

## Hacia una mejor comprensión del *foxing* en el papel: precursores, fuentes y características

Daniela Silvana Nitiu, Andrea Cecilia Mallo, Mario Carlos Nazareno Saparrat

**Resumen:** El papel es el soporte más usado en los registros históricos que puede sufrir transformación estética y mecánica generada por factores biológicos, químicos o físicos. Los efectos del deterioro pueden visualizarse a través de las manchas de *foxing*. El objetivo de esta revisión es brindar un panorama actual respecto de las diversas evidencias del origen del *foxing* en soporte papel dada la complejidad, poder de destrucción y mecanismos aún no dilucidados. Esta revisión propone postular la multicausalidad del *foxing* aplicando el concepto de "Triángulo de la enfermedad" atribuyendo el origen de este fenómeno a la acción de microorganismos, el entorno conductivo y las interacciones con el sustrato susceptible. El estudio de la naturaleza del *foxing* es un problema clave en la preservación del papel que debe considerarse prioritario en las estrategias de conservación de archivos y museos. Estudios experimentales multifactoriales son necesarios para facilitar la identificación precisa de la génesis de este proceso.

**Palabras clave:** manchas de *foxing*, papel, microorganismos, metales, ambiente

### Towards a better understanding of *foxing* in paper: precursors, sources and characteristics

**Abstract:** Paper is the most commonly used medium for historical records, yet it is susceptible to aesthetic and mechanical transformations caused by biological, chemical, or physical factors. The effects of deterioration are often visible through *foxing* stains. The aim of this review is to provide an up-to-date overview of the various hypotheses regarding the origins of *foxing* on paper, given its complexity, destructive potential, and the mechanisms that remain unclear. This review proposes a multifactorial explanation for *foxing*, applying the concept of the "disease triangle" and attributing the phenomenon to the action of microorganisms, the conductive environment and interactions with the susceptible substrate. Understanding the nature of *foxing* is a key issue in paper preservation and should be considered a priority in conservation strategies for archives and museums. Multifactorial experimental studies are necessary to try to facilitate the precise identification of the genesis of this process.

**Keywords:** *foxing* stains, paper, microorganisms, metals, environment

### Para uma melhor compreensão do *foxing* no papel: precursores, fontes e características

**Resumo:** O papel é o suporte mais utilizado nos registros históricos e pode sofrer transformações estéticas e mecânicas geradas por fatores biológicos, químicos ou físicos. Os efeitos da deterioração podem ser visualizados através das manchas de *foxing*. O objetivo desta revisão é fornecer uma visão atual das diversas evidências sobre a origem do *foxing* em suporte de papel, dada a sua complexidade, poder de destruição e mecanismos ainda não elucidados. Esta revisão propõe postular a multicausalidade do *foxing* aplicando o conceito de "Triângulo da doença", atribuindo a origem deste fenómeno à ação de microrganismos, ao ambiente propício e às interações com o substrato suscetível. O estudo da natureza do *foxing* é um problema-chave na preservação do papel que deve ser considerado prioritário nas estratégias de conservação de arquivos e museus. São necessários estudos experimentais multifatoriais para facilitar a identificação precisa da génesis deste processo.

**Palavras-chave:** manchas de *foxing*, papel, microrganismos, metais, ambiente

## Introducción

"El libro es, sobre todo un recipiente donde reposa el tiempo" (Lledó, 2013).

El papel documenta gran parte de la historia de la Humanidad a través de las colecciones de libros y otros formatos, muchos de ellos incunables, que se conservan en archivos y bibliotecas. El papel, cuyo componente principal, es un material susceptible al deterioro y a la degradación debido a su composición química y fragilidad, requiere medidas prioritarias de conservación. Uno de los problemas que presentan los materiales confeccionados a base de soportes celulósicos o papel, es la aparición de las manchas de foxing. El deterioro por foxing de un sustrato celulósico proveniente de un objeto o documento con valor histórico es un fenómeno complejo que implica alteraciones del material debido a la acción de diversos organismos, que se desencadena bajo condiciones ambientales variadas y que depende también de las propiedades intrínsecas del papel (Álvarez Meza 2020).

De acuerdo con la teoría del "origen abiótico", las manchas de foxing son formadas por la acción oxidativa de compuestos de hierro, agentes reactivos del oxígeno y/u otros reactivos generados durante la producción de papel (Press 2001). Por otra parte, la teoría del "origen biótico" sobre el foxing propone que las manchas pueden estar formadas por compuestos de origen fúngico, incluyendo lípidos peroxidables (Karbowska-Berent *et al.* 2014), y productos derivados de la degradación de la celulosa (Florian 1996). No obstante, otros especialistas plantean una tercera opción en la cual consideran la simultaneidad de agentes en el proceso, incluyendo microorganismos e inclusiones metálicas como promotoras de este fenómeno (Choi 2007, Mina 2019).

En estas teorías, el papel como sustrato celulósico, ha sido tratado como un factor independiente en el proceso de foxing. Por este motivo, el presente manuscrito propone reinterpretar al foxing en el marco teórico del concepto de Triángulo de la Enfermedad, postulado por Islam (2017), el cual considera en su conjunto a todas las posibles interacciones entre 3 componentes claves del proceso, el sustrato, los factores ambientales y los potenciales agentes biológicos implicados.

## Diferentes acepciones del término foxing

Hay numerosas acepciones del término foxing en las publicaciones especializadas. Entre las más difundidas, el término foxing proviene de la palabra fox, que significa zorro en inglés debido a la coloración de las manchas.

Desde 1930, especialistas en la Conservación Preventiva de patrimonio documental han intentado hallar el origen del foxing y establecer protocolos para su detección, prevención y tratamiento (Choi 2007). No obstante, a pesar de variados

intentos y numerosas investigaciones, las causas propuestas para su formación siguen en discusión. Ellis (1987) lo refiere a pequeños parches circulares de coloración pardusca que pueden aparecer misteriosamente en papel antiguo como moderno sin certezas de su formación. Según el Getty Art & Architecture Thesaurus (Petersen 1992), el término foxing representa a manchas pálidas, marrones y difusas que aparecen en el papel u otras superficies que presentan una amplia variedad de colores, formas y tamaños, pudiendo incluso estar caracterizadas según sus atributos físico-químicos (Mina 2019).

El espectro de material sobre el cual se diferencian las manchas de foxing es amplio, incluyendo material de libros antiguos (Beckwith *et al.* 1940), sellos postales (Nol *et al.* 1983, Bashan y Lifshitz, 1984), documentos de archivo (Buzio *et al.* 2004), fotos impresas (Ardizzone *et al.* 2008), telas (Mina 2019) y papeles impresos entre otros soportes deteriorados.

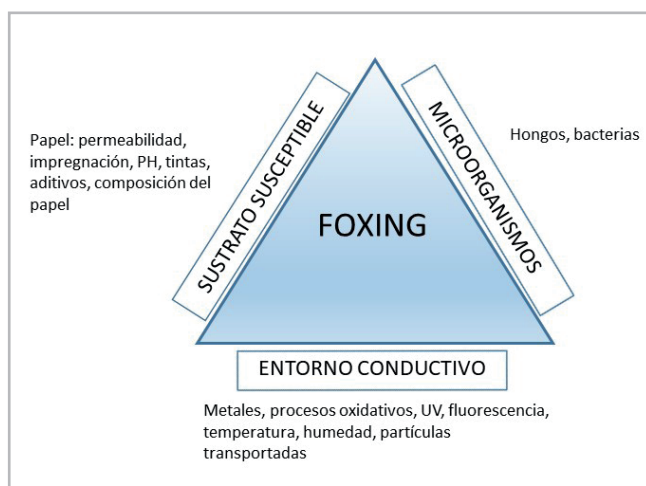
Cain *et al.* (1982) establecieron dos tipos principales de manchas relacionadas con su posible origen (abiótico o biótico) y su manifestación o desarrollo en el papel: *Bullseye*, que son manchas circulares y regulares de color marrón oscuro que contienen principalmente núcleos metálicos que no fluorescen ante la exposición a la radiación UV, que aparecen en la superficie del papel y que no migran de una página a otra (Bichieri *et al.* 2002); y *Snowflakes*, que son manchas de dimensiones mayores de color amarillento a rojizo, con capacidad para migrar de una página a otra con bordes irregulares que a menudo evidencian signos de actividad microbiana, como la detección de hifas y la diferenciación de esporomas (May y Jones 2006, Mina 2019, Arai 2000).

