

A PROPÓSITO DE UN CASO

REVISTA CIENTÍFICA
DE REPORTES FORENSES



ARTÍCULO

**Traumatismo
craneoencefálico grave
con muerte diferida:
análisis medicolegal
de una muerte violenta**

Omar Angel Gabrielli

PÁG. 8

ARTÍCULO

**Identificación genética
rápida de cadáveres en
estado de descomposición:
evaluación de muestras
alternativas y optimización
de protocolos**

Jimena Gutierrez Brower - Viviana Engelmann
Melina Lovello - Luciano Iturrieta

PÁG. 12

ARTÍCULO

**Ensayos preliminares para
la detección y datación
relativa de adulteraciones
químicas en documentos
con hipoclorito de sodio**

Nadia Morales

PÁG. 16



A propósito de un caso / Programa Nacional de Ciencia y Justicia - 4ta ed. -
Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Consejo Nacional Investigaciones
Científicas Técnicas - CONICET, 2025.
Revista digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISSN 3008-9603



Programa Nacional de
**CIENCIA
Y JUSTICIA**

A PROPÓSITO DE UN CASO

Revista científica de reportes forenses

Esta publicación fue elaborada por el **Programa Nacional de Ciencia y Justicia** del **Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas** (CONICET).

Febrero 2026

Comité Editorial

Dirección

Maidana, Nora I.

Co-dirección

Saccomanno, Leonardo

Integrantes

Baruj, Alberto
Gurlekian, Jorge A.
Merini, Luciano José
Pautassi, Laura
Pregliasco, Rodolfo
Sala, Andrea
Villalta, Carla

Compaginación, edición de textos y diseño

Dirección de Relaciones Institucionales

reportesforenses@conicet.gov.ar

ISSN 3008-9603

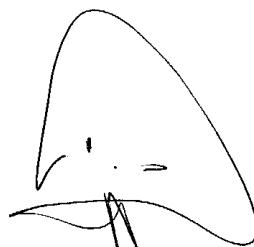
Palabras de presentación

Reportes Forenses

El **Programa Nacional de Ciencia y Justicia** se creó en julio del año 2015 con el objetivo de establecer y articular vínculos operativos, a través de capacitaciones, asesoramientos y talleres de intercambio académico y práctico, entre la comunidad científica del **CONICET** y los poderes judiciales, ministerios Públicos (Acusación y Defensa), Colegios de Abogados y Magistrados, como así también Fuerzas de Seguridad nacionales y provinciales.

Las actividades y acciones del Programa en permanente crecimiento, permitieron la mejora en el intercambio de conocimientos y experiencias, además de una participación virtuosa de las y los investigadores del CONICET en el servicio de justicia, seguridad y en los laboratorios del sistema judicial.

Entre nuestras actividades más recientes, les presentamos el nuevo número de esta revista, dedicada a divulgar el aporte de la ciencia y la tecnología en la resolución de casos.



Dr. Alan D. Temiño
Gerente de Asuntos Legales
Responsable Técnico del Programa Nacional
de Ciencia y Justicia del CONICET.

Estimados lectores

Nuestra revista cuenta con dos secciones, la primera (A propósito de un caso) fue pensada para que podamos compartir con nuestros colegas algún caso que nos resultó “interesante” por haber sido la primera vez que se usó una técnica en particular en la resolución de una investigación judicial o de una nueva patología; puede ser una evidencia preliminar necesaria para el diseño de ensayos experimentales o puede establecer una limitación al alcance de técnicas establecidas. La publicación de estos casos es la única manera de difundir las enseñanzas que han dejado, haciéndolas perdurables en el tiempo, de modo que puedan servir en el futuro tanto para cuando aparezcan situaciones similares, como para hacer conocer los recursos existentes.

La segunda sección, llamada ***Otras miradas en la forma de investigar***, nos permite publicar artículos o notas que, si bien no se refieren exclusivamente a un caso, nos aportan novedades o visiones originales para la resolución de casos forenses.

Los invitamos a enviarnos sus propuestas para cualquiera de ambas secciones, a reportesforenses@conicet.gov.ar.

El Comité Editorial



Más información

ADVERTENCIA:

Esta publicación podría contener imágenes que pueden afectar la sensibilidad de algunas personas.

Sección A propósito de un caso**ARTÍCULO****Traumatismo craneoencefálico grave con muerte diferida: análisis medicolegal de una muerte violenta**

Omar Angel Gabrielli

Pág 8

Sección Otras miradas en la forma de investigar**ARTÍCULO****Identificación genética rápida de cadáveres en estado de descomposición: evaluación de muestras alternativas y optimización de protocolos**

Jimena Gutierrez Brower

Viviana Engelmann

Melina Lovello

Luciano Iturrieta

Pág 12

ARTÍCULO**Ensayos preliminares para la detección y datación relativa de adulteraciones químicas en documentos con hipoclorito de sodio**

Nadia Morales

Pág 16

Sección A propósito de un caso

Traumatismo craneoencefálico grave con muerte diferida: análisis medicolegal de una muerte violenta

Severe head injury with delayed death: medical-legal analysis of a violent death

Omar Angel Gabrielli¹

Resumen: Una persona de sexo femenino de 40 años sufrió un traumatismo craneoencefálico grave por atropello automotor, con fracturas temporales y occipitales, hematomas subdurales y hemorragia subaracnoidea, colapso ventricular y abombamiento de la línea media. Fue asistida de urgencia, intubada y sometida a craniectomía descompresiva y drenaje de hematoma subdural y permaneció en estado crítico en unidad de terapia intensiva. La evolución clínica incluyó complicaciones infecciosas postoperatorias, hidrocefalia, múltiples reintervenciones neuroquirúrgicas y persistencia de estado vegetativo, con aislamiento de *Klebsiella pneumoniae* resistente. Tras paro cardiorrespiratorio, la autopsia médica legal determinó como causa inmediata: shock séptico; como causa intermedia: infección intracranial postoperatoria; como causa fundamental: traumatismo craneoencefálico grave, lo que confirmó la muerte violenta.

Palabras clave: traumatismo de cráneo grave, muerte diferida, patología forense, muerte violenta, medicina legal

Summary

A 40-year-old female suffered severe head trauma from a vehicle accident, with temporal and occipital fractures, subdural hematomas and subarachnoid hemorrhage, ventricular collapse, and midline bulging. She received emergency care, was intubated, and underwent decompressive craniectomy and drainage of the subdural hematoma. She remained in critical condition in the intensive care unit. Her clinical course included postoperative infectious complications, hydrocephalus, multiple neurosurgical reinterventions, and a persistent vegetative state, with isolation of resistant *Klebsiella pneumoniae*. After cardiorespiratory arrest, the forensic autopsy determined the immediate cause: septic shock; the intermediate cause: postoperative intracranial infection, and the underlying cause: severe head trauma, confirming a violent death.

