

**Facultad de Matemáticas, Astronomía y Física
Universidad Nacional de Córdoba**

**EL ANÁLISIS QUÍMICO DE RESIDUOS DE HUELLAS
DIGITALES LATENTES. SU POSIBLE APLICACIÓN
EN EL PROCESO DE DATACIÓN**



**Trabajo Final Integrador
Especialización en Criminalística y Actividades Periciales**

Lic. Samanta Andrea Martínez

Córdoba – 2017



Este trabajo se distribuye bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Argentina. Para ver una copia de esta licencia,
visitar: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/ar/>



El Trabajo Final Integrador (TFI) **“El Análisis Químico de Residuos de huellas digitales latentes. Su posible aplicación en el proceso de datación”**, desarrollado por la Lic. Samanta Andrea Martínez, alumna de la ESPECIALIZACIÓN EN CRIMINALÍSTICA Y ACTIVIDADES PERICIALES., ha sido dirigido por:

.....

Prof. Pablo Patiño

Director del Proyecto Integrador

.....

Mag. Esp. María Fernanda Mera

Co - Directora del Proyecto Integrador

“Según vamos adquiriendo conocimiento, las cosas no se hacen más comprensibles, sino más misteriosas”

Albert Schweitzer

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mi co-directora, Mag. Esp. María Fernanda Mera, por su dedicación y sus correcciones - que fueron fundamentales en este trabajo -, pero sobre todo, por su cariño y apoyo incondicional. Y a su esposo Marcelo, por sus valiosos aportes.

Gracias a mi director Pablo Patiño, por haber aceptado colaborar para que mis ideas se transformaran en este trabajo final.

Al Tribunal Superior de Justicia y a la Dirección General de Policía Judicial de la Provincia de Córdoba, por el apoyo económico y por darme la posibilidad de cursar esta carrera.

A mi querida compañera Carolina, por su leal amistad y cariño. Gracias por hacer posible aquello que creía imposible y por brindarme tu ayuda incluso antes de pedírtela. ¡Eternamente agradecida!

Al perito calígrafo Marcos Gianetto, no sólo por aceptar ser parte del tribunal evaluador, sino también por su contagioso entusiasmo y buena voluntad para ayudarme desde el comienzo.

Al Lic. Gastón Narcotti, por poner a mi disposición su conocimiento y experiencia, brindándome su ayuda a la distancia cada vez que se lo solicité.

A Emiliano, por su amor y compañía de cada día, y por su labor en la confección de las figuras y en el diseño general de este trabajo.

Al Lic. Matías Meza, por enseñarme tanto de papiloscopía. Gracias por aguantar mis largas entrevistas y responder a cada una de mis preguntas.

A Inés González y Andrés Suárez por estar siempre y aceptar ser parte del tribunal evaluador.

Y finalmente, agradezco a todos aquellos que en algún momento me escucharon hablar sobre la datación de huellas dactilares latentes.

PREFACIO

El presente trabajo fue planeado como una revisión bibliográfica con la finalidad de exhibir una temática poco desarrollada en el ámbito científico y que aún en la actualidad resulta desconocida, como es la estimación de la antigüedad de rastros o huellas dactilares latentes encontradas en la escena del crimen.

En él se abordaron contenidos de: I) *Papiloscopía*: desde las características y fisiología de la piel, su rol en la identificación física humana y los aspectos básicos de las técnicas de análisis papiloscópico, hasta la presentación de la papiloscopía como una disciplina indispensable en la investigación forense, II) *Metodología de la Investigación*: con el planteo de la importancia de disponer de métodos validados para la datación de rastros dactilares, los estudios e investigaciones abordados hasta el momento, y con la propuesta de un protocolo de investigación en nuestro medio, III) *Química legal*: a través de la evaluación del análisis químico de residuos de huellas latentes como herramienta para estimar su antigüedad, IV) *Marco jurídico*: al situar a la identidad en el ámbito judicial y evaluar la factibilidad de incorporar procedimientos de datación de huellas latentes en la práctica forense y judicial, y V) *Ética y Deontología forense*: mediante el planteo de los aspectos éticos que deben considerarse al momento de incorporar procedimientos de datación de huellas latentes en la práctica forense de rutina.

De este modo, se pretende otorgar un conocimiento integral acerca de la complejidad y desafíos en esta área, y cuan factible es en un futuro, implementar la datación de huellas dactilares latentes dentro de la práctica de rutina en el marco de las investigaciones forenses a nivel mundial y en nuestro país.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	vii
PREFACIO.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
MATERIALES Y MÉTODOS	5
<i>1. Anatomía y Fisiología de la Piel</i>	6
1.1 Capa epidérmica o Epidermis.....	6
1.1.1 Componentes celulares.....	6
1.1.2 Estratos de la epidermis.....	7
1.2 Capa dérmica o Dermis.....	9
1.2.1 Estratos de la dermis	9
1.2.2 Glándulas cutáneas	10
1.2.2.1 Glándulas sudoríparas.....	10
1.2.2.2 Glándulas sebáceas.....	11
1.2.3 Folículos pilosos.....	11
1.3 Tejido celular subcutáneo o Hipodermis	11
<i>2. Las Crestas de Fricción</i>	12

EL ANÁLISIS QUÍMICO DE RESIDUOS DE HUELLAS DIGITALES LATENTES. SU POSIBLE
 APLICACIÓN EN EL PROCESO DE DATACIÓN

2.1	Crestas papilares y Surcos interpapilares	12
2.2	Persistencia de las crestas de fricción en la piel	13
2.2.1	Aplanamiento de crestas	13
2.2.2	Arrugas	14
2.3	Diferenciación de las crestas de fricción	15
2.3.1	Desarrollo de la epidermis	15
2.3.2	Desarrollo de la dermis	15
2.3.3	Formación de las crestas de fricción	16
2.3.4	Formación de minucias	17
2.3.5	Formación de surcos interpapilares	18
2.3.6	Maduración de la piel	18
2.4	Las crestas de fricción y el sistema papiloscópico	19
2.4.1	Inmutabilidad	19
2.4.2	Perennidad	20
2.4.3	Variedad	20
3.	<i>Identificación Física Humana y Papiloscopía</i>	21
3.1	Conceptos básicos de Identidad	21
3.1.1	Identidad	21
3.1.2	Identificación	21
3.2	Conceptos básicos de Papiloscopía	22
3.2.1	Papiloscopía	22
3.2.1.1	Dactiloscopía	22
3.2.1.2	Palmetoscopía	23
3.2.1.3	Pelmatoscopía	23
3.2.2	Crestas papilares y surcos interpapilares	23
3.2.3	Papilograma o Impresión papilar	23
3.2.3.1	Papilograma natural	24
3.2.3.2	Papilograma artificial	24

EL ANÁLISIS QUÍMICO DE RESIDUOS DE HUELLAS DIGITALES LATENTES. SU POSIBLE
 APLICACIÓN EN EL PROCESO DE DATACIÓN

3.3	Conceptos básicos de Dactiloscopía	24
3.3.1	Clases de dactilogramas artificiales	24
3.3.1.1	Impresión dactilar propiamente dicha	24
3.3.1.2	Huella dactilar	25
3.3.1.3	Rastro.....	25
4.	Análisis Papiloscópico de Huellas Dactilares Latentes	27
4.1	Visualización y Revelado	27
4.1.1	Técnicas de visualización no destructivas	27
4.1.1.1	Detección con luz blanca.....	28
4.1.1.2	Iluminación episcópica coaxial	28
4.1.1.3	Iluminación ultravioleta (UV).....	28
4.1.1.4	Rayos Láser	29
4.1.1.5	Rayos X.....	29
4.1.1.6	Fuentes de luz alternativas.....	30
4.1.2	Técnicas de revelado	30
4.1.2.1	Reveladores físicos o polvos adherentes	31
4.1.2.2	Deposición de metal al vacío (VMD)	33
4.1.2.3	Reactivos de nanopartículas.....	34
4.1.2.4	Reactivos químicos	37
4.1.2.5	Revelado secuencial.....	45
4.1.3	Factores que influyen en la selección del método de revelado	45
4.1.3.1	Sustrato.....	45
4.1.3.2	Características y naturaleza del reactivo	46
4.1.3.3	Formulación del reactivo	46
4.1.3.4	Condiciones de reacción	46
4.1.3.5	Compatibilidad forense	47
4.2	Levantamiento y Traslado	47
4.3	Observación y Reconocimiento	49

EL ANÁLISIS QUÍMICO DE RESIDUOS DE HUELLAS DIGITALES LATENTES. SU POSIBLE
APLICACIÓN EN EL PROCESO DE DATACIÓN

4.3.1	Técnica “ACE-V”	49
4.3.1.1	Análisis.....	49
4.3.1.2	Comparación	50
4.3.1.3	Evaluación.....	50
4.3.1.4	Verificación.....	50
4.3.2	Sistema Automático de Identificación de Huellas Dactilares	51
5.	<i>Composición Química de Residuos de Huellas Latentes</i>	53
5.1	Composición Química Inicial	54
5.1.1	Componentes intrínsecos	54
5.1.1.1	Compuestos procedentes de la dermis.....	55
5.1.1.2	Compuestos procedentes de la epidermis	57
5.1.1.3	Otros componentes intrínsecos.....	58
5.1.2	Componentes extrínsecos - Contaminantes.....	58
5.2	Composición Química Final	59
5.2.1	Cambios químicos observados en el tiempo	59
5.2.1.1	Pérdida de masa y humedad	59
5.2.1.2	Cambios en componentes inorgánicos	60
5.2.1.3	Cambios en componentes orgánicos.....	60
5.2.1.4	Cambios en componentes lipídicos.....	61
5.2.1.5	Relación de composición	64
5.3	Factores que afectan la Composición Química	65
5.3.1	Características propias del donante	66
5.3.1.1	Género	66
5.3.1.2	Edad.....	67
5.3.1.3	Hábitos alimenticios.....	69
5.3.1.4	Origen étnico	70
5.3.1.5	Estado psicológico y estado de salud.....	70
5.3.1.6	Hábitos personales.....	71

EL ANÁLISIS QUÍMICO DE RESIDUOS DE HUELLAS DIGITALES LATENTES. SU POSIBLE
 APLICACIÓN EN EL PROCESO DE DATACIÓN

5.3.2	Condiciones del contacto.....	72
5.3.3	Naturaleza del sustrato.....	74
5.3.4	Condiciones ambientales.....	75
5.3.5	Técnicas de visualización y levantamiento.....	77
5.3.6	Tiempo transcurrido	78
6.	<i>Datación de Huellas Latentes</i>	79
6.1	Utilidad	79
6.2	Métodos propuestos	80
6.2.1	Estudios basados en la información del hecho delictivo y su contexto	80
6.2.2	Estudios sobre cambios en las características físicas de huellas digitales	81
6.2.2.1	Eficacia de los métodos de revelado	81
6.2.2.2	Cambios en la intensidad de fluorescencia	83
6.2.2.3	Cambios en las características físicas de las crestas de fricción	84
6.2.2.4	Cambios electrostáticos.....	85
6.2.3	Estudios sobre cambios en la composición química de huellas digitales.....	86
6.3	Parámetros a considerar en la búsqueda del método óptimo	88
6.3.1	Compuestos de interés.....	88
6.3.2	Parámetros y modelos de datación	89
6.3.3	Modelos de interpretación y validación.....	91
6.3.4	Contexto y particularidades del caso.....	91
6.3.5	Impronta cuestionada y material de comparación	92
6.3.6	Técnicas analíticas	92
6.4	Consideraciones Legales	98
6.5	Perspectivas Futuras	99
	DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	101
	BIBLIOGRAFÍA	104

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- AFIS:** Sistema Automático de Identificación de Huellas Dactilares (por sus siglas en inglés, *Automated Fingerprints Identification System*). 51
- CE/MS:** Electroforesis Capilar/Espectrometría de masas (por sus siglas en inglés, *Capilar Electrophoresis/Mass Spectrometry*). 93
- DFO:** 1,8-diaza-9-fluorenona. 38, 39, 45
- FTIR:** Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (por sus siglas en inglés, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). 90, 94, 95, 97
- GC/MS:** Cromatografía Gaseosa/Espectrometría de masas (por sus siglas en inglés, *Gas Chromatography/Mass Spectrometry*). 77, 87, 93, 94, 95
- HPLC:** Cromatografía Líquida de Alta Resolución (por sus siglas en inglés, *High Performance Liquid Chromatography*). 93
- HSI:** Imágenes Hiperspectrales (por sus siglas en inglés, *Hyperspectral Imagings*). 97
- IR:** Infrarrojo. 36
- LAET:** Túnel de electrones activado por láser (por sus siglas en inglés, *Laser Activated Electron Tunneling*). 96
- LC:** Cromatografía Líquida (por sus siglas en inglés, *Liquid Chromatography*). 93
- LC/MS:** Cromatografía Líquida/Espectrometría de masas (por sus siglas en inglés, *Liquid Chromatography/Mass Spectrometry*). 70
- MALDI-MS:** Espectrometría de masas acoplada a desorción-ionización láser asistida por matriz (por sus siglas en inglés, *Matrix-assisted Laser Desorption/Ionization Mass Spectrometry*). 67, 95
- MALDI/ToF-MS:** Espectrometría de masas de tiempo de vuelo acoplada a la técnica de desorción-ionización laser asistida por matriz (por sus siglas en inglés, *Matrix-assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry*). 78, 96
- MMD:** Deposición multimetálica (por sus siglas en inglés, *Multimetal Deposition*). 35, 36
- MS:** Espectrometría de masas (por sus siglas en inglés, *Mass Spectrometry*). 95