En este sentido, los pigmentos encontrados en el papel deteriorado pueden ser producidos y acumulados en diferentes estructuras que pueden diferenciarse, dependiendo del grupo taxonómico al que pertenecen y de su ecofisiología. Estos pigmentos pueden encontrarse en esporas, estructuras fructíferas y micelio, así como en estructuras somáticas de resistencia como los esclerocios. Además, los pigmentos fúngicos pueden ser secretados en el sustrato y propagarse lejos de la fuente de origen. (Pinzari y Montanari 2011, Szczepanowska y Cavaliere 2012). La coloración ocasionada por actividad fúngica puede ser, asimismo, un factor relevante en el deterioro del papel.

## Interpretación del foxing a la luz del concepto de Triángulo de la Enfermedad

El triángulo de la enfermedad es el producto resultante de la interacción de tres elementos comunes: el hospedador, un agente etiológico (el patógeno) y el medio ambiente (Islam 2017). El triángulo sólo se completa cuando el hospedador es susceptible, el patógeno es virulento y el ambiente es favorable para el establecimiento de la

enfermedad (Agrios 2024). La interacción entre estos elementos conduce al desarrollo de la enfermedad, por lo tanto, para anularla, cualquiera de estos tres factores puede ser modulados. Dada la complejidad del fenómeno de *foxing* en soportes documentales en papel, se propone reinterpretar este proceso en el marco teórico del concepto de Triángulo de la Enfermedad utilizado en fitopatología. En la Figura 1, se puntualizan los factores involucrados, que serán posteriormente analizados con el objeto de predecir cuáles de ellos o sus combinaciones podrían explicar el origen del desarrollo del *foxing*.



**Figura 1.** - Factores involucrados en el proceso de *foxing*.

### Sustrato susceptible: el papel, un soporte clave para el desarrollo del *foxing*

El envejecimiento del papel conduce a acelerar los fenómenos de biodeterioro como el *foxing*, debido a varios factores relacionados con sus componentes y las condiciones a las cuales son expuestos.

• **Componentes del papel:** Los papeles antiguos suelen estar constituidos por materiales que aportan estructura debido a la presencia de celulosa y otros componentes vulnerables al ataque de microorganismos debido a varios factores:

**Composición:** la celulosa y la hemicelulosa son polisacáridos que, por previa despolimerización, pueden ser utilizados como fuente de carbono y energía por un amplio espectro de organismos como hongos y bacterias (Sampaoli et al. 2023).

**Accesibilidad:** Aunque la celulosa y la hemicelulosa están protegidas por otras sustancias, como la lignina, resultan más accesibles a los microorganismos dado que el proceso de fabricación del papel, elimina ésta y otras sustancias, exponiendo a la celulosa y la hemicelulosa a su despolimerización. En este proceso se generan diferentes ácidos orgánicos que pueden acelerar la degradación, ocasionando el daño estético y estructural del papel (Mallo et al. 2017).

• **Aditivos y contaminantes:** La mayoría de las obras en papel contienen aditivos orgánicos que pueden ser utilizados como fuente de nutrientes y energía para los microorganismos. Se presentan algunos ejemplos: el almidón se utiliza como un aglutinante en la producción de papel mejorando las propiedades físicas y de manejo de la pasta, así como al proporcionar características deseables al papel final.

Las colas utilizadas en la encuadernación y en la fabricación de papel a menudo están formuladas a base de sustancias orgánicas que pueden ser atacadas por microorganismos y conducir a la desorganización de las fibras junto al desarrollo de colonias en la superficie del sustrato (Barbabetola et al. 2016).

Algunas tintas tienen constituyentes orgánicos que pueden ser utilizados como fuente de carbono y energía por los microorganismos. Asimismo, óxidos de hierro, azul de cobalto y compuestos orgánicos ricos en taninos y otros fenólicos pueden ser fuentes cromóforas de partida (Contreras 2022). Los fijadores y otros aditivos se utilizan para mejorar la adherencia de dichos pigmentos e incrementar las propiedades colorimétricas.

En cuanto a los contaminantes ambientales, éstos pueden jugar un rol importante en el deterioro del papel aportando sustratos como fuente de macro y micronutrientes utilizables por los microorganismos para su crecimiento en el papel (Cowling y Merrill 1966). La presencia de partículas como polvo, grasa y residuos también puede favorecer la dispersión y la colonización de microorganismos y constituirse en vehículo de esporas de hongos y bacterias que pueden germinar en el papel, en condiciones de alta humedad, iniciando el proceso de biodeterioro. [Figura 2]

Otro aspecto a tener en cuenta es el daño físico y químico. Los papeles pueden estar sujetos a daño físico, como desgarros y arrugas incluyendo ataques por insectos, que proporcionan áreas vulnerables para el desarrollo de microambientes que facilitan la colonización microbiana. Además, el daño químico, como la oxidación y la acidificación, puede debilitar las fibras del papel, haciéndolo más susceptible al biodeterioro (Abazi 2016). La colonización microbiana y la diferenciación de colonias sobre el papel depende en gran medida de la constitución y textura de la superficie del papel como también de la porosidad, higroscopicidad en el sustrato.

### Microorganismos: agentes biológicos causantes del *foxing*

—*Los hongos y su actividad en el desarrollo de manchas de "foxing"*

El biodeterioro del papel causado por los hongos puede manifestarse principalmente a través de



dos mecanismos. Un mecanismo físico, debido a la diferenciación de micelio que coloniza el papel y abre la trama de fibras; y el deterioro químico generado por los hongos mediante la síntesis y liberación de enzimas extracelulares y metabolitos difusibles que conducen a la despolimerización y al deterioro estético de la trama del papel utilizado como fuente de nutrientes y energía (Ciferri 1999). Entre los hongos reportados como agentes principales involucrados en la formación de foxing en materiales de archivo se encuentran los representantes del Phylum Ascomycota correspondientes a la familia Eurotiaceae, con *Aspergillus* y *Penicillium* como dos de los géneros más frecuentes y abundantes en registros asociados a este tipo de manchas en el papel (Nieto-Fernandez *et al.* 2003, Karbowska-Berent *et al.* 2014, Mallo *et al.* 2017).

La actividad de los hongos en el papel se puede poner de manifiesto cuando aparecen manchas de diversos colores y formas. Las enzimas sintetizadas por diferentes especies de hongos cuando crecen a expensas del papel aceleran el proceso de celulólisis y de transformación de otros aditivos como los adhesivos, promoviendo la reducción de resistencia del papel asociado a un aspecto poroso y fragmentado. Los hongos que alteran la documentación en soporte papel, como aquellos de la familia Eurotiaceae, poseen una capacidad distintiva para tolerar condiciones adversas, lo que modula la diferenciación de estructuras de resistencia y/o de reproducción capaces de incrementar el efecto de deterioro sobre el papel (Nitiu *et al.* 2020). Entre estas estructuras, las esporas de los hongos ambientales se



**Figura 2.-** Señales físicas del foxing en libros conservados en la biblioteca "Dr. A. Pérez Aznar, Senado de la Provincia de Buenos Aires, Argentina" y representación de los tres puntos propuestos en el Triángulo. Sustrato susceptible: [A, B, C] Ejemplares de la biblioteca con notorias manchas de foxing en el papel. Microorganismos: [D] Identificación *in vitro* de *Cladosporium* sp. en el papel. Entorno conductivo: [E] Sitio de guarda con marcada presencia de desarrollo de humedad. [F] Papel afectado por humedad con evidencia de foxing. *Copyright:* las imágenes han sido tomadas por los autores en una investigación previa (Nitiu *et al.* 2017).

caracterizan por ser resistentes al calor, desecamiento y otras condiciones adversas. Estas unidades de dispersión les permiten mantenerse en estado de reposo hasta que encuentren una condición favorable para su germinación, iniciando la formación de micelio, mediante el cual captan todos los nutrientes disponibles en el medio para completar su ciclo de vida (Peña y Zambrano 2003).

