función y, por tanto, dañan el microorganismo expuesto.

C) Analizar la actividad biológica

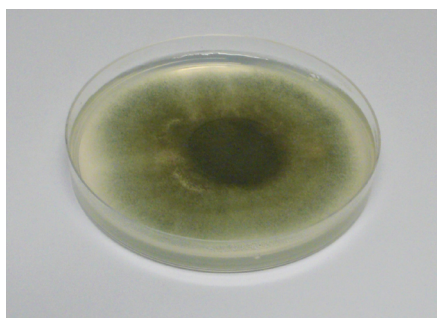
El IPCE junto con el CSIC describieron plantas autóctonas con actividad microbici da de uso medicinal. Algunas de ellas eran potencialmente extrapolables a la desinfección y desinsectación de bienes culturales (Morales Valverde et ál. 2013). Posteriormente, se investigó la actividad fungici da del aceite esencial de *Artemisia absinthium* y su aplicación para eliminar hongos ambientales *Penicillium chrysogenum* y *Fusarium verticilloides* (Valentín 2018).



Aislamiento de *Fusarium verticilloides*



Disco de papel inoculado con *Penicillium chrysogenum* y tratado con *Artemisia absinthium*. No se observa desarrollo después del tratamiento



Disco control, inoculado y sin tratamiento con *A. absinthium*. Se aprecia abundante crecimiento de *Penicillium chrysogenum*

Artemisia absinthium, conocida como ajeno, ha sido utilizada para curar determinadas enfermedades infecciosas. También para fabricar la bebida absenta, a la que se le han atribuido propiedades alucinógenas, debido al componente, tuyona, inhibidor del ácido Gamma-aminobutírico.

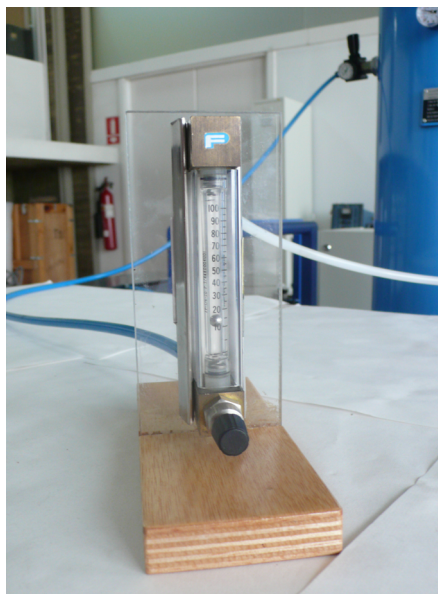
Como hongos diana se utilizaron *Penicillium chrysogenum* y *Fusarium verticilloides*. Fueron tratados con diferentes concentraciones de *A. absinthium*, hasta determinar la mínima cantidad con mayor bioactividad. Para ello, a partir de los hongos se prepararon respectivas suspensiones de esporas (10^6 esporas ml^{-1}). De cada suspensión, se tomaron 10 μl , que fueron inoculados, en discos de papel, Filter-Lab 1235, de 25 mm de diámetro, y se depositaron en placas de Petri con medio de cultivo agar-capeck, incubándose a 28 °C. Transcurridos 4 días, se observó micelio abundante de los hongos sobre los discos incubados. En cada disco contaminado se aplicó 1 ml de la disolución del aceite esencial de *Artemisia absinthium*, 0.1 % diluido en etanol al 70 %. Después de la incubación, y pasados 12 días, no se detectó desarrollo de los hongos en los discos de papel tratados.

D) Evaluar el sistema de aplicación del producto en objetos contaminados

La eficacia de la desinfección de objetos históricos depende de la óptima difusión del producto a través de sus materiales. Los procedimientos gaseosos aplicados en un sistema dinámico de flujo continuo garantizan la difusión del gas en las estructuras de los soportes y evitan una desinfección sólo de superficie.