EL ANÁLISIS QUÍMICO DE RESIDUOS DE HUELLAS DIGITALES LATENTES. SU POSIBLE
APLICACIÓN EN EL PROCESO DE DATACIÓN

- PCA:** Análisis de Componentes Principales (por sus siglas en inglés, *Principal Components Analysis*). 90, 91
- PD:** Revelador Físico (por sus siglas en inglés, *Physical Developer*). 35, 45, 83
- p-DMAC:** p-4-dimetilaminocinamaldehído. 44
- PVC:** Policloruro de vinilo. 81
- QDs:** Puntos Cuánticos (por sus siglas en inglés, *Quantum Dots*). 36, 37
- SIMS:** Espectrometría de masas de iones secundarios (por sus siglas en inglés, *Secondary Ion Mass Spectrometry*). 96
- SMD:** Deposición de un único metal (por sus siglas en inglés, *Single Metal Deposition*). 36
- SPR:** Reactivo de partículas pequeñas (por sus siglas en inglés, *Small Particle Reagent*). 36
- TLC:** Cromatografía en capa delgada (por sus siglas en inglés, *Thin Layer Chromatography*). 69, 84, 93
- ToF-SIMS:** Espectrometría de masas de iones secundarios de tiempo de vuelo (por sus siglas en inglés, *Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry*). 96
- UV:** Ultravioleta. 28, 31, 33, 36, 40, 42, 45, 90, 97
- VMD:** Deposición de metal al vacío (por sus siglas en inglés, *Vacuum Metal Deposition*). 33, 34, 45
- 5-MTN:** 5-metilitioninhidrina. 39

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Estratos de la epidermis	9
1.2 Corte transversal de la piel donde se observan en detalle la dermis y la hipodermis	10
2.1 Corte transversal de la piel donde se observa la estructura de las crestas de fricción	13
3.1 Relación entre los conceptos básicos de Identidad y Papiloscopía	26
5.1 Representación de las variables que afectan la composición química de residuos de huellas latentes	56
5.2 Resumen del efecto del tiempo en la composición química de huellas latentes	65

ÍNDICE DE TABLAS

4.1 Ejemplos de revelado secuencial en superficies comunes.....	45
5.1 Componentes químicos procedentes de la secreción sudorípara.....	56
5.2 Componentes químicos procedentes de la secreción sebácea	58

RESUMEN

El análisis dactiloscópico ejerce un papel clave en las investigaciones criminales, y las huellas dactilares son comúnmente utilizadas para la identificación de personas en todo el mundo. Sin embargo, el interrogante acerca del momento en el que una huella dactilar fue depositada en la escena del crimen se ha planteado en reiteradas ocasiones, y hasta el momento, no se dispone de una metodología aprobada científicamente que pueda responder a esta pregunta.

En el presente trabajo se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de explorar los estudios que se han orientado en resolver este desafío, los métodos propuestos, el efecto del tiempo sobre residuos de huellas latentes, y el análisis de la composición química como una herramienta para estimar su antigüedad.

Al finalizar el mismo, se propuso un plan de investigación acorde a los recursos disponibles en nuestro medio, que contribuya al conocimiento de esta temática relativamente inexplorada.

La composición de huellas dactilares latentes puede describirse como un sistema complejo y variable que se ve afectado por múltiples factores.

Si bien las determinaciones cuantitativas mediante análisis químicos no destructivos han captado la mayor atención de la comunidad científica y parecen ser prometedores como herramienta de datación, actualmente estas técnicas no se han validado y presentan limitaciones para su aplicación en la práctica.

En este informe se pone en evidencia que, a pesar de los numerosos procesos analíticos probados para dilucidar la composición de huellas digitales latentes, existe una necesidad real de futuras investigaciones sobre la cinética de su envejecimiento y de los efectos, tanto cuantitativos como cualitativos, que ejercen las diversas variables de influencia sobre los compuestos químicos presentes en estos residuos.

Palabras claves: *huellas dactilares, composición, datación, efectos del tiempo, análisis químico.*

SUMMARY

Title: The chemical analysis of residues of latent fingerprints. Its possible application in the dating process

Dactyloscopic analysis plays a key role in criminal investigations, and fingerprints are commonly used to identify people around the world. However, the question about the time in which a fingerprint was placed in the scene of the crime has been raised repeatedly, and so far does not have a scientifically approved methodology that can answer this question.

In the present work a bibliographic review was carried out with the aim of exploring the studies that have been oriented in solving this challenge, the proposed methods, the effect of time on latent fingerprint residues, and the analysis of the chemical composition as a tool to estimate their age.

At the end of this work, a research plan was proposed according to the resources available in our environment, which contributes to the knowledge of this relatively unexplored topic.

The composition of latent fingerprints can be described as a complex and variable system that is affected by multiple factors.

While quantitative determinations through non-destructive chemical analysis have attracted the most attention of the scientific community and seem to be promising as a tool for dating, these techniques have not been validated and present limitations to their application in the practice. This report shows that despite the numerous analytical procedures tested to elucidate the composition of latent fingerprints, there is a real need for further research on the kinetics of its aging and the effects, both quantitative and qualitative, which the different variables influence exert on the chemical compounds present in these residues.

Key words: *fingerprints, composition, dating, effects of time, chemical analysis.*

INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la humanidad han sucedido hechos de naturaleza criminal y el derecho, como ciencia que estudia y regula las acciones del hombre en sociedad, requiere establecer la identidad humana de forma irrefutable, con la finalidad de otorgarle a cada persona la posibilidad de adquirir sus derechos y de contraer sus obligaciones (1).

La hipótesis básica de la criminalística nace de “*El principio de intercambio*” enunciado por el criminalista francés Edmund Locard en el año 1929, el cual pone de manifiesto que “*siempre que dos objetos entren en contacto transfieren parte del material que incorporan al otro objeto*”. Es decir, que ante un contacto existe evidencia de éste, y en el caso de la investigación criminal, es esta evidencia la que se transforma en la prueba para inculpar o demostrar la inocencia de una persona (2).

La primera disciplina precursora de la criminalística fue la dactiloscopía. Algunos historiadores son coincidentes en que el nacimiento de las ciencias forenses fue en China durante la dinastía Tang en el siglo VII, donde se utilizó la lógica y las pruebas forenses para resolver crímenes, adjudicándole a los chinos la aplicación de las impresiones dactilares en el campo de la investigación, al usarlas diariamente en sus tratos comerciales y cuestiones legales aproximadamente ya en el año 650 (2).

Una huella o rastro papilar se produce en actos generalmente involuntarios al tocar o manipular superficies. Pudiendo ser latente (no perceptible a simple vista, y formada como consecuencia de la deposición de la humedad exudada a través de los poros de la piel, que se acumula en los bordes de fricción) o visible (generada por la presencia de una sustancia impresora no específica como colorantes, o bien, por el contacto con superficies blandas fácilmente moldeables) (3, 4).

En la actualidad, la papiloscopía se considera el medio más práctico y seguro para la obtención de la identidad física de una persona de manera absoluta, categórica e indubitable. Se basa en el estudio de las conformaciones del tejido epidérmico -relieves papilares denominados crestas de fricción- observadas en los pulpejos de la tercera falange de los dígitos, las palmas de las manos y las plantas de los pies, contando así con tres ramas técnicas claramente diferenciadas y

sistematizadas: la dactiloscopia, la palametoscopía y la pelmatoscopía respectivamente, siendo la primera la más utilizada (5).

Con el correr de los años, se realizaron grandes esfuerzos abocados al estudio de las huellas y rastros papiloscópicos, a la caracterización de los patrones de las crestas de fricción de la piel y a su utilidad como herramienta en la identificación personal (6, 7), logrando comprobar científicamente que no hay dos personas con el mismo patrón de crestas de fricción ni dos áreas idénticas en un mismo individuo, por lo que el análisis de las mismas fue adoptado universalmente como sistema de registro de identificación física humana, a la vez que desempeña un papel fundamental en el proceso de investigación criminal.

De este modo, se establecieron y aceptaron protocolos y procedimientos sobre el levantamiento, análisis e identificación de rastros papilares, teniendo en cuenta diversas condiciones, sustratos, matrices, etc. (8), y las huellas dactilares son hoy consideradas evidencias con las cualidades necesarias para la identificación fehaciente de una persona. Tanto su uso sistemático como el desarrollo tecnológico, han hecho que se cuente con métodos modernos automatizados de identificación disponibles en todo el mundo (7).

Sin embargo, en el marco de la investigación de ciertos hechos delictivos, se ha planteado en reiteradas ocasiones la inquietud acerca del momento en el que una huella fue dejada en una escena particular, sin ser factible una respuesta mediante el análisis papiloscópico *per se*, lo que ha llevado al desarrollo de diversos estudios orientados a responder esta pregunta (9).

Los recientes avances sobre la composición química de huellas latentes se han centralizado en el desarrollo de nuevas metodologías y la optimización de reactivos ya existentes con fines de mejorar los procedimientos de revelado y visualización (10-14), y en la evaluación intrínseca de estos residuos, con el propósito de lograr la individualización del donante (15).

No obstante, la búsqueda de métodos para la datación de las huellas dactilares requiere de un enfoque diferente, y a pesar de que nuevas investigaciones están siendo focalizadas en la caracterización y alteración química de éstas a través del tiempo, aun hasta hoy no existen los argumentos científicos necesarios que puedan dar respuesta a la incertidumbre sobre la "edad" de una huella digital.

Sobre la base de estos antecedentes, el objeto de este trabajo es presentar las evidencias que abordan la identificación de la composición química de los residuos de huellas digitales latentes

y la posible datación de las mismas, y demostrar la utilidad que conlleva el desarrollo de estos estudios analíticos en el terreno de la investigación forense.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la utilidad del análisis químico en la datación de huellas digitales latentes para planificar futuros estudios de investigación y desarrollo, y estimar la factibilidad de su incorporación la práctica de investigación criminalística en la Policía Judicial de la Provincia de Córdoba.

Objetivos Específicos

Exponer las evidencias y avances científicos que han sido abocados a la caracterización química de las huellas dactilares, incluyendo la posible contribución del análisis químico de residuos de huellas digitales latentes en procedimientos de datación, el desarrollo de las técnicas analíticas implementadas hasta el momento para tal fin, las mejoras e inconvenientes de las mismas, y los componentes intrínsecos y extrínsecos del material bajo estudio que pueden influir en dicho análisis.

Exhibir la metodología empleada para el revelado y levantamiento de huellas digitales latentes en el lugar del hecho teniendo en cuenta los procedimientos descriptos a nivel internacional y los empleados por los peritos técnicos de la Sección Huellas y Rastros de la Policía Judicial de la Provincia de Córdoba.

Elaborar una propuesta mediante el diseño de un plan de trabajo de investigación en el cual se consideren los procedimientos utilizados de rutina en el revelado y levantamiento de huellas latentes y la metodología para análisis químicos disponible en la Policía Judicial de la provincia de Córdoba, pretendiendo así, llevar a cabo en un mediano plazo, un trabajo de investigación multidisciplinario en dicha institución.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante una exhaustiva revisión bibliográfica, se realizó la identificación, el análisis crítico y la descripción escrita de la información existente sobre la temática de interés, consultando fuentes primarias y secundarias, y con la participación de personal idóneo en papiloscopía, criminalística y química, quienes brindaron asesoramiento mediante entrevistas y proporcionaron material bibliográfico.

El plan de investigación fue diseñado con el propósito de combinar los diversos métodos de levantamiento de muestra y métodos químicos utilizados de rutina en nuestro medio, evaluar cómo influyen entre sí, plantear posibles modificaciones metodológicas, desarrollar nuevos procedimientos alternativos y llevar a cabo el control de calidad acorde para cada análisis desarrollado.

Para ello, se tuvo en cuenta el procedimiento de trabajo y los recursos materiales y tecnológicos con los que cuenta la Sección Huellas y Rastros y la Sección Química Legal de la Policía Judicial de la provincia de Córdoba, los avances y resultados obtenidos en trabajos de investigación a nivel internacional, y se consideraron normas de calidad nacionales e internacionales.

CAPÍTULO 1

Anatomía y Fisiología de la Piel

La piel es un extenso órgano de espesor y distribución variable que recubre la totalidad de la superficie externa del organismo, con funciones sensoriales, protectoras, de regulación de la temperatura y de mantenimiento del equilibrio hídrico (16).

Estructuralmente, está compuesta de una capa externa o epidermis que se encuentra en contacto directo con el medio exterior, y una capa subyacente de mayor grosor llamada dermis o corion. Ambas, ubicadas sobre tejido conectivo - tejido celular subcutáneo o hipodermis - el cual funciona como nexo entre la piel y estructuras más profundas (16, 17).

1.1 Capa epidérmica o Epidermis

La epidermis es un epitelio plano estratificado cuya función primordial es la regulación hídrica del organismo al evitar la pérdida de agua por evaporación, y la protección contra acciones lesivas externas, actuando como un órgano receptor y proporcionando una barrera de defensa para los tejidos subyacentes (16, 17).

1.1.1 Componentes celulares

La epidermis se compone de diferentes tipos celulares: queratinocitos, melanocitos, células de Langerhans y células de Merkel, cuya intercomunicación es fundamental para el apropiado funcionamiento de la piel (16, 17).

- **Melanocitos:** además de producir vitamina D, son las células encargadas de sintetizar melanina, pigmento que protege el material genético de los queratinocitos de la radiación ultravioleta.

- **Células de Langerhans:** corresponden a una extensión del sistema inmunológico del organismo. Inician una respuesta de protección frente a una invasión bacteriana reclutando células inmunes más agresivas como linfocitos T.
- **Células de Merkel:** son células asociadas a las terminaciones nerviosas libres presentes en la dermis y participan en la transmisión de la sensación del tacto.
- **Queratinocitos:** son las principales células de la epidermis. Representan el 90-95% del total y se distinguen por contener filamentos de queratina característicos. La queratina es una proteína de la cual existen alrededor de 20 variedades, que se extiende a través de la célula en forma de haces, funcionando como un soporte estructural y proporcionando resistencia frente al estrés físico de la piel. De esta manera, los queratinocitos le confieren a la epidermis su característica de barrera protectora, sufriendo un constante y equilibrado proceso de diferenciación hasta perderse en la superficie.