De acuerdo con la teoría microbiológica sobre el origen del *foxing*, las manchas marrones oxidadas pueden derivar de compuestos fenólicos secretados por hongos ambientales que colonizan el papel (Karbowska-Berent *et al.* 2014); de la reacción de los productos de degradación de la celulosa con aminoácidos procedentes del micelio (reacción de Maillard; Arai 2000) o de la autooxidación de lípidos de origen fúngico (Florian 1996). [Figura 2]

Ciertos autores han detectado la acidificación del papel a nivel de las manchas de *foxing*, probablemente debido al metabolismo fúngico en el área afectada del papel (Karbowska 2014).

La coloración oscura de las manchas de *foxing* también se ha relacionado con la presencia de pigmentos específicos, incluidas las melaninas, que son dominantes en las paredes celulares de los hongos dematiáceos ambientales y que colonizan papel (Florian y Purinton 1995, Nieto-Fernandez *et al.* 2003, Nitiu *et al.* 2022). La mayor parte de las investigaciones realizadas por especialistas en Conservación sobre las manchas de *foxing* se centra en aquellas derivadas de la actividad fúngica. Sin embargo, la capacidad de muchas melaninas fúngicas para inmovilizar metales es compatible con un origen dual de manchas de *foxing* en el papel que implica simultáneamente la actividad microbiana y la reactividad inducida por metales (López *et al.* 2024). Florian (2002) describió el proceso por el cual las paredes celulares de los hongos secuestran oligoelementos como Fe, Cu y Zn y los quelan, generando posibles centros de reacción de procesos oxidativos, que involucran la producción de radicales libres.

Las manchas de *foxing* pueden identificarse por sus características fisicoquímicas, incluida su interacción con la radiación electromagnética, mostrando un espectro característico de absorción UV-visible y fluorescencia (Zotti *et al.* 2011). En base a estas respuestas espectroscópicas, la participación de las melaninas fúngicas ha sido relacionada a las manchas de *foxing*, tal vez como resultado de reacciones tipo Maillard, donde aminoácidos disponibles reaccionan con azúcares reductores para producir colores marrones. Este proceso puede iniciarse a partir de reacciones abióticas o a partir de subproductos del metabolismo de los hongos (ácidos orgánicos, oligosacáridos y compuestos proteicos) que reaccionan bajo condiciones específicas

como baja actividad del agua y alta temperatura y conducen a la formación de *foxing*. Este último desencadena la formación de productos marrones y reacciones oxidativas, probablemente resultando en la producción de melanoidina y la consecuente formación de manchas tipo *foxing*, compatible con la síntesis de melaninas heterogéneas (Bell y Wheeler 1986, Piñar *et al.* 2015, Toledo *et al.* 2017). Es de destacar que las melaninas fúngicas o sus precursores (que pueden actuar como sideróforos) y su interacción con el hierro dentro de la matriz del papel, pueden ser potenciales moléculas iniciadoras del desarrollo del *foxing*.

#### — Las bacterias y su contribución a la generación de “foxing”

Si bien el fenómeno de *foxing* es considerado principalmente debido a la actividad fúngica, investigaciones recientes han indicado también la participación de bacterias en el proceso (Dunka *et al.* 2014, Szulk *et al.* 2018, Stratigaki *et al.* 2024)

La detección de bacterias en estas manchas en colecciones de papel antiguo puede estar relacionada con condiciones ambientales favorables para su desarrollo, como humedad y temperatura. Aunque el rol de las bacterias en el proceso de *foxing* aún no está completamente comprendido, ello parece ser dependiente de varios factores ambientales, sumado a la participación de taxa bacterianos pertenecientes a *phyla* Actinobacteria y Proteobacteria (Stratigaki *et al.* 2024).

Estudios recientes han utilizado técnicas de secuenciación genética, fluorescencia y cromatografía líquida en asociación a espectrometría de masas para el análisis de muestras biológicas a nivel molecular con una alta sensibilidad y resolución para identificar bacterias asociadas con el biodeterioro. Se ha hallado una variedad de bacterias, Gram positivas y Gram negativas, que han sido postuladas por tener algún rol en la formación de estas manchas (Stratigaki *et al.* 2024).

Estas investigaciones subrayan la importancia de la contribución de las bacterias al *foxing* para desarrollar estrategias efectivas de conservación y preservación de materiales históricos y documentos en papel.

En la Tabla 1 se exponen publicaciones que han referenciado estudios de *foxing* en los que se evidencia la predominancia en el análisis de microorganismos en especial hongos y bacterias (factores bióticos), respecto de los compuestos inorgánicos (factores abióticos), quedando el análisis del sustrato papel y el entorno conductivo en general muy desdibujados.



