



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE CIENCIAS MÉDICAS

MÉTODO PROTEOMICO CÓMO NUEVA HERRAMIENTA PARA EL
ESTUDIO DEL ENVEJECIMIENTO DE LAS HUELLAS DACTILARES EN
MEDICINA FORENSE

PAREDES BAZAN MAYKEL KENIS
MÉDICA

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE CIENCIAS MÉDICAS

MÉTODO PROTEOMICO CÓMO NUEVA HERRAMIENTA PARA
EL ESTUDIO DEL ENVEJECIMIENTO DE LAS HUELLAS
DACTILARES EN MEDICINA FORENSE

PAREDES BAZAN MAYKEL KENIS
MÉDICA

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE CIENCIAS MÉDICAS

EXAMEN COMPLEXIVO

MÉTODO PROTEOMICO CÓMO NUEVA HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO DEL
ENVEJECIMIENTO DE LAS HUELLAS DACTILARES EN MEDICINA FORENSE

PAREDES BAZAN MAYKEL KENIS
MÉDICA

ESPINOZA GUAMAN PEDRO SEBASTIAN

MACHALA, 28 DE JUNIO DE 2022

MACHALA
28 de junio de 2022

MÉTODO PROTEOMICO CÓMO NUEVA HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO DEL ENVEJECIMIENTO DE LAS HUELLAS DACTILARES EN MEDICINA FORENSE

por Maykel Kenis Paredes Bazán

Fecha de entrega: 01-jul-2022 04:35p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1859158565

Nombre del archivo: INTRODUCCI_N.docx (867.02K)

Total de palabras: 2932

Total de caracteres: 16356

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, PAREDES BAZAN MAYKEL KENIS, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Método Proteómico cómo nueva herramienta para el estudio del envejecimiento de las huellas dactilares en medicina forense, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

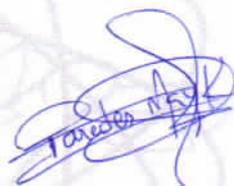
La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 28 de junio de 2022



PAREDES BAZAN MAYKEL KENIS
0707044434

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: La edad de las huellas dactilares se plantea a menudo en investigaciones y juicios cuando los sospechosos admiten que han dejado sus huellas dactilares en la escena del crimen, pero alegan que el contacto se produjo en un momento diferente al del delito. Los componentes biomoleculares de los residuos de huellas dactilares, como los aminoácidos, los lípidos y las proteínas, pueden proporcionar medios excelentes para la determinación de la edad de las huellas dactilares; sin embargo, actualmente no se dispone de metodologías sólidas o conocimientos detallados sobre los mecanismos moleculares en el tiempo. A pesar de esto en la actualidad se han presentado varios estudios prometedores como lo es la proteómica a través del análisis de espectrometría de masas.

OBJETIVO: Establecer si el método proteómico es una herramienta relevante para estudiar el envejecimiento de las huellas dactilares en medicina forense

MÉTODO: Se realizó la revisión de literatura científica, en bases de datos como: EBSCO, SCIELO, PUBMED, COCHRANE, desde junio 2018 hasta la actualidad.

CONCLUSIÓN: El método proteómico ha logrado la identificación exitosa de proteínas endógenas y contaminantes de donantes que han estado en contacto con diversos fluidos corporales. Además, se logró establecer a la proteómica de última generación como una herramienta sensible para monitorear el envejecimiento de las huellas dactilares, al encontrarse cinco proteínas como candidatas prometedoras lo cual podría ser una base importante para un mayor desarrollo de protocolos analíticos y métodos de procesamiento de datos para estudios de descubrimiento y validación de biomarcadores de edad.

PALABRAS CLAVES: Proteómico, Medicina Legal, Huella Dactilar, Forense, Envejecimiento.

ABSTRACT

INTRODUCTION: The age of fingerprints is often raised in investigations and trials when suspects admit that they left their fingerprints at a crime scene, but claim that the contact occurred at a different time than the crime. The biomolecular components of fingerprint residues, such as amino acids, lipids, and proteins, can provide excellent means for determining the age of fingerprints; however, robust methodologies or detailed insights into molecular mechanisms over time are currently not available. Despite this, several promising studies have been presented, such as proteomics through mass spectrometry analysis.

OBJECTIVE: To establish if the proteomic method is a relevant tool to study the aging of fingerprints in forensic medicine.