1.1.2 Estratos de la epidermis

Durante las etapas de diferenciación, los queratinocitos sufren un proceso de queratinización en el cual van cambiando de apariencia y de composición a medida que se trasladan hacia la superficie (18). Así, la epidermis está conformada por células altamente empaquetadas divididas en distintas capas o estratos denominados en relación a la apariencia microscópica de los queratinocitos (16) (Figura 1.1).

- **Estrato basal o germinativo:** estrato interno conformado por una única capa de células de aspecto cilíndrico o cúbico con un núcleo ovoide rico en cromatina, estrechamente relacionadas entre sí y en contacto directo con la dermis a través de la membrana basal, la cual, además de funcionar como una estructura de soporte de la piel, es el filtro por donde pasan los nutrientes de los vasos sanguíneos dérmicos hacia los queratinocitos

basales. Estas células están en un continuo proceso de división celular y son la fuente de los queratinocitos de los estratos superiores.

- **Estrato espinoso o de Malpighi:** capas compuestas por células que progresivamente adoptan una forma poligonal con núcleo central redondeado y unidas entre sí por prolongaciones citoplasmáticas denominadas puentes intercelulares o desmosomas. En ellas hay un incremento de la producción de queratina y los filamentos se organizan de forma concéntrica alrededor del núcleo entendiéndose hacia los desmosomas, al mismo tiempo que sufren un proceso de deshidratación, encogiéndose y adoptando un aspecto espinoso.
- **Estrato granuloso:** compuesto por 3 a 5 capas de células aplanadas longitudinalmente y paralelas a la superficie de la piel que contienen en su citoplasma gránulos característicos de querato-hialina. Cuando las células alcanzan la superficie de este estrato, los gránulos liberan su contenido lipídico al espacio extracelular, proporcionando a la piel una barrera hidrófoba.
- **Estrato lúcido:** capa constituida por escasa cantidad de células aplanadas, anucleadas y densamente empaquetadas que han completado la fase de muerte celular programada, pero que en su interior aún continúa la actividad química necesaria para finalizar el proceso de queratinización.
- **Estrato córneo:** capa más externa de la epidermis que consta de células alargadas y anucleadas con abundante queratina, las cuales son eliminadas regularmente mediante un proceso de descamación continuo. Los queratinocitos rodeados por los lípidos secretados por el estrato granuloso se vuelven más rígidos y sus desmosomas se degradan a medida que éstos van migrando hacia la superficie, finalizando con su desprendimiento.

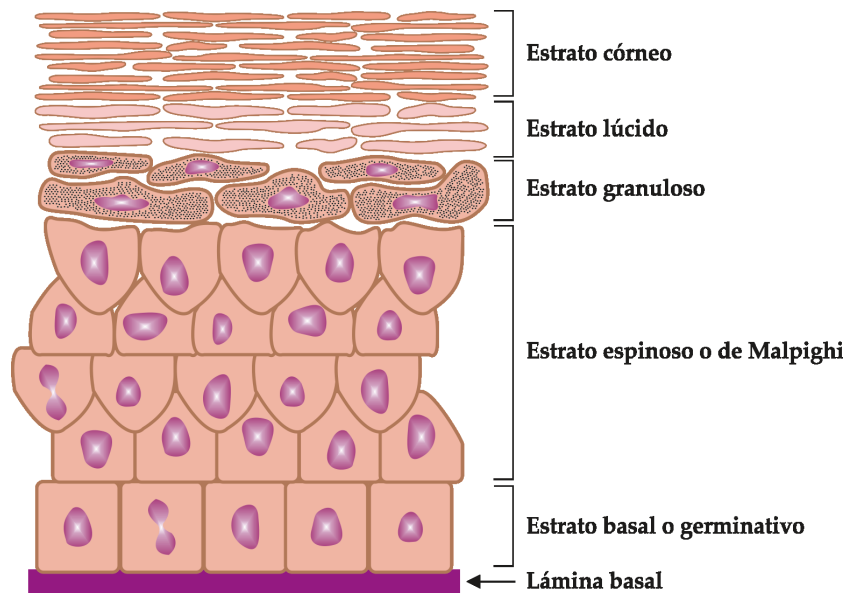


Figura 1.1: Estratos de la epidermis (16).

1.2 Capa dérmica o Dermis

La dermis proporciona a la piel elasticidad, resistencia y sensibilidad. Consta de una gruesa capa de tejido conectivo rico en colágeno y está conformada por dos estratos no claramente diferenciados - estrato papilar y estrato reticular - donde se encuentran folículos pilosos y glándulas cutáneas, y que se continúan en profundidad con el tejido subcutáneo rico en lípidos denominado hipodermis (16, 19) (Figura 1.2).

1.2.1 Estratos de la dermis

- **Estrato o dermis papilar:** compuesto de tejido conectivo laxo con gran cantidad de células y delgadas fibras de colágeno, que presenta eminencias cónicas en toda su extensión denominadas papilas, las cuales conforman las crestas papilares.
- **Estrato reticular (dermis media y dermis profunda):** capa de tejido conectivo mucho más denso que el estrato papilar, contiene gruesas fibras de colágeno, abundantes fibras elásticas y un gran número de glándulas con función secretora interna y externa. Esta

capa va adquiriendo progresivamente una estructura fasciculada rica en vasos sanguíneos y fibras nerviosas que le confieren la capacidad de responder a diferentes estímulos externos, hasta contactar con la capa profunda subyacente hipodermis.

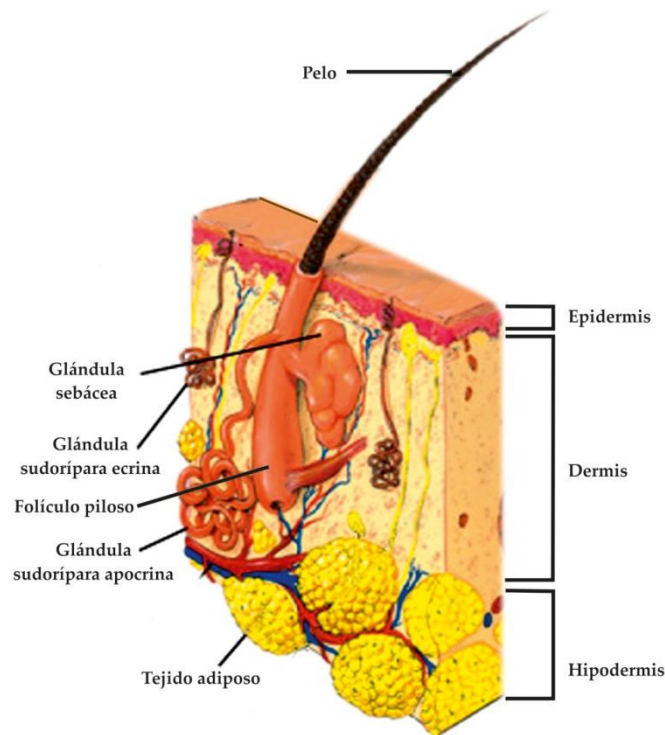


Figura 1.2: Corte transversal de la piel donde se observan en detalle la dermis y la hipodermis (16).

1.2.2 Glándulas cutáneas

1.2.2.1 Glándulas sudoríparas

Las glándulas sudoríparas apocrinas se encuentran sólo en axilas, región ano-genital, conducto auditivo externo, areolas mamarias y párpados superiores, mientras que las glándulas sudoríparas ecrinas, de fundamental importancia en la regulación de la temperatura corporal, se distribuyen por casi toda la superficie externa del organismo, siendo especialmente numerosas en palmas de las manos y plantas de los pies (20).

Estas últimas se conforman de un túbulo enrollado en forma de ovrillo, cuyos canales o conductos excretores se encuentran en las capas superficiales de la epidermis y desembocan hacia la superficie por medio de orificios denominados poros sudoríparos, a través de los cuales

se produce la secreción de sudor, líquido compuesto en su mayor proporción por agua (aproximadamente el 99%), además de sales inorgánicas, compuestos nitrogenados y aminoácidos (20).

Las glándulas apocrinas también constan de una porción secretora en forma de ovillo pero de mayor tamaño que las eccrinas y con un conducto excretor que desemboca en la porción superior del folículo piloso, formando parte de la unidad pilosebácea, donde secreta un sudor de consistencia lechosa y de color blanco grisáceo (16, 21).

1.2.2.2 Glándulas sebáceas

Las glándulas sebáceas son las encargadas de secretar una mezcla de lípidos denominada sebo. Se encuentran en toda la superficie externa del organismo excepto en palmas de las manos, y plantas y dorsos de los pies. Son relativamente escasas, de tamaño pequeño, y en su mayoría, relacionadas a los folículos pilosos, a través de los cuales segregan diariamente entre 15 y 20 gramos de sebo con la finalidad de proteger y lubricar la superficie córnea de la epidermis (16).

1.2.3 Folículos pilosos

Los folículos pilosos son invaginaciones de la epidermis que se extienden hacia la dermis donde se encuentra fijado el pelo. Éstos tienen dirección oblicua, terminan en profundidad con un engrosamiento denominado bulbo piloso y cada uno se relaciona con un músculo erector del pelo, una o varias glándulas sebáceas y una glándula sudorípara apocrina (16).

1.3 Tejido celular subcutáneo o Hipodermis

La hipodermis es una capa de tejido conectivo laxo rico en lípidos y células adiposas (adipocitos) sobre la cual descansan la dermis y la epidermis, que funciona como reserva de energía y como nexo entre la piel y estructuras más profundas (16, 17).

CAPÍTULO 2

Las Crestas de Fricción

2.1 Crestas papilares y surcos interpapilares

En la mayor parte de la extensión cutánea del organismo, la superficie externa de la epidermis se caracteriza por presentar finas arrugas o pliegues que configuran campos romboidales o poligonales claramente visibles. Sin embargo, en la piel de las palmas de las manos, las plantas de los pies y en la superficie limitante de los dedos, los pliegues son más profundos y transcurren paralelos entre sí, formando estrechas crestas denominadas crestas papilares o crestas de fricción (22).

Esta estructura se debe a la existencia y disposición de las papilas dérmicas, conformaciones cuya función es la de elevar los conductos de las glándulas sudoríparas hacia la superficie cutánea con la finalidad de que puedan excretar el sudor a través de los poros (22).

Dichas papilas se disponen de a pares formando hileras paralelas variables en cuanto a su extensión y dirección, que al llegar a la epidermis, crean prominencias o relieves visibles entre los que desembocan los canales sudoríparos. En los sitios donde dichas papilas dérmicas están ausentes se generan las depresiones que las separan entre sí, denominadas surcos papilares (22, 23) (Figura 2.1).

La morfología externa de las crestas de fricción es un reflejo directo de su función. La presencia de altos y bajos relieves, y la continua humedad otorga a las manos y a los pies una relativa adhesión y capacidad de agarre a diversas superficies, mientras los pliegues permiten que la piel se flexione (23).

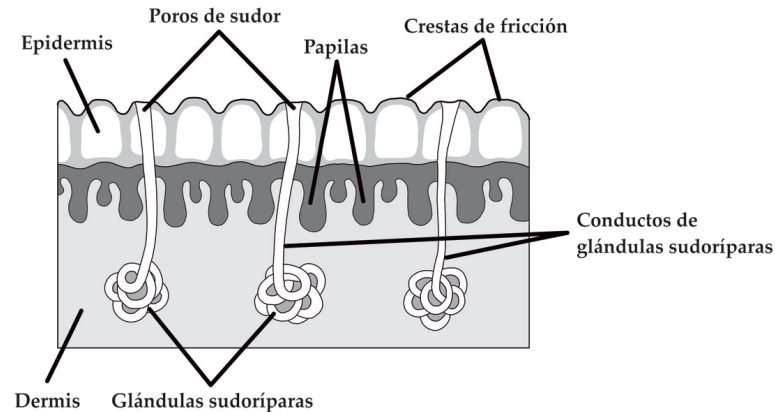


Figura 2.1: Corte transversal de la piel donde se observa la estructura de las crestas de fricción (23).

A pesar de que las glándulas sudoríparas están distribuidas en casi toda la superficie de la piel, las crestas de fricción tienen la mayor concentración de glándulas ecrinas.

Se ha demostrado que hay entre 550 y 950 poros de sudor por centímetro cuadrado en las crestas de fricción de los dígitos, y aproximadamente 400, en las palmas de las manos y plantas de los pies (22).

2.2 Persistencia de las crestas de fricción en la piel

La morfología de las crestas de fricción perdura debido a la existencia de uniones e interacciones físicas a lo largo de la piel y a la regulación de la producción y diferenciación de queratinocitos. De este modo, el estrado basal epidérmico opera como soporte para la mantención de crestas y surcos papilares. La comunicación intercelular asegura que la proliferación de células basales se estimule e inhiba coordinadamente, y que a medida que se dividen, los queratinocitos se desplacen hacia la superficie de manera ordenada (23, 24).

No obstante, aunque las crestas de fricción y surcos mantienen su disposición en la piel, cambios sutiles son evidentes durante el envejecimiento. Las crestas tienden a aplanarse adoptando un aspecto menos nítido, al mismo tiempo que la pérdida de elasticidad de la dermis genera flacidez y arrugas en la piel (24).

2.2.1 Aplanamiento de crestas

Las crestas de fricción tienden a aplanarse debido a una combinación de la atrofia de la epidermis y la remodelación de las papilas dérmicas (24).

La remodelación de las papilas dérmicas es continua durante toda la vida de un individuo y varía dependiendo del estrés producido en un área de la piel en particular (24).