Título de la publicación	Asignación de foxing	Materiales estudiados o tipos de daño en los sustratos	Color de manchas y otros criterios de biodeterioro	Hongos aislados en papel	Metodologías empleadas	Observaciones	Referencias bibliográficas
<i>Foxing caused by Fungi: twenty-five years of study</i>	Origen biótico	Pinturas decorativas del edificio principal de Hoodo en el Templo Byodoin (Japón)	Manchas marrones con micelio alrededor de fibras de papel	1. Hongos tonófilos absolutos, incluidos <i>Aspergillus penicillioides</i> y <i>Eurotium herbariorum</i> . 2. hongos tonófilos facultativos	Experimento de cultivo donde se muestra el foxing. Se analizaron varios tipos de papel que desarrollaron hongos en las áreas cubiertas de foxing.	El autor propuso el proceso para la formación de foxing a partir de microorganismos y polvo en pinturas	Arai 2000
<i>Conservation of paper documents damaged by foxing</i>	Origen biótico/abiótico	El papel presenta una compleja degradación física, química, biológica evidenciado por diferentes tipos de daño incluyendo el foxing y cambios de color causados por ataque biótico. Bullseyes y snowflakes están Presentes	Tono marrón rojizo o amarillento en la superficie del papel	<i>Trichoderma viride</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>Aspergillus niger</i> y <i>Chaetomium sp.</i>	SEM-EDAX análisis. Investigaciones biológicas confirman el origen fúngico de biodeterioro en el papel.	Se proponen diferentes técnicas de conservación y restauración del patrimonio documental en papel	Ardelean & Melniciuc Puica 2013
<i>Foxing and Reverse Foxing: Condition Problems in Modern Papers and the Role of Inorganic Additives</i>	Origen abiótico	Se estudiaron obras de arte del siglo XX (litografías, xilografías, aguafuertes) bajo luz ultravioleta.	Manchas de color marrón rojizo, beige, naranja, rosa.		El tratamiento consistió en inmersión en agua desionizada con pH ajustado y aplanado. Se realizó examen con luz ultravioleta después del tratamiento.	Este artículo sugiere que los conservadores de papel comienzan a considerar el foxing como crecimiento o polimerización de cristales observados en las obras	Berthalan 2015
<i>Two samples: 1850 machine paper in good conditions and a dust jacket of 1939 book</i>	Origen abiótico	Papel de 1850 en buenas condiciones y sobrecubierta de un libro de 1939	Manchas de color amarillo pardusco y de color marrón oscuro		Espectroscopia ATR-FTIR y análisis ATM utilizando transformada de Fourier	Correlación entre los espectros FTIR y la morfología de la superficie del papel.	Buzio <i>et al.</i> 2004
<i>Study of the contaminating microbiota of old paper supports</i>	Origen biótico	Dos tipos de papel antiguo pertenecientes a una colección privada de Moldavia (Rumania): 1- un libro eclesiástico de finales del siglo XIX, y 2- un libro de 1870 con papel procedente de pasta de celulosa derivada de madera.	Manchas de color púrpura, amarillo, marrón, negro, rojo	Bacterias: <i>Bacillus sp.</i> , <i>Clostridium sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Micrococcus sp.</i> Hongos: <i>Penicillium sp.</i> , <i>Alternaria sp</i>	El método utilizado en este estudio fue la impresión sobre las partes atacadas del papel posteriormente transferidas a medios de cultivo específicos para bacterias y hongos.	Se aislaron 24 cepas bacterianas pertenecientes a los géneros citados. Se encontró contaminación bacteriana en la mayoría de las muestras, particularmente en las manchas de foxing	Dunca 2014
<i>Consideration about foxing stains in three paper collections ranging to 16th to 20th century. Portuguese artist's paper drawings from 1835 to 1975 belonging to the Biblioteca Nacional de Portugal</i>	Origen biótico y abiótico	Las manchas de foxing exhiben una morfología diversa según el origen del papel.	Pequeñas manchas anaranjadas, redondas y con un pequeño centro oscuro, o manchas de copo de nieve o grandes manchas marrones.	Los autores mencionan factores bióticos como causa de foxing pero no explicitan de qué tipo.	Observación bajo luz reflejada y transmitida y radiación UV.	Los autores sugieren que materiales similares desarrollaron manchas de foxing similares. La mayor incidencia está relacionada con los diferentes procedimientos de fabricación del papel y la presencia de compuestos como encolados gelatinosos, la presencia de lignina y un efecto sinérgico del hierro presente	Figueira <i>et al.</i> 2020
<i>Drawing "The Market in Gniew" by Leon Wyczółkowski from 1933</i>	Origen biótico	Presencia simultánea de manchas de foxing y numerosos depósitos creados por cleistotecios en el dibujo examinado	Manchas amarillo, amarillo - naranja. Blanco y capa esponjosa o polvorienta, ligeramente amarillenta. Manchas marrones claras.	<i>Eurotium repens</i> , <i>Eurotium rubrum</i> , <i>Aspergillus glaucus</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Penicillium solitum</i> <i>Westling var. solitum</i> , y <i>Penicillium decumbens</i> .	Aislamiento e identificación de microhongos	Los hongos encontrados son probablemente responsables de la formación de manchas de foxing porque secretan grandes cantidades de pigmentos amarillos, marrón anaranjado o marrón en los medios de cultivo.	Karbowska Berent <i>et al.</i> 2013
<i>Study of collections of old (16th–20th century) European books stored in the Rare Book Library of the Seoul National University in Korea.</i>	El objetivo de este proyecto fue realizar un registro digital rápido de una gran colección de libros afectados por foxing como referencia y medida de conservación preventiva.	Colecciones de libros europeos antiguos (siglos XVI al XX) almacenados en la Biblioteca de Libros Raros de la Universidad Nacional de Seúl en Corea.	Manchas analizadas mediante análisis digital de imágenes utilizando un software de procesamiento de imágenes recientemente desarrollado (PicMan).		En este estudio se utilizó un software de análisis y procesamiento de imágenes recientemente desarrollado para análisis cuantitativo y extracción de información.		Kim <i>et al.</i> 2019
<i>Paper Foxing Stains on a Historic Manuscript from the Early Qajar Era: Abiotic or Biotic Foxing?</i>	Origen abiótico	Bullseye tipo de foxing	Manchas naranja-marrón		Espectroscopia fluorescencia UV, $\mu$ XRF.	Según los autores, el foxing abiótico aumenta la oxidación de la celulosa.	Koochakzadei & Gharetapeh, 2021
<i>Imaging evaluation of local treatments for foxed papers'</i>	No refiere	Tres lotes diferentes de muestras de papel fueron tratado con diferentes agentes de blanqueo.	Tono marrón rojizo o amarillento en la superficie del papel	Se tomaron fotografías y se realizó observación microscópica óptica de los materiales. Para el tratamiento de blanqueo se utilizó peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio y borohidruro de sodio.		Los resultados ópticos muestran que el peróxido de hidrógeno fue el tratamiento blanqueador más eficiente en la eliminación de manchas y no afectó al medio de encolado y en consecuencia las marcas de grafito no se alteraron.	Matos <i>et al.</i> 2017

<i>Stains versus colourants produced by fungi colonising paper cultural heritage: A review</i>	Origen biótico	Se realizó una revisión bibliográfica sobre las manchas fúngicas más comunes que aparecen en los papeles de patrimonio cultural	Manchas amarillo, rojo, naranja	<i>Aspergillus sp., Penicillium sp., Chaetomium sp., Cladosporium sp., Eurotium sp., Alternaria sp., Trichoderma sp.</i>	Se realizó una revisión bibliográfica sobre conservación de papel. Se identificaron y estudiaron las moléculas de colorantes producidas por hongos que pueden colonizar el patrimonio cultural de papel	En cuanto al estudio en el campo de la conservación del papel, se concluyó que los hongos más frecuentemente relacionados con la tinción del papel pertenecen a los géneros <i>Aspergillus</i> y <i>Penicillium</i>	Melo et al. 2018
<i>Isolation of fungal species from test samples and maps damaged by foxing, and correlation between these species and the environment</i>	Origen biótico	20 Muestras de papel con foxing datadas entre los siglos XVII y XX	Manchas oscuras centradas, manchas marrón pálidas generalizadas, manchas esféricas pálidas	<i>Chaetomium globosum, Ch. gracile, Eurotium pseudoglucum, Ulocladium botrytis, Fusicladium sp., Cladosporium sphaerospermum, Epicoccum purpurascens, Oidiodendrum citrinum, Oidiodendrum majus, Penicillium chrysogenum, P. decumbens, Trichoderma spp.</i>	Observación de foxing en luz normal, ultravioleta y fluorescencia. Análisis micológico por método de cultivo.	Este estudio confirma la correlación entre los parámetros termohigrométricos y el lugar de conservación y una relación entre el medio ambiente y las especies de hongos	Montemartini Corte et al. 2003
<i>A set of six different foxed paper samples from the 20th century were obtained from the paper conservation studio of the José de Figueiredo Conservation Laboratory in Lisbon</i>	Características bióticas, químicas y físicas del papel.	Seis muestras de papel del siglo XX conteniendo manchas de foxing	Foxing marrón oscuro con diversas formas.	4 especies de <i>Penicillium</i>	Enfoque no destructivo multianalítico mediante imágenes fotográficas y MO, SEM-EDS, ATR-FT-IR, EDXRF. Caracterización microbiológica	La presencia de múltiples sideróforos puede explicarse por el proceso de fabricación de los papeles. Los autores dan una importancia sustancial a la disrupción y desorganización estructural del papel en las zonas con foxing.	Nunes et al. 2015
<i>Isolation and attempts of biomolecular characterization of foxing stains associated to foxing on a 19th century book</i>	Origen biótico	Se estudiaron muestras de un libro del Dr. Eduard Zeller titulado "Philosophie der Griechen, eine untersuchung", impreso en Alemania y publicado en 1852	Gran cantidad de manchas marrones.	14 grupos de hongos pertenecientes principalmente a los siguientes géneros: <i>Aspergillus, Bjerkandera, Chaetomium, Gloeotinia, Penicillium, Polyporus, Saccharicola, Trichoderma</i> y <i>Ulocladium</i>	Las técnicas de PCR, clonación y técnicas basadas en secuencias ITS de ADNr permiten recopilar gran cantidad de información sobre la comunidad fúngica de áreas manchadas en papel viejo	Algunas de las especies identificadas nunca han sido aisladas en documentos, superficies o en la atmósfera de las zonas de almacenamiento. Su presencia en las zonas manchadas puede aportar nueva información y proporcionar datos para un mayor debate sobre el origen biológico del foxing	Rakotonirainy et al. 2007
<i>Contribution to the characterization of foxing stains on printed books using infrared spectroscopy and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry</i>	Origen biótico	Muestras de 9 libros impresos publicados entre 1823 y 1963 y dañados por foxing	Amarillento a marrón pálido. Snowflake foxing	<i>Thricoderma viride, Penicillium chrysogenum</i>	Espectroscopía infrarroja y microscopía electrónica de barrido espectrometría de energía dispersiva	Los libros estudiados mostraron claramente la presencia de grupos de esporas y micelios en las áreas teñidas.	Rakotonirainy et al. 2015
<i>Analysis of paper foxing by newly available omics techniques</i>	Origen biótico/abiótico	Se obtuvieron tres muestras diferentes de papel con manchas de foxing y áreas sin manchas de materiales de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Nicolás Copérnico de Toruń (Polonia).	Manchas de color marrón amarillento con bordes irregulares	<b>Géneros de Bacterias:</b> <i>Gluconobacter, Ralstonia, Delftia, Pseudomonas, Burkholderia, Bacillus, Lysinibacillus, Brevibacillus, Staphylococcus, Arthrobacter, Propionibacterium, Micrococcus, Corynebacterium.</i> <b>Géneros de Hongos:</b> <i>Saccaromyctales (Saccaromyces), Cladonia, Phoma</i>	Estudio en base a métodos ómicos, incluida la metagenómica a través de secuenciación de alto rendimiento en la plataforma Illumina y la metabolómica a través de imágenes de espectrometría de masas de tiempo de vuelo con desorción/ionización láser asistida por superficie de alta resolución (SALDI-ToF-MS) utilizando el método de objetivo mejorado con nanopartículas de oro (AuNPET)	El foxing es el resultado de un efecto combinado de la acción microbiana, la degradación del papel por microbios, la producción de tintes y los cambios químicos que ocurren en el papel debido a la oxidación de los metabolitos de la celulosa.	Szulk et al. 2018
<i>Fungal and bacterial species richness in biodeteriorated seventeenth century Venetian manuscripts</i>	origen biótico	Se analizan cartas históricas manuscritas del siglo XVII almacenadas en la biblioteca del Museo Correr. en Venecia, Italia, que exhibe signos pronunciados de biodeterioro.		29 grupos de Hongos y se destacan: <i>Chaetomium globosum, Saccharomyces cerevisiae, Penicillium sp., Aspergillus fumigatus, A. oryzae Neurospora crassa, 11 grupos de Bacterias que se destacan: Mesorhizobium japonicum, Brucella ovis, Candida albicans.</i>	Se utilizó microscopía estereoscópica, óptica, de fluorescencia y electrónica de barrido, SEM, nano-LC-MS, espectrometría de masas	Este artículo revela una gran microbiota en el papel la cual fue analizada por múltiples estudios. Revela nuevas especies de hongos y bacterias asociadas al biodeterioro como así también patógenos humanos	Stratigaki et al. 2024
<i>Mycological and FTIR analysis of biotic foxing on paper substrates</i>	Origen biótico	Passpartout, obra de arte del siglo XX, cartón soporte también passpartout. Superficie del cartón sin encolado gelatinoso.	Manchas de color rojo pardusco pálido	<i>Cladosporium sphaerospermum Penz; Aspergillus melleus Yukawa; Aspergillus purpurogenum Stoll; Aspergillus sclerotiorum G.: A: Huber</i>	Espectroscopía FTIR-ATR y estudios micológicos. Identificación de hongos residuales y subproductos.	De acuerdo con este artículo, los resultados del uso de esta técnica confirman el origen biótico del foxing	Zotti et al. 2011