Keywords: severe head trauma, deferred death, forensic pathology, violent death, legal medicine

¹ Médico Especialista en Cardiología y Medicina Legal. Máster en Criminología y Ciencias Forenses. Perito Médico Forense del Poder Judicial de la C.A.B.A. Consejo de la Magistratura C.A.B.A - Av. Julio A Roca 516 (ogabrielli@jusbaires.gob.ar)/(ogabrielli@gmail.com). Profesor de Medicina Legal en la Especialización Derecho Penal. Facultad de Derecho de la Universidad Del Salvador - Av. Callao 660. C.A.B.A. (juridicas@usal.edu.ar).

Introducción

La identificación del mecanismo de muerte por lesiones es responsabilidad del médico forense, particularmente en situaciones de muerte diferidas, concausas o tras un período de sobrevivencia. Resulta, en ocasiones, una tarea compleja o difícil, poder establecer la causa de la muerte y los mecanismos que la originaron. La muerte puede producirse directamente por la lesión o de manera indirecta como consecuencia del desarrollo de un proceso mórbido que esta hizo aparecer, despertar o agravar. (Calabuig, 2004).

Descripción del caso

Una persona de sexo femenino, de 40 años, sufrió el 10/09/24 un traumatismo encefalocraneano (TEC) grave por atropello vehicular. Fue trasladada a un centro hospitalario donde se documentó deterioro del sensorio y lesiones graves en las imágenes de la tomografía computada de encéfalo: fracturas temporal y occipital, hematoma subdural derecho, hemorragia subaracnoidea, neumoencéfalo y colapso ventricular con abombamiento de la línea media. Bajo estas condiciones clínicas, se configuró una emergencia neuroquirúrgica, motivo por el cual se le practicó craniectomía descompresiva, drenaje de hematoma subdural y colocación de catéter de presión intracraneana y se la ingresó a la unidad de cuidados intensivos en estado crítico. La paciente presentó evolución clínica tórpida por complicaciones e intercurrencias infecciosas, desarrolló polineuropatía adquirida y evolucionó hacia un estado vegetativo persistente, traqueostomía y dependencia parcial de soporte vital. Posteriormente, fue trasladada a un centro de rehabilitación neurológica; requirió reintervenciones neuroquirúrgicas, incluyendo derivación ventrículo-peritoneal y manejo de ventriculitis por *Klebsiella pneumoniae* carbapenemasa. A pesar del tratamiento instituido, mantuvo un estado vegetativo persistente con signos de daño cerebral irreversible. El 07/02/25 sufrió un paro cardíaco irreversible y fue constatado el óbito a las 0:15 hs. La práctica de la autopsia médica legal concluyó: Causa de muerte: paro cardiorrespiratorio traumático, secundario a shock séptico. Mecanismo de muerte: traumatismo craneoencefálico grave. Manera de la muerte: violenta.

Discusión

El presente caso, constituye un ejemplo paradigmático de TEC grave por accidente de tránsito, con evolución prolongada y muerte diferida. Desde el punto de vista médico legal, es fundamental destacar que la evaluación de la causa y mecanismo de muerte en traumatismos complejos requiere la integración de antecedentes clínicos, hallazgos quirúrgicos, imágenes diagnósticas y evolución hospitalaria prolongada.

La víctima presentó fracturas craneales múltiples, hematoma subdural derecho, hemorragia subaracnoidea traumática y colapso ventricular, lo que configuró una emergencia neuroquirúrgica inmediata. Según la literatura especializada, los TEC graves con fracturas combinadas y compromiso del parénquima cerebral presentan alta mortalidad y morbilidad aún con intervención quirúrgica temprana (Marshall, 2000; Carney, 2017; Meyfroidt, 2022). En este caso, la intervención neuroquirúrgica de emergencia, consistente en craniectomía descompresiva y drenaje de hematoma subdural, se ajustó a las prácticas estándar de manejo de TEC grave. Sin embargo, la paciente presentó complicaciones infecciosas recurrentes, incluida ventriculitis asociada a derivación ventrículo-peritoneal, con aislamiento de *Klebsiella pneumoniae* resistente a la carbapenemasa. Estas infecciones son complicaciones conocidas en pacientes críticos con dispositivos intracraneales y contribuyen significativamente al deterioro neurológico y al desenlace fatal (Humphreys et al., 2015; Wang et al., 2017). Desde la perspectiva forense, la causa de muerte se identifica como paro cardiorrespiratorio secundario a shock séptico mientras que el mecanismo de muerte se atribuye al TEC grave. La manera de la muerte es violenta, dado que se produjo como consecuencia directa de un accidente externo (Raffo, 2004). Este análisis coincide con la metodología forense estándar que distingue claramente entre causa, mecanismo y manera de muerte, siguiendo los lineamientos internacionales y de la doctrina médico legal argentina (Dettmeyer et al., 2014; Patitó, 2011; Calabuig 2004). Otro aspecto relevante es la muerte diferida (Palomo Rando et al., 2010; Calabuig, 2004). Aun habiéndose realizado intervenciones neuroquirúrgicas oportunas y soporte vital intensivo, la evolución prolongada con estado vegetativo persistente y complicaciones infecciosas graves evidencian que la lesión inicial fue determinante en el desenlace. Esto es consistente con la literatura sobre mortalidad tardía en TEC grave que enfatiza la importancia de diferenciar entre el daño primario por el traumatismo y las complicaciones postoperatorias o nosocomiales (Zasler, 2009; Tolescu et al., 2020). La literatura médico legal respalda que el trauma sigue siendo causa legal de muerte, aunque el deceso ocurra semanas o meses después, siempre que exista continuidad clínica, como ocurrió en este caso. No se identifica interrupción causal que desligue el trauma del desenlace final (Calabuig, 2004). La documentación completa de intervenciones quirúrgicas, control radiológico y evolución clínica respaldó la conclusión de que el desenlace fatal fue consecuencia directa del TEC grave y sus complicaciones, sin indicios de omisión o actuación médica inadecuada. Este vínculo es clave para determinar si la causa de muerte puede ser atribuida legalmente al trauma, incluso si hay complicaciones intermedias como infecciones, cirugías, o enfermedades secundarias. Para ello podemos establecer el fundamento medicolegal de la relación causal diferida:

1. Cadena de eventos (nexo causal): La relación causal se establece si puede demostrarse que el trauma inicial fue el factor desencadenante de un proceso fisiopatológico que evolucionó hacia la muerte, aunque con participación de complicaciones secundarias (como infección, sepsis o fallo multiorgánico).