A medida que la piel envejece, las papilas dérmicas existentes se ramifican, dando lugar a nuevas papilas más pequeñas para aumentar la adherencia de la epidermis a la dermis. Incluso, nuevas papilas se forman debajo de los surcos interpapilares, aplanando los bordes de la superficie. Sin embargo, la epidermis responde formando anastomosis complementarias para insertarse en las nuevas papilas sin afectarse la membrana basal epidérmica, por lo que seguirá produciendo los bordes en la superficie (24).

Por otra parte, los efectos de la edad sobre la epidermis también contribuyen al aplanamiento de las crestas de fricción, pero con un impacto significativamente menor en comparación a los cambios en la dermis (24).

En tal sentido, aunque la epidermis mantenga el espesor de la capa córnea durante toda la vida, la capacidad de proliferación de los queratinocitos basales disminuye entre un 30 y 50% a edades avanzadas, resultando en un adelgazamiento de los estratos basal, espinoso y granuloso. De este modo, la remodelación de las papilas dérmicas - particularmente cuando se generan nuevas debajo de los surcos interpapilares - y el adelgazamiento de la epidermis contribuyen al aplanamiento de los bordes de la superficie que se produce naturalmente con la edad, aunque la secuencia y longitud de las crestas de fricción y surcos de la superficie no se ve afectada. Y a pesar de que puede resultar más dificultosa la visibilidad de crestas y surcos en una impresión de la piel, cabe destacar que las crestas de fricción son lo suficientemente resistentes y su aplanamiento se produce lentamente a lo largo de varias décadas (24).

2.2.2 Arrugas

Las arrugas son el resultado de alteraciones globales en las propiedades mecánicas de la piel a medida que ésta envejece (24).

Con el paso del tiempo, la red de colágeno y fibras de elastina se compactan ocasionando la pérdida de espesor y elasticidad de la dermis. Como consecuencia, la piel se torna menos resistente, se debilita y se pliega sobre si misma generando arrugas (24).

2.3 Diferenciación de las crestas de fricción

Las características únicas de la piel se establecen entre las semanas 10 y 16 de edad gestacional. Durante el tercer mes de gestación, el sistema nervioso y órganos de los sentidos del embrión se desarrollan. Las crestas de fricción comienzan a formarse aproximadamente en la décima semana y continúan madurando en el segundo trimestre, cuando las almohadillas palmares retroceden. Dichas crestas crecen hasta aproximadamente la semana 16 y se establecen las minucias. En este período, las glándulas sudoríparas se desarrollan y el sistema de crestas dermo-epidérmico sigue madurando y creciendo en tamaño, mientras los conductos y los poros sudoríparos aparecen a lo largo de las crestas epidérmicas (24, 25).

2.3.1 Desarrollo de la epidermis

La primera capa epidérmica se establece aproximadamente en la primera semana de gestación, cuando el ectodermo y el endodermo se definen por separado, mientras que una segunda capa se forma entre las semanas 4 y 5. Alrededor de la octava semana, las células basales de la epidermis comienzan a dividirse de manera consistente y dan lugar a células hijas, que se trasladan verticalmente para formar la primer capa de células intermedias. En ese momento, la epidermis embrionaria tiene un espesor de 3 a 4 capas de células, los queratinocitos están estrechamente unidos entre sí y las células del estrato basal se unen a la membrana basal (25).

2.3.2 Desarrollo de la dermis

Los primeros componentes dérmicos que se originan son fibroblastos, que sintetizan y secretan hacia la matriz extracelular los componentes que forman parte del tejido conectivo de la dermis

estructural. Durante el período comprendido entre la cuarta y octava semana de gestación comienzan a formarse numerosas estructuras dérmicas. Las fibras elásticas surgen alrededor de la quinta semana, mientras que el desarrollo nervioso comienza en diferentes etapas a partir de la semana 6, observándose inervación nerviosa en la epidermis en la semana 9. Posteriormente, a las diez semanas, las células de Merkel predominan en la epidermis en desarrollo, mientras que los axones y neurofilamentos relacionados están presentes en la dermis.

Entre las semanas 8 y 12 la dermis se vuelve distinguible del tejido subcutáneo profundo debido al desarrollo y organización de los vasos sanguíneos, existiendo una reorganización de los lechos capilares durante las semanas 8 y 20, manteniendo así, el ritmo de crecimiento de la piel incluso después del nacimiento, donde la microcirculación continúa en formación y sufriendo procesos de remodelación (26).

2.3.3 Formación de las crestas de fricción

Alrededor de la décima semana de gestación las células basales de la epidermis comienzan a dividirse rápidamente, y se han propuesto diversas teorías para explicar el inicio del desarrollo de las crestas de fricción (26).

Se ha postulado que existen centros activos de proliferación celular que se convertirán en los centros de desarrollo de las glándulas sudoríparas, resultando en crestas lineales conformadas por células epidérmicas, las cuales proliferan rápidamente y se pliegan en la dermis dando lugar a una estructura visible en la zona de unión entre la epidermis y la dermis (27).

Otra teoría plausible sería que los nervios en desarrollo pueden interactuar con las células epidérmicas para estimular las interacciones de unión intercelular presentes en las primeras etapas de desarrollo de las crestas (28).

Durante el momento de la formación de las crestas de fricción, el sistema nervioso central y cardiovascular se encuentra en un período crítico del desarrollo. Numerosos investigadores reportaron la existencia de inervación nerviosa en los sitios de formación de las crestas de fricción en un estadio inmediatamente anterior a la aparición de éstas, sugiriendo así, que esta interacción podría ser el mecanismo de activación para el inicio de la proliferación celular y que

incluso, el patrón de inervación nerviosa en el sitio de unión entre la dermis y la epidermis sería la causa directa de la alineación de las crestas de fricción (28, 29).

Si bien la presencia de nervios y capilares en la dermis antes de la formación de las crestas podría ser necesaria para su proliferación, es dudoso que éstos establezcan de manera independiente un mapa que determine el flujo de las crestas en desarrollo. Resulta más probable que la alineación de nervios y vasos capilares sea consecuencia de las tensiones y deformaciones aleatorias producidas por el propio desarrollo de las manos y así se establezca el patrón de las crestas de fricción (26).

Por lo tanto, incluso antes de formación de las crestas, las tensiones generadas por las diferentes tasas de crecimiento de la dermis y la epidermis estarían causando el crecimiento celular diferencial a lo largo de líneas invisibles que ya delinear un patrón característico, y que continúa con la rápida propagación de las crestas de fricción.

De este modo, la morfología de estas crestas podría considerarse la manifestación superficial de un conjunto heterogéneo de células ubicadas a lo largo de la membrana basal, donde las tensiones y distribuciones celulares ocurren de manera aleatoria, sin poder ser duplicadas en dos áreas diferentes de tejido (30).

2.3.4 Formación de minucias

Durante el crecimiento, los dedos se expanden rápidamente y las crestas primarias ya formadas comienzan a separarse, dando lugar a nuevas crestas y a la formación de minucias mediante un proceso gobernado por fuerzas e interacciones aleatorias que actúan sobre una zona determinada de la piel. En este momento crítico, pequeñas diferencias de tensión mecánica, cambios fisiológicos o variación en el tiempo de desarrollo podrían afectar de manera significativa la formación y ubicación de puntos característicos o minucias en un área particular de la piel.

Aunque se ha demostrado que la genética desempeña un papel en la formación de patrones, no determina la disposición de minucias ni la forma de las crestas de fricción dentro de dicho patrón. Por lo tanto, la morfogénesis de estos detalles es el producto de diversos factores únicos

del desarrollo que se producen durante el período crítico en la formación de la cresta de fricción (24).

2.3.5 Formación de surcos interpapilares

En la semana 15 de gestación, las crestas primarias experimentan un crecimiento en dos direcciones: la penetración hacia abajo de las glándulas sudoríparas y el traslado hacia arriba de nuevas células, apareciendo los surcos papilares como consecuencia de la proliferación celular de la epidermis basal que se pliega hacia la dermis. En este momento, los puntos característicos localizados al azar dentro del patrón de crestas de fricción se tornan permanentes (26).

Del mismo modo que los surcos bajan la epidermis y aumentan la superficie de unión con la dermis, las crestas primarias empujan a las células hacia la superficie. Estas dos fuerzas, además de la adhesión celular, causan invaginaciones de las capas epidérmicas superiores hacia el sitio de unión de los surcos, reflejándose progresivamente en la superficie de la piel, la estructura de crestas y surcos.

2.3.6 Maduración de la piel

Posteriormente al desarrollo de las crestas y surcos papilares, a las veinticuatro semanas de edad gestacional, comienza el proceso de anastomosis dérmica que moldea la parte superior de la dermis generando las papilas, las cuales continúan modificándose incluso en la edad adulta del individuo. Sin embargo, la tasa de producción de células en la capa basal de la epidermis no se modifica y por lo tanto, no se producen cambios significativos en la superficie de la piel. De esta manera, a pesar de que el patrón aumenta muchas veces en tamaño, la secuencia de las crestas de fricción nunca cambia (24).

2.4 Las crestas de fricción y el sistema papiloscópico

Dada la característica azarosa y variable de la disposición que pueden adoptar las papilas dérmicas, las crestas de fricción no son continuas en su flujo, y por lo contrario, finalizan o divergen de manera aleatoria generando bifurcaciones denominadas puntos característicos o minucias, que a su vez se combinan para dar lugar a diversas configuraciones formando patrones únicos e irrepetibles, exclusivos para cada individuo y que difieren incluso entre gemelos idénticos u homocigotos (19).

Por otra parte, como fue descrito en la sección 2.3, las crestas de fricción se desarrollan en su forma definitiva en el feto antes del nacimiento y son persistentes, manteniéndose inalteradas durante toda la vida, por lo que resultan de gran utilidad en el campo de la criminalística, además de su interés médico en ciertas patologías (22).

De este modo, la base técnica que confiere la seguridad e infalibilidad del sistema papiloscópico se asentaría sobre tres aspectos esenciales: la inmutabilidad, la perennidad y la variedad que caracterizan a las crestas de fricción (19).

2.4.1 Inmutabilidad

Los patrones característicos de las crestas de fricción y surcos papilares permanecen invariables durante el transcurso de toda la vida de un individuo, sin poder ser alterados de forma permanente (24).

Cuando una lesión afecta la epidermis, se produce la regeneración total de la zona afectada debido a la continua renovación celular que ocurre en esta capa dérmica, y las crestas y surcos papilares se reproducen nuevamente manteniendo su patrón original. Frente a una lesión que involucra la dermis, los queratinocitos basales se someten a cambios estructurales y fisiológicos con la finalidad de reparar la herida formando una cicatriz en el lugar afectado, mientras las crestas y surcos colindantes se mantienen inalterables (19).

De este modo, puede concluirse que cualquier alteración sobre un dibujo papilar será transitoria, volviendo a desarrollarse el patrón original de las crestas de fricción o bien, generando una cicatriz que no podrá modificar o suprimir la totalidad de estas conformaciones (19).

2.4.2 Perennidad

Desde aproximadamente el sexto mes de vida intrauterina, los patrones característicos desarrollados por las crestas de fricción estarán presentes en un individuo hasta el momento de su fallecimiento, manteniéndose aun durante períodos posteriores, hasta llegado el proceso de putrefacción cadavérica (19).

Dada la dureza y grosor de la piel donde se encuentran las crestas de fricción, a menudo es el último de los tejidos blandos en descomponerse después de la muerte, haciendo que sea posible la identificación mediante análisis papiloscópicos en cadáveres luego de largos períodos de ser inhumados (19).

2.4.3 Variedad

La variabilidad en cuanto a tamaño, cantidad, dirección y ubicación de las crestas y surcos papilares es tan superflua que no existen dos conformaciones papilares iguales. Y no se han observado dibujos papilares análogos entre individuos con parentesco directo, entre hermanos gemelos univitelinos o entre diferentes zonas de la piel de una misma persona (30).

Si bien en algunos casos pueden encontrarse coincidencias parciales, estudios matemáticos de probabilidad determinaron que la posibilidad de repetición de un dibujo papilar puede ocurrir después de períodos extremadamente largos de tiempo (aproximadamente de 4.000.000 siglos) (19).

CAPÍTULO 3

Identificación Física Humana y Papiloscopía

3.1 Conceptos básicos de Identidad

3.1.1 Identidad

La identidad puede definirse como la condición de todo ser o cosa de ser igual a sí mismo y diferente a los demás en todo tiempo y lugar, manifestándose tres clases de identidad en el ser humano (5):

- **Identidad física:** representada por las características y particularidades adquiridas y de transmisión genética que se exteriorizan en su morfología o constitución.
- **Identidad psíquica:** constituida principalmente por las vivencias personales y equivalente a la estructura del comportamiento individual de una persona en relación con el medio en el que se desenvuelve.
- **Identidad biográfica:** corresponde a los datos de nacimiento de un individuo en relación con la madre, padre, lugar, fecha, sexo, etc.

3.1.2 Identificación

En sus comienzos, la identificación se fundamentaba en el conocimiento previo de una persona para su posterior reconocimiento de forma subjetiva. Sin embargo, esta forma de determinar la identidad de una persona de forma empírica fue reemplazada por un procedimiento sistematizado, y en la actualidad, el concepto de identificación es definido como la función de

descubrir los principios de invariabilidad y diferenciación que permiten establecer las propiedades de identidad en un ser, mediante la aplicación de un sistema estructurado y metódico (5).

De esta manera, pueden distinguirse dos tipos de identidad:

- **Identidad genérica:** establecida por la acción de reconocer a una persona o cosa como la misma que se presupone o se busca.
- **Identidad específica:** determinada mediante la aplicación de procedimientos técnico-científicos a través de los cuales se logra identificar a una persona de forma indubitable y categórica.