**Tabla 1.-** Publicaciones donde se asignan diversos orígenes del foxing en papel. Características del biodeterioro y metodologías empleadas.

### **Entorno conductivo: el medio ambiente como factor detonante del desarrollo del foxing**

—*El metal como agente promotor del foxing*

De acuerdo con la teoría del hierro, las manchas de foxing pueden ser formadas por la oxidación de los compuestos de hierro presentes en el papel y derivados del agua o por reactivos involucrados en la elaboración de papel o hierro procedente de elementos en las máquinas de producción (Tang 1978), sin embargo, esta hipótesis abiótica no ha sido confirmada como la propuesta dominante para la formación del foxing (Press 2001).

La contaminación de la matriz del papel por metales puede provenir del proceso de fabricación de papel o del polvo en el aire. Cabe señalar que el polvo en el aire puede contener hasta el 15% de hierro del componente inorgánico (Rebrikova y Manturovskaya 2000).

Metales como hierro, estaño, cobre y sus aleaciones como cobre-mercurio o cobre-zinc o latón han sido reportados como claves en la formación de las manchas de foxing. Muchos de estos hallazgos probablemente procedan de tintas ferrogálicas, que han sido ampliamente utilizadas en impresiones antiguas (Cain *et al.* 1982, Kenjo *et al.* 1987, Tang 1978, Tang y Toyer 1981, Daniels y Meeks 1994, Contreras 2022). [Tabla 1].

Estos metales han sido identificados usando escaneo de microscopía electrónica y rayos X de dispersión de energía (SEM o SEM/EDX), o fluorescencia de rayos X (XRF). El uso de espectroscopia de absorción atómica reveló que el contenido de metal localizado en las manchas de foxing en papel debe superar la concentración de 500 ppm para el hierro y 50 ppm para el cobre para causar foxing (Tang 1978, Tang y Toyer 1981, Cain *et al.* 1982, Kenjo *et al.* 1987). Los iones de metales de transición, como el Fe (II) y el Cu (I), actúan como catalizadores de la oxidación de la celulosa (Choi 2007), fenómeno activado bajo condiciones de alta humedad relativa (Tang 1978). Rebrikova y Manturovskaya (2000) llamaron la atención sobre este efecto catalítico. Su hipótesis es que el envejecimiento del papel se acelera en las zonas oxidadas debido a la acción catalítica de metales de transición a través de la formación de radicales libres.

Se ha demostrado también que la intensidad de coloración de las manchas de foxing es directamente proporcional a la concentración de hierro, e inversa al brillo y a la fragilidad del papel (Matos 2017).

En base a la contribución del cobre en la formación de manchas de foxing, se ha mostrado que las manchas inducidas por este metal tienen una coloración más difusa, no diferenciando un núcleo y alcanzando tamaños de hasta 5 mm de diámetro comparado a las asociadas al hierro (Book and Paper Group Wiki, 1992). En este sentido, Rebrikova y Manturovskaya (2000) relacionaron estas diferencias a que los iones de cobre desencadenan

un mayor efecto catalítico que los iones de hierro, tal vez generando un mayor efecto oxidante, lo que se manifiesta en la coloración menos intensa de las manchas de foxing.

### **Movimiento del hierro en el papel mediado por hongos**

Diversos autores (Cain *et al.* 1982) han reportado la actividad fúngica en el papel en estrecha relación con la acumulación de inclusiones metálicas, tal como lo propuso desde un principio Illms y Beckwith (1935). Su hipótesis propone que los hongos al degradar la celulosa, acidifican la matriz y esta condición moviliza sales de hierro disponibles como impurezas presentes en la mayoría de los papeles generando la precipitación de sales ferrosas orgánicas que, con el tiempo se oxidan y originan acúmulos de óxidos o hidróxidos de hierro.

Hey (1983) amplió esta idea, sugiriendo que, bajo condiciones de alta humedad, la reacción sinérgica entre hongos y metales continua hasta conducir vía acidificación a la inactivación de los hongos en el proceso. Gallo (1992) apoyó esta sugerencia de Hey y consideró como factores etiológicos del foxing a los hongos, los metales y el medio ambiente, acorde a la presente propuesta del triángulo del foxing o enfermedad del papel.

Algunos cambios naturales en la coloración del papel también pueden resultar de la oxidación directa de metales, transformaciones físico-químicas de sus componentes (como compuestos aromáticos de tipo lignina) debido al tiempo, así como la reactividad química de la autooxidación inducida por un aumento de la humedad relativa, provocando una transformación colorimétrica de la matriz en el interfaz húmedo/seco de la superficie del papel (Ardelean y Melniciuc-Puică 2013). En este punto, vale la pena destacar la interacción de los tres factores propuestos por el Triángulo de foxing (sustrato, entorno conductivo y patógenos) que en estos fenómenos se hace explícitamente visible.

