

Conservación del documento histórico “Pacto de Concordia” (Costa Rica): Evaluación por escala de deterioro y técnicas fisicoquímicas

Rocío Dayana Bermúdez-Vargas¹ , Paola Agüero-Gamboa² , Mavis Montero-Villalobos^{2,3} 
& Paola Fuentes-Schweizer^{2,4} 

1. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química, San José, Costa Rica; rocio.bermudezvargas@ucr.ac.cr
2. Universidad de Costa Rica, Escuela de Química, San José, Costa Rica; paola.aguerogamboa@ucr.ac.cr
3. Universidad de Costa Rica, Centro de investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales, Laboratorio de Conservación de Patrimonio Cultural, San José, Costa Rica; mavis.montero@ucr.ac.cr
4. Universidad de Costa Rica, Centro de investigación de Electroquímica y Energía Química, San José, Costa Rica; paola.fuentes@ucr.ac.cr

Recibido 09-VI-2025 • Corregido 26-VIII-2025 • Aceptado 29-VIII-2025

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v17i1.5878>

ABSTRACT. “Conservation of the historical document “Pacto de Concordia” (Costa Rica): Assessment with a deterioration scale and physicochemical techniques”. **Introduction:** The “Pacto de Concordia” is often regarded as Costa Rica’s first political constitution, making its preservation essential for safeguarding a document of such historical relevance. **Objective:** To evaluate its state of deterioration using validated scales and physicochemical techniques. **Methods:** Between March 2021 and December 2023, we applied an expert-validated deterioration scale and used multispectral photography to detect signs of damage, including acid hydrolysis, fungal activity, and other agents. **Results:** Most folios are in good condition, with deterioration indices ranging from 0% to 20%. Paper pH values ranged from 6,0 to 8,5, suggesting a risk of acid hydrolysis that could compromise the document over time. **Conclusion:** We recommend maintaining current conservation practices and periodically monitoring the folios’ pH to prevent further deterioration.

Key words: deterioration, physicochemical, heritage, materials.

RESUMEN. Introducción: El Pacto de Concordia es un documento único para Costa Rica, al considerarse como su primera constitución política, por lo que su estado y conservación son esenciales para preservar un documento histórico de relevancia. **Objetivo:** Evaluar el estado de deterioro del Pacto de Concordia mediante escalas de deterioro y técnicas fisicoquímicas. **Métodos:** Desarrollamos una investigación entre marzo de 2021 y diciembre de 2023, utilizando una escala de deterioro, validada por expertos, y técnicas fisicoquímicas que incluyeron fotografía multispectral para detectar señales asociadas a posibles tipos de deterioro como hidrólisis ácida o presencia de hongos y otros agentes de deterioro. **Resultados:** Después de la evaluación, tanto el índice de deterioro como las técnicas fisicoquímicas de diagnóstico, evidenciamos que la mayoría de los folios se encuentran en buena condición. Los índices de deterioro se encuentran entre 0% y 20%. Las mediciones de pH del papel del documento muestran valores del 6,0 a 8,5 que podrían eventualmente generar una hidrólisis ácida del papel, lo cual podría empeorar la condición del documento. **Conclusión:** recomendamos continuar con las condiciones de conservación actuales y la medición periódica del pH de los folios para prevenir mayor deterioro.

Palabras clave: deterioro, fisicoquímico, patrimonio, materiales.

El 01 de diciembre de 1821 marcó un hito en la historia costarricense con la redacción del Pacto Social Fundamental Interino de Costa Rica, conocido como el Pacto de Concordia, que se considera la primera Constitución provisional del país (1821-1823). Este documento no solo es de gran relevancia histórica, política y religiosa al establecer principios como la confesionalidad, la forma de gobierno y los derechos políticos del Estado, sino que también constituye un invaluable elemento del patrimonio documental de Costa Rica, resguardado en el Archivo Nacional. El Pacto de Concordia está compuesto por 35 folios de 31,5cm x 42,5cm, elaborados con papel de trapos de algodón y tintas ferrogálicas, materiales típicos de principios del siglo XIX (Agüero-Gamboa et al., 2024).

El Pacto de Concordia presenta una encuadernación correspondiente a la década de 1980, los folios de papel de trapos muestran buena apariencia, pero tienen injertos de una cinta adhesiva de acetato de celulosa en cada página. La evaluación del deterioro de documentos coloniales es un tema de interés para la conservación del patrimonio cultural costarricense. Diversas colecciones del Archivo Nacional de Costa Rica poseen documentos coloniales que presentan daños estructurales o modificaciones empíricas. Estas modificaciones fueron realizadas para restaurar o conservar su condición (Soto & Pacheco Ureña, 2021). Debido a su importancia histórica y a las intervenciones previas que podrían afectar su estabilidad a largo plazo, es importante estudiar el estado de deterioro del Pacto de Concordia actualmente, para evidenciar si es o no necesario un proceso de restauración que no comprometa la integridad del documento.

No todos los criterios de restauración y los materiales utilizados en el pasado son recomendados en la actualidad para la conservación o restauración de papel (Soto & Pacheco Ureña, 2021). Por ejemplo, en el folio 1 del Acta de los Nublados se identificó, por medio de espectroscopía infrarroja, una laminación de acetato de celulosa (Agüero-Gamboa et al., 2024) correspondiente con una práctica recomendada en el pasado que fue muy utilizada entre 1930 y 1990 para la protección de documentos en Estados Unidos. Posteriormente, esta práctica fue descontinuada debido a que este polímero, en presencia de agua, ocasiona reacciones de hidrólisis ácida que generan ácido acético, el cual se impregna en el papel y cataliza su deterioro (McGath, 2017).

El papel fabricado a partir de trapos de algodón es susceptible a hidrólisis ácida de la celulosa, esta reacción descompone la celulosa en moléculas de glucosa (Kobayashi et al., 2016). Las tintas ferrogálicas liberan iones hierro y ácido sulfúrico sobre el papel, lo que puede ocasionar reacciones de oxidación tipo Fenton que afectan la apariencia de la tinta y en casos severos pueden comprometer la estructura del documento (Agüero-Gamboa et al., 2024).

Otros factores ambientales relacionados con las condiciones de almacenamiento, como la presencia de hongos, también pueden afectar los documentos históricos. Estos microorganismos contienen enzimas con actividad celulolítica, utilizar papel de trapos como sustrato de alimentación, lo que contribuye al deterioro de este tipo de documentos. Asimismo, se puede presentar el fenómeno conocido como *foxing*, caracterizado por pequeñas manchas marrones asociadas tanto a reacciones provocadas por partículas metálicas como a la actividad microbiológica en el papel. (Koochakzai & Gharetapeh, 2021) Por otro lado, el ataque de insectos bibliófagos, que se alimentan del papel, se manifiesta a través de pequeños agujeros en los documentos (Silva et al, 2013; Yela, 1997). Otro factor que puede causar deterioro son las manchas de humedad (Goltz et

al, 2010), causadas por la presencia de agua en las fibras del papel, estas se observan como zonas oscurecidas que, en casos severos, pueden provocar una textura blanda o incluso roturas en el soporte documental.