2. Causa inmediata vs. causa fundamental - Causa inmediata: el evento clínico que directamente lleva a la muerte (ej. shock séptico). Causa fundamental o remota: el evento que inició la cadena causal (ej. trauma craneal) (Patitó, 2011; Palomo Rando et al., 2010).

Conclusiones

El presente caso nos muestra cómo un traumatismo craneoencefálico grave puede desencadenar complicaciones diferidas, como infecciones postquirúrgicas y paro cardiorrespiratorio. Los hallazgos clave como fracturas, hematomas, estado vegetativo y ventriculitis, permitieron establecer con precisión la cadena causal: traumatismo inicial asociado a complicación quirúrgica seguida de muerte por shock séptico. Esto resolvió el problema judicial, confirmando el carácter violento de la muerte y descartando negligencia. El concepto final a ser destacado, es que la causalidad en muertes complejas requiere análisis detallado y documentación rigurosa, garantizando que la justicia comprenda la secuencia real de eventos clínicos y forenses.

Finalmente, este caso ilustra la necesidad de integrar criterios clínicos, quirúrgicos y microbiológicos en la determinación médico legal del fallecimiento. Permite, además, reforzar la importancia de la documentación detallada y cronológica en pacientes con trauma grave y evolución prolongada así como la utilidad de la colaboración interdisciplinaria entre médicos forenses, neurocirujanos e intensivistas para establecer de manera clara la relación de causalidad entre el evento traumático y la muerte.

Referencias bibliográficas

Calabuig G. Medicina Legal y Toxicología. (2004). 6° Edición. Ed. Elsevier. Mason, 331.

Carney N; Totten A; O'Reilly C; Ullman JS; Hawryluk GWJ.; Bell MJ.; Bratton S L; Chesnut R; Harris OA.; Kisssoon N; Rubiano AM.; Shutter L; Tasker RC; Vavilala MS; Wilberger J; Wright DW; Ghajar J. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. Neurosurgery. (2017); 80(1): p 6-15.

Dettmeyer RB, Verhoff MA, Schutz HF. Forensic Medicine. Fundamentals and Perspectives. (2014). Springer-Velag. Berlin,

Humphreys H; Jenks PJ. Surveillance and management of ventriculitis following neurosurgery. Journal of Hospital Infection. (2015); Volume 89, Issue 4, Pages 281-286.

Marshall LF. Head Injury: Recent Past, Present, and Future. Neurosurgery (2000); 47(3): p 546-561

Meyfroidt G; Bouzat P; Casaer MP; Chesnut R; Hamada SR; Helbok R; Hutchinson P; Maas AIR; Manley G; Menon DK; Newcombe VFJ; Oddo M; Robba C; Shutter L; Smith M; Steyerberg EW; Stocchetti N; Taccone FS; Wilson L; Zanier ER; Citerio G. Management of moderate to severe traumatic brain injury: an update for the intensivist. Intensive Care Med. (2022); 48, 649–666.

Palomo Rando JL; Ramos Medina V; Cruz Mera E; López Calvo AM. Diagnóstico del origen y la causa de la muerte después de la autopsia medicolegal (Parte I). (2010). Cuad Med Forense; 16(4):217-229

Patitó J.A. Enciclopedia Médico Legal. (2011). Vol. II. Primera Parte. Librería AKADIA Editorial.

Raffo O. La Muerte violenta. (2004). 1° ed. 6° reimpr. Buenos Aires. Ed. Universidad

Tolescu RS; Zorilă MV; Șerbănescu MS; Kamal CK; Zorilă GL; Dumitru I; Florou C; Mogoantă L; Văduva IA; Stanca L; Zăvoi RE. Severe traumatic brain injury (TBI) – a seven-year comparative study in a Department of Forensic Medicine. Rom J Morphol Embryol. (2020); 61(1):95–103.

Wang F; Xiao-Yan Yao XY; Zou ZR; Hua-Lin Yu HL; Sun T. Management of Pyogenic Cerebral Ventriculitis by Neuroendoscopic Surgery. World Neurosurgery. (2017); Volume 98, Pages 6-13

Zasler, ND. Long-term survival after severe TBI: clinical and forensic aspects. Progress in Brain Research. (2009); Volume 177, Pages 111-124



A PROPÓSITO DE UN CASO

Revista científica de reportes forenses

Sección Otras miradas en la forma de investigar

Identificación genética rápida de cadáveres en estado de descomposición: evaluación de muestras alternativas y optimización de protocolos

Rapid Genetic Identification of Decomposed Bodies: Evaluation of Alternative Samples and Protocol Optimization

Jimena Gutierrez Brower¹; Viviana Engelmann¹; Melina Lovello¹; Luciano Iturrieta¹

Resumen: Se realizó un estudio comparativo entre los años 2021 y 2024 con el objetivo de evaluar, en cadáveres con distintos grados de descomposición, la eficacia de diversas muestras biológicas para la obtención de perfiles genéticos completos y optimizar el método de extracción para reducir tiempos y costos analíticos.

Además de las muestras convencionales, se procesaron hisopados vesicales, uñas, hisopados intracardiacos y pelos, recolectados durante autopsias o exhumaciones. Se aplicaron digestiones rápidas con una solución específica adaptada, seguidas de amplificación directa mediante kits comerciales validados, utilizando mezclas reducidas. Los amplicones fueron inyectados en un equipo de electroforesis capilar y analizados con software especializado.

Se obtuvieron perfiles genéticos aptos para cotejo en la mayoría de las muestras, destacándose especialmente el hisopado vesical. Esta muestra, habitualmente asociada a cadáveres carbonizados, demostró ser eficiente también en cuerpos en avanzado estado de descomposición, posiblemente debido a la preservación anatómica de la vejiga dentro de la cavidad pélvica.

El hallazgo aporta evidencia empírica que respalda la inclusión sistemática de este tipo de muestra en los protocolos de toma cadavérica, fortaleciendo la capacidad de respuesta del sistema forense ante casos complejos y contribuyendo a una identificación más rápida y eficaz.

Palabras clave: identificación genética, cadáveres en descomposición, hisopado vesical, protocolos forenses.

Abstract: A comparative study was conducted between 2021 and 2024 to evaluate the effectiveness of various biological samples in obtaining complete genetic profiles in cadavers with varying degrees of decomposition and to optimize the extraction method to reduce analytical time and costs.