3.2 Conceptos básicos de Papiloscopía

3.2.1 Papiloscopía

La papiloscopía es la disciplina técnica que permite asegurar la identidad física de una persona mediante el sello antropológico único, invariable y perenne que lo distingue de cualquier otra, constituido por las conformaciones del tejido epidérmico (particularidades o pequeños detalles de origen congénito) en los pulpejos de la tercera falange de los dígitos, palmas de las manos y plantas de los pies, resultando tres ramas técnicas sistematizadas: la dactiloscopía, la palametoscopía y la pelmatoscopía (5).

3.2.1.1 Dactiloscopía

La dactiloscopía es la rama técnica de la papiloscopía que permite la identificación física indubitable, categórica y fehaciente de una persona a través de los dibujos formados por las crestas papilares y surcos interpapilares situados en el tejido epidérmico de los pulpejos de las terceras falanges de los dígitos de las manos (5).

En base a ello, puede hacerse referencia a la identidad dactiloscópica como el acto por el cual se determina la identidad física de una persona mediante las impresiones digitales.

3.2.1.2 Palametoscopía

La palametoscopía es la rama técnica de la papiloscopía cuyo objeto de estudio es la conformación y diseño de las crestas papilares obrantes en la cara interna de las manos (palma) (5).

3.2.1.3 Pelmatoscopía

La pelmatoscopía es la rama técnica de la papiloscopía que se ocupa del estudio, clasificación y homologación de las crestas papilares que se encuentran en dedos y plantas de los pies con fines de identificación personal, siendo de particular interés en el afán de proteger la identidad de neonatos y brindar garantías de la relación madre/hijo en el momento del nacimiento, logrando su pleno reconocimiento con seguridad y certeza (5).

3.2.2 Crestas papilares y surcos interpapilares

Las crestas papilares son las figuras en alto relieve conformadas por la agrupación de a pares y en forma de hileras de las papilas de la capa dérmica de la piel, mientras que los surcos son los espacios en bajo relieve que separan las crestas papilares longitudinalmente (19).

3.2.3 Papilograma o Impresión papilar

Un papilograma puede definirse como la traza visible resultante de la impresión de las figuras conformadas por las crestas y surcos papilares obrantes en la cara interna de la tercera falange de los dígitos, palmas de las manos y plantas de los pies, denominándose dactilograma, palametograma o pelmatograma respectivamente, según lo que represente (19).

3.2.3.1 Papilograma natural

Es el conjunto de crestas papilares y surcos interpapilares, obrantes en la cara interna de la tercera falange de los dígitos, palmas de las manos y plantas de los pies (19).

3.2.3.2 Papilograma artificial

Un papilograma artificial es la impresión o estampa del papilograma natural, la cual está conformada por líneas (impresión de las crestas papilares) y espacios (producto de la no impresión de los surcos interpapilares) (19).

3.3 Conceptos básicos de Dactiloscopía

De las ramas técnicas que emergen de la papiloscopía, la dactiloscopía es aquella que se ha sistematizado y estudiado en su mayor extensión, siendo el análisis de las impresiones dactilares, el implementado a nivel internacional para identificar a una persona. Por lo tanto, los conceptos referentes a la práctica papiloscópica suelen ser planteados en base a esta rama técnica (5).

De este modo, en la mención de los procedimientos prácticos comunes para la identificación física humana podemos referirnos al estudio de las distintas clases de *dactilogramas artificiales* (19).

3.3.1 Clases de dactilogramas artificiales

3.3.1.1 Impresión dactilar propiamente dicha

Es aquella impresión obtenida por personal técnico especializado con fines de registro de identificación física humana, como pueden ser las fichas dactiloscópicas decadactilares o monodactilares, cédulas de identidad, credenciales, etc. (19).

3.3.1.2 Huella dactilar

Una huella dactilar es la impronta producida por un individuo en actos de su vida cotidiana al tocar o manipular superficies que obran como receptores o continentes de tales impresiones. Se origina como consecuencia del depósito de la humedad exudada en la superficie epidérmica, que se acumula a lo largo de las crestas dactilares y se transfiere a determinadas superficies u objetos ante el contacto (19).

3.3.1.3 Rastro

Se denomina rastro a una huella dactilar vinculada a la investigación de un hecho delictivo (19). Las huellas o rastros dactilares pueden ser visibles, moldeados o latentes (4):

- **Huellas o rastros dactilares visibles:** Se producen cuando entre el dactilograma natural y el soporte que lo va a contener, media una sustancia impresora no específica, como por ejemplo: tintas, polvos, tiza, sangre, pinturas, etc., pudiendo apreciarse a simple vista mediante las diferencias de color o contraste con respecto a las superficies que los contienen.
- **Huellas o rastros dactilares plásticos o moldeados:** son huellas o rastros visibles que se producen por la simple presión del dactilograma natural en superficies de textura blanda, como pueden ser jabón, chocolate, masilla, plastilina, arena, etc., modificando su forma original y adquiriendo la forma de la impresión recibida.
- **Huellas o rastros dactilares latentes:** se producen cuando entre el dactilograma natural y el soporte no obra sustancia impresora alguna, simplemente la secreción sudorípara, por

lo que no son perceptibles a simple vista y necesitan de un procedimiento de revelado para ser observados.

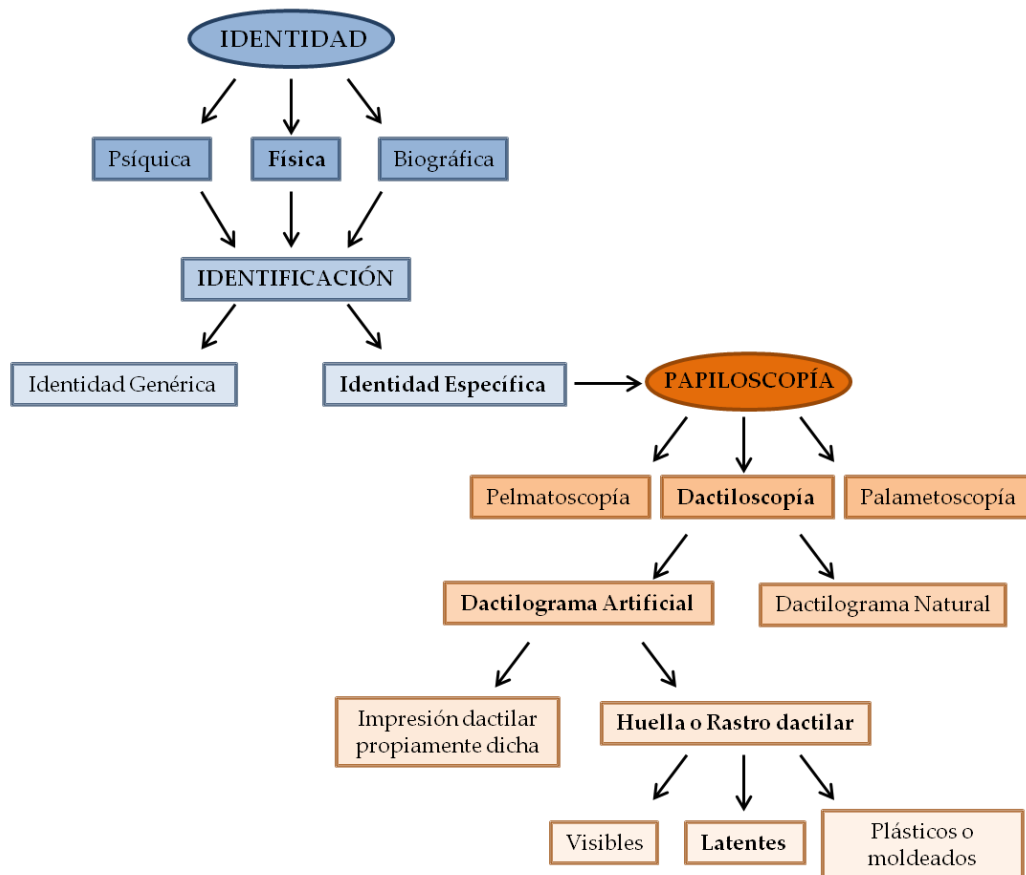


Figura 3.1: Relación entre los conceptos básicos de Identidad y Papiloscopía.

CAPÍTULO 4

Análisis Papiloscópico de Huellas Dactilares Latentes

4.1 Visualización y Revelado

Una técnica de revelado puede definirse como cualquier procedimiento utilizado con la finalidad de visualizar o mejorar las impresiones de huellas latentes para su posterior preservación e identificación (4).

Dentro del campo de investigación y desarrollo forense, la aplicación de estas técnicas es calificada como una de las áreas más dinámicas, que ha adquirido particular atención en el marco del desarrollo de nuevos reactivos y procedimientos, la búsqueda de soluciones frente a superficies difíciles de tratar, y la optimización de metodologías ya implementadas (23).

Existen métodos de detección física, en los cuales se aplican partículas o moléculas con alta afinidad hacia los depósitos de huellas y permiten su visualización sin modificar su estructura molecular, y métodos químicos, que se basan en reacciones químicas entre algunos componentes de estos depósitos y reactivos de tinción generalmente incoloros, generando compuestos coloreados o luminiscentes (31).

De manera general, la visualización y revelado comienza con la uso de un método no destructivo que, de ser necesario, se continúa con la aplicación de aquellos que destruyen o modifican de manera total o parcial el residuo de interés. Sin embargo, en la mayoría de los casos no se dispone de todos los medios de revelado posibles, y existen numerosos factores que deben tenerse en cuenta al momento de seleccionar y llevar a cabo un determinado procedimiento (21).

4.1.1 Técnicas de visualización no destructivas

Además de su practicidad, las técnicas de detección óptica tienen la ventaja de no alterar los depósitos de huellas ni las superficies sobre las cuales éstos se asientan, sin repercutir sobre procedimientos de revelado que se apliquen con posterioridad (23).

4.1.1.1 Detección con luz blanca

Es uno de los métodos no destructivos más utilizados para visualizar huellas latentes (23).

Es un procedimiento muy sencillo en el que sólo se debe ajustar la alineación adecuada entre la fuente de luz y el campo de visión, dado que la visibilidad de una impresión depende de su posición con respecto a la fuente lumínica (23).

4.1.1.2 Iluminación episcópica coaxial

Esta técnica es utilizada para detectar huellas latentes depositadas sobre superficies altamente reflectantes como vidrios, metales pulidos y ciertos plásticos, que no pueden ser observadas con luz blanca (23).

El procedimiento consiste en utilizar un espejo semitransparente para observar el reflejo de la luz perpendicular a la superficie. De este modo, la luz se difunde a través del depósito y se refleja especularmente, dando como resultado crestas de fricción oscuras visibles sobre un fondo claro (23).

4.1.1.3 Iluminación ultravioleta (UV)

Es un procedimiento común y utilizado en muchos laboratorios posterior al examen con luz blanca, debido a que las fuentes de luz UV son de bajo costo, de simple manejo y fácilmente disponibles (4).

La detección se basa en la fluorescencia de ciertos componentes del sudor inducida por ondas UV de corta longitud, lo que genera un reflejo del depósito dactilar que difiere del fondo sobre el cual se asienta. Este sistema implica una fuente de luz UV de onda corta, como lámparas de mercurio, y una cámara fotográfica con lentes de cuarzo sensible a los rayos UV (32).

Si bien es un procedimiento no destructivo, la exposición prolongada a esta fuente de luz puede generar daños irreversibles en el ADN, por lo que deben emplearse medidas especiales de seguridad para el operador, tales como el uso de gafas y equipo de protección para la piel (23).

4.1.1.4 Rayos Láser

El procedimiento con rayos láser se basa en la capacidad de ciertos compuestos del sudor y otras sustancias presentes en residuos de huellas latentes en generar luminiscencia, las cuales se hacen fluorescentes a partir de los 550nm (3).

Éste fenómeno físico se genera mediante la absorción de emisiones fluorescentes dentro de una cavidad óptica, logrando que las moléculas presentes adquieran un estado de mayor energía cuántica en forma permanente y provocando saltos de los electrones a niveles inferiores, lo que da lugar a la emisión láser (4).

De este modo, la detección se produce cuando la impresión latente absorbe la luz láser y la devuelve en longitudes de onda más largas que la fuente lumínica (4).

El equipamiento consta de una fuente de rayo láser de ión argón dispersado por un cable de fibra óptica. La región iluminada pasa a través de un filtro de longitud de onda larga que transmite la fluorescencia de las huellas y bloquea la luz láser reflejada. Éstas se observan en forma directa en color amarillo o naranja y pueden ser fotografiadas a través del mismo filtro (23).

Mediante este sistema pueden detectarse huellas depositadas sobre una amplia variedad de superficies incluyendo la piel y aquellas expuestas a elevadas temperaturas y humedad, además de ser un método sencillo, altamente sensible y que no daña al depósito ni al sustrato analizado (3, 4).

4.1.1.5 Rayos X

Esta metodología es de gran interés para la detección de huellas latentes sobre la piel humana. Consiste en aplicar sobre la piel a analizar un polvo fino de naturaleza metálica y de elevado peso atómico, como por ejemplo plomo. Posteriormente se incide una emisión de rayos X y se

registra la transmisión proveniente de la matriz sobre una placa metálica, observando así, una huella latente aislada sin su fondo (4).

Los rayos X son altamente nocivos, y la exposición a éstos dependerá de la nitidez que posea el residuo de interés. Por lo tanto, de realizarse este procedimiento sobre la superficie cutánea se debe contar con la previa autorización de la persona que será expuesta, como del tribunal competente en casos de análisis sobre cadáveres (4).

4.1.1.6 Fuentes de luz alternativas

Además de los ya descritos, se cuenta con métodos no destructivos modernos denominados de forma genérica “luces forenses”, como por ejemplo, la fuente de luz “Quaser” o lámparas “Lumaprint”.

Básicamente, son fuentes de luz blanca equipadas con filtros apropiados que transfieren sólo la fracción de luz deseada, la cual incide sobre el material a analizar dando lugar a la visualización fluorescente de huellas latentes (33).