En la actualidad, algunas herramientas empleadas para el diagnóstico y caracterización de daños en el papel son: la inspección visual, mediciones de pH en papel, pruebas puntuales con yodo / yoduro potásico, solubilidad de tintas/colores, fotografía multiespectral, imágenes en ultravioleta, infrarrojo, radiografías beta y microscopía (Alexopoulou & Zervos, 2016). Algunas herramientas novedosas de diagnóstico, conservación y restauración del patrimonio cultural incluyen la caracterización de materiales. Estos ensayos permiten identificar la composición química de los materiales utilizados en las intervenciones de restauración de documentos históricos, lo que permite tener un mejor criterio al decidir si algún material debe retirarse o dejarse en los documentos (Soto & Pacheco Ureña, 2021).

En los últimos años, varias investigaciones en Costa Rica han aplicado técnicas de caracterización de materiales en diferentes objetos de valor histórico y cultural, para determinar su composición y propiedades fisicoquímicas. El estudio de piezas del Museo de Jade como los colgantes hachoides mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), permitió identificar 12 minerales diferentes en 226 colgantes analizados, siendo la jadeíta y sus minerales las materiales más utilizados (Hernández-Murillo et al., 2021). En tres sitios arqueológicos de Costa Rica, del periodo formativo, se estudiaron 81 piezas cerámicas, para caracterizar su materia prima y sus diferencias de composición según el uso de los objetos, identificando algunas diferencias en la materia prima utilizada para fabricar objetos destinados a usos distintos, como contener o cocinar (Conejo-Barboza et al., 2019).

En términos de patrimonio histórico cuya base es papel, se han realizado algunas investigaciones, para caracterizar y determinar la presencia de daño en el material, entre ellos el estudio de una colección francesa del siglo XIX de dibujos y litografías del Archivo de la Universidad de Costa Rica, con el propósito de aislar e identificar las especies fúngicas causantes de deterioro, permitiendo demostrar que las colonias de hongos en esta colección presentaron una importante actividad celulolítica, lo que significa un mayor riesgo de degradación del material a base de papel (Coronado-Ruiz et al., 2018; Escudero-Leyva et al., 2023; Vieto et al., 2022).

Adicionalmente, se analizaron documentos importantes del proceso de independencia de Costa Rica, incluyendo el Acta de Independencia de Costa Rica de 1821, el Acta de los Nublados y otros documentos históricos costarricenses que fueron analizados mediante espectroscopía FTIR y fluorescencia de rayos X (XRF) para determinar la composición del papel y tintas (Agüero-Gamboa et al., 2024). Los materiales principales de estos documentos son papel fabricado a base de trapos que contienen algodón, papel fabricado a base de celulosa de madera que contiene lignina y tintas ferrogálicas (Escudero-Leyva et al., 2023).

En este contexto, el presente estudio tiene como propósito evaluar el estado de conservación del Pacto de Concordia mediante una escala de deterioro desarrollada con base en criterio experto, complementada con técnicas de caracterización de materiales como mediciones de pH, microscopía de luz y fotografía multiespectral. La aplicación de estas metodologías permitirá identificar y cuantificar el deterioro fisicoquímico del documento, aportando información técnica

clave para comprender su estado actual y formular recomendaciones fundamentadas para su adecuada conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo: El Pacto de Concordia consta de 35 folios. Para evaluar la reproducibilidad del uso del índice de deterioro, escogimos 13 personas, que trabajan en el Archivo Nacional, de departamentos asociados al área de conservación de documentos. Con esto se quería evaluar si diferentes personas, producían resultados reproducibles para cada folio. Cada persona evaluó las mismas 10 páginas del Pacto de Concordia. Se evaluó si hubo diferencias en las respuestas de las 13 personas para cada folio. Con esto queríamos comprobar que la herramienta, en manos de personas expertas, producía resultados reproducibles en cada hoja. Después, cuatro personas estudiaron los 35 folios del documento completo para determinar su estado de deterioro y llegar a una conclusión general sobre el estado del documento.

Escala de deterioro propuesta: La investigación la realizamos entre los años 2021 y 2023. Para definir los parámetros de deterioro del documento, utilizamos la escala de deterioro propuesta por (Agüero-Gamboa, 2021) que, en esta investigación, modificamos y validamos empleando el criterio experto, a partir de la conformación de un panel de siete profesionales con amplia experiencia en el área de la conservación y restauración de patrimonio documental en Costa Rica y Chile. Aplicamos un cuestionario utilizando escalas de Likert del 1 al 3 para determinar el grado de importancia de la condición física, condición de tintas y condición microbiológica, así como cada uno de los parámetros de deterioro del modelo de daño. Además, propusimos tres escalas para evaluar los parámetros de deterioro, para que los expertos eligieran la que consideraban más apropiada (o si la persona experta proponía una distribución diferente de puntajes). Para distribuir el valor porcentual por ponderación, calculamos un promedio de los puntajes obtenidos para cada condición. Luego calculamos un porcentaje considerando que la calificación máxima total es 9 (3 para cada condición). Este resultado fue normalizado a 100%. (Tabla 1).

TABLA 1

Parámetros, porcentajes y escalas de calificación de la escala de deterioro ajustada al criterio experto.

Parámetros	Peso máximo (%)	Escala de calificación
Zonas perdidas (Huecos)	9	1. Ausentes 2. Menos de 5 huecos de menos de 2mm de diámetro 3. 5 o más huecos de menos de 2mm de diámetro
Suciedad	8	1. Escasa 2. Abundante
Roturas	9	1. Ausentes 2. Roturas leves 3. Roturas graves
Dobleces	8	1. Ausentes 2. Dobleces leves 3. Dobleces graves
Condición física	34	
Legibilidad del texto	12	1. Legible 2. Parcialmente legible 3. Ilegible
Tinta del texto y firmas	11	Del 1 al 7, de acuerdo con la escala del ICN
Documento respecto a las tintas	11	Del 1 al 4, de acuerdo con la escala del ICN
Condición de tintas	34	
Foxing	9	1. Ausente 2. Menos del 50% del documento presenta Foxing 3. Más del 50% del documento presenta Foxing
Otras colonias de hongos	13	1. Ausentes 2. Menos del 50% del documento presenta hongos 3. Más del 50% del documento presenta hongos
Manchas de humedad	10	1. Ausentes 2. Menos del 50% del documento presenta humedad 3. Más del 50% del documento presenta humedad
Condición microbiológica	32	