In addition to conventional samples, bladder swabs, fingernails, intracardiac swabs, and hair collected during autopsies or exhumations were processed. Rapid digestions were performed with a specific, tailored solution, followed by direct amplification using validated commercial kits, using reduced-volume mixtures. The amplicons were injected into capillary electrophoresis equipment and analyzed with specialized software.

Genetic profiles suitable for comparison were obtained in most samples, with the bladder swab being particularly successful. This sample, usually associated with charred corpses, also proved effective in bodies in an advanced state of decomposition, possibly due to the anatomical preservation of the bladder within the pelvic cavity.

The discovery provides empirical evidence supporting the systematic inclusion of this type of sample in cadaveric collection protocols, strengthening the forensic system's response capacity to complex cases and contributing to faster and more effective identification.

Keywords: genetic identification, decomposed bodies, bladder swab, forensic protocols.

¹ Laboratorio de Genética Forense, Instituto de Genética Humana de Misiones (IGeHM), Parque de la Salud de Misiones. Av. Marconi 3736, Posadas, Misiones. forenseigehm@gmail.com.

Autora de correspondencia: Viviana Engelmann.

Introducción

La identificación de cadáveres en estado avanzado de descomposición o esqueletización constituye un desafío constante para la medicina legal y la genética forense (Komar y Lathrop, 2006). Los métodos clásicos, como la comparación odontológica o el análisis de huellas dactilares, suelen verse limitados por el deterioro del cuerpo. En este contexto, el análisis de ácido desoxirribonucleico (ADN) se consolidó como la herramienta más fiable para la identificación, especialmente mediante el perfilado de Short Tandem Repeats (STR) y el análisis de ADN mitocondrial (Butler, 2015).

Tradicionalmente, huesos y dientes fueron las matrices de elección debido a su estructura calcificada, que protege al material genético frente a la degradación ambiental (Sweet y DiZinno, 1996; Türkay y Bener, 2022). Sin embargo, la extracción de ADN de estos tejidos es laboriosa, requiere procedimientos prolongados y puede retrasar la respuesta en contextos donde se demanda rapidez operativa.

Por ello, la investigación forense reciente buscó fuentes alternativas de ADN que redujeran los tiempos de procesamiento sin comprometer la calidad del perfil genético (Lee et al., 2018). Entre ellas, el hisopado vesical emergió como una opción prometedora, debido a que la vejiga puede conservar su integridad estructural durante fases avanzadas de descomposición, al encontrarse protegida dentro de la cavidad pélvica (Brito et al., 2015; Brito et al., 2019; Senst et al., 2023). Recientemente, INTERPOL (2023) incluyó esta muestra en sus guías para identificación de víctimas de desastres, lo que refuerza su valor potencial en contextos forenses complejos. El presente estudio describió su evaluación y optimización en el ámbito forense de Misiones.

Descripción del caso

En el año 2022 ingresó, al Laboratorio de Genética Forense del Instituto de Genética Humana de Misiones, una muestra poco habitual de hisopado vesical obtenida durante la autopsia de un cadáver carbonizado. La muestra fue tomada de manera no sistemática durante la autopsia, al constatarse que la vejiga conservaba tejido de color rosado y era el único órgano con preservación macroscópica aparente. La muestra fue procesada mediante una estrategia de amplificación directa utilizando una solución de digestión rápida, Swab Solution® (Promega Corporation, Madison, WI, EE. UU.), y se obtuvo un perfil genético completo, con todos los marcadores por encima del umbral estocástico de 250 unidades de fluorescencia relativa (RFU). El perfil obtenido del hisopado vesical presentó mejor calidad que el correspondiente al hisopado intracardíaco del mismo cadáver carbonizado, con picos más altos y definidos y

sin pérdida alélica, lo que refleja una mejor preservación del ADN (Figura 1).

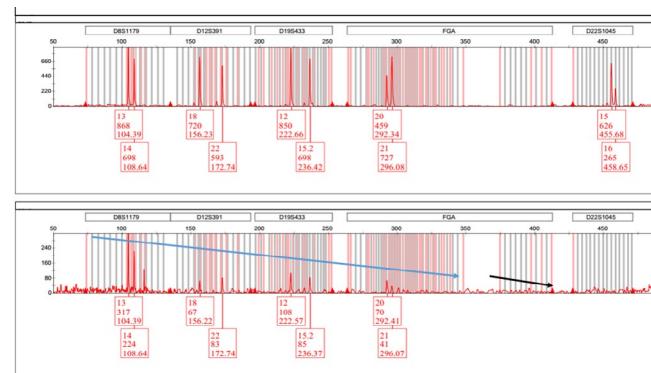


Figura 1. Segmento de electroferogramas comparativos obtenidos de un hisopado vesical (arriba) y un hisopado intracardíaco (abajo) del mismo cadáver. La flecha negra indica pérdida alélica en los marcadores de mayor tamaño, y la celeste, la tendencia descendente característica de degradación del ADN.

A partir de este hallazgo inicial se resolvió incorporar la muestra a las rutinas de toma durante autopsias o exhumaciones de cadáveres en distintos grados de descomposición, con el objetivo de evaluar su eficacia en contextos más amplios. Se procesaron otras matrices no convencionales (uñas, pelos con bulbo e hisopados intracardíacos) junto con las clásicas (huesos y dientes), a fin de comparar su desempeño en la obtención de perfiles genéticos completos. En total se analizaron ocho hisopados vesicales, dos intracardíacos, cinco uñas y tres pelos con bulbo ($n = 18$).

Las muestras óseas y dentales se procesaron como controles mediante descalcificación y posterior extracción orgánica, con un tiempo total aproximado de siete días. En los casos con signos avanzados de descomposición no se procedió a la toma de hisopado intracardíaco debido a la licuefacción del tejido y colapso de cavidades. En tales circunstancias se priorizó el hisopado vesical.

Con el propósito de evaluar la eficiencia de cada tipo de muestra, se compararon las condiciones de preparación, digestión e incubación, los tiempos de procesamiento y el porcentaje de perfiles aptos para cotejo. Se consideró apto un perfil que presentara al menos quince marcadores STRs, criterio adoptado en el laboratorio para interpretación forense.

Las digestiones rápidas se realizaron con Swab Solution® (Promega Corporation, Madison, WI, EE. UU.) ajustando volumen y duración según el tipo de muestra. Para los hisopados vesicales e intracardíacos se emplearon 400 μ l de solución e incubaciones de treinta minutos a 70 °C. En uñas y pelos se añadieron 15 μ l de proteinasa K (PK) y 20 μ l de dithiothreitol (DTT),

con incubaciones de dos horas a 70 °C, lo que permitió una mayor liberación de ADN nuclear. Posteriormente, el ADN se purificó mediante precipitación alcohólica y se resuspendió en buffer Tris-EDTA (TE).