METHOD: The review of scientific literature was carried out, in databases such as: EBSCO, SCIELO, PUBMED, COCHRANE, from September 2017 to the present.

CONCLUSION: The proteomic method has successfully identified endogenous proteins and contaminants from donors that have been in contact with various body fluids. In addition, state-of-the-art proteomics was established as a sensitive tool for monitoring fingerprint aging, finding five proteins as promising candidates, which could be an important basis for further development of analytical protocols and fingerprint processing methods. data for age biomarker discovery and validation studies.

KEY WORDS: Proteomics, Legal Medicine, Fingerprint, Forensic, Aging.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
DESARROLLO.....	7
Importancia de las huellas dactilares.....	7
Composición de las huellas dactilares.....	7
Determinación de la edad.....	8
Usos históricos de la proteína en la ciencia forense.....	10
Espectrometría de masas proteómica.....	10
El entorno forense y la estructura proteica.....	11
Método proteómico en huellas dactilares.....	11
Proteínas identificadas a partir de huellas dactilares.....	12
Estudio de envejecimiento.....	13
CONCLUSIONES.....	14
BIBLIOGRAFÍA.....	15

INTRODUCCIÓN

Las huellas dactilares con frecuencia se encuentran en la escena del crimen y en algunos objetos relacionados, si bien representan una fuente importante y valiosa para la identificación de un sospechoso a través del análisis de la marca dactilar, estas también contienen moléculas que se pueden utilizar para adquirir información toxicológica y biológica de perfiles de donantes. (1)

En una huella dactilar latente también se encuentran compuestos exógenos los cuales han sido de utilidad para la reconstrucción del delito y para determinar las actividades del delincuente y la víctima antes, durante y después de un acto delictivo. A pesar de esto, en la actualidad establecer una evaluación precisa de la edad de una huella dactilar ha resultado un verdadero reto, siendo necesario la búsqueda de métodos que puedan facilitarnos el estudio del mismo.(2)

Tras varias investigaciones, se pudo determinar que los residuos de huellas dactilares son una fuente importante de biomoléculas reveladoras, como lo son las proteínas. El método a estudiar esto se conoce como proteómica basada en espectrometría de masas la cual investiga a gran escala los proteomas.

La proteómica se puede utilizar para identificar el tejido o la fuente de fluidos corporales de una muestra, una parte importante del contexto forense que todavía se utiliza en la actualidad. También contiene información genética en forma de polimorfismos de aminoácidos. Antes de la revolución del ADN, estos eran la principal fuente de datos para la individualización.

Además de ser más abundante en una muestra, en muchos órdenes de magnitud, la proteína también es considerablemente más estable que el ADN. Esto significa que la proteína aún puede estar presente cuando el ADN ya no es accesible para los investigadores en material degradado biológica o ambientalmente de una huella dactilar.

En el 2018, se desarrolló el primer mapa proteómico de marcas dactilares, además se realizaron estudios diferenciales entre huellas dactilares frescas y envejecidas, evaluando el daño y la modificación de las proteínas con el fin de obtener información sobre la composición química de los residuos de las marcas dactilares, revelar las vías de envejecimiento y los biomarcadores que se encontraban relacionados.

Por todo lo expuesto, el objetivo del presente trabajo investigativo es: Establecer si el método proteómico es una herramienta relevante en el estudio del envejecimiento de huellas dactilares y si es de utilidad en la resolución de problemas legales en medicina forense.

DESARROLLO

Importancia de las huellas dactilares

Las huellas dactilares son patrones de piel con crestas de fricción las cuales se pueden encontrar en las palmas de las manos y pies, formando diseños complejos que pueden ser fácilmente identificables. Está ampliamente conocido que no hay dos huellas dactilares idénticas, la probabilidad de dos huellas dactilares iguales sigue siendo 64 mil millones a 16. Se ha demostrado su importancia al demostrar que todos los patrones siguen siendo los mismos toda la vida incluso después de una lesión.(4)

En medicina forense resultan de gran importancia ya que pueden encontrarse presentes en la escena de un crimen. Una huella o rastro dactilar se produce por lo general por actos involuntarios al tocar una superficie, esto se conoce como el principio de intercambio de Locard el cual establece que cada contacto deja un rastro(5). Esto se debe a que las secreciones logran producir una impresión del patrón de la cresta al mantener contacto con alguna superficie.