Evaluación del deterioro del Pacto de Concordia: Para evaluar el deterioro con esta escala, utilizamos un formulario electrónico Google forms®, que luego transformaba las respuestas en una hoja de cálculo electrónica que fue exportada a Excel®, cada persona experta evaluó diez criterios: legibilidad del texto, condición de la tinta del texto y firmas, condición del documento respecto a las tintas, huecos, suciedad, roturas, dobleces, foxing, otras colonias de hongos, manchas de humedad. Cada pregunta tenía una escala de calificación de cada parámetro según la escala de deterioro ajustada al criterio experto. Cuando se consideró pertinente, agregamos imágenes de ejemplo, como es el caso de las preguntas sobre tintas. Cada participante realizó una inspección visual al folio del documento y completó el formulario electrónico. Posteriormente, los resultados se recopilaron y trataron con una hoja de cálculo. Para el tratamiento de datos seguimos la metodología de cálculo propuesta por (Agüero, 2021) con las escalas de calificación obtenidas para cada parámetro, se asignó un peso porcentual, realizamos una ponderación para determinar el porcentaje de deterioro del 0% al 100% y una discretización para obtener el índice de deterioro del 1 al 10.

Para determinar la reproducibilidad de los resultados empleando la escala de deterioro ajustada al criterio experto, utilizamos una muestra de 10 folios del Pacto de Concordia que fueron evaluados por 13 participantes, 12 personas del Departamento de Conservación del Archivo Nacional quienes trabajan en diferentes áreas: digitalización, encuadernación, restauración, jefatura y una experta en conservación. Para la evaluación del estado de deterioro del Pacto de Concordia usamos la escala de deterioro ajustada al criterio de los expertos, esta evaluación fue realizada por cuatro participantes: tres personas con más de 40 años de experiencia y otra persona con cinco años de experiencia y formación en Bibliotecología, que laboran en el área de restauración y de encuadernación en el Departamento de Conservación del Archivo Nacional.

Microscopía de luz: Para tomar imágenes con escalas 20x y 200x de diferentes zonas de cada folio del Pacto de Concordia, e identificar señales de deterioro como huecos, colonias de hongos, foxing, oxidación de tintas y manchas de humedad, utilizamos un microscopio portátil de luz visible 500X Professional Handheld LCD Digital Microscope 3 (Fabricante KLIM).

Mediciones de pH: Realizamos una medición de pH en la superficie de cada hoja del Pacto de Concordia siguiendo el procedimiento establecido en la norma TAPPI T 529 Om-14, utilizando un medidor de pH para papel (Hanna, modelo HI 99171).

Determinación del porcentaje de área con deterioro: Para obtener fotografías multispectrales de los 35 folios del Pacto de Concordia, utilizamos una Cámara Nikon D 7200 con modificaciones por Lifepixel.

Para las fotografías en la zona del espectro visible (Vis) aplicamos una apertura f/8, tiempo de exposición 1/5 s, ISO 200, distancia focal 50mm y un equipo de iluminación SAVAGE 500 W LED STUDIO LIGHT KIT R. Calibramos los colores de estas imágenes utilizando el estándar "ColorChecker" y el programa "colorchecker Camera calibration", para generar el perfil de color para la cámara y equipo de iluminación empleadas. Utilizamos el software Adobe PhotoShop para aplicar el perfil de color (contraste de 78, brillo -26), y ajustamos la exposición para obtener las imágenes con colores calibrados y el color blanco del fondo coincidiera con la página 1 del documento en estudio.

Para las fotografías en la zona del espectro ultravioleta reflejado (UVR) y ultravioleta fluorescente (UVF) aplicamos una apertura f/8, tiempo de exposición 5,00s, ISO 200, distancia focal 50mm y el mismo equipo de iluminación con bombillos CFL de luz UV de 20W. Estas fotografías fueron editadas mediante el software Adobe Photoshop® para asegurar la coincidencia entre el color blanco del fondo en cada una de las imágenes.

Medimos el área total de cada folio (en píxeles) y el área de las zonas con deterioro (en píxeles) de los 35 folios del Pacto de Concordia. Utilizamos el software Adobe Photoshop® (PS 2022) y las herramientas Quick Selection tool, Object Selection tool, Magic Wand tool y Measurement. Para determinar la incertidumbre asociada, se realizaron mediciones de área por triplicado, calculando la desviación estándar y el error estándar de la media mediante el software R Studio. Determinamos el porcentaje de área con deterioro al dividir el área de las zonas con deterioro entre el área total de cada folio y calculamos la incertidumbre combinada de estas áreas.

RESULTADOS

Reproducibilidad de la escala de deterioro: Con el fin de analizar el estado de conservación del Pacto de Concordia, aplicamos una escala de deterioro previamente validada y ajustada para este estudio. A partir de su uso por personal especializado, se obtuvieron los índices de deterioro de una muestra de folios del documento, cuyos resultados se presentan a continuación.

Mostramos las frecuencias de los 130 índices de deterioro (Fig. 1A), los cuales presentaron valores del 1 al 6, donde 1, 3 y 2 fueron más frecuentes respectivamente y los valores 4, 5 y 6 fueron los menos frecuentes, no hay valores mayores a 6. En el gráfico de cajas del índice de deterioro del folio (Fig. 1B), se observa que el folio 3 presentó los menores índices de deterioro con una mediana de 1, el folio 35 presentó los mayores índices de deterioro con una mediana de 5, estos dos folios son estadísticamente diferentes entre sí, estos resultados son esperados debido a que el folio 35 presenta mayores daños a simple vista y una rotura física importante.