Los amplicones se inyectaron en un equipo SeqStudio™ (Thermo Fisher Scientific, EE. UU.) a 1,5 kV durante cinco segundos y se analizaron con GeneMapper® ID-X v1.6 (Applied Biosystems). Estas modificaciones redujeron el tiempo total de análisis de varios días a menos de tres horas sin afectar la calidad de los perfiles obtenidos.

Las condiciones experimentales y el rendimiento comparativo se presentan en la Tabla 1, mientras que el flujo operativo actual del protocolo provincial derivado de esta experiencia se muestra en la Figura 2.

	Hisopado intracardíaco	Hisopado vesical	Uñas	Pelos con bulbo
Preparación previa	Lavado previo con 1 ml de agua destilada (37 °C, 15 min)	Directo, sin lavado	Incubación con TEC-SDS + 15 µl de PK (90 min). Separación en fracciones (A y B)	Directo, sin lavado
Volumen Swab Solution®	400 µl	400 µl	B: 400 µl + 20 µl DTT + 15 µl PK	250 µl + 20 µl DTT + 15 µl PK
Incubación	30 min/ 70 °C	30 min/ 70 °C	120 min/ 70 °C	120 min/ 70 °C
Procesamiento total	45 min	30 min	720 min	720 min
Perfil apto para cotejo	100 % (n = 2) muestras de cuerpos con putrefacción incipiente	88 % (n = 8) perfiles completos incluso en	80 % (n = 5)	67 % (n = 3)

Tabla 1. Comparación del rendimiento de distintos tipos de muestras cadávericas en la obtención de perfiles genéticos completos.

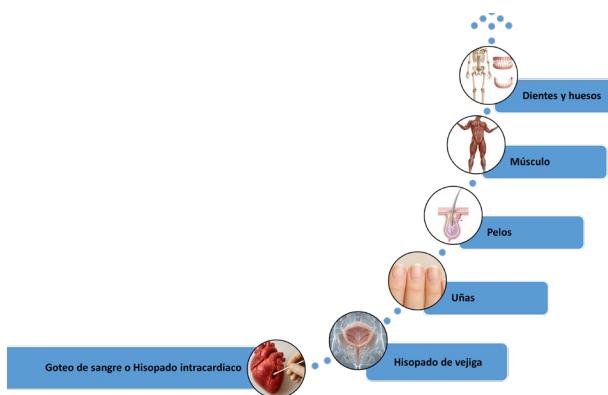


Figura 2. Esquema de flujo de la toma de muestras cadávericas empleadas en el protocolo de identificación genética aplicado en la provincia de Misiones. Se incorporó el hisopado vesical como muestra prioritaria en cadáveres en estado de descomposición, junto con otras alternativas (uñas, pelos, hisopado intracardíaco) y las muestras clásicas de referencia (huesos y dientes). El esquema resume la adaptación operativa del proceso de toma de muestras implementada a partir de la evidencia obtenida en este estudio.

Discusión

El uso de hisopados vesicales como fuente de ADN para identificación humana fue históricamente relegado en los protocolos forenses, a pesar de que diversos estudios demostraron su potencial en cadáveres carbonizados y en distintos grados de descomposición (Brito et al., 2015; Brito et al., 2019). Su inclusión reciente en las guías internacionales de INTERPOL (2023) refuerza la necesidad de validar su aplicabilidad en contextos operativos diversos y de promover su incorporación sistemática en los protocolos de identificación cadáverica.

El presente trabajo permitió comprobar, en condiciones reales de laboratorio y campo, la eficacia del hisopado vesical no sólo en cadáveres carbonizados, sino también en cuerpos con diferentes niveles de degradación. Los resultados mostraron perfiles genéticos completos en la mayoría de los casos. Este comportamiento se explica, en parte, porque la vejiga tiende a conservar su integridad estructural por más tiempo al encontrarse protegida dentro de la cavidad pélvica, lo que retrasa su colapso y la degradación del ADN (Brito et al., 2015; Brito et al., 2019; Senst et al., 2023).

En contraste, el hisopado intracardíaco resultó útil únicamente en cuerpos con putrefacción incipiente, dado que la degradación del tejido cardíaco y el colapso de las cavidades torácicas limitan su obtención en estados avanzados de descomposición. Estos hallazgos respaldan la preferencia del hisopado vesical como alternativa eficaz y rápida frente a los tejidos clásicos -huesos y dientes-, cuyo procesamiento requiere varios días debido a los pasos de descalcificación y extracción orgánica.

<https://doi.org/10.1016/j.fsigss.2019.10.108>.

Las limitaciones del presente estudio incluyen el número reducido de casos analizados y la necesidad de ampliar la muestra para consolidar la evidencia empírica. Sin embargo, la recuperación consistente de perfiles completos en condiciones adversas constituye un indicador sólido de su potencial como fuente de ADN de buena calidad. A diferencia de otros trabajos experimentales, este estudio se basó en casos judiciales reales, lo que refuerza su aplicabilidad práctica y su valor para laboratorios con recursos limitados.

Diversas guías internacionales, como las de la Comisión de Genética de la Sociedad Internacional de Genética Forense (Prinz et al., 2007) y las actualizaciones del Manual de Identificación de Víctimas de Desastres de INTERPOL (2023), subrayan la importancia de adaptar la toma de muestra al estado del cuerpo y a la disponibilidad de tejidos. En este contexto, los resultados aquí presentados aportan evidencia local que puede contribuir a la actualización de protocolos nacionales y al fortalecimiento del trabajo coordinado entre laboratorios forenses del país. Coincidén además con lo reportado por Senst et al. (2023), quienes destacaron la necesidad de seleccionar cuidadosamente la muestra según el grado de alteración del cuerpo.

Conclusiones

El análisis de hisopados vesicales en cadáveres en descomposición permitió obtener perfiles genéticos completos en plazos de procesamiento en laboratorio significativamente menores que los requeridos para huesos o dientes, demostrando su eficiencia como muestra alternativa. Este hallazgo impulsó su incorporación al protocolo forense de la provincia de Misiones, optimizando tiempos y recursos en la práctica pericial. Aun considerando el número reducido de casos, la evidencia local valida su aplicabilidad y refuerza la necesidad de continuar su evaluación en distintos contextos, promoviendo la actualización de protocolos nacionales de identificación cadavérica.