### **Incidencia de los factores ambientales en las propiedades del papel**

Diferentes factores ambientales pueden influir en el proceso de biodeterioro por foxing incluyendo la humedad, la temperatura, la luz y la contaminación del aire (Florian 2002). La humedad elevada puede promover la actividad de hongos y bacterias en el papel, lo que puede acelerar el proceso de foxing (Rakotonirainy 2007). La temperatura también puede afectar el crecimiento de estos microorganismos, así como la velocidad de las reacciones químicas que pueden causar el deterioro del papel. La exposición a la luz ultravioleta puede acelerar la descomposición del papel y la tinta, lo que puede, además, contribuir al foxing.

Es común visualizar este fenómeno a partir de cambios fisicoquímicos en papeles que han estado expuestos a



alta humedad, condensación y evaporación de la misma (Balloffet *et al.* 2005). El aumento del contenido de agua en el papel puede facilitar la actividad de microorganismos y la activación de reacciones fisicoquímicas que conduzcan a la degradación oxidativa de la celulosa, generando el desarrollo de núcleos de color o el *foxing*. La coloración asistida por condensación localizada de humedad ocurre preferentemente en áreas amorfas del papel en lugar de las cristalinas, ya que las primeras son más porosas y susceptibles a la colonización fúngica y acción de despolimerización de celulosa, tal vez debido a ser más higroscópicas que las áreas no afectadas siendo el sitio de inicio del desarrollo del *foxing* (Peters 2000, Choi 2007).

### Consideraciones finales

Como se ha podido analizar, el fenómeno de *foxing* en papel implica una compleja trama de interacciones entre el ambiente, el sustrato y los diferentes microorganismos involucrados en el proceso, que aún no ha sido completamente aclarada. Desafortunadamente, la mayoría de las investigaciones publicadas sobre el *foxing* no brindan información precisa y completa sobre la génesis y la proliferación de las manchas al describir el *foxing*. Analizándolo en el contexto del triángulo de enfermedad, es posible visualizar la influencia clave que distintos factores pueden tener simultáneamente en la formación de *foxing*, ya sea por efecto de los factores bióticos, abióticos o ambos y por mecanismos de acumulación de compuestos de distinto origen; sean reacciones abióticas o de subproductos del metabolismo fúngico, que podrán conducir o no al desarrollo del fenómeno.

Dada la complejidad de los fenómenos involucrados en el biodeterioro de papel por *foxing* que se han expuesto en esta revisión, se han establecido líneas futuras de investigación a partir de estudios experimentales con probetas de papel y simulación de diversas condiciones de los agentes disparadores a fin de identificar las reacciones de iniciación del *foxing*. Estos estudios adicionales permitirán identificar la contribución relativa de los factores planteados en las diferentes hipótesis, siendo probablemente una pléthora de procesos abióticos y bióticos y sus posibles interacciones.

### Financiamiento

Esta investigación fue financiada parcialmente por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina a través de los proyectos PICT 2019-00207 (M.C.N. Saparrat) y PICT 2021 Aplicados CAT II 00036, el CONICET a través del proyecto PIP 11220200100527CO (MCN Saparrat) y la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, a través del Proyecto I+D N1019 (D.S. Nitiu) y A344 (M.C.N. Saparrat).

### Referencias

- ABAZI, D. (2016). "Analytical evaluation of paper degradation". Tesis m34315. Universidade de Evora (Portugal) Pro Quest Dissertations & Theses, 28759023.
- AGRIOS, G. (2024). "Plant Pathology". Sixth Edition. Elsevier Academic Press. <http://doi.org/10.1016/C2019-0-04179-9>
- ALVAREZ MEZA, D.M. (2020). "Estudio y eliminación de las manchas de foxing". Trabajo Final Master. Facultad de Bellas Artes, Barcelona. 100p.
- ARAI, H. (2000). "Foxing caused by Fungi: twenty-five years of study". *International of Biodeterioration and Biodegradation* 46: 181-188.
- ARDELEAN, E. y MELNICIUC-PUICĂ, N. (2013). "Conservation of paper documents damaged by foxing". *European Journal of Science and Theology*, 9 (2): 117-124.
- ARDIZZONE, H., DINDO, G. y MAZZOLA, M. (2008). "A set of low-level descriptors for images affected by foxing," 16th European Signal Processing Conference, Lausanne, Switzerland, 1-5.
- BALLOFFET, N. (2005). Preservation and conservation for libraries and archives. American Library Association. eBIS-09070376.
- BARBABIETOLA, N., TASSO, F., ALISI, C. MARCONI, P., PERITO, B., PASQUARIELLO, G., SPROCATTI, A.R. (2016). "A safe microbe-based procedure for a gentle removal of aged animal glues from ancient paper". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 109, 53-60. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.12.019>.
- BASHAN, Y. y LIFSHITZ, R. (1984). "Foxing in Stamps: Long-term Effect of Sterilization and Treatment with NaCl, System". *Applied Microbiology*, 5:564-569.
- BECKWITH, T.D., SWANSON, W.H. y IAMS, T.M. (1940). "Deterioration of Paper: The Cause and Effect of Foxing". *Publications in Biological Science*, 1(13):299-356. University of California.
- BELL, A.A., y WHEELER, M.H. (1986). "Biosynthesis and functions of fungal melanins". *Annual Review of Phytopathology*, 24: 411-451.
- BERTHALAN, S. (2015). "Foxing and Reverse Foxing: Condition Problems in Modern Papers and the Role of Inorganic Additives". *The Book and Paper Group Annual* 34: 13-22.
- BICCHIERI, M., RONCONI, S., ROMANO, F.P., PAPPALARDO, L., CORSI, M., CRISTOFORETTI, G., LEGNAIOLI, S., PALLESCI, V., SALVETTI, A. y TOGNONI, E. (2002). "Study of foxing stains on paper by chemical methods, infrared spectroscopy, micro-X-ray fluorescence spectrometry and laser induced breakdown spectroscopy". *Spectrochimica Acta*, Part B – Atomic Spectroscopy. 57(7):1235-1249. [http://doi.org/10.1016/S0584-8547\(02\)00056-3](http://doi.org/10.1016/S0584-8547(02)00056-3)
- BOOK AND PAPER GROUP WIKI, (1992). Book and Paper Group Wiki - MediaWiki (conservation-wiki.com).