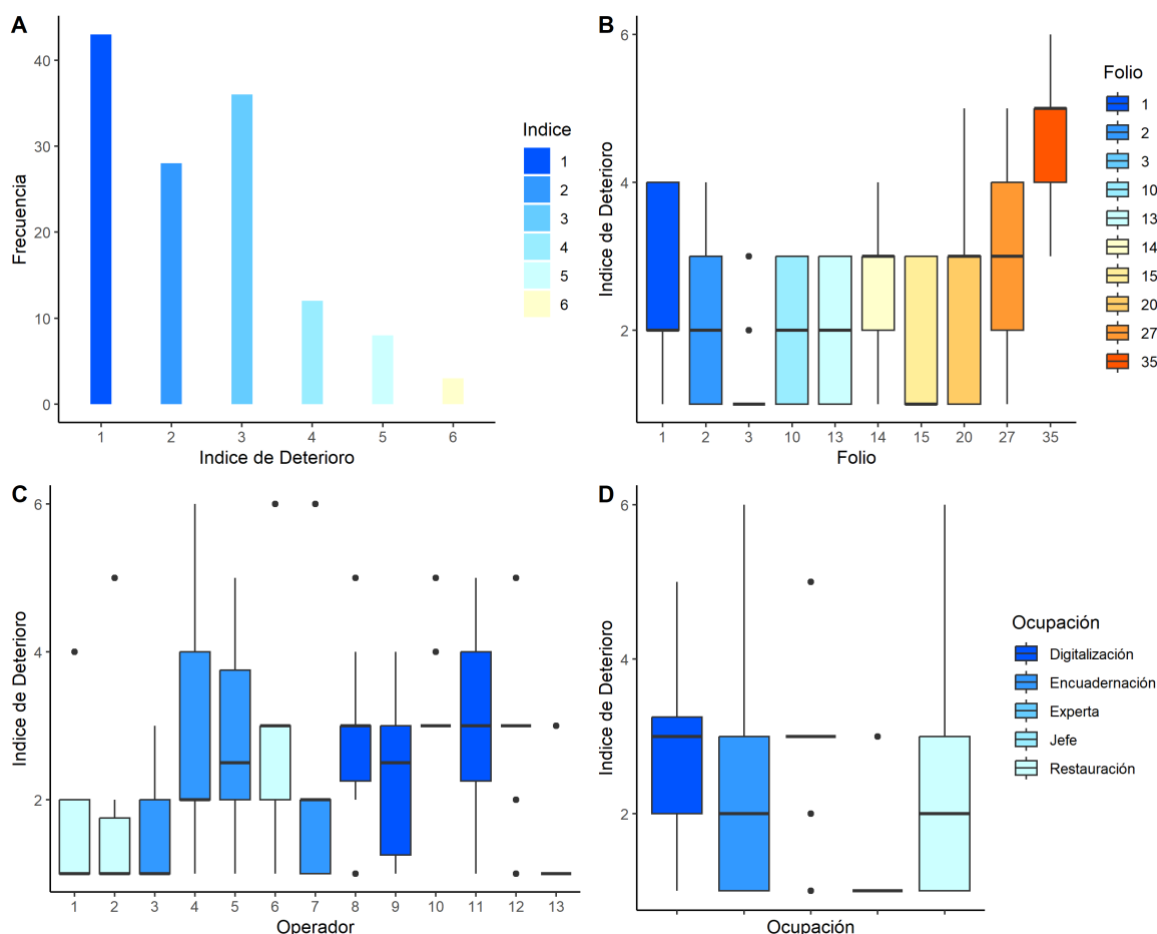


Fig. 1. Resultados del estudio de reproducibilidad de los índices de deterioro obtenidos para los 10 folios del Pacto de Concordia. A), Frecuencia de aparición de cada índice de deterioro; B) Boxplot del índice de deterioro para los diez folios estudiados; C) Boxplot del índice de deterioro según el operador; D) Boxplot del índice de deterioro según la ocupación de las personas que evaluaron la muestra de diez folios.

Según el gráfico de cajas del índice de deterioro con respecto al operador (Fig. 1C), los índices de deterioro se encuentran principalmente entre 1 - 4. Los operadores 10 y 12 presentaron una mediana de 3 con poca variabilidad y con diferencias significativas con respecto a los operadores 1, 2, 7 y 13. El área de ocupación señalada con colores permite agrupar a los operadores según el trabajo que realizan en el Departamento de Conservación del Archivo Nacional, se observa que los operadores de la misma área son estadísticamente equivalentes entre sí.

En el gráfico de cajas del índice de deterioro con respecto al área de ocupación (Fig. 1D), no se observan diferencias significativas entre la ocupación de los operadores. Esto puede indicar que las diferencias anteriores pueden deberse a la poca variabilidad de resultados de los operadores 10 y 12, ya que incluso los valores atípicos de estos se encuentran entre 1 - 4. El personal de las áreas de restauración y encuadernación tiene un amplio conocimiento en la restauración y conservación de los documentos coloniales. Los gráficos de cajas obtenidos para los resultados de este personal son muy similares, indicando que estos conjuntos de datos son estadísticamente equivalentes entre sí.

Evaluación del estado del Pacto de Concordia según el Índice de deterioro: Respecto a los porcentajes de deterioro obtenidos (Fig. 2), el conjunto de datos identificado como "Total", corresponde a los 130 porcentajes de deterioro obtenidos por los cuatro operadores que evaluaron 10 páginas del documento, presenta valores entre 0% - 20%, una media del 3,31%, indicando que el documento presenta poco deterioro de acuerdo con la escala utilizada. También se observan algunos valores atípicos entre 20% - 50% que corresponden al folio 35.