BUTLER, J. M. (2015). *Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Interpretation*. Academic Press, San Diego.

INTERPOL. (2023). *Disaster Victim Identification Guide: DNA and Fingerprint Identification Procedures* (5th ed.). International Criminal Police Organization. <https://www.interpol.int/en/Crimes/DNA>.

KOMAR, D., y S. LATHROP. (2006). Testing of human DNA from burnt remains: A comparative study of bone and soft tissue samples. *Forensic Science International*, 156(2–3): 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.forsci.int.2004.12.027>.

LEE, H. C., C. LADD y N. YANG. (2018). Forensic applications of DNA typing in decomposed or burned bodies: Review and case examples. *Forensic Science Review*, 30(1): 1–15.

PRINZ, M., A. CARRACEDO, W. R. MAYR, N. MORLING, T. J. PARSONS, A. SAJANTILA, R. SCHEITHAUER, P. M. SCHNEIDER. (2007) DNA Commission of the International Society for Forensic Genetics (ISFG): Recommendations regarding the role of forensic genetics for disaster victim identification (DVI). *Forensic Science International: Genetics*, 1(1): 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.fsigens.2006.10.003>.

SENST, S., T. UERLINGS y J. EDELMANN. (2023). Evaluation of soft tissue samples for DNA analysis in decomposed bodies: Practical aspects for forensic casework. *International Journal of Legal Medicine*, 137: 155–165. <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02871-8>.

SWEET, D., y J. A. DIZINNO. (1996). Personal identification through dental evidence – Tooth fragments to DNA. *Journal of the California Dental Association*, 24(5): 35–42.

TÜRKAY, M., y A. BENER. (2022). DNA profiling from skeletal remains: Comparison of extraction methods and success rates in aged bone samples. *Forensic Science International: Genetics*, 60: 102729. <https://doi.org/10.1016/j.fsigens.2022.102729>.

Referencias bibliográficas

BRITO, R. M., J. A. CARNEIRO, L. G. FIGUEIREDO y R. N. OLIVEIRA. (2015). Bladder swabs as a source of DNA for human identification in carbonized corpses. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 5: e440–e442. <https://doi.org/10.1016/j.fsigss.2015.09.176>.

BRITO, R. M., J. A. CARNEIRO, L. G. FIGUEIREDO y R. N. OLIVEIRA. (2019). Alternative soft tissues for DNA typing in burned and decomposed bodies: A practical approach for human identification. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 7: 243–246.

Sección **Otras miradas en la forma de investigar**

Ensayos preliminares para la detección y datación relativa de adulteraciones químicas en documentos con hipoclorito de sodio

Preliminary tests for the detection and relative dating of chemical alterations in documents using sodium hypochlorite

Morales, Nadia¹

Resumen: El presente trabajo expone ensayos preliminares orientados a la detección y estimación temporal de adulteraciones químicas en documentos, producidas mediante hipoclorito de sodio. Se emplearon tintas negras de uso común, en variantes líquida y pastosa, de tres marcas diferentes, aplicadas sobre un único tipo de papel. Sobre los trazos manuscritos se realizaron alteraciones controladas con soluciones de hipoclorito de sodio al 58% y 25%, y se registraron las transformaciones resultantes.

El análisis permitió identificar tres indicadores observacionales de valor pericial: (1) un viraje cromático progresivo, visible a simple vista; (2) fluorescencia constante bajo luz ultravioleta, confirmatoria de la acción del hipoclorito; y (3) microburbujas en la superficie del papel, observables con lupa binocular, lo que lo convierte en un marcador físico no descrito previamente en la literatura forense.

Estos hallazgos, si bien corresponden a condiciones experimentales específicas, ofrecen una base metodológica innovadora y accesible para la pericia documentológica. Su relevancia radica en brindar criterios objetivos, replicables y de bajo costo que fortalecen la confiabilidad de la prueba documental y contribuyen a la preservación de la cadena de custodia.

Palabras clave: documentología forense, hipoclorito de sodio, adulteración química, análisis documental, observación pericial.

Abstract: This paper presents preliminary tests aimed at the detection and temporal estimation of chemical adulterations in documents produced by sodium hypochlorite. Common black inks were used, in both liquid and paste variants, from three different commercial brands, applied on a single type of paper. Controlled alterations were carried out on the handwritten strokes using sodium hypochlorite solutions at 58% and 25%, and the resulting transformations were recorded.

The analysis allowed the identification of three observational indicators of forensic value: (1) a progressive chromatic shift, visible to the naked eye; (2) constant fluorescence under ultraviolet light, confirming the action of hypochlorite; and (3) microbubbles on the surface of the paper, observable with a binocular magnifier, which constitutes a physical marker not previously described in the forensic literature.

Although these findings correspond to specific experimental conditions, they provide an innovative and accessible methodological basis for document examination. Their relevance lies in offering objective, replicable, and low-cost criteria that strengthen the reliability of documentary evidence and contribute to the preservation of the chain of custody.

Keywords: forensic document examination, sodium hypochlorite, chemical adulteration, document analysis, forensic observation.

Introducción

La autenticidad de los documentos constituye un aspecto esencial en el ámbito judicial, dado que sobre ellos se sostienen decisiones legales, administrativas y patrimoniales de gran trascendencia. Sin embargo, los documentos pueden ser objeto de adulteraciones intencionales para modificar su contenido original, comprometiendo la validez de la prueba y afectando la resolución de los procesos judiciales. Entre los distintos métodos empleados para alterar documentos, la acción química mediante agentes decolorantes representa un desafío particular para la pericia forense, ya que puede eliminar total o parcialmente trazos manuscritos o impresos sin dejar evidencias visibles a simple vista.

En la literatura especializada se describen diversos procedimientos de detección, generalmente apoyados en técnicas instrumentales de alto costo y complejidad operativa (Estévez et al., 2011; Smith y Robinson, 2004). Esto limita su aplicación en muchos laboratorios forenses y dificulta la replicación de resultados en entornos periciales con recursos reducidos.

Frente a esta problemática, este estudio tiene por objetivo describir y validar un ensayo de observación preliminar para la detección y estimación temporal de adulteraciones químicas en documentos mediante hipoclorito de sodio (Morales, 2020), a fin de identificar indicadores observacionales replicables que permitan reconocer estas alteraciones de forma temprana y fortalecer la confiabilidad de la prueba documental en el ámbito judicial.