- BUZIO, R., CALVINI, P., FERRONI, A. y VALBUSA, U. (2004). "Surface analysis of paper documents damaged by foxing". *Applied Physics A*, 79: 383-387. <http://doi.org/10.1007/s00339-004-2540-2>
- CAIN C., MILLER E. y MILLER M. A. (1982). "Photographic, spectral and chromatographic searches into the nature of foxing". *American Institute for Conservation (AIC) 10th Annual Meeting*, Milwaukee, Wisconsin, May 26-30. AIC preprints: 54-62.
- CHOI, S. (2007). "Foxing on paper: a literature review", *Journal of the American Institute for Conservation* 46(2):137-152. <https://doi.org/10.1179/019713607806112378>.
- CIFERRI, O. (1999). "Microbial degradation of paintings". *Applied Environmental Microbiology*, 65: 879-885. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.3.879-885.1999>.
- CONTRERAS, G.M. (2022). "Evolución de la composición de las tintas ferrogálicas a través de las fuentes documentales de los siglos XIII al XIX". *Meridies. Estudios de Historia y Patrimonio de La Edad Media*, (13), 34-67. <https://doi.org/10.21071/meridies.vi13.14250>.
- COWLING, E.B. y MERRILL, W. (1966). "Nitrogen in wood and its role in wood deterioration". *Canadian Journal of Botany*, 44(11): 1539-1554. <https://doi.org/10.1139/b66-167>.
- DANIELS, V. y MEEKS, N.D. (1994). "Foxing Caused by Copper Alloy Inclusions in Paper." Proceedings of Symposium 88, *Conservation of Historic and Artistic Works on Paper*. Ottawa: Canadian Conservation Institute, 229-233.
- DUNCA, S.I, TANASE, C., PADURARIU, C., BALAES, T., ARDELEAN, E. y PIUCA, N.M. (2014). "Study of the contaminating microbiota of old paper supports". *European Scientific Journal September 2014 /SPECIAL/ edition Vol.3 ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431*.
- ELLIS, M. G. (1987). "The care of prints and drawings". American Association for State and Local History Book Series, Rowman Alta Mira Press, USA.
- FIGUEIRA, F., MATOS, M., NUNES, A., AFONSO, M., ROCHA, A.C., CAMPELO, J. y FERREIRA, T. (2020). "Considerations about foxing stains in three paper collections ranging from the 16th to the 20th century". *Conservar Patrimonio* 35. <http://doi.org/10.14568/cp2019022>.
- FLORIAN, M.L.E. y PURINTON, N. (1995). "Determination of location of stains in fungal spots and enzymatic removal of pigmented hyphae in paper". In *Biodeterioration of Cultural Property 3: Proceedings of the 3rd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property*, 414-425. Bangkok, Thailand: Conservation Science Division, Fine Arts Dept.
- FLORIAN, M.L.E. (1996). "The role of the conidia of fungi in fox spots". *Studies in Conservation* 41: 65-75.
- FLORIAN, M.L.E. (2000). "Fungal Fox Spots and Others". In Ciferri O., Tiano, P. and G. Mastromei (Eds): *Of Microbes and Art: The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage*, 135-151. New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers.
- FLORIAN, M.L.E. (2002). *Fungal Facts: Solving Fungal Problems in Heritage Collections*. London: Archetype Publications, London: 1-146.
- GALLO, F. (1992). "Il biodeterioramento di Libri e Documenti". *Centro di Studi per la Conservazione della Carta*, ICCROM Roma, 128.
- HEY, M. (1983). "The antiquarian book". *Mon rev.* 10:341. In Ardelean E, Melniciuc Puică N. 2013. *Conservation of paper documents damaged by foxing*. *Eur J Sci Theol.* 9:145-154.
- ILIAMS, T.M. y BECKWITH, T.D. (1935). "Notes on the causes and prevention of foxing in books". *Libr Q.* 5:407-418. [10.1086/613729](https://doi.org/10.1086/613729).
- ISLAM, W. (2017). "Plant diseases epidemiology: Disease triangle and forecasting mechanisms in highlights", *Hosts and viruses* 5 (1): 7-11.
- KARBOWSKA-BERENT, J., JARMILKO, J. y CZUCZKO, J. (2014). "Fungi in fox spots of a drawing by Leon Wyczółkowski" *Restaurator*. 35:159-179, <http://dx.doi.org/10.1515/res-2014-1000>.
- KENJO, T., ARAI, H. y SUZUKI, T. (1987): "Application of Scanning Electron Microscope in the Field of Conservation Science of Cultural Properties". *JEOL news, Electron Optic Instruments / Application*, 25E (1): 13-1.
- KIM, G., KIM, J.G., KANG, K. y YOO, W.S. (2019). "Imagen-Based Quantitative Analysis of Foxing Stains on old printed paper documents". *Heritage*. 2: 2665-2677. <http://doi.org/10.3390/heritage2030164>.
- KOOCHAKZAEI, A. y ALIZADEH GHARETAPEH, S. (2021). "Paper Foxing Stains on a Historic Manuscript from the Early Qajar Era: Abiotic or Biotic Foxing?". *Heritage* 4:1366-1374. <https://doi.org/10.3390/heritage4030074>.
- LOPEZ, R.O., CHIOCCIO, V.M., RUSCITTI, M.F., TABORDA PELLESCI, C. y SAPARRAT, M.C.N. (2024). "Towards a better understanding of melanins from dark septate endophytes (DSEs): their variability, synthesis pathways and biological roles". *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <http://doi.org/10.1007/s42729-024-01693>.
- MALLO, A.C., NITIU, D.S., ELÍADES, L.A. y SAPARRAT, M.C.N. (2017). "Fungal degradation of cellulosic materials used as support for cultural heritage". *International Journal of Conservation Science*. 8(4): 619-632.
- MATOS, M., FIGUEIRA, F. y FERREIRA, T. (2017). 'Imaging evaluation of local treatments for foxed papers', in *Proceedings of Intangibility Matters: International Conference*. Eds. Eds. M. Menezes, D. Costa, J. Rodrigues, LNEC, Lisbon 335-344
- MAY, E. y JONES, M. (2006) (eds). *Conservation Science: Heritage Material*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, p. 48.
- MINA, L. (2019). "Foxy Underpants: Or the use of chelators and enzymes to reduce foxing stains on early nineteenth century men's linen underpants". *Journal of the American Institute for Conservation*, 1-15. <http://doi.org/10.1080/01971360.2019.1674604>.