En este caso, los ensayos se realizaron con libros experimentales fabricados con papel Whatman y discos de celulosa inoculados con *Penicillium chrysogenum* y *Fusarium verticilloides*. Los discos de papel con abundante micelio se introdujeron entre el paginado de los libros. El material se depositó en una bolsa de plástico de barrera con válvulas de entrada y salida. A través de ellas se hizo circular nitrógeno burbujeado en una solución hidroalcohólica de *Artemisia absinthium*, 0.1 %, en etanol 70 %, durante 8 horas a HR y T medias de 45 % y 20 °C. En la válvula de salida del gas de la bolsa, debe acoplarse un portafiltros, con un filtro Millipore® microporoso, para evitar dispersar esporas microbianas en el ambiente. Finalmente, la bolsa se cerró herméticamente permaneciendo en estanquidad 7 días, al término de los cuales el material se expuso al aire durante 8 semanas. No se observó crecimiento fúngico ni en los libros ni en los discos de papel contaminados.

Una atmósfera con bajo contenido de oxígeno 0.1 %, y 45 % (RH) decrece la multiplicación de hongos y bacterias aerobias y anaerobias (Valentín, Lidstrom y Preusser 1990). Cuando la anoxia se combina con un extracto o aceite esencial en etanol 70 %, se refuerza la actividad microbicida.



Equipos para aplicar aceite esencial diluido en etanol con flujo de nitrógeno: a la izquierda, caudalímetro, que mide flujo de gas nitrógeno; en el centro, frasco lavador de gases para burbujeo del aceite esencial en etanol; a la derecha, datalogger para registro de temperatura y humedad relativa

Concluida la desinfección, es necesaria una limpieza de los materiales para eliminar micelios. También, deben controlarse las condiciones ambientales.

La bolsa de plástico de barrera es reciclable, puede albergar numerosos objetos según el tamaño.

Elamin et ál. 2019 demostraron que una atmosfera con muy bajo contenido de oxígeno, y burbujeada en una disolución del aceite esencial de *Pinus regida* al 0.1 % en etanol 70 %, era eficaz para eliminar esporas de *Alternaria alternata*.

Tratamiento de material celulósico contaminado utilizando flujo de nitrógeno burbujeado en A. *absinthium* en etanol 70 %

OTRAS INVESTIGACIONES EN ENTORNOS GEOGRÁFICOS DIVERSOS

La literatura muestra abundante información sobre análisis de aceites esenciales y extractos con actividad biocida. Por el contrario, son más escasas las investigaciones sobre su aplicación a objetos históricos, que alerten de posibles riesgos de deterioro incluyendo salud y medio ambiente.

Bailén et ál (2013) analizaron *Artemisia absinthium* y determinaron la presencia de monoterpenos, sesquiterpenos, óxidos, alcoholes, aldehídos, cetonas, además de ésteres implicados en la eliminación de hongos, insectos coleópteros y parásitos. Detectaron cis-epoxyocimene, chrysanthenol, chrysanthenyl acetato y 2,6-Dimethyl-5,7-octadien-2,3-diol. También, β -tuyona y sabinyl acetato, que fueron eficaces para eliminar *Fusarium oxysporum* y *Fusarium solani*.

Bachrouch et ál. (2015) investigaron los quimiotipos de los aceites esenciales de *Artemisia absinthium* y *A. herba-alba* desarrolladas en Túnez. Observaron eficacia de *A. herba-alba* para eliminar coleópteros *Orysaephilus surinamensis* y *Tribolium castaneum*, atribuido a la presencia de α y β -pineno, camphene, 1,8 cineol, que poseen efecto insecticida.

La absintina es una lactona sesquiterpénica presente en *A. absinthium* con efectos antimicrobianos. Otra especie, *Artemisia annua*, posee un sesquiterpeno, artimisina, con propiedades antimaláricas, antibacterianas y antiinflamatorias.