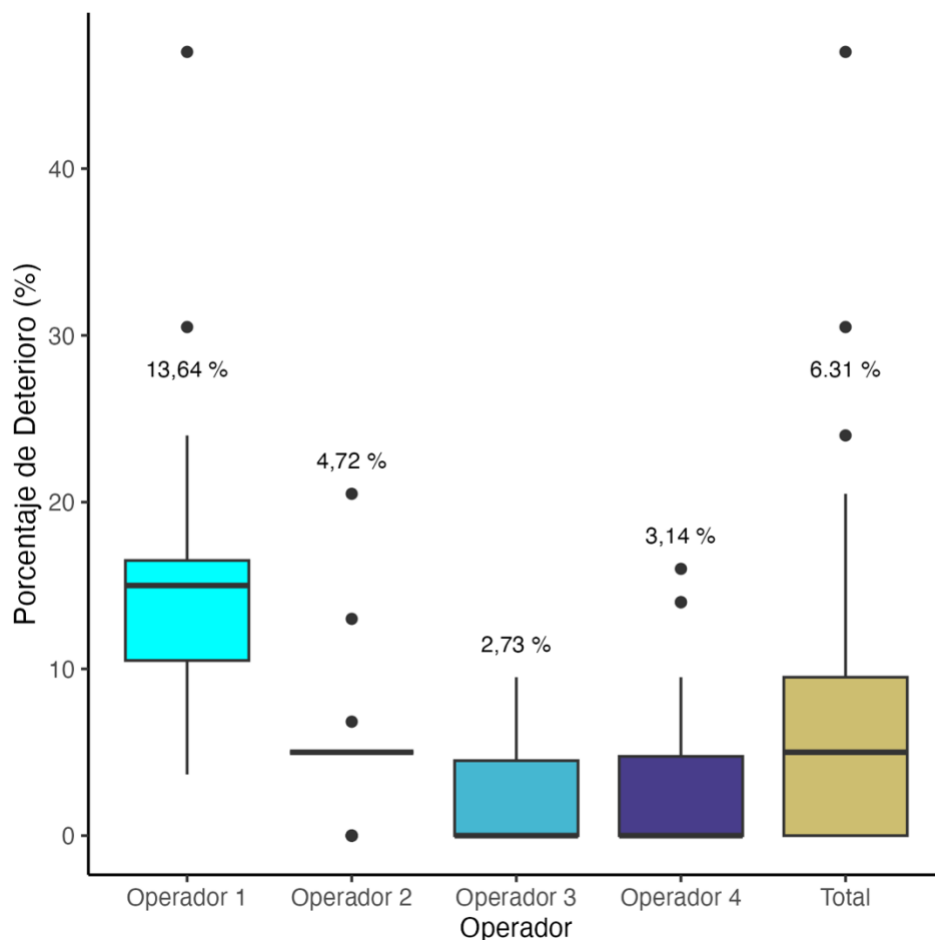


Fig. 2. Resultados de los porcentajes de deterioro obtenidos para los 35 folios del Pacto de Concordia por cuatro operadores.

Evaluación del estado fisicoquímico del Pacto de Concordia: Como parte del análisis integral del estado de conservación del Pacto de Concordia, se realizó una evaluación fisicoquímica de sus folios para identificar signos de deterioro asociados a factores como humedad, adhesivos y otras alteraciones superficiales. A través del uso de herramientas con distintos filtros ópticos, fue posible detectar variaciones cromáticas y áreas de afectación, cuyos resultados se presentan a continuación.

Todas las áreas con cambios de coloración en el documento en estudio las medimos en relación con el área total de la página para calcular el porcentaje de posible afectación (Fig. 3). La herramienta que empleamos en la evaluación del estado fisicoquímico del Pacto de Concordia nos permitió la utilización de tres filtros distintos, cada uno de los cuales reveló variaciones cromáticas específicas en las superficies analizadas (Fig. 3A). En una de las páginas del documento identificamos una zona resaltada en rojo, ubicada en el margen izquierdo, cuya coloración distinta se atribuye al uso de una cinta adhesiva (Fig. 3B). Por otra parte, detectamos una región más oscura en el margen derecho de otra página, asociada a manchas de humedad (Fig. 3C).

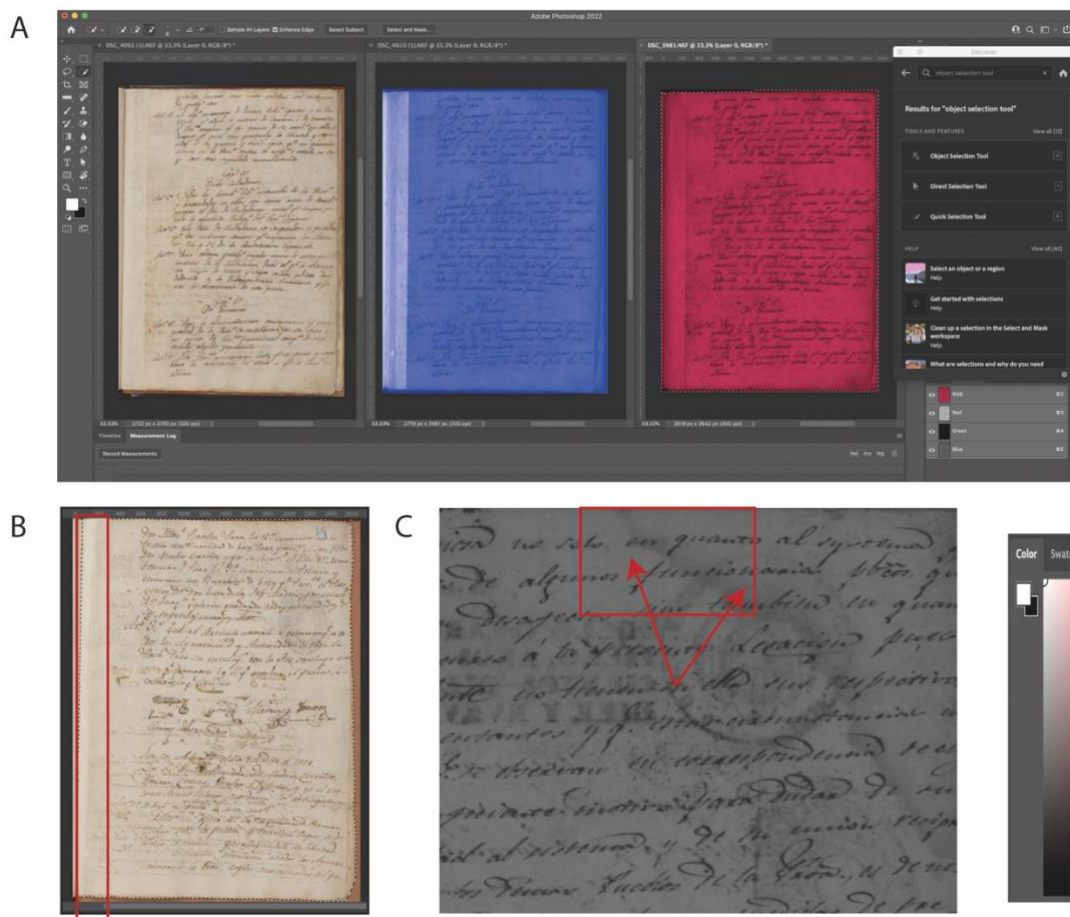


Fig. 3. Proceso de selección de colores para cuantificar áreas asociadas a deterioro. A) Filtros utilizados para mejorar la percepción de algunos colores. B) En rojo, el área donde se observa un color más claro relacionado con el uso de una cinta adhesiva. C) Fotografía que ilustra dos tonos (señalados con flechas rojas), el tono de la derecha se asocia a manchas de humedad.

Los resultados sobre el estado fisicoquímico del Pacto de Concordia, en términos generales, indican que la mayoría de las páginas del documento muestran un deterioro bajo, siendo el folio 35 el único que presenta un deterioro importante. El porcentaje promedio de área afectada en cada folio del documento es de 8,2%, mientras que el porcentaje total de área afectada se encuentra entre 0,0% - 35,2%.

Observamos manchas posiblemente asociadas a humedad en 33 de los 35 folios y se estimó que estas manchas corresponden a cerca del 4,7% del área total, lo cual se considera bajo. Se estimó que el área promedio afectada por la presencia de perforaciones es de 0,0032%.