Composición de las huellas dactilares

El análisis cuantitativo para la determinación de la edad requiere comprensión de la composición de las huellas dactilares y el envejecimiento. El complejo de la composición, posee altos niveles de variabilidad de donantes y contaminantes, degradándose con el tiempo desde la composición inicial hasta la envejecida.(6)

Además es importante conocer que una marca por lo general nunca se recupera de una escena inmediatamente, suele transcurrir un tiempo considerable, factores biológicos, químicos y físicos los cuales influyen en la marca y a su vez alteran su composición. En consecuencia, al investigar los residuos, se debe considerar la composición inicial y el envejecimiento junto con los factores influyentes.(6,7)

Composición inicial de las huellas dactilares

Las marcas dactilares son un complejo de secreciones naturales y contaminantes ambientales. Esta al momento de ser depositada sobre una superficie, presenta una composición química inicial, cuando ya existe un tiempo transcurrido desde que la marca fue depositada hasta que es recolectada y analizada a esta etapa se le conoce como composición envejecida.

En la composición inicial el depósito de la marca dactilar depende de diversos factores: en primer lugar depende de las características del donante, segundo los factores ambientales y por último la condición de la superficie en la que fue depositada. Los compuestos que se evidencian en la composición inicial, son los procedentes de la dermis, producto de la secreción sudorípara ecrina y apocrina.

Los compuestos de la secreción apocrina no suele representar significativamente la composición de las huellas dactilares, a diferencia de los compuestos de la secreción sudorípara ecrina, aquí encontramos proteínas en abundancia, polipéptidos, ácido láctico, urea y en menor proporción ácido úrico, creatinina, vitaminas. Otro compuesto que encontramos en gran cantidad es el sebo el cual está conformado por ácidos grasos, colesterol, triglicéridos.

Además existen compuestos extrínsecos o contaminantes presentes, esto se debe a que las manos se encuentran en contacto constantemente con diversas sustancias las cuales pueden depositarse en la piel y posteriormente formar parte de los residuos que deja la marca dactilar, entre los compuestos que suelen encontrarse tenemos residuos de alimentos, drogas, suciedad, cosméticos, depósitos grasos, sangre, residuos de armas de fuego y explosivos

Composición envejecida de las huellas dactilares

Con el paso del tiempo existen varias alteraciones en la composición inicial de una huella dactilar esto se debe a diversos sucesos como lo son la degradación, oxidación, evaporación, metabolismo y secado lo cual provoca la pérdida de los componentes que en un principio se encontraban involucrados.

Existen varios estudios que se encargan de investigar las modificaciones que sufren estos compuestos al transcurrir un determinado tiempo. Entre los compuestos que conforman una huella dactilar latente, se han destacado las proteínas demostrando su estabilidad y el ácido láctico que se encuentra en menor cantidad.

Determinación de la edad

La incertidumbre en la capacidad científica para determinar la edad exacta de las marcas de los dedos se informa en las respuestas proporcionadas por testigos expertos en los tribunales. En muchos de estos casos se llegó a una conclusión debido a que los expertos se basaron en suposiciones y experiencia personal.

Hay diversas opiniones sobre la edad de las marcas dactilares una de ellas es según la frescura aparente y, por lo tanto, el tiempo transcurrido desde la deposición. Pero determinar si una marca es nueva o no, requiere de técnicas confiables ya que saber el marco de tiempo en que estuvo depositada depende de muchos factores, se considera que dependiendo de las condiciones ambientales y el clima las huellas tienden a dañarse y destruirse de manera progresiva.

Imagen 1. Impresión de huellas dactilares



Fuente: <https://medcraveonline.com/FRCIJ/crime-scene-to-court-a-study-on-finger-mark-aging.html>

En la imagen de la izquierda se muestra una huella dactilar de 20 días depositada en un contaminante de Coca-Cola sobre una superficie externa de PVC, en comparación con la imagen de la derecha que muestra una huella dactilar de más de 1 año la cual se encontraba depositada en contaminantes de aceite de salchichas y papas fritas sobre un sustrato de vidrio almacenado al aire libre y expuesto a la intemperie(1)

Esto muestra que el contaminante juega un papel importante en la persistencia de una marca digital y, por lo tanto, no es confiable evaluar una marca como nueva a menos que se haya analizado minuciosamente el contaminante y la composición química(8). Por este motivo se hizo necesario encontrar un método que pueda determinar la edad de las marcas dactilares, estos estudios se han basado en la exploración de la composición química, en donde se ha evidenciado que los lípidos y aminoácidos son partículas más estables y se ha logrado construir curvas de envejecimiento de huellas digitales latentes .