Borrego et ál. (2012) analizaron 7 aceites esenciales de plantas de uso común y sus principios activos para eliminar bacterias y hongos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus clavatus*, *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., aislados de material celulósico de archivos de Cuba. Detectaron que *Origanum vulgare*, *Allium sativum* y *Pimpinella anisum* presentaban buena actividad fungicida; *Origanum vulgare*, *Allium sativum*, y *Syzygium aromaticum* eran efectivos para erradicar bacterias *Enterobacter agglomerans* y *Streptomyces* sp. Sólo *Origanum vulgare* y *Syzygium aromaticum* fueron eficaces para eliminar *Bacillus* sp. *Origanum vulgare*, orégano, y diferentes especies de *Thymus*, tomillo, poseen timol, un monoterpeno del fenol con actividad fungicida.

Vijayalakshmi y Subhashini (2000), en India, utilizaron extractos de plantas en solución acuosa para interferir en los mecanismos de desarrollo, alimentación, ovoposición, producción de quitina y apareamiento sexual de insectos coleópteros. Eligieron *Azadirachta indica*, *Annona squamosa*, *Lantana camera*, *Melia azedarach*, *Pongamina pinnata*, *Curcuma longa*, *Allium sativum*, *Acorus calamus*, *Vitex negundo* y *Zingiber officinalis*.

Azadirachta indica, conocida como Neem, mostró amplio espectro de eficacia. Ha sido utilizada desde tiempos remotos por sus propiedades medi-

cinales. Actualmente, se emplea para repeler insectos y reforzar la acción desinfectante en artículos de higiene y cosmética.

Gómez de Saravia et ál. (2008), analizaron 9 extractos de plantas en solución hidroalcohólica seleccionadas por su actividad microbici da o microbios-tática debida a la presencia de componentes; kaempferol, ácido clorogénico e iso-clorogénico, arctiopicrin, ácidos acético y ascórbico, taninos, alcaloi-des, terpenos, esteroides, fenoles, entre otros. Obtuvieron mayor eficacia de *Arctium lappa* (con lactona sesquiterpénica), para eliminar *Bacillus poli-mixa*, *Enterobacter agglomerans* y *Streptomyces* sp., aislados de archivos históricos. Asimismo, reportaron que los extractos pertenecientes a la familia *Centaurea* (con lactonas insaturadas) fueron más eficaces para eliminar las bacterias Gramnegativas que Grampositivas.

Tequida-Meneses et ál. (2002) prepararon extractos de *Larrea tridentata* y *Datura discolor* para eliminar hongos; *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium Chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Fusarium moniliforme* y *Fusarium poae*. Mostraron que *Larrea tridentata* actuaba como fungicida en todos los hongos excepto en *Aspergillus niger*. El desarrollo de *Fusarium poae* y *Aspergillus flavus* se inhibió con *Datura discolor* disuelto en etanol. *Aspergillus niger*, *A. flavus* y *Fusarium moniliforme* fueron los más resistentes frente a las plantas utilizadas.

Rakotonirainy y Lavedrine (2005) utilizaron aceites esenciales para desinfección de libros. Analizaron 9 plantas y sus quimiotipos, entre ellas; *Artemisia vulgaris* (con α + β thujona y alcanfor), *Eucalyptus globosus* (1.8 cineole, β -eucaliptol), *Lavandula angustifolia* (linalool y linalyl acetato). Los hongos ensayados fueron: *Aspergillus niger*, *A. fumigatus*, *A. repens*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium frequentans*, *Trichoderma viride*, *Chaetomium globosum*, *Paecilomyces variotii* y *Stachybotrys atra*.

Las plantas con linalool fueron efectivas, aunque el producto aplicado en fase de vapor tuvo mayor eficacia fungistática que fungicida. Puede deberse a que un tratamiento pasivo en fase de vapor no penetra adecuadamente entre las fibras de celulosa del paginado de los libros.

Tequida-Meneses et ál. (2002) detectaron impactos deteriorantes del linalool en materiales históricos. En fase de vapor y aerosol sobre material fotográfico, gelatina de plata, ocasionó una oxidación de los componentes fotográficos, detectada por cambios en la densidad óptica de los materiales. El linalool se oxida en presencia de aire formando hidroperóxidos que pueden oxidar la plata. En las pieles de encuadernación, apreciaron una desnaturalización del material. En dos tipos de papel tratados, no detectaron alteraciones de color, ni del grado de polimerización de la celulosa, pero se redujo el pH en ambos papeles.