Mientras algunos examinadores coinciden en que su performance es comparable con los métodos habituales de rayos láser, otros han reportado que son más sensibles y capaces de detectar huellas latentes que no pueden visualizarse con métodos tradicionales (23).

A pesar de la discrepancia de opiniones, la principal contribución de estos métodos alternativos, al igual que los rayos láser, no radica en su capacidad de visualizar huellas digitales mediante la luminiscencia inherente de las mismas, sino en que brindan la posibilidad de generar luminiscencia luego de que un residuo haya sido tratado con químicos fluorescentes o reactivos fluorógenos (23).

4.1.2 Técnicas de revelado

Una vez que se ha evidenciado una huella latente se procede a su relevado, para lo cual existe un gran número de reveladores físicos y reactivos químicos (4).

4.1.2.1 Reveladores físicos o polvos adherentes

Son polvos finamente tamizados con la propiedad de adherirse físicamente a la humedad de los residuos de una huella latente, manteniendo claros los espacios entre las crestas de fricción (34).

Ampliamente utilizada sobre superficies no porosas, esta técnica se basa en aplicar el polvo revelador con pinceles de pelo de camello o de marta o con brochas de fibras de cristal, y eliminar el excedente utilizando plumones de cisne, a excepción de los polvos magnéticos que se aplican con varilla magnética (3, 4).

Es el método de revelado más simple y comúnmente empleado, sin embargo, se considera poco sensible y con resultados óptimos sólo sobre depósitos frescos o recientes (34).

La mayoría de los polvos comerciales se basan en al menos dos elementos esenciales: un pigmento y un aglutinante. El pigmento ofrece contraste y definición contra la superficie de fondo para una visualización eficaz, mientras el aglutinante proporciona selectividad y una máxima adhesión al residuo latente (35).

Hay una gran diversidad disponible, que de acuerdo a su constitución química pueden clasificarse de manera general en polvos regulares, metálicos y luminiscentes (34), y cuya elección dependerá de la naturaleza de la superficie sobre la cual se asienta la huella a revelar (3, 4).

Los polvos regulares consisten en un polímero resinoso con capacidad de adherirse a la humedad y los componentes oleosos del sudor y sobre el cual se encuentra ligado un colorante, que puede ser una sal inorgánica o un derivado orgánico; mientras que los polvos metálicos son aquellos cuyas formulaciones contienen metales en forma de mallas o escamas, y los fluorescentes, incluyen derivados orgánicos naturales o sintéticos capaces de emitir fluorescencia o fosforescencia tras su exposición a luz UV o láser (34).

- **Polvos blancos:** se componen de una mezcla finamente tamizada de polvo de arroz con albayalde o magnesio y licopodio. Son conocidos también como polvos de tocador, de arroz o de Simon.

- **Polvos negros:** generalmente están compuestos de grafito, carbón vegetal de alta calidad o de diversas sustancias sintéticas. Junto a los polvos blancos, son los más utilizados. Ejemplos de este tipo de polvos son: el negro marfil, que se obtiene de marfil calcinado y pulverizado; y el negro de humo, que se produce mediante la combustión de compuestos resinosos y genera un vapor capaz de contrastar sobre superficies blancas, azules y violetas, dando óptimos resultados sobre vainas servidas.

El negro de carbono es uno de los polvos para huellas latentes más comunes, reconocido por su versatilidad y eficacia. Funciona en una amplia gama de superficies produciendo imágenes de color gris-negro que pueden visualizarse sobre diversos colores, y también puede prepararse junto a colorantes fluorescentes, adoptando las características de una técnica fotoluminiscente.

- **Polvos de aluminio:** son polvos de tonalidad gris perla, de bajo peso y altamente volátiles que por su gran capacidad de adherencia, brindan excelentes resultados sobre rastros o huellas antiguas que han sido afectadas por el medio ambiente.
- **Polvos de bronce:** son polvos brillantes de tonalidad rojiza y dorada que se visualizan oscuros en la toma fotográfica, por lo que se aplican sobre superficies claras.
- **Polvos rojos:** son polvos procedentes del carmín. Tienen la particularidad de ser higroscópicos, por lo que su estado se ve altamente influenciado por las condiciones de humedad medioambientales y se utilizan en circunstancias específicas sobre superficies altamente reflectoras, como espejos y metales pulidos o cromados. Uno de los más conocidos es el rojo de Nilo, que se comercializa en forma de solución y que reacciona con gran efectividad con los lípidos de los residuos.
- **Polvos fluorescentes:** son reactivos pulverulentos con propiedades fluorescentes y fosforescentes, más sensibles que los métodos tradicionales y comúnmente utilizados sobre superficies multicolores y sobre la piel humana, requiriendo de una lámpara de

Wood o UV para el revelado. Algunos de ellos son el antraceno, el sulfuro de zinc, el rizoma de hidrastis y el ortosilicato de zinc.

Generalmente se elaboran a partir de una solución compuesta de un colorante láser y un aglutinante, la que se deja evaporar para luego moler en polvo el residuo seco resultante.

- **Polvos magnéticos:** son polvos compuestos por una mezcla de sustancias colorantes adherentes y magnetita finamente pulverizada, que se aplican mediante una varilla imantada o pincel magnético.

Esta técnica utiliza las propiedades magnéticas del polvo de hierro que funciona como vehículo del polvo de pigmento.

Son utilizados principalmente para el revelado sobre papel y otras superficies porosas y limpias como madera, vinilos, vidrios y metales no ferrosos; y se encuentran disponibles en diversas tonalidades como negro, plata, gris, oro y blanco, cuya elección dependerá del color de la superficie a tratar.

4.1.2.2 Deposición de metal al vacío (VMD)

Es un método que emplea la tecnología de revestimiento de vacío para la evaporación de metales y la posterior deposición de películas delgadas de los mismos (23).

El equipo consta de una cámara de vacío a una presión muy baja, filamentos necesarios para la sublimación de oro y zinc, y una ventana de visualización a través de la cual se monitorea la deposición de zinc (23).

En este sistema, el oro sublima bajo condiciones de vacío para formar una fina película invisible sobre la superficie a examinar, y del mismo modo, es depositada una segunda capa de zinc. Este último metal recubre los espacios entre y alrededor de las crestas de fricción, donde el oro se encuentra más expuesto, generando la aparición de crestas transparentes, mientras los surcos y el fondo se ven oscuros (23).

Esto se explica considerando que el oro puede depositarse sobre cualquier superficie formando núcleos con morfologías dependientes de la naturaleza de ésta, y resultando en un recubrimiento muy delgado y discontinuo. Sin embargo, en regiones cubiertas por los residuos

grasos de una huella dactilar latente, el oro difunde en la grasa sin existir núcleos cerca de la superficie. Como consecuencia, cuando el zinc se deposita posteriormente, se condensa sobre el sustrato de fondo donde se encuentran los núcleos de oro, pero no en las regiones de depósito de grasa (las crestas de fricción) (23).

En sus inicios, esta técnica se empleó para la detección de huellas latentes sobre láminas de polietileno pero luego demostró ser eficaz para otros tipos de sustratos, presentando extrema sensibilidad en huellas latentes antiguas y depósitos que han estado en contacto con agua, además de un excelente rendimiento para la detección de rastros sobre una gran diversidad de superficies no porosas suaves como negativos de fotografías, revistas, cueros, plásticos moldeados, armas de fuego y vasos (36). No obstante, el equipamiento es costoso, se necesita de operadores experimentados y el proceso requiere de bastante tiempo.

Por otra parte, muchos de los artículos tratados con este procedimiento también pueden ser sometidos a vapores de cianoacrilato, por lo que el factor decisivo en cuanto a que técnica utilizar es si la superficie fue humedecida, dado que solo VMD resulta eficaz bajo esta condición. Sin embargo, en caso de disponer de ambas metodologías es posible aplicarlas en secuencia, aunque aún no está claramente establecido cuál de las dos técnicas debe implementarse en primer lugar (23).

4.1.2.3 Reactivos de nanopartículas

El interés de estos reactivos en la detección de huellas dactilares se debe a las características propias de las nanopartículas como su tamaño, que garantiza una excelente resolución en la detección; su estructura, que puede ser fácilmente modificada mediante la adición de cadenas moleculares o grupos funcionales químicos en su superficie; y sus propiedades ópticas, que permiten la obtención de huellas dactilares luminiscentes (31, 35).

- **Nanopartículas de metal**

- **Revelador físico (PD):** este reactivo consta de una mezcla ácida de nitrato de plata, partículas ferrosas y férricas (sulfato de amonio ferroso/nitrato férrico) y detergentes (acetato de N-dodecilamina y synperonic NP8).

En dicha solución, la reducción de los iones plata forma coloides con carga negativa (nanopartículas) rodeados por las moléculas tensoactivas del detergente que impiden su agregación. Sin embargo, cuando la formación de estas nanopartículas ocurre en las inmediaciones de un residuo de huella digital latente - el cual tendrá cargas positivas debido al pH ácido de la solución - se atraen y se depositan en él, y una vez allí actúan como sitios de reducción de iones de plata adicionales, haciendo que los depósitos de huellas se vuelvan visibles progresivamente.

Este reactivo tiene la capacidad de reaccionar con el cloruro de sodio presente en el sudor y es de gran utilidad sobre superficies porosas, principalmente aquellas humedecidas, generando revelados de color gris.

Presenta excelentes resultados sobre papeles mojados, tiras adhesivas de sobres, cintas adhesivas y billetes. Sin embargo, sólo es útil sobre sustratos de color blanco y el preparado de este reactivo es delicado, partiendo de una solución inestable y requiriendo de personal experimentado (31).

- **Deposición multimetálica (MMD):** consiste en la aplicación secuencial de una solución de oro coloidal y PD modificado, donde el tratamiento con oro ofrece sitios de nucleación en el residuo de huellas latentes para el posterior desarrollo del revelado con PD.

Esta técnica se basa en la atracción electrostática entre nanopartículas de oro y las secreciones que componen un residuo de huella latente cuando el pH de la solución de oro coloidal se ajusta a 2,65.

Dado que las huellas detectadas por nanopartículas de oro adquieren una coloración rosa muy débil, para aumentar el contraste se lleva a cabo una segunda deposición de metal mediante la reducción de iones de plata (PD) en la superficie de las nanopartículas de oro, que actúan como sitios catalíticos de esta reacción, dando revelados de color marrón fácilmente visibles.

Esta metodología actúa sobre los componentes hidrófobos de residuos de huellas latentes y resulta útil para su visualización, tanto en superficies porosas como en no porosas como vidrio, metal, cerámica y plástico, sean oscuras o claras.

Una alternativa a esta técnica es la deposición de un único metal (SMD) donde el procedimiento es similar, excepto que la segunda fase de deposición se lleva a cabo por reducción de iones de oro en lugar de plata (37, 38). Esta práctica brinda resultados muy similares a MMD pero resulta menos costosa y más sencilla.

- **Reactivo de partículas pequeñas (SPR):** también conocido como reactivo de partículas suspendidas. Consiste en una suspensión de finas partículas de disulfuro de molibdeno en un detergente, las cuales se adhieren a la matriz lipídica de los residuos de huellas latentes formando un depósito de color gris. Si bien es un método de baja sensibilidad, es de gran utilidad para el revelado sobre superficies no porosas oleosas, texturadas, húmedas o con suciedad, donde los polvos adherentes no pueden aplicarse. Se encuentra disponible en color blanco y negro, y en variantes como por ejemplo, suspensiones de partículas de carbonato de zinc o soluciones SPR fluorescentes (39, 40).
- **Puntos cuánticos (QDs):** son nanopartículas semiconductoras cristalinas que contienen de cientos a miles de átomos que varían en tamaño de 1 a 10 nm, y presentan una intensa luminiscencia a temperatura ambiente. Poseen un amplio espectro de excitación, donde la longitud de onda de emisión depende del tamaño de la nanopartícula. Nanopartículas más grandes emiten en el rango del espectro infrarrojo (IR) y rojo, y las más pequeñas, en el UV y azul.

Estos materiales presentan un rendimiento superior en comparación con los tintes fluorescentes orgánicos (41). Pueden ser sintetizados en agua o en disolventes orgánicos, y recubrirse su superficie para obtener selectividad frente a componentes de residuos de huellas latentes.

Como ejemplo pueden citarse: nanocristales de sulfuro de cadmio (42, 43), de cadenas alifáticas (44), y nanopartículas de sulfuro, seleniuro y telurio de cadmio (45, 46). Aunque

actualmente, el uso de QDs para detectar huellas latentes sigue siendo una propuesta en investigación y no se ha implementado en la práctica forense.

- **Nanopartículas de sílice:** si bien para la detección de huellas digitales latentes, su uso permanece en la fase de estudio, los resultados muestran su considerable potencial como estrategia para la detección de residuos a través de la combinación de nanopartículas de sílice marcadas con compuestos luminiscentes y ligandos específicos.

La síntesis de nanopartículas de sílice es un método simple, durante el cual la aplicación de colorantes permite su fijación a éstas, aumentando su estabilidad y su rendimiento de emisión (47).

En relación a ello, una de las principales ventajas de estas partículas es su versatilidad, dado que sus superficies poseen grupos silanos que pueden sufrir fácilmente modificaciones químicas. No obstante, en el marco de las ciencias forenses aún persiste el reto de descubrir cuáles son los grupos funcionales adecuados para añadir a estas nanopartículas que optimicen el revelado de huellas latentes sobre diversos sustratos.

4.1.2.4 Reactivos químicos

A pesar de que su aplicación es más dificultosa que los reactivos físicos, brindan excelentes resultados sobre diversas superficies, especialmente frente a rastros antiguos. Al igual que los físicos, existe un gran número de reactivos químicos cuya aplicación dependerá de las características del sustrato a tratar (3, 4, 23).