Usos históricos de la proteína en la ciencia forense

La identificación de fluidos corporales es un componente esencial para la reconstrucción de la escena del crimen, el establecimiento del contexto forense y la corroboración. Se han realizado estudios científicos con el fin de identificar distintos componentes proteicos, material genético y otras biomoléculas de los fluidos corporales, especialmente en el semen y la sangre y en la actualidad para identificar su presencia en huellas dactilares.

Una encuesta exhaustiva realizada por Gaensslen en 1983 resumió que estos esfuerzos se remontan a 1827. Estos estudios fundamentales utilizaron tecnologías que incluyeron avances tempranos en química inorgánica y orgánica, bioquímica y ciencia de proteínas.(9)

En la actualidad se cuenta con nuevas tecnologías que han permitido identificar proteínas en diferentes fluidos corporales, como la electroforesis de proteínas, espectroscopia de masas, química luminiscente y fluorescente, e histología e inmunología. Muchos de estos métodos continúan perfeccionándose y siguen en estudios(10)(11).

Esto ha dado como resultado el desarrollo de casetes de detección inmunológica tipo sándwich y tiras reactivas accesibles y asequibles para la identificación presuntiva de fluidos corporales. Con el tiempo, el desarrollo de anticuerpos especializados permitió el desarrollo de ensayos ELISA más cuantitativos los cuales también se desarrollaron para detectar proteínas de fluidos corporales relevantes desde el punto de vista forense, incluidos el semen, la sangre y la saliva. La precisión y la sensibilidad de la espectrometría de masas ahora permiten que estos ensayos de proteínas sean confirmatorios. (12).

Espectrometría de masas proteómica

La biología celular y bioquímica ha tenido varios avances en los últimos años y esto se debe a la espectrometría de masas(13). La espectrometría de masas es una técnica que se encarga de la determinación de masas moleculares proteicas teniendo una alta capacidad de análisis, precisión y sensibilidad

En Medicina Forense las aplicaciones que se han logrado a través de la espectrometría son las siguientes. El primero es la evolución continua de la separación y el fraccionamiento de proteínas y péptidos mediante cromatografía líquida de alta presión. La instrumentación de cromatografía actual puede generar presiones más altas y consistentes y velocidades de flujo constantes y ultra bajas. Junto con la disponibilidad de perlas de columna más pequeñas con

diámetros más uniformes, la cromatografía tiene un mejor rendimiento, mayor capacidad y tiempos de retención más uniformes(14).

La ventaja se extiende a columnas capilares de nanoflujo estrechas con diámetros internos de 75 μm que dan como resultado una dilución transversal reducida y una mayor sensibilidad en la espectrometría de masas. Estos se combinan para proporcionar datos con mayor profundidad de cobertura mientras consumen menos material.

La segunda innovación, fue la invención de la ionización por electrospray la cual permite volatilizar péptidos grandes sin necesidad de requerir químicos intensos para degradar moléculas más grandes, permitiendo la conversión de un ion peptídico grande de fase líquida a gaseosa, este proceso es químicamente suave y no degrada el péptido(15).

El tercer avance que promovió la espectrometría de masas proteómica fue la ingeniería mejorada de analizadores de masas que manipulan iones peptídicos y los miden con mayor exactitud, precisión, frecuencia y sensibilidad con detectores mejorados.

La cuarta innovación es la secuencia del genoma humano. Además de acelerar la revolución del ADN, esto también permitió delinear el proteoma humano completo. Si bien el patrón de fragmentación del péptido es único para un péptido dado, hacer coincidir el espectro resultante con una secuencia de aminoácidos dada puede ser muy complejo e incierto cuando se analiza de forma aislada(16). La proteómica es diferente porque analiza todas las proteínas en una muestra al mismo tiempo. La recopilación de tantos datos hace que la proteómica sea ideal para la ciencia forense.

El entorno forense y la estructura proteica

Las muestras biológicas ubicadas en la escena del crimen que se extraerán del cuerpo, serán de una persona fallecida o se encontrarán en entornos no controlados y altamente variables. Estos pueden incluir temperaturas más altas, química oxidativa, extremos de pH y pequeñas moléculas y metabolitos endógenos y ambientales, lo cual podría modificar dichas muestras y dificultar la obtención de proteínas intactas(17).