En cuanto al impacto en la salud, Sköld et ál. (2002) indicaron que el linalool posee hidroperóxidos que pueden causar dermatitis de contacto de tipo alérgico.

Huey et ál. (2007) reportaron que el linalool, eucaliptol y D limonene, aplicados en ambiente, podían ocasionar productos secundarios, componentes orgánicos volátiles, incluyendo formaldehído, con implicaciones desfavorables en la salud.

Los extractos y aceites esenciales son sostenibles. La viabilidad de su aplicación dependerá del tipo de colecciones y frecuencia de uso del sistema de tratamiento. Análisis previos son recomendables.

CONCLUSIONES

Se resumen a continuación las conclusiones obtenidas en el desarrollo del proyecto:

> La eficacia de determinadas plantas con actividad microbici da ha sido demostrada en diferentes entornos geográficos. No obstante, su aplicación a objetos históricos es compleja debido a la diversidad de materiales que los conforman, agentes de biodeterioro y factores microclimáticos. Los grandes formatos y colecciones con un número elevado de objetos son dificultades añadidas.

> Etanol al 70 % fue el solvente más eficaz para diluir extractos y aceites esenciales. Refuerza su efecto microbici da.

> Un tratamiento de gas inerte, nitrógeno, burbujeado en una disolución de *Artemisia absinthium*, fue eficaz para eliminar microorganismos en papel inoculado con *Penicillium chrysogenum* y *Fusarium verticilloides*. Es un tratamiento dinámico que se aplica con condiciones microclimáticas compatibles con la naturaleza del objeto infectado.

> La exclusión de oxígeno minimiza los riesgos de oxidación que pudieran ocasionar los componentes químicos de aceites esenciales o extractos en los materiales históricos.

> La aplicación de aceites esenciales o extractos para desinfección ambiental en salas de museos o archivos requiere mayor investigación multidisciplinar. La correlación bioactividad-composición química debe ser evaluada en el marco de la bioseguridad.