- **Ninhidrina:** es el reactivo químico de elección para el revelado de huellas dactilares latentes en documentos y otras superficies porosas. Este compuesto reacciona con los aminoácidos presentes en los residuos, generando un compuesto de color púrpura conocido como Púrpura de Ruhemann, el cual permanece por un corto lapso del tiempo debido a que se degrada en presencia de luz y oxígeno, por lo que en muchos casos se requiere de la aplicación de un fijador.

Dado que los aminoácidos son relativamente estables en el tiempo sobre superficies de papel, la ninhidrina se considera el método más efectivo para revelar huellas latentes antiguas sobre este sustrato.

Su formulación con acetona como solvente es la más común, sin embargo, este tipo de preparado puede generar alteraciones irreversibles sobre tintas y escritos que se encuentren en el papel bajo estudio. Otras opciones de solventes pueden ser metanol o xileno, pero estos son extremadamente tóxicos para el ser humano.

Desde su primer uso, se ha intentado mejorar esta técnica con el objetivo de lograr un reactivo más sensible y mezclas de disolventes más seguros.

La capacidad de convertir revelados con ninhidrina en impresiones altamente fluorescentes permitió mejorar el contraste sobre diversos sustratos y obtener técnicas más sensibles, y hoy existe una extensa cantidad de reactivos a base de este compuesto que brindan excelentes resultados en una amplia gama de colores y superficies de fondo (48).

- **1,8-diaza-9-fluorenona (DFO):** dadas sus características y metodología de aplicación, su uso es muy similar al de la ninhidrina. Este compuesto también tiene la particularidad de reaccionar con aminoácidos de residuos de huellas latentes, ofreciendo revelados de color rojizo, y es considerado el mejor reactivo fluorescente para el revelado de huellas dactilares (36). Tiene la facultad de generar impresiones luminiscentes sobre papel, es altamente sensible, con una solubilidad adecuada en solventes no polares, y su aplicación permite un posterior revelado con ninhidrina y reveladores físicos, además de no necesitar un tratamiento secundario para obtener luminiscencia (49).
- **1,2-Indanediona:** es un compuesto análogo a la ninhidrina que reacciona con los aminoácidos de una manera muy similar, generando una fluorescencia que puede observarse a 520 nm y a través de un filtro de 590 nm, y cuya intensidad puede mejorar con un post-tratamiento con sal de zinc (50).

Se ha reconocido que este reactivo tiene mayor capacidad de revelar huellas digitales latentes respecto a DFO (51), ninhidrina, o la secuencia de ambos (52), mientras que el

tratamiento secuencial de 1,2-indanodiona y DFO es más sensible que la aplicación simple de 1,2-indanodiona (50).

- **5-metiltioninhidrina (5-MTN):** este análogo reacciona con aminoácidos de una manera idéntica a la ninhidrina dado que núcleo reactivo cromogénico de la molécula no se modifica por la adición del grupo de azufre, generando relevados de color púrpura. Su importancia y virtud radica en que ante un tratamiento con sal de zinc, el color del residuo revelado con 5-MTN vira de púrpura a rosa, acompañado por el desarrollo de una marcada fluorescencia al excitarse con una fuente de luz a 520 nm y que se ve a través de un filtro de 590 nm con una intensidad comparable a la de DFO. Si bien esta ventaja es evidente sobre el uso de ninhidrina, 5-MTN no produce mejores resultados frente a DFO o 1,2-indanodiona (36).
- **Cristal violeta:** este agente revelador es de gran utilidad para el tratamiento de huellas depositadas sobre cintas y etiquetas adhesivas, y con la capacidad de colorear a las secreciones presentes en residuos de huellas latentes de color violeta intenso. Un reactivo alternativo, consistente en una mezcla líquida de leuco-cristal violeta, es de suma importancia para el revelado de huellas latentes contaminadas con sangre dada su capacidad de teñir los componentes proteicos de este fluido.
- **Nitrato de plata:** en este procedimiento de revelado los iones de plata reaccionan con el cloruro de sodio y otras sales provenientes de la secreción sudorípara, formando cloruro de plata y adquiriendo una tonalidad castaña rojiza, que luego se modificará por exposición a una fuente de luz azul o violeta a revelados de los colores propiamente dichos. Su eficacia sobre superficies porosas se fundamenta en que el proceso de precipitación del cloruro de plata es más rápido que la capacidad del vehículo acuoso en disolver el cloruro de sodio presente en los residuos de huellas latentes, al mismo tiempo que dicho compuesto insoluble queda retenido dentro de la estructura micro-rugosa del sustrato poroso. El cloruro de plata formado se convierte gradualmente a plata elemental

mediante su foto-reducción bajo exposición a la luz ambiental. Sin embargo, este proceso se acelera con radiación UV, obteniéndose óptimos resultados a longitudes de onda más cortas (254 nm).

Es uno de los métodos químicos de revelado más antiguo, y aunque su uso ha decrecido en el tiempo frente a otras técnicas más sensibles, algunos laboratorios siguen utilizándolo sobre materiales porosos, especialmente luego del tratamiento con ninhidrina. Sin embargo, dado que los iones cloruro en el residuo latente se difunden con el tiempo y la humedad acelera esta difusión, la resolución de las impresiones desarrolladas se ve afectada y las pruebas deben examinarse lo más pronto posible. Además, presenta las desventajas de no poder aplicarse sobre superficies de valor sin previa autorización, su carácter nocivo y el especial cuidado de no trabajarlo en lugares luminosos (4).

- **Cianoacrilato:** es un éster (metil o etil cianoacrilato) con alta capacidad de adherencia y polimerización en contacto con el aire. Se presenta como un líquido incoloro con elevada presión de vapor, cuyos vapores polimerizan selectivamente sobre las crestas de fricción de huellas latentes. Si bien no se conoce con exactitud el mecanismo, recientes investigaciones indican que las aminas solubles en agua y grupos carboxílicos presentes en los residuos de huellas latentes serían los iniciadores principales de la polimerización de este compuesto (36).

El cianoacrilato es utilizado sobre superficies no porosas y compactas, e incluso sobre piel humana, generando huellas de color blanco y corteza dura que pueden mejorarse mediante el empleo de polvos adhesivos contrastantes.

De este modo, las impresiones desarrolladas se basan en una matriz tridimensional, a menudo visible a simple vista y que generalmente son más resistentes y duraderas que las huellas latentes no tratadas, por lo que en ciertos casos se recomienda esta técnica como un medio eficaz para la estabilización de las mismas durante su almacenamiento y transporte (4).

Aun en la actualidad, la aplicación de humos de cianoacrilato se considera un medio de revelado versátil y eficaz para prácticamente todas las superficies no porosas, y

particularmente efectiva en sustratos rugosos, donde el contacto físico con los cepillos utilizados para aplicar polvos reveladores tiende a desarrollar la textura del material junto con las huellas latentes. Además, es una técnica de bajo costo y fácilmente adaptable a las diversas condiciones que pueden presentarse en la escena del crimen y en el laboratorio.

No obstante, es importante destacar que la solución y sus vapores pueden causar lesiones en la piel, ojos y membranas mucosas, por lo que deben tomarse ciertos recaudos a la hora de su manipulación, como una adecuada ventilación, disponer de equipos de protección personal y tener presente las advertencias del fabricante y datos de las hojas de seguridad.

- **Yodo metaloide:** este revelador se presenta en láminas de color negro grisáceo que produce vapores violáceos que se combinan con otros metales formando sales.

Sólo puede ser utilizado sobre una pequeña variedad de superficies como papel o cartón, pero tiene la ventaja de que no produce corrimiento de tintas o escrituras, ni revelados permanentes. Sin embargo, los rastros revelados se pierden con mucha rapidez y deben ser fotografiados inmediatamente (4).

Es un método sencillo, rápido y de bajo costo, pero no posee la sensibilidad suficiente para utilizarse frente a rastros antiguos, y los vapores generados son tóxicos y corrosivos.

- **Cristales de yodo:** este procedimiento consiste en la sublimación de yodo frente al calor y su adherencia a residuos de huellas latentes, generando un color amarillento que se desvanece rápidamente, pero que puede fijarse mediante la aplicación de una solución de almidón (4).

Es un revelador utilizado tradicionalmente sobre soportes porosos previo al tratamiento con ninhidrina o nitrato de plata, y puede aplicarse de diversas maneras: con aplicadores descartables (fáciles de utilizar tanto en el laboratorio como en el lugar del hecho), mediante el uso de gabinetes de vaporización, o un gabinete fumigador (23).

- **Cloruro de zinc:** los revelados débiles con ninhidrina pueden mejorarse mediante la conversión a impresiones fluorescentes a través del tratamiento con este compuesto, siendo un método tradicional para realzar las huellas obtenidas luego del tratamiento con ninhidrina (4).
- **Bisulfito de molibdeno:** es un agente revelador ideal para superficies húmedas o mojadas, resultando útil para el revelado de huellas expuestas a la intemperie. Se encuentra en presentaciones de color blanco o negro y es el único reactivo químico que no presenta toxicidad (4).
- **Floretina B:** es una sustancia química con las características óptimas para revelar huellas latentes sobre superficies oscuras o multicolores.
- **Androx:** es un líquido fluorescente utilizado con la finalidad de realzar huellas reveladas con cianoacrilato.
- **Amarillo básico 40:** es un colorante amarillo que junto con una fuente lumínica UV, tiene la capacidad de realzar depósitos que fueron previamente tratados con cianoacrilato.
- **Rojo básico 28:** esta solución, junto a una fuente de luz UV, realza huellas reveladas con cianoacrilato, y proporciona un amplio rango de fluorescencia al mezclarse con Amarillo básico 40.
- **Rodamina 6g:** es un colorante que brinda excelentes resultados al realzar revelados con cianoacrilato, rayos láser y otros métodos no destructivos.
- **Mezcla RAR:** esta solución consta de una mezcla de androx, amarillo básico 40 y rojo básico 28 que, aplicada sobre rastros relevados con cianoacrilato, provee un amplio rango de fluorescencia.

- **Mezcla RAM:** solución que se obtiene al combinar rodamina 6g, androx y bisulfito de molibdeno, también utilizada sobre rastros revelados con cianoacrilato.
- **Oil red O:** técnica ampliamente utilizada en el campo de la biología molecular para la tinción de lípidos y lipoproteínas, pero relativamente nueva para la detección de huellas digitales en superficies porosas y para la tinción de marcas de labios (53, 54). Cuando un sustrato poroso se sumerge en una solución de Oil red O, los depósitos de huellas latentes se observan como marcas de color rojo debido a la acumulación de las moléculas de colorante, mientras que el sustrato adquiere una ligera coloración rosada o rojo claro, generando el contraste suficiente para permitir una buena visualización.
- **Sudan Black:** es un colorante capaz de interactuar con componentes sebáceos de residuos de huellas latentes y utilizado para el revelado en superficies no porosas y algunas semi-porosas, como por ejemplo guantes de látex y algunas cerámicas, dado que los materiales porosos tienden a absorberlo, perdiendo la capacidad de contraste entre el depósito revelado y el sustrato.

También es de gran utilidad para mejorar detalles de crestas de fricción reveladas previamente como vapores de cianoacrilato y cuando el revelado debe ser sobre superficies contaminadas con grasa, residuos de alimentos u otros depósitos secos como dulces o azúcar.

Es un método sencillo que da lugar a impresiones de color negro y que pueden ser posteriormente levantadas utilizando las cintas convencionales empleadas en los procedimientos de revelado con polvos físicos adherentes.

- **Tetróxido de osmio y tetróxido de rutenio:** estos compuestos pueden reaccionar con los dobles enlaces de los compuestos orgánicos insaturados que se encuentran en los depósitos de huellas latentes a través de un mecanismo de oxidación (55).

La exposición directa a vapores de tetróxido de osmio ofrece impresiones de color negro después de 1 a 12 horas, mientras que el tetróxido de rutenio genera revelados grises después de 10 a 20 minutos (56, 57).

Brindan excelentes resultados sobre diversas superficies, especialmente las más problemáticas, como la piel humana. No obstante son potencialmente tóxicos, por lo que existen altos riesgos asociados a su manipulación. No se utilizan de forma rutinaria y sólo en laboratorios adecuadamente equipados (58).

- **Genipín:** este compuesto es un producto natural extraído de la *Gardenia jasminoides*, que al reaccionar con aminoácidos presentes en residuos de huellas latentes genera un producto de color azul capaz de desarrollar luminiscencia roja a temperatura ambiente (59, 60). Posee la ventaja de ser un producto natural y no tóxico, y es el único compuesto químico que reacciona con aminoácidos generando una marca dual (coloración y luminiscencia).
- ***P*-4-dimetilaminocinamaldehído (*p*-DMAC):** este reactivo genera revelados de color rojo y luminiscentes al interactuar con la urea de depósitos de huellas dactilares sobre superficies porosas. Sin embargo, es menos sensible que aquellos reveladores que interactúan con aminoácidos y desarrolla impresiones de baja calidad cuando se aplica sobre residuos de más de 2 días de antigüedad, por lo que su uso se ha cuestionado y no se utiliza de forma rutinaria (61).
- **Naftoquinonas:** algunas naftoquinonas son frecuentemente utilizadas como colorantes de la piel y el cabello, y en la actualidad representan un nuevo grupo de compuestos capaces de revelar huellas digitales latentes. Se ha evidenciado que el compuesto 2-hidroxi-1,4-naftoquinona genera productos de color púrpura que exhiben luminiscencia roja al reaccionar con aminoácidos. Sin embargo, los resultados obtenidos hasta el momento son sólo experimentales y se requieren más estudios de investigación para considerarlo un agente revelador eficaz (31).
- **Otros reveladores químicos:** además de las presentadas, existen técnicas especiales que son implementadas por algunos pocos laboratorios o que simplemente, se han desarrollado para el revelado de superficies problemáticas o en casos específicos.