Materiales y métodos

Para la experimentación se empleó un único color de tinta, negro, en dos presentaciones de uso común: líquida y pastosa. Se seleccionan tres marcas comerciales de amplia circulación en el mercado argentino: Bic, Macro y Filgo, utilizando en total seis lapiceras (una de cada marca en ambas presentaciones). Como soporte se utilizó un único tipo de papel, de gramaje y características homogéneas, con el fin de reducir variables externas. El agente químico aplicado fue hipoclorito de sodio en solución comercial, comúnmente llamada "lavandina".

Se elaboraron documentos de prueba mediante la escritura de trazos manuscritos con cada una de las seis lapiceras seleccionadas. Sobre áreas determinadas de los textos se aplicó hipoclorito de sodio en pequeñas cantidades, de manera controlada. Posteriormente, se efectuó un registro sistemático de las modificaciones producidas, en distintos intervalos temporales. Para la descripción del viraje cromático, se utilizaron las denominaciones del estándar de color web en CSS, empleado en gráficos digitales (Wikipedia, 2024). Los superíndices que acompañan a las denominaciones de color (ejemplo: Azabache10 o Marrón o Café3233) hacen referencia al código específico dentro de este estándar de nomenclatura, lo cual permite un registro sistemático y estan-

darizado de las variaciones observadas."

Las observaciones se realizaron:

A simple vista, registrando los cambios cromáticos producidos en el papel y la tinta.

Bajo luz ultravioleta (lámpara de Wood, 365 nm), a fin de identificar reacciones fluorescentes.

Con lupa binocular, para evaluar la superficie del papel y detectar modificaciones físicas microscópicas.

Resultados observados

El análisis permitió identificar tres indicadores principales asociados a la acción del hipoclorito de sodio:

Viraje cromático progresivo: el área afectada mostró un cambio gradual de color, en el cual se analizó por una parte la variación de tonos en el soporte y por otro el cambio de color de la tinta específicamente.

Soporte: El manuscrito al principio tenía el aspecto original de fábrica, color Light blue, evolucionó primero hacia Ivory, luego al Beige, posteriormente a Cornsilk y, finalmente, a Lemon chiffon.

Tinta pastosa: En las tintas pastosas se observaron diferencias cromáticas localizadas, señaladas en la Figura 1 con círculos de colores. En la zona destacada con rojo, correspondiente al área clara, la variación de tonos se desarrolló desde el Azabache10 al Negro9, luego al Cordobán1 y finalmente al Marrón o Café3233. En la región señalada con azul, que representa las áreas más oscuras del trazo, el viraje se produjo desde el Azabache10 hacia el Lava topo asfalto16 y culminó en el Marrón o Café 3233. Estas diferencias reflejan la interacción heterogénea del hipoclorito con los componentes de la tinta, generando zonas de decoloración y oxidación diferenciadas dentro del mismo trazo. Este comportamiento resultó consistente entre las distintas marcas y presentaciones, con leves variaciones en la velocidad de aparición del color.

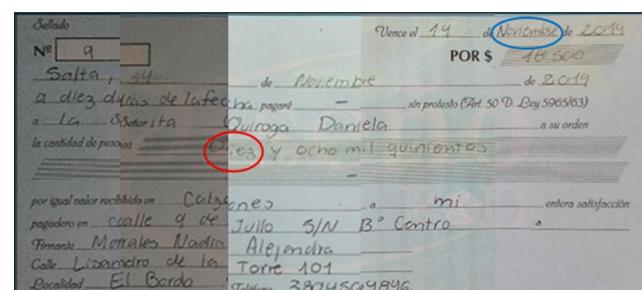


Figura 1. Secuencia de viraje cromático progresivo en muestra experimental de tinta negra pastosa (Bic) tratada con hipoclorito de sodio (58%). De izquierda a derecha se observa la evolución del color en soporte y tinta.

Tinta líquida: Las tintas líquidas presentaron una de-

coloración más rápida y homogénea, tal como se observa en la Figura 2. El trazo evolucionó desde un tono Negro (autos)13 hacia el Diente de león, luego Marrón cuero 35, posteriormente al Ocre amarillo y finalmente al Marrón dorado. En estas muestras, la pérdida de pigmento fue más completa y se evidenció una disolución progresiva del contorno manuscrito, que redujo la definición del trazo original. En conjunto, estas variaciones cromáticas constituyen un criterio preliminar de estimación temporal de la adulteración.

Si bien las diferencias entre tipos de tinta y concentraciones de hipoclorito fueron leves, el patrón de cambio resultó consistente y reproducible, lo que refuerza su potencial valor pericial.

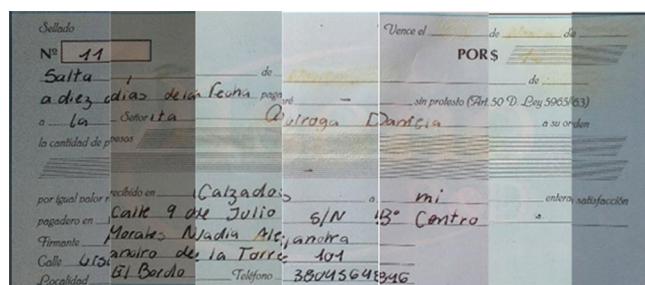


Figura 2. Secuencia de viraje cromático progresivo en muestra experimental de tinta negra líquida (Bic) tratada con hipoclorito de sodio (58%). De izquierda a derecha se evidencia la decoloración del trazo, la pérdida de pigmento y la aparición de la oxidación en su variación de colores.

Fluorescencia bajo luz ultravioleta: en todos los casos, las áreas expuestas al reactivo presentaron fluorescencia constante bajo la lámpara de Wood (365 nm). Este efecto se manifestó de manera uniforme, sin diferencias significativas entre marcas ni tipos de tinta, lo que permite considerar a la fluorescencia como un indicador confirmatorio de la presencia de hipoclorito.

Microburbujas en la superficie del papel: mediante la observación a simple vista y posteriormente con lupa binocular se detectó la aparición de pequeñas burbujas en la superficie tratada. Estas microburbujas no se registran en documentos sin alteración ni han sido descritas previamente en la literatura forense consultada, por lo que se consideran un marcador físico novedoso.

En las tintas pastosas, las variaciones observadas por renglón se presentan en la Figura 3, donde se evidencian diferencias en el tamaño y distribución de las burbujas, presumiblemente asociadas a la penetración heterogénea del agente químico en la capa de tinta.