Método proteómico en huellas dactilares

El método proteómico tiene como finalidad identificar la composición química de los residuos de las marcas dactilares. En el 2018, se realizó un protocolo de muestreo de huellas dactilares y extracción de proteínas de entornos forenses. Se aplicó un enfoque de proteómica

de abajo hacia arriba para identificar con confianza las trazas de proteínas y evaluar los cambios dinámicos del proteoma de la huella dactilar en diferentes etapas del envejecimiento. Este método se aplicó para determinar el envejecimiento de las huellas dactilares contaminadas en escenarios forenses realistas y detectar el contacto del donante con fluidos corporales. También se realizaron búsquedas sin restricciones de estos datos proteómicos para evaluar el daño y la modificación de las proteínas durante el envejecimiento.

Aquí, se registró un proteoma de marca digital de aproximadamente 50 proteínas, de las cuales una pequeña fracción de proteínas de queratina y el péptido antimicrobiano dermicidina (DCD) exhibieron distintas respuestas durante el envejecimiento. Los efectos del envejecimiento incluyeron un aumento temprano en la frecuencia de modificaciones de residuos de aminoácidos observados, así como procesos de degradación de proteínas, lo que disminuyó la cantidad de péptidos observables. Además, se demostró que la mayoría de las proteínas de huellas dactilares endógenas pueden medirse incluso después del contacto con fluidos corporales(12).

Para el estudio de envejecimiento, se realizó la búsqueda de proteínas en una base de datos de proteínas de marcas dactilares los cuales dieron como resultado la identificación de 52 proteínas en todos los grupos de envejecimiento, de los cuales 31 eran redundantes entre estos grupos de muestras. Solo se identificaron proteínas únicas en residuos de huellas dactilares frescas y en marcas envejecidas durante 8 días y 12 días(19).

Proteínas identificadas a partir de huellas dactilares

Las proteínas que se identificaron en los residuos de huellas dactilares son en su mayoría queratinas de degradación lenta entre ellas tenemos a el citoesqueleto tipo II 1 (K2C1) y queratina, citoesqueleto tipo I 10 (K1C10), albúmina sérica (ALBU) y el péptido antimicrobiano los cuales se han aislado utilizando análisis Westernblot y/o inmunomarcaje(20).

El perfil proteómico registrado está en línea con el observado en la superficie de la piel, con citoqueratinas como especie de proteína dominante. Estos componentes constituyen aproximadamente el 35 % del proteoma de la huella dactilar, mientras que el resto se debe a una serie de proteínas antibióticas, así como a proteínas sanguíneas secretadas.(21)

La anotación de procesos funcionales y biológicos muestra una agrupación similar; proteínas estructurales evidentemente implicadas en el desarrollo de la piel y la diferenciación de los

queratinocitos, que prevalecen en los residuos de huellas dactilares, y proteínas homeostáticas que forman un subconjunto más pequeño. De las 52 proteínas identificadas, aproximadamente el 80% podría estar asociado con nueve grupos. Estos grupos muestran la expresión de dos rutas de proteínas prominentes, es decir; proliferación de queratinocitos (grupos 1, 5, 6 y 9) y la secreción de proteínas probablemente originadas en el sudor ecrino (grupos 2,3,4).

La agrupación de estos datos concuerda en gran medida con el origen de los residuos de huellas dactilares, es decir, material derramado en la piel y el sudor, y esto respalda aún más que el proteoma informado es una representación molecular genuina de las huellas dactilares. Como se observó las proteínas de alta abundancia en las huellas dactilares son principalmente queratinas. Específicamente, las queratinas 1, 2, 5, 6, 9, 10, 14 y 17 se observaron en casi todas las marcas individuales con una cobertura de secuencia de hasta el 57 %(22).

Estudio de envejecimiento

Para las 31 proteínas que se identificaron en todos los grupos de muestras, se realizó un análisis de covarianza utilizando la edad de la marca del dedo, el sexo del donante y el tipo de dedo como variables de resultado.

Estas proteínas se evaluaron manualmente en busca de cambios con el aumento de la edad. Se encontraron efectos de envejecimiento combinados y tendencias de expresión temporal claras para queratina tipo II, citoesquelético 2 epidérmico (K22E), queratina tipo I, citoesquelético 9 (K1C9), K1C10 y DCD. Aquí, los efectos del envejecimiento fueron todos significativos, mientras que el sexo del donante o los efectos del tipo de dedo no fueron significativos y, por lo tanto, se seleccionó estas proteínas como posibles biomarcadores de la edad.