BIBLIOGRAFÍA

- Bachrouch, O., Ferjani, N., Haouel, S. y Jouda, J.B. (2015) Major compounds and insecticidal activities of two Tunisian *Artemisia* essential oils toward two major coleopteran pests. *Industrial Crops and Products*, vol. 65, pp. 127-133
- Bailén, M., Julio, L.F., Diaz, C.E., Sanz, J., Martínez-Díaz, R.A., Cabrera, R., Burillo, J. y Gonzalez-Coloma, A. (2013) Chemical composition and biological effects of essential oils from *Artemisia absinthium* L. cultivated under different environmental conditions. *Industrial Crops and Products*, vol. 49, pp. 102-107
- Borrego, S., Valdes, O., Vivar, I., Lavin, P., Guiamet, P., Battistoni, P., Gomez de Saravia, S. y Borges, P. (2012) Essential Oils of Plants as Biocides against Microorganisms Isolated from Cuban and Argentine Documentary Heritage. *International Scholarly Research Network. ISRN*, vol. 2012, ID 826786. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/826786/> [Consulta: 25/2/2023]
- Castro Mandujano, O., Pastor de Abram, A. y Collantes Díaz, I. (2011) Aislamiento de ácido úsnico y parietina de *Caloplaca saxicola* Hoffm. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 77, n.º 2, pp. 152-161
- Culpeper, N. (2019) *Culpeper's Complete Herbal. Over 400 herbs and their uses*. London: Arcturus Publishing Limited
- Elamin, A., Takatori, K., Matsuda, Y., Tsukada, M. y Kirino, F. (2019) New insight on fumigation action of essential oil, commercial fungicide and low oxygen microenvironment on Museum mold, *Alternaria alternata*. *Biocontrol Science*, vol. 24, n.º 2, pp. 123-127
- Gómez de Saravia, S.A., De la Paz Naranjo, J., Guiamet, P., Arenas, P. y Borrego, S.F. (2008) Biocide activity of natural extracts against microorganisms affecting archives. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, vol. 7, n.º 1, pp. 25-29
- Huey, Y.S., Chung, J.C., Ho, Y.C. y Pei, C. W. (2007) The effect of evaporating essential oils on indoor quality Elsevier. *Atmospheric Environment*, vol. 41, pp. 1230-1236
- Laird, K. y Phillips, C. (2011) Vapor phase: a potential future use for essential oils as antimicrobial? *Letters in applied Microbiology*, vol. 54, pp. 169-174
- Molina, C. (2014) Los líquenes y sus aplicaciones para el ser humano. *Iamarea*, 29 de septiembre de 2014. Disponible en: <https://www.iamarea.com/2014/09/29/los-liquenes-y-sus-aplicaciones-para-el-ser-humano/> [Consulta: 16/02/2023]
- Morales Valverde, R., Blanco, P., Lalana, P., Pardo de Santayana Gómez de Olea, M. y Valentín, N. (2013) Extractos naturales para la desinfección y desinsectación de bienes culturales. Las plantas medicinales y el patrimonio histórico. *La ciencia y el arte: ciencias experimentales y conservación del patrimonio histórico*, vol. 4. Madrid: Ministerio de Educación Cultura y Deporte, pp. 148-162
- Muñoz González, C.M., León Rodríguez, A.L., Suárez Medina, R. y Ruiz Jaramillo, J. (2020) Effects of future climate change on the preservation of artworks, thermal comfort, and energy consumption in historic buildings. *Applied Energy*, vol. 276, 115483
- Rakotonirainy M.S. y Lavedrine, B. (2005) Screening for antifungal activity of essential oils and related compounds to control the biocontamination in libraries and archives storage area. *International Biodeterioration and Biodegradation*, vol. 55, pp. 141-147
- Sköld, M., Börje, A., Matura, M. y Karlberg, A.T. (2002) Studies on the autoxidation and sensitizing capacity of the fragrance chemical linalool, identifying a linalool hydroperoxide. *Contact Dermatitis*, vol. 46, pp. 267-272
- Strang, T.J. (2001) Principles of Heat Disinfestation. En: Kingsley, H., Pinning, D., Winsor, P. y Xavier-Rowe, A. (ed.) *Integrated Pest Management for Collections. Proceedings of 2001: A Pest Odyssey*. London: English Heritage pp. 114-129
- Tequida-Meneses, M., Cortez-Rocha, M., Rosas-Burgos, E.C., López Sandoval, S. y Corrales-Maldonado, C. (2002) Efecto de extractos alcohólicos de plantas silvestres sobre la inhibición de crecimiento de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium Chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Fusarium moniliforme* y *Fusarium poae*. *Revista Iberoamericana de Micología*, vol. 19, pp. 84-88. Disponible en: <http://www.reviberoammicol.com/2002-19/084088.pdf> [Consulta: 18/02/2023]
- Valentín, N. (2018) La biología y los bienes culturales. Una amenaza y una herramienta universal para conservar y restaurar. En: *La ciencia y el arte: ciencias experimentales y conservación del patrimonio histórico*, vol. 7. Madrid: Ministerio de Educación Cultura y Deporte, pp. 15-29
- Valentín, N. (1993) Comparative analysis of insect control by nitrogen, argon, and carbon dioxide in museum archive and herbarium collections. *International Biodeterioration and Biodegradation*, vol. 32, pp. 263-278
- Valentín, N., Lidstrom, M. y Preusser, F. (1990) Microbial control by low oxygen and low relative humidity environments. *Studies in conservation*, vol. 35, n.º 4, pp. 222-230
- Valentín, N. (1989) Mummy deterioration halted by nitrogen atmosphere. *Nature*, vol. 338, p. 463
- Vijayalakshmi, K. y Subhashini, S. (2000) *Handbook on storage pest control. Non-Chemical methods*. New Delhi, India: Ed. PUSHUP Printers
- Vivancos, V. (2007) *La conservación y restauración de pintura de caballete. Pintura sobre tabla*. Madrid: Tecnos