Figura 3. Formación de microburbujas en muestra de tinta negra pastosa (Bic) tratada con hipoclorito de sodio (58%). Se observa la textura superficial del papel y la distribución irregular de las burbujas según los renglones (enumerados en la columna lateral izquierda)

En el caso de las tintas líquidas, la formación de burbujas tiende a distribuirse de manera continua a lo largo del trazo, coincidiendo con las áreas donde se observa decoloración más intensa. La Figura 4 ilustra este comportamiento, mostrando una superficie más homogénea en la reacción y un relieve apenas perceptible al tacto.

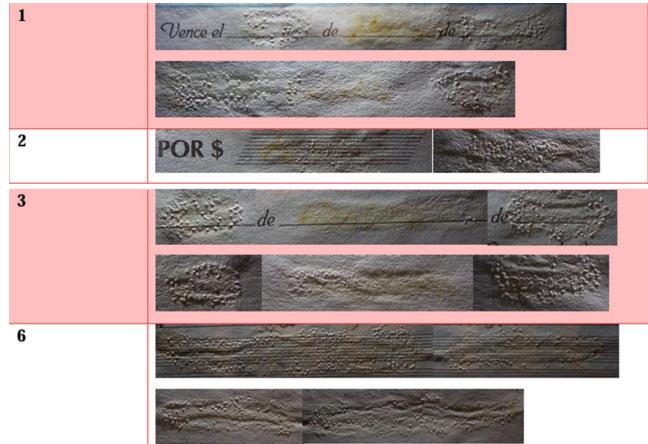


Figura 4. Formación de microburbujas en muestra de tinta negra líquida (Bic) tratada con hipoclorito de sodio (58%). Se aprecia una textura y distribución homogénea además de burbujas de mayor tamaño, que se pueden observar en cada renglón (enumerados en la columna lateral izquierda).

Discusión y Conclusiones

El análisis de los resultados permite identificar indicadores observacionales de adulteraciones documentales provocadas por hipoclorito de sodio que no se registran en la literatura forense previa. En particular, la detección de microburbujas en la superficie del papel constituye un hallazgo novedoso que complementa los criterios tradicionales de identificación química y amplía el repertorio de herramientas disponibles para la pericia documentológica.

La utilidad de la luz ultravioleta para la detección de alteraciones químicas es ampliamente reconocida (Gómez et al., 2018; Watson y Petriella, 1971), especialmente por los efectos de fluorescencia que producen ciertos agentes oxidantes sobre fibras de celulosa y trazos manuscritos. En este estudio, dicho fenómeno se observa de manera constante en todas las muestras tratadas, confirmando su valor como criterio confirmatorio para la identificación del hipoclorito de sodio.

El viraje cromático progresivo registrado durante los ensayos aporta un parámetro preliminar de estimación relativa del momento de la adulteración. Si bien la datación exacta de intervenciones químicas continúa siendo un desafío técnico (RAMOS, 1952, 1957a, 1957b), la caracterización de una secuencia cromática observable a simple vista representa un aporte práctico de alto valor, especialmente en contextos periciales donde no se dispone de instrumental analítico complejo.

Entre las fortalezas del ensayo aquí presentado, se destacan su bajo costo, accesibilidad y posibilidad de replicación, dado que se basa en observaciones visuales, luz ultravioleta de bajo alcance y lupa binocular, instrumentos presentes en la mayoría de los laboratorios forenses. La estandarización de variables experimentales –un único tipo de papel y tintas negras en dos presentaciones de tres marcas comerciales– permite reducir factores de confusión y obtener resultados consistentes.

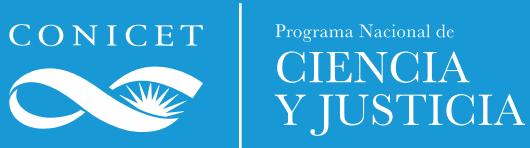
El alcance de los resultados se vincula principalmente con las condiciones experimentales controladas. Las reacciones que se observaron podrían variar si se utilizan soportes de distinta composición o tintas con formulaciones químicas diferentes. No obstante, este trabajo constituye un punto de partida para futuras investigaciones orientadas a ampliar la base experimental y validar la aplicabilidad de los resultados en escenarios reales.

Desde una perspectiva práctica, los tres indicadores identificados –viraje cromático progresivo, fluorescencia constante bajo luz ultravioleta y presencia de microburbujas– proporcionan criterios objetivos y replicables para el reconocimiento de adulteraciones químicas. Su aplicación contribuye a fortalecer la confiabilidad de la prueba documental, preservar la cadena de custodia y optimizar la labor pericial. Asimismo, el ensayo ofrece un recurso pedagógico de valor en la formación de profesionales en criminalística, al integrar observación visual, fluorescencia y análisis microscópico en un procedimiento sencillo y eficaz.

En síntesis, este trabajo amplía el conocimiento existente sobre los efectos del hipoclorito de sodio en documentos, confirma observaciones previas y aporta un indicador físico inédito de interés pericial. Su validación en estudios posteriores permitirá consolidar un ensayo de referencia para el análisis forense de adulteraciones químicas, con potencial reconocimiento dentro de la comunidad científica.

Referencias

- ESTÉVEZ, M., GÓMEZ, A. y LÓPEZ, J. (2011). Alteraciones químicas en documentos: análisis forense de agentes oxidantes. *Revista Iberoamericana de Documentología* 8(2): 45–58.
- GÓMEZ, R., PÉREZ, L. y MARTÍNEZ, S. 2018. Aplicación de la luz ultravioleta en el análisis de documentos adulterados. *Ciencia Forense* 12(1): 23–36.
- MORALES, N. 2020. "El estudio del tiempo de oxidación con hipoclorito de sodio de los trazos producidos con tinta pastosa y fluida realizados sobre un pagaré". Universidad Nacional de La Rioja.
- RAMOS, P. 1952. Técnicas de datación de tintas en soportes documentales. Buenos Aires: Editorial Jurídica Argentina.
- RAMOS, P. 1957a. Nuevas aproximaciones a la cronología de alteraciones químicas en papel. *Revista de Criminalística* 3(1): 15–27.
- RAMOS, P. 1957b. Comparación de métodos fisicoquímicos para la detección de adulteraciones en documentos. *Revista de Criminalística* 3(2): 49–61.
- SMITH, J. y ROBINSON, K. 2004. Forensic approaches to ink and paper analysis. *Journal of Forensic Sciences* 49(5): 1123–1131.
- WATSON, H. y PETRIELLA, A. 1971. La luz ultravioleta en la detección de adulteraciones. *Revista Latinoamericana de Ciencias Forenses* 2(3): 101–110.
- Wikipedia. 2024. Web colors. https://en.wikipedia.org/wiki/Web_colors



conicet.gov.ar

 /CONICETDialoga