Identificamos distintas señales de deterioro asociadas a mecanismos físicos, químicos o microbiológicos (Fig. 4). La asociación entre la evidencia visual y las posibles causas de deterioro en el documento se resume en un gráfico de frecuencias, donde se compara la cantidad de folios que presentan señales de daño (Fig. 4A). El análisis de los folios del Pacto de Concordia, realizado

mediante microscopía de luz visible y mediciones de pH para evaluar la acidez del papel, evidenció afectaciones puntuales en varias zonas del documento (Figs. 4B, 4C, 4E, 4F, 4G).

Respecto a las perforaciones redondas simétricas identificadas, observamos que presentan un diámetro aproximado de 2mm y se encuentran en la misma posición en todos los folios (Fig. 4E), lo que podría indicar la presencia de insectos bibliófagos u otros organismos de este tipo que pueden utilizar la celulosa del papel como alimento. Estas perforaciones son pocas y pequeñas, sin embargo se encuentran en 33 folios, y podrían explicarse por las condiciones en que el documento se preservó durante los primeros años de su existencia, donde el control de plagas pudo ser deficiente, antes de su traslado al Archivo Histórico del Archivo Nacional donde actualmente se encuentra en los depósitos del Archivo Histórico bajo condiciones controladas de temperatura (18°C - 22°C), humedad relativa (45% - 55%) y almacenado en cajas libres de ácido (Decreto Ejecutivo 40554 -C, 2017), lo que disminuye significativamente el riesgo de presencia de este tipo de animales. Además del daño asociado a perforaciones en los folios, pudimos observar decoloraciones asociadas a posibles manchas de humedad (Fig. 4F). Respecto a la afectación del documento por hidrólisis ácida, observamos que las señales de deterioro en el papel son leves y localizadas. Lo que se observa es la difusión de la tinta en algunos puntos de cada folio, debido posiblemente a oxidación de tintas, como se muestra en la Fig. 4G.

Los resultados de las mediciones de pH muestran que de los 35 folios, uno presentó valores mayores a 7,5, lo que se asocia a una reserva alcalina, 10 folios presentaron un pH entre 6,5 y 7,5, que se considera estable o neutro y 24 folios presentan algún grado de acidez en el papel (pH <6,5), lo que sugiere la posibilidad de hidrólisis ácida.

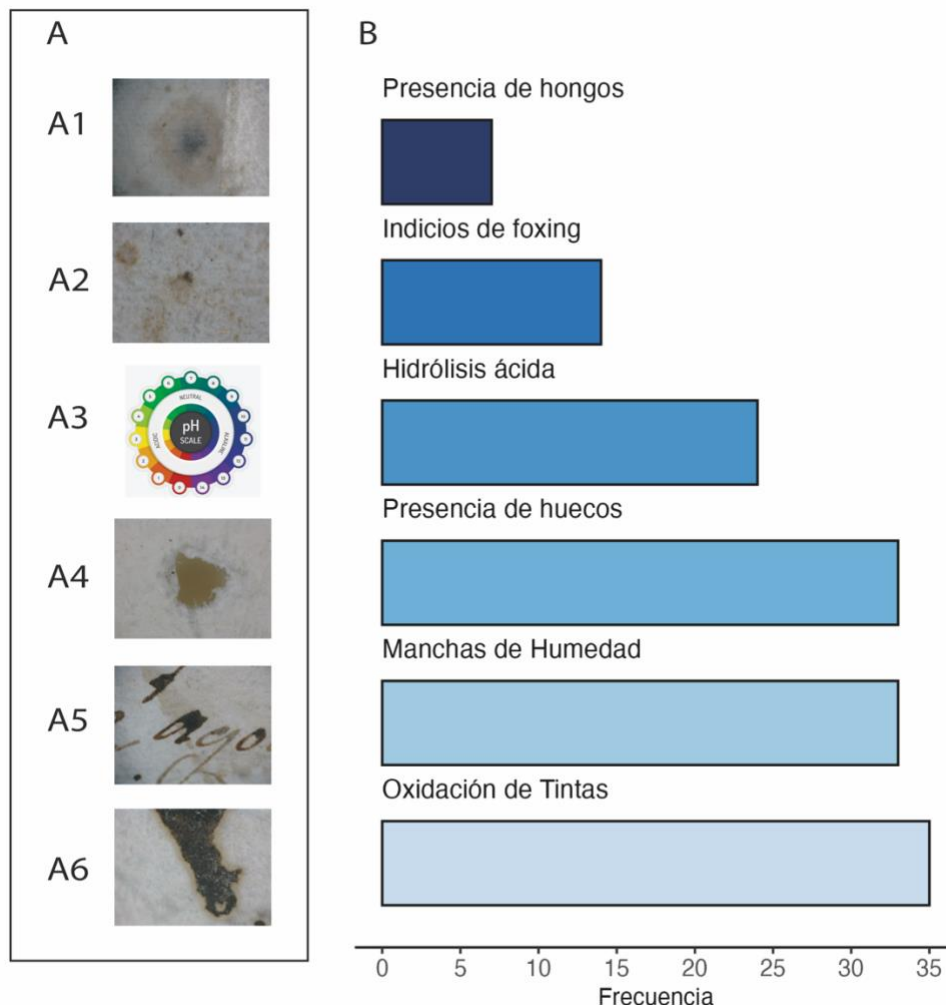


Fig. 4. Evidencia fotográfica de deterioro y su posible asociación con mecanismos de deterioro del Pacto de Concordia mediante mediciones de pH y microscopía de luz visible: A1) Posibles colonias de hongos. A2) Posible Foxing. A3) Medidor de pH. A4) Presencia de Huecos. A5) decoloración asociada a manchas de humedad. A6) Tinta con posible presencia de oxidación. B. Gráfico de frecuencias.

El análisis mediante fotografía multispectral, utilizando filtros de luz visible, ultravioleta e infrarroja, permitió observar distintas variaciones cromáticas (Fig 5). Se presentan ejemplos representativos de este análisis, junto con una estimación del área del documento que muestra señales de deterioro, la cual en todos los casos resultó ser baja (menor al 10%) (Figs. 5B, 5C, 5D, 5E, 5F).

La mayoría de las páginas del documento se encuentran en buen estado presentando en su mayoría valores menores al 10% con un valor promedio de 8,20%, con un valor atípico cercano al 35% correspondiente al folio 21, que mostraba una respuesta importante a luz fluorescente.