CONCLUSIONES

Las huellas dactilares constituyen una forma de identificación precisa de un sujeto, y por lo general son encontradas en la escena del crimen, pero sin la posibilidad de determinar su datación, el valor de la prueba a nivel legal se vuelve insuficiente. Hace varios años la estimación de la edad de la marca dactilar era a través de métodos subjetivos, lo cual provocaba un veredicto erróneo en muchos de los casos.

Se creía que la estimación de la edad de una marca dactilar era algo imposible, pero en la actualidad existen varios estudios que nos indican lo contrario, uno de ellos es el estudio de los cambios de los componentes químicos del residuo de la huella dactilar, el cual ha resultado ser el método más prometedor, al considerarse a las proteínas como las biomoléculas más estables para generar una curva de envejecimiento.

El método proteómico a través de la espectrometría de masas ha logrado la identificación de proteínas en el estudio del envejecimiento, y evalúa las modificaciones de estas, pero este estudio presenta ciertas limitaciones, una de ellas es que este método aún se encuentra en fases iniciales de su desarrollo ya que no se ha aplicado en escenarios forenses reales, a pesar de esto, se han obtenido resultados muy favorecedores los cuales necesitan seguirse desarrollando, al momento aún sigue siendo un verdadero desafío estimar la edad de una huella dactilar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hagan AO, Green S. Crime scene to court: a study on finger-mark aging. *Forensic Res Criminol Int J* . 2018;6(6):491-503. DOI: 10.15406/frcij.2018.06.00249. Disponible: <https://medcraveonline.com/FRCIJ/crime-scene-to-court-a-study-on-finger-mark-aging.html>
2. Oonk S, Schuurmans T, Pabst M, de Smet LCPM, de Puit M. Proteomics as a new tool to study fingermark ageing in forensics. *Sci Rep*. 2018 Nov 6;8(1):16425. DOI: 10.1038/s41598-018-34791-z. PMID: 30401937; PMCID: PMC6219553. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30401937/>
3. Van Helmond W, Weening M, Vleer V, de Puit M. Analysis of amino acid enantiomers from aged fingerprints. *Analytical Methods*. 2020;12(15):2052–7. DOI: 10.1039/d0ay00096e. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/AY/D0AY00096E>
4. Galbally J, Haraksim R, Beslay L. A Study of Age and Ageing in Fingerprint Biometrics. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2019 May;14(5):1351–65. DOI: 10.1109/TIFS.2018.2878160. Disponible en: <https://signalprocessingsociety.org/publications-resources/ieee-transactions-information-forensics-and-security/study-age-and-ageing>
5. Parker GJ, McKiernan HE, Legg KM, Goecker ZC. Forensic proteomics. *Forensic Sci Int Genet*. 2021 Sep;54:102529. doi: 10.1016/j.fsigen.2021.102529. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34139528/>
6. Bleay SM, Bailey MJ, Croxton RS, Francese S. The forensic exploitation of fingermark chemistry: A review. *WIREs Forensic Science*. 2021 Jul 28;3(4). DOI: 10.1002/wfs2.1403. Disponible en: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/wfs2.1403>
7. Frick A, Girod-Frais A, Moraleda A, Weyermann, C. Latent Fingermark Aging: Chemical Degradation Over Time. In: De Alcaraz-Fossoul, J. (eds) *Technologies for Fingermark Age*

Estimations: A Step Forward. Springer, Cham; 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-69337-4_7.
Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69337-4_7

8. Weyermann C, Girod-Frais A. Estimating the Age of Fingermarks: Relevance, Potential Approaches, and Perspectives. In: Technologies for Fingermark Age Estimations: A Step Forward. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 59–83. DOI: 10.1007/978-3-030-69337-4_3. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69337-4_3

9. Sun Q, Luo Y, Sun N, Zhang Q, Wang Y, Yang X. Technical note: Analysis of biological substances in ink fingerprint by desorption electrospray ionization mass spectrometry. Forensic Science International. 2022 Jul;336:111321. DOI: 10.1016/j.forsciint.2022.111321. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35526403/>