Algunos ejemplos de éstas son: dióxido de sulfuro radioactivo, útil para el revelado de telas y cintas adhesivas, y tetrametilbencidina, Amido black y Azul de Coomassie, para el revelado de huellas contaminadas con sangre, entre otros (23).

4.1.2.5 Revelado secuencial

Aunque se han descrito numerosas técnicas de revelado, sólo algunas son ampliamente utilizadas en la práctica dentro de diversas combinaciones y modificaciones (21).

A menudo, el uso seriado de distintos agentes reveladores es el procedimiento de elección, dado que brinda mejores resultados en comparación con tratamientos simples de una sola técnica (22).

En este sentido, se han propuesto diversos procedimientos de revelado secuencial para distintas condiciones y superficies, a fin de proporcionar la máxima probabilidad de visualización y recuperación de huellas latentes (21). No obstante, éstos han sido establecidos de manera empírica y sólo para las superficies más comunes (Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Ejemplos de revelado secuencial en superficies comunes (21).

Orden de Tratamiento	SUSTRATOS			
	Papel	Papel semi-brillante	Papel brillante	Plástico
1	Fuente de luz	Fuente de luz	Fuente de luz	Fuente de luz
2	DFO	Cianoacrilato	VMD	VMD
3	Ninhidrina	DFO	Cianoacrilato	Cianoacrilato
4	PD	Ninhidrina	DFO	Rosamina 6g en agua
5	.....	PD	Ninhidrina	Cristal violeta
6	.....	.....	PD modificado	Rosamina 6g en metanol

*Examen con fuentes lumínicas que involucra: inspección visual, observación de fluorescencia bajo iluminación láser y observación bajo luz UV.

4.1.3 Factores que influyen en la selección del método de revelado

4.1.3.1 Sustrato

Las propiedades de la superficie sobre la cual se debe trabajar es un aspecto determinante al momento de la elección del procedimiento de relevado.

Los reactivos y formulaciones disponibles se han desarrollado considerando tanto su especificidad química o física frente a un residuo de huella latente, como las características de la superficie involucrada, y diversas fuentes bibliográficas distinguen los procesos de relevado dependiendo de las superficies sobre las cuales se aplican (23).

No obstante, sigue resultando necesario el desarrollo de nuevos reactivos y procedimientos debido al constante avance tecnológico y la aparición de nuevos materiales.

4.1.3.2 Características y naturaleza del reactivo

Es de suma importancia conocer las propiedades químicas y físicas de los compuestos reveladores y cómo estos pueden interactuar con la matriz sobre la cual se aplican. En muchas circunstancias surge la necesidad de conservar inalterado el material bajo estudio, por lo que el método de elección puede no ser el que ofrezca mejores resultados de visualización, sino aquel que mejor se adapte a la situación particular (21).

4.1.3.3 Formulación del reactivo

Los compuestos utilizados para formular soluciones de relevado cumplen diversas funciones, como por ejemplo: disolver el reactivo, ser el medio de transporte del agente revelador dentro de una superficie, o proveer las condiciones necesarias para que se lleve a cabo el proceso de relevado sin generar interferencia.

Se han evaluado e implementado variantes de formulaciones con el objetivo de optimizar resultados. Sin embargo, al igual que con el compuesto revelador, es de vital importancia considerar las condiciones bajo las cuales se llevará a cabo la reacción (21).

4.1.3.4 Condiciones de reacción

Un resultado óptimo puede considerarse dependiente de los siguientes factores: el agente revelador utilizado, su formulación y las condiciones bajo las cuales se desencadena la reacción. Es evidente que ciertos procedimientos de revelado dan mejores resultados cuando las condiciones han sido total o parcialmente modificadas, pero dicha optimización se ha logrado mediante ensayos de prueba y error sobre algunos pocos métodos y no están sustentados sobre una base científica. Por lo tanto, son necesarios estudios en profundidad sobre los mecanismos cinéticos implicados en estas reacciones para perfeccionar las técnicas ya existentes y mejorar los resultados (21).

4.1.3.5 Compatibilidad Forense

Al momento de aplicar una técnica de relevado es eminente conocer el destino del material bajo estudio. En ciertos casos, posteriormente al proceso de visualización y detección de huellas, suele requerirse de otros estudios forenses ajenos a la investigación papiloscópica, como análisis de ADN o exámenes documentológicos, por lo que el operador deberá seleccionar la técnica adecuada que no interfiera con dichos análisis ulteriores (33, 62).

4.2 Levantamiento y Traslado

Una vez que una huella o rastro latente se ha revelado, se procede a su levantamiento y traslado. Frente a todas las situaciones posibles en las que puede hallarse una huella latente, es primordial considerar el tipo de superficie sobre la cual se sitúa, dado que algunas pueden ser de dimensiones pequeñas y móviles, mientras que otras son fijas o de un gran tamaño que imposibilita su traslado. Para estos casos, existen diversos procedimientos mediante los cuales una huella o rastro puede ser separado o levantado de la superficie que lo contiene y así ser resguardado y transportado (8).

La técnica tradicional consiste en aplicar cintas levantadoras transparentes con base de celofán o polietileno, existiendo alternativas, como cintas congeladas, que se tornan claras una vez colocadas sobre el soporte; o los denominados levantadores ensamblados, que constan de una combinación de una hoja adhesiva de acetato y una hoja de soporte (3, 4).

Sin embargo, hay que tener presente que no todas las superficies permiten el levantamiento de una huella o rastro. En estos casos, si el material es fácilmente transportable, se procede a sellar el depósito revelado para su posterior traslado y manipulación, mientras que si se trata de superficies fijas, éste se registra mediante fotografía (7).

Si bien la toma fotográfica también es el método a través del cual se obtiene el registro de aquellas huellas reveladas mediante métodos lumínicos o técnicas que generan productos inestables y/o momentáneos; cuando un rastro es revelado, independientemente de la técnica utilizada, se recomienda su registro fotográfico previo a cualquier procedimiento de levantamiento o manipulación, por lo que se cuenta con una amplia variedad de cámaras y dispositivos fácilmente adaptables según la naturaleza del revelado (63).

El objetivo o la importancia de esto radica en generar un registro de la evidencia en el lugar del hecho y del modo en que fue hallada, además de resguardar la prueba ante la posibilidad de que ésta pueda dañarse durante el proceso de levantamiento o traslado.

Una vez que la muestra fue levantada, el embalaje debe garantizar su integridad, evitar el contacto con contaminantes y asegurar la cadena de custodia. En este sentido, las cajas de cartón, bolsas de papel y bolsas de plástico son los envases contenedores más comunes. Sin embargo, deben considerarse diversos factores a la hora de elegir el medio de resguardo más adecuado (4).

En casos de muestras húmedas, es de vital importancia su secado antes de su envasado, dado que la humedad excesiva dentro de cualquier envoltorio aumenta la probabilidad del crecimiento de hongos y la consecuente destrucción de la muestra.

Por otra parte, los elementos no porosos no deben entrar en contacto ni rozarse entre sí, por lo que deben ser asegurados por separado en envases del tamaño adecuado que impida el desplazamiento y frotamiento, mientras que materiales porosos pueden almacenarse juntos dentro de cajas, sobres o bolsas, dado que los residuos sobre este tipo de materiales no son propensos a borrarse ante el contacto. Sin embargo, bajo ninguna circunstancia se recomienda el uso de material relleno, como por ejemplo viruta o papel, junto con las muestras dentro del paquete de embalaje.

Finalmente, una vez asegurado el material, el envase contenedor debe ser sellado y correctamente identificado (4).

4.3 Observación y Reconocimiento

4.3.1 Técnica "ACE-V"

En la literatura, la técnica general para examinar impresiones de las crestas de fricción de la piel se describe como "ACE-V", haciendo referencia a un complejo estudio que involucra un proceso de Análisis, Comparación, Evaluación y Verificación (7, 64).

ACE-V es una simple explicación de las fases que intervienen en la percepción y la toma de decisiones durante un examen de impresiones papiloscópicas, brindando la descripción de un método de comparación de datos para formular una hipótesis sobre el origen de una impresión, la experimentación para determinar si existe un acuerdo o desacuerdo, una evaluación de los resultados obtenidos, y una nueva prueba para determinar si la conclusión puede ser repetida (65).

4.3.1.1 Análisis

El procedimiento general comienza con el análisis de una huella digital latente desconocida, para lo cual el personal técnico debe considerar la amplia variedad de factores que afectan la calidad y la cantidad de una impresión, como lo son las condiciones de la piel (daños superficiales, presencia de cicatrices permanentes, posibles patologías dérmicas, intentos de ocultamiento, etc.), el tipo y cantidad de residuo, el mecanismo de contacto, las características del sustrato (textura, forma, color, flexibilidad, etc.), las técnicas de revelado y levantamiento disponibles, y el tamaño o porcentaje de la impresión accesible para el análisis comparativo (65). De este modo, sobre la base de su comprensión, formación y experiencia, el examinador establece los niveles de detalle disponibles para comparar dicho residuo con una impresión indubitada.

Si considera que el residuo en cuestión es de baja calidad o no posee suficiente detalle para un posterior examen de comparación, no se continuará con el resto del proceso y dicha impresión será calificada como no apta. En caso contrario, se procede con la etapa de comparación.

4.3.1.2 Comparación

Este procedimiento se basa en la comparación visual entre la huella latente e impresiones conocidas, analizando todos los detalles (minucias) de las crestas de fricción disponibles, sus secuencias y configuraciones, y otros parámetros como cicatrices, posibles lesiones, etc. (65).

De este modo, el operador realiza mediciones comparativas en todos los niveles y considera la tolerancia aceptable de las variaciones encontradas, dado que ninguna impresión puede ser perfectamente replicada.

4.3.1.3 Evaluación

La etapa de comparación culmina con una evaluación de conformidad basada en los resultados obtenidos, donde el personal técnico evalúa la suficiencia de los detalles presentes para establecer una identificación, formulando una conclusión fundamentada por el análisis y comparación papiloscópica (65).

La identificación se logra cuando éste concluye que existe suficiente coincidencia en cuanto a cantidad y calidad de detalle de las crestas de fricción entre la huella latente y la impresión conocida. De existir discrepancias entre ambas, el procedimiento indica una fuente de exclusión, mientras que si no es posible obtener un resultado concreto de identificación o de exclusión, éste se considera no concluyente.

4.3.1.4 Verificación

Se ha establecido que la reproducibilidad de los resultados obtenidos en un análisis dactiloscópico puede verse afectada debido a la variabilidad analítica existente entre operadores (66-68).

La verificación es un examen independiente llevado a cabo por otro técnico calificado que resulta en la misma conclusión.

De este modo, luego de la primera evaluación, un segundo examinador reitera las observaciones y reafirma la conclusión establecida por el primer operador, con la finalidad de garantizar un resultado fidedigno y reproducible (65).

Esta etapa se requiere para todos los casos donde fue posible la individualización, es opcional para conclusiones de exclusión o determinaciones no concluyentes, y debe llevarse a cabo mediante el procedimiento adecuado que garantice que el técnico verificador será capaz de llegar a una conclusión imparcial sin estar influenciado por las resoluciones del primer examinador.

4.3.2 Sistema Automático de Identificación de Huellas Dactilares

Este sistema conocido como AFIS por sus siglas en inglés, consta de un programa informático capaz de digitalizar un dactilograma y guardar esa información asignándole un algoritmo específico (69).

Cuando una huella es escaneada, la ubicación, dirección y características de las crestas de fricción se representan en un sistema de ejes x e y, convirtiéndose en datos numéricos que se almacenan en la memoria de un ordenador junto con informaciones de registro como nombre, fecha de nacimiento, etc. (70).

Mediante una clasificación basada en la ubicación y dirección de las minucias y sus relaciones espaciales entre sí, este sistema tiene la facultad de cotejar de forma automática los dactilogramas que se encuentran en su base de datos con aquellos dubitados, permitiendo su reconocimiento y agilizando los procedimientos relacionados a la identificación humana.

Sus principales ventajas son: la rapidez de búsqueda en comparación con la realizada manualmente por un operador, el desarrollo de criterios de clasificación con mayor coherencia y la abolición del almacenamiento de un gran volumen de huellas digitales en papel (69).

Sin embargo, en la tarea de determinar la identidad, este sistema no sustituye la presencia del técnico dactiloscópico, quien debe establecer la correspondencia o no de las improntas cotejadas y señaladas por éste (71, 72).

Así, la evaluación de las huellas latentes en la escena del crimen, al igual que los pasos metodológicos propios de este sistema informático, requirieren de la interpretación humana, aunque ésta se considere subjetiva.

CAPÍTULO 5

Composición Química de Residuos de Huellas Latentes

Una huella latente es una mezcla compleja de secreciones naturales y contaminantes medioambientales.

Como fue planteado por Girod y col. (74), la variabilidad observada en la composición química de residuos de huellas latentes puede considerarse el resultado final de dos etapas sucesivas: una primera etapa donde se genera un depósito por el simple contacto de la piel con una superficie, el cual tendrá una dada composición química (composición inicial); y una segunda etapa causada por el tiempo transcurrido desde la etapa inicial hasta que el residuo es detectado y analizado.

En una etapa inicial, el depósito transferido hacia una superficie puede estar sujeto a la influencia de diversos factores: las características propias del donante, las condiciones bajo las cuales se desarrolla el contacto y la naturaleza del sustrato o superficie en cuestión. Mientras que las variables a considerar una vez transcurrido un tiempo determinado desde esa deposición inicial son: la naturaleza del sustrato, las condiciones medioambientales y las técnicas empleadas en el proceso de visualización y levantamiento de huellas latentes (Figura 6.1).

De este modo, la diversidad observada en la composición química final de estos residuos es el resultado de la suma de la variabilidad en la composición inicial y la generada por la influencia del paso del tiempo.