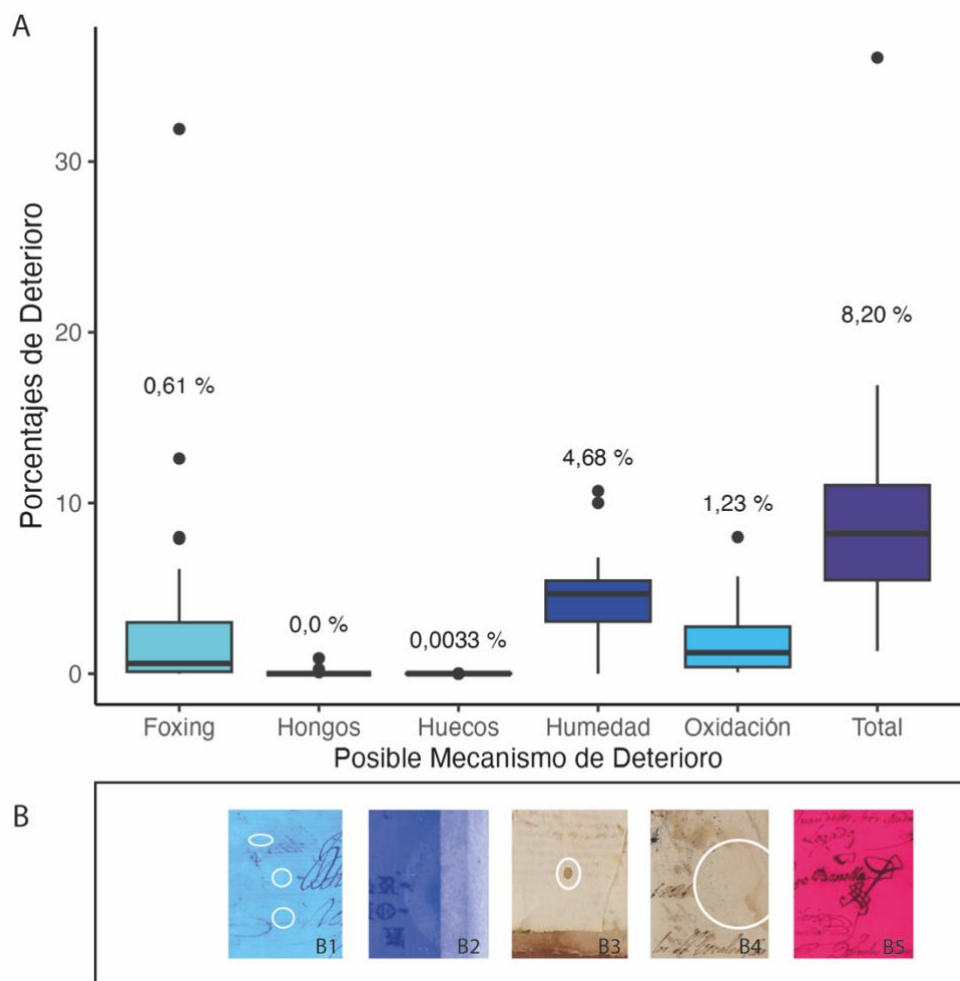


Fig. 5. Señales de deterioro del Pacto de Concordia identificadas mediante fotografías multispectrales: A) Gráfico de cajas de los porcentajes de deterioro. B) Fotografías multispectrales que evidencian deterioro. B) Posible presencia de Foxing. B2) Posible presencia de Hongos. B3) Hueco. B4) Presencia de humedad. B5) Posible oxidación de tinta.

DISCUSIÓN

El estudio de reproducibilidad indica que las personas que trabajan en áreas de encuadernación y restauración, presentan datos estadísticamente equivalentes y reproducibles, según el análisis de los intervalos de confianza de los porcentajes de deterioro obtenidos para los 35 folios del Pacto de Concordia, el conocimiento previo en el área de conservación y restauración se considera clave para utilizar adecuadamente la escala de deterioro, para determinar el estado de deterioro de folios de documentos del periodo colonial.

Al estimar el estado del documento completo del Pacto de Concordia, utilizando el porcentaje de deterioro asociado a la escala validada por expertos, se obtuvo que, en general, el

documento se encuentra en buen estado, salvo por la página 35, que presenta decoloración asociada a humedad, y daño físico visible. La evaluación del estado de deterioro fisicoquímico del Pacto de Concordia, determinó que las principales afectaciones al Pacto de Concordia son: la decoloración atribuida a posibles manchas de humedad, la posible afectación por reacciones de hidrólisis ácida y la presencia de huecos que pueden asociarse a diversas causas, esto amerita un estudio posterior. Este es un estudio preliminar de este tipo de señales de deterioro, y es importante para estudios posteriores, que puedan estudiar más a fondo las causas de los signos de deterioro. Es importante recalcar que estos indicios de deterioro son pocos y están localizados.

Respecto a las causas de deterioro del documento en estudio, concluimos que el deterioro posiblemente atribuible a microorganismos es bajo; estos resultados son esperados debido a que el papel de trapos contiene algodón en su forma natural, lo que lo hace menos susceptible al ataque de hongos y microorganismos en comparación con otros materiales celulósicos (Escudero-Leyva et al., 2023). Los resultados de las mediciones de pH muestran que 24 folios presentan algún grado de acidez ($\text{pH} < 6,5$) en el papel, lo que sugiere la posibilidad de hidrólisis ácida. El papel se considera en una condición estable cuando el pH se encuentra entre 6,50 – 7,50 (McGath, 2017). No se puede identificar la hidrólisis ácida mediante inspecciones visuales, por lo que no se pudo determinar el porcentaje de área afectada; sin embargo, el papel se observó en buen estado en todos los folios. Es importante controlar la acidez del papel para prevenir daños posteriores por hidrólisis ácida y reacciones de oxidación tipo Fenton.

La cuantificación del área que presenta alguna señal de deterioro a partir de las imágenes multiespectrales, corrobora los hallazgos de la evaluación visual, revelando que únicamente una mínima superficie del documento presenta indicios de deterioro. Estas herramientas analíticas permitieron identificar con precisión las áreas afectadas, las cuales representan un porcentaje pequeño ($<8\%$) del total de la superficie documental. Los resultados demuestran que la mayor parte del soporte y los elementos gráficos mantienen su integridad química y física, confirmando el diagnóstico favorable sobre el estado de conservación. Esta información cuantitativa respalda la viabilidad de las actividades de consulta y investigación, al tiempo que orienta las medidas preventivas necesarias para preservar las condiciones actuales del documento.

Los indicios de deterioro en el documento pueden estar asociados a la composición química y a factores externos como las condiciones de almacenamiento, temperatura y humedad ambiental. No se tienen registros sobre el almacenamiento del documento antes de fundar el Archivo Nacional en 1881, afortunadamente, en la actualidad está en el Archivo Histórico con un control ambiental apropiado para mantener la condición actual del documento (Decreto Ejecutivo N.º 40554-C, 2017). Recomendamos mantener las condiciones de temperatura y humedad controladas en las que se conserva el documento y revisar el pH del papel al menos cada dos años, para disminuir el deterioro posterior.