- MONTEMARTINI CORTE, A., FERRONI, A. y SARAH SALVO, V. (2003). "Isolation of fungal species from test samples and maps damaged by foxing, and correlation between these species and the environment". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 51(3):167-173. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00137-3](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00137-3).
- NIETO-FERNANDEZ, F., CENTENO, SA., WYPYSKI, MT. DI BONAVENTURA, M.P., BALDWIN, A.M. y KOESTLER, R.J. (2003). "Enzymatic approach to removal of fungal spots from drawings on paper". In Koestler, R.J., Koestler, V.H., Charola, A.E., Nieto Fernandez, F. (Eds): *Art, Biology and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*, 111-127. New York: Metropolitan Museum of Art.
- NUNES M, RELVAS C, FIGUEIRA F, CAMPELO, J., CANDEIAS, A., CALDEIRA, A.T. y FERREIRA, T. (2015). "Analytical and Microbiological Characterization of Paper Samples Exhibiting Foxing Stains". *Microscopy and Microanalysis* 21(1):63-77. <http://doi.org/10.1017/S143192761500001X>.
- NITIU, D.S., SAPARRAT, M.C.N., MALLO, A.C., ELIADES, L.A., SAGASTI, R. y VALLE, M.H. (2017). Una experiencia de diagnóstico del estado de conservación de una Colección Privada de la ciudad de La Plata. I Congreso Iberoamericano de Museos Universitarios y II Encuentro de Archivos Universitarios. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70299>
- NITIU, D.S., MALLO, A.C. y SAPARRAT, M.C.N. (2020). "Fungal melanins that deteriorate paper cultural heritage: An overview". *Mycologia*, 112(5), 859–870. <https://doi.org/10.1080/00275514.2020.1788846>.
- NITIU, D.S., MALLO, A.C. y SAPARRAT, M.C.N. (2022). "Pigmentos sintetizados por hongos negros y su impacto en el deterioro del patrimonio documental en papel". *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 57 (2): 169-184. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v57.n2>
- NOL, L., HENIS, Y. y KENNETH, R.G. (1983): "Biological Factors of Foxing in Postage Stamp Paper". *International Biodeterioration Bulletin*, 19: 19-25.
- PETERSEN, T. (1992). *Art and Architecture Thesaurus*. Vol. 2 part III. Getty Art History Information Program by Oxford University Press.
- PETERS, D. (2000). "An alternative to foxing? Oxidative degradation as a cause of cellulosic discolouration". *Papier Restaurierung* Vo1.1 Supp1. 55-60.
- PINZARI, F. y MONTANARI, M. (2011). "Mould growth on library materials stored compactus-type shelving units, Sick Building Syndrome". In Abdul-Wahab S.A. (Ed). *Public Buildings and Workplaces*, Springer, Berlin: 196-203.
- PIÑAR, G., TAFER, H., STERFLINGER, K. F. y PINZANI, F. (2015). "Amid the possible causes of a very famous foxing: molecular and microscopic insight into Leonardo da Vinci's self portrait". *Environmental Microbiology Reports*. 7(6): 849-59. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12313>
- PRESS, R.E. (2001). "Observations on the foxing paper". *International Biodeterioration and Biodegradation* 48 (1-4): 87-94.
- RAKOTONIRAINY, M.S., HEUDE, E. y LAVÉDRINE, B. (2007). "Isolation and attempts of biomolecular characterization of fungal strains associated to foxing on a 19th century". *Journal of Cultural Heritage*, 8 (2), 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.01.003>.
- RAKOTONIRAINY, M.S., BÉNAUD, O. y VILMONT, L. (2015). "Contribution to the characterization of foxing stains on printed books using infrared spectroscopy and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry". *International Biodeterioration and Biodegradation* 101: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.02.031>.
- REBRIKOVA, N.L. y MANTUROVSKAYA, N.V. (2000). "Foxing - A New Approach to an Old Problem". *Restaurator* 21 (2) 85-100. <https://doi.org/10.1515/REST.2000.85>.
- SAMPAOLESI, S., BRIAND, L.E., SAPARRAT, M.C.N. y TOLEDO, M.V. (2023). "Potentials of Biomass Waste Valorization: Case of South America". *Sustainability* 15, 8343. <https://doi.org/10.3390/su15108343>
- STRATIGAKI, M., ARMIROTTI, A., OTTONELLO, G., MANENTE, S. y TRAVIGLIA, A. (2024). "Fungal and bacterial species richness in biodeteriorated seventeenth century Venetian manuscripts". *Sci Rep* 14, 7003. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57228-2>. *Sci Rep* 14, 7003.
- SZCZEPANOWSKA, H. y CAVALIERE, A.R. (2012). "Conserving our Cultural Heritage: The role of fungi in biodeterioration". In: Johanning, E., Morey, P., Auger, P. (Eds.). *Bioaerosols – Fungi, Bact. Mycotoxins indoor outdoor environments and human health*. Fungal Research Group, Albany: 293-309.
- SZULC, J., OTLEWSKA, A, RUMAN, T., KUBIAK, K., KARBOWSKA-BERENT, J., KOZIELEC, T. y GUTAROWSKA, B. (2018). "Analysis of paper foxing by newly available omics techniques". *International Biodeterioration and Biodegradation* 132: 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.03.005>
- TANG, L. C. (1978). "Determination of Iron and Copper in 18 th and 19 th century books by Flameless Atomic Absorption Spectroscopy". *Journal of the American Institute for Conservation* 17:19-32.
- TANG, LC. y TOYER, MA. (1981). "Flameless Atomic Absorption Spectroscopy: A Useful Tool for Direct Determination of Elements in Library Archival Materials". *Technology and Conservation*, 6(2):40-5.
- TOLEDO, A.V., FRANCO, M.E.E., YANIL LOPEZ, S.M., TRONCOZO, M.I., SAPARRAT, M.C.N. y BALATTI, P. (2017). "Melanins in fungi: Types, localization and putative biological roles". *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 99: 2-6. <http://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.04.004>.
- ZOTTI, L.M., FERRONI, A. y CALVIN, P. (2011). "Mycological and FTIR analysis of biotic foxing on paper substrates". *International Biodeterioration and Biodegradation* 65: 569-578.



## Autor/es



### Daniela Silvana Nitiu

[dnitiu@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:dnitiu@fcnym.unlp.edu.ar)

Facultad de Ciencias Naturales y Museo.  
Universidad Nacional de La Plata. Argentina  
<http://orcid.org/0000-0002-7755-7048>

Dr. en Ciencias Naturales, Lic. en Biología orientación Botánica, FCNyM (UNLP). Investigador Adjunto CONICET. Jefe de Trabajos Prácticos UNLP en la Cátedra de Introducción a la Botánica (FCNyM). Especialista en Docencia Universitaria, UNLP. Desarrolla investigación en el campo de la aeromicología especialmente en ambientes interiores de sitios donde se conservan bienes de interés cultural y/o patrimonial. Participa del Programa de Incentivos a los Docentes-Investigadores, Secretaría de Política Universitaria del Ministerio de Educación de la Nación en la Categoría II. Sicadi II. Evaluador Nacional de Proyectos de Investigación y Becas para UNLP, CONICET e internacional para CSiC (Uruguay). Ha realizado informes técnicos de distintas áreas del Museo de La Plata y del Archivo y Biblioteca del Senado de la Pcia. De Bs As, del Archivo histórico de la UNLP como así también de ámbitos públicos y privados. Directora de Tesis Doctoral de becarios (CONICET) y tesistas de la Universidad de San Luis, Tucumán y de la FCNyM (UNLP). Posee numerosos antecedentes en Reuniones y Publicaciones en distintos ámbitos científicos nacionales e internacionales. Ha recibido premios a trabajos científicos en diversos eventos científicos. Ha dictado cursos de Postgrado dentro del Programa INTER-U como Miembro Responsable. Ha dado numerosas conferencias en ámbitos públicos y privados. Tiene en su haber numerosos arbitrajes de publicaciones científicas nacionales e internacionales y es Editor de la Revista Timisoara (Polonia).



### Andrea Cecilia Mallo

[malloa2001@yahoo.com.ar](mailto:malloa2001@yahoo.com.ar)

Facultad de Ciencias Naturales y Museo.  
Universidad Nacional de La Plata. Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-0053-0250>

La Lic. Andrea C. Mallo, se desempeña como Personal de Apoyo a la investigación, categoría Principal CIC - PBA en la temática de Aerobiología y Aeromicología desde el año 2006 en la Cátedra de Palinología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Docente en la Cátedra de Introducción a la Botánica en la Facultad de Cs Naturales y Museo, Categoría de Docente Investigador IV. Ha participado en 9 Proyectos de Investigación de la Universidad Nacional de la Plata y Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y en la actualidad es integrante de Proyectos de Incentivos, UNLP; PIP CONICET, y ANPCyT. Ha sido Miembro de Comisiones Asesoras, Consejo Consultivo Departamental de Botánica de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP) evaluador de Proyectos de Investigación para la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y ha realizado arbitrajes en revistas nacionales e internacionales. Posee múltiples trabajos publicados en revistas científicas indexadas, capítulos de libro, trabajos completos en Actas de Congreso y presentaciones

en congresos nacionales e internacionales. Ha realizado informes técnicos de distintas Salas del Museo de La Plata y del Archivo del Senado de la Provincia de Buenos Aires, Legislatura de la Provincia de Buenos Aires. Ha sido Codirectora de Pasantías y Becas en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo.



### Mario Carlos Nazareno Saparrat

[masaparrat@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:masaparrat@fcnym.unlp.edu.ar)

Instituto de Fisiología Vegetal INFIVE.  
Argentina  
<http://orcid.org/0000-0001-7403-1713>

El Dr. Mario Saparrat es Investigador Principal CONICET en el INFIVE, Profesor Titular UNLP en la Cátedra Botánica Sistemática I, Fac. Cs. Naturales y Museo, UNLP y Profesor Adjunto UNLP en la Cátedra de Microbiología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Es miembro del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP por el claustro de Profesores. Es Editor Asociado de Darwiniana Nueva Serie, ISSN 0011-6793 impresa - ISSN 1850-1699 en línea, para el área Sistemática y Taxonomía de Algas y Hongos. Integrante de la Comisión Asesora Honoraria de Ciencias Agrícolas, Producción y Salud Animal de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Desarrolla investigación en el campo de la fisiología de hongos y su rol en la transformación de materiales orgánicos y los pigmentos de los hongos, específicamente melaninas. Participa del Programa de Incentivos a los Docentes-Investigadores, Secretaría de Política Universitaria del Ministerio de Educación de la Nación en la Categoría II (SICADI I). Hasta la fecha, ha contribuido con numerosas publicaciones en revistas científicas de la especialidad, 2 libros y en la formación de 12 tesis doctorales relacionadas a la temática

Artículo enviado el 24/10/2024  
Artículo aceptado el 18/02/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v27i1.1348>