10. Francese S, Bradshaw R. New Chemical Imaging Approaches to Fingermark Dating by Mass Spectrometry. In: Technologies for Fingermark Age Estimations: A Step Forward. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 237–59. DOI:10.1007/978-3-030-69337-4_8. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69337-4_8

11. Yeh K, Burr WS, Stock NL, Stotesbury T. Preliminary analysis of latent fingerprints recovered from underneath bloodstains using matrix-assisted laser desorption/ionization fourier-transform ion cyclotron resonance mass spectrometry imaging (MALDI FT-ICR MSI). Forensic Chemistry. 2020 Aug;20:100274. DOI: 10.1016/j.forc.2020.100274
Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S246817092030062X?via%3Dihub>

12. Brown HM, McDaniel TJ, Fedick PW, Mulligan CC. The current role of mass spectrometry in forensics and future prospects. Analytical Methods. 2020;12(32):3974–97. DOI:10.1039/D0AY01113D. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ay/d0ay01113d>

13. Hinnens P, Lee YJ. Mass spectrometry imaging of latent fingerprints using titanium oxide development powder as an existing matrix. Journal of Mass Spectrometry. 2020

Oct;55(10):e4631. DOI: 10.1002/jms.4631. Disponible en: <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jms.4631>

14. Sarycheva A, Grigoryev A, Sidorchuk D, Vladimirov G, Khaitovich P, Efimova O. Structure-Preserving and Perceptually Consistent Approach for Visualization of Mass Spectrometry Imaging Datasets. *Analytical Chemistry*. 2021 Jan 26;93(3):1677–85. DOI: 10.1021/acs.analchem.0c04256. Disponible en : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33373190/>

15. Ozols M, Eckersley A, Mellody KT, Mallikarjun V, Warwood S, O’Cualain R, et al. Peptide location fingerprinting reveals modification–associated biomarker candidates of ageing in human tissue proteomes. *Aging Cell*. 2021 May 8;20(5). DOI: 10.1111/accel.13355. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8135079/>

16. O’Neill KC, Lee YJ. Effect of Aging and Surface Interactions on the Diffusion of Endogenous Compounds in Latent Fingerprints Studied by Mass Spectrometry Imaging. *Journal of Forensic Sciences*. 2018 May;63(3):708–13. DOI: 10.1111/1556-4029.13591. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28691753/>

17. Hinners P, Thomas M, Lee YJ. Determining Fingerprint Age with Mass Spectrometry Imaging via Ozonolysis of Triacylglycerols. *Analytical Chemistry*. 2020 Feb 18;92(4):3125–32. DOI: 10.1021/acs.analchem.9b04765. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.analchem.9b04765>

18. Amin MO, Al-Hetlani E, Francese S. Magnetic carbon nanoparticles derived from candle soot for SALDI MS analyses of drugs and heavy metals in latent fingerprints. *Microchemical Journal*. 2022 Jul;178:107381. DOI: 10.1016/j.microc.2022.107381. Disponible en: <https://en.x-mol.com/paper/article/1503575673466150912>

19. Schulte KQ, Hewitt FC, Manley TE, Reed AJ, Baniasad M, Albright NC, et al. Fractionation of DNA and protein from individual latent fingerprints for forensic analysis. *Forensic Science International: Genetics*. 2021 Jan;50:102405. DOI: 10.1016/j.fsigen.2020.102405. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33152624/>

20. Hinners P, Lee YJ. Carbon–Based Fingerprint Powder as a One–Step Development and Matrix Application for High–Resolution Mass Spectrometry Imaging of Latent

Fingerprints. *Journal of Forensic Sciences*. 2019 Jul 12;64(4):1048–56. DOI: 10.1111/1556-4029.13981. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30548553/>

21. Bokhart MT, Nazari M, Garrard KP, Muddiman DC. MSiReader v1.0: Evolving Open-Source Mass Spectrometry Imaging Software for Targeted and Untargeted Analyses. *J Am Soc Mass Spectrom*. 2018 Jan 1;29(1):8–16. DOI: 10.1007/s13361-017-1809-6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28932998/>

22. Bertrand A, Stefenelli G, Jen CN, Pieber SM, Bruns EA, Ni H, et al. Evolution of the chemical fingerprint of biomass burning organic aerosol during aging. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2018 Jun 1;18(10):7607–24. DOI: 10.5194/acp-18-7607-2018. Disponible en: <https://acp.copernicus.org/articles/18/7607/2018/>