Los porcentajes obtenidos con la escala de deterioro y las fotografías multiespectrales presentaron valores entre 0% - 20%, indicando que hay una relación entre el índice de deterioro obtenido y los daños observados al utilizar la fotografía multiespectral y el pH, lo que valida el uso de la escala propuesta y la corroboración con técnicas fisicoquímicas de análisis. La concordancia entre los resultados obtenidos mediante la evaluación por criterio experto y los análisis fisicoquímicos fortalece significativamente la confiabilidad del diagnóstico sobre el estado de

conservación del documento. Esto no solo confirma la precisión del diagnóstico, sino que también evidencia la importancia de implementar evaluaciones multidisciplinarias en el campo de la conservación documental. Es claro que este análisis no es confirmatorio de la presencia de un mecanismo de deterioro específico; se considera, sin embargo, un primer acercamiento para discernir las causas del deterioro mostrado.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a Carlos Enrique Pacheco Ureña, del departamento de Conservación y a Marco Calderón Delgado, jefe del Departamento de Conservación, ambos del Archivo Nacional de Costa Rica. Se agradece también a las investigadoras y las asistentes del Laboratorio de Conservación de Patrimonio Cultural del Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (CICIMA-UCR), por el apoyo y recursos para la investigación. Agradecemos a los expertos: Salomón Chaves, Sharon Ugalde, Mariela Agüero, Claudia Pradenas, Kimin Román y Marco Calderón, por su colaboración con la validación del modelo de evaluación de daño. Este proyecto se financió parcialmente con el proyecto B9-241 de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaramos haber cumplido con los requisitos éticos y legales pertinentes, durante el estudio y en el manuscrito; que no hay conflictos de interés y que todas las fuentes financieras se detallan en la sección de agradecimientos. Asimismo, están de acuerdo con la versión editada final del documento. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de la contribución de cada autor al manuscrito es la siguiente: R.D.B.V. recopilación y análisis de datos, escritura de manuscrito, P.A.G.: recopilación de datos, revisión de manuscrito, M.M.V. diseño del estudio, revisión del manuscrito y P.F.S. diseño del estudio, análisis de datos, escritura del manuscrito, revisión final del manuscrito.

REFERENCIAS



- Agüero-Gamboa, P., Fuentes-Schweizer, P., Hernández-Murillo, C. y Montero, M. L. (2024). Physicochemical characterization and deterioration condition evaluation of three primary documents of Costa Rica's independence process. *Journal of Cultural Heritage*, 70, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.09.004>
- Agüero Gamboa, P. (2021). *Evaluación del estado de deterioro del Acta de la Independencia, el Acta de los Nublados y el Pacto de Concordia con motivo de la celebración del bicentenario de la independencia de Costa Rica* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio SIBDI-UCR.
- Alexopoulou, I. y Zervos, S. (2016). Paper conservation methods: An international survey. *Journal of Cultural Heritage*, 21, 922–930. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.04.001>
- Conejo-Barboza, G., Corrales-Ulloa, F., Fuentes-Schweizer, P., Obando-Acuña, L., Ruvalcaba, J. L., y Montero, M. L. (2019). Geochemical and mineralogical relations of three ceramic complexes from the formative period (2000–300 BC) in Costa Rica. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 3999-4010. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00796-6>
- Coronado-Ruiz, C., Avendaño, R., Escudero-Leyva, E., Conejo-Barboza, G., Chaverri, P. y Chavarría, M. (2018). Two new cellulolytic fungal species isolated from a 19th-century art collection. *Scientific Reports*, 8(1), Artículo 24934. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24934-7>
- Decreto Ejecutivo N.º 40554-C. (2017, 29 de junio). *Reglamento ejecutivo a la ley del sistema nacional de archivos*. Presidencia de la República y Ministerio de Cultura y Juventud. La Gaceta. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84751&nValor3=109465&strTipM=TC
- Escudero-Leyva, E., Vieto, S., Avendaño, R., Rojas-Gätjens, D., Agüero, P., Pacheco, C., Montero, M. L., Chaverri, P. y Chavarría, M. (2023). Fungi with history: Unveiling the mycobiota of historic documents of Costa Rica. *PLoS ONE*, 18(1), e0279914. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279914>
- Goltz, D., Attas, M., Young, G., Cloutis, E. y Bedynski, M. (2010). Assessing stains on historical documents using hyperspectral imaging. *Journal of Cultural Heritage*, 11(1), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.11.003>
- Hernández-Murillo, C., García, S., Fernández, P., Ménager, M. y Montero, M. L. (2021). Integrated mineralogical and typological study of Axe-God pendants from the Jade and pre-Columbian Culture Museum in Costa Rica. *Cuadernos de Antropología*, 31(1), 1-17. <https://doi.org/10.15517/cat.v31i1.47146>
- Kobayashi, H., Kaiki, H., Shrotri, A., Techikawara, K. y Fukuoka, A. (2016). Hydrolysis of woody biomass by a biomass-derived reusable heterogeneous catalyst. *Chemical Science*, 7(1), 692-696. <https://doi.org/10.1039/c5sc03377b>

- Koochakzaei, A. & Gharetapeh, S. A. (2021). Paper foxing stains on a historic manuscript from the early qajar era: Abiotic or biotic foxing? *Heritage*, 4(3), 1366-1374. <https://doi.org/10.3390/heritage4030074>
- McGath, J. (2017). Cellulose acetate lamination: History. *WAAC Newsletter*, 39(1), 16-20.
- Silva, C. R., Anjos, N., Cola Zanuncio, J. y Serrão, J. E. (2013). Damage to books caused by *Tricorynus herbarius*(Gorham) (Coleoptera: Anobiidae). *The Coleopterists Bulletin*, 67(2), 175–178. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-67.2.175>
- Soto, S. U. & Pacheco Ureña, C. (2021). Empirical restorations in colonial documents: identification of cases in the collections of the National Archive of Costa Rica. *Revista Herencia*, 34(1), 9-28.
- Vieto, S., Escudero-Leyva, E., Avendaño, R., Rechnitzer, N., Barrantes-Madrigal, M. D., Conejo-Barboza, G., Herrera-Sancho, O. A., Chaverri, P. y Chavarría, M. (2022). Biodeterioration and cellulolytic activity by fungi isolated from a nineteenth-century painting at the National Theatre of Costa Rica. *Fungal Biology*, 126(2), 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2021.11.001>
- Yela, J. L. (1997). Insectos causantes de daños al patrimonio histórico y cultural: caracterización, tipos de daño y métodos de lucha (Arthropoda: Insecta). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 20, 111–122. http://sea-entomologia.org/PDF/BOLETIN_20/B20-008-111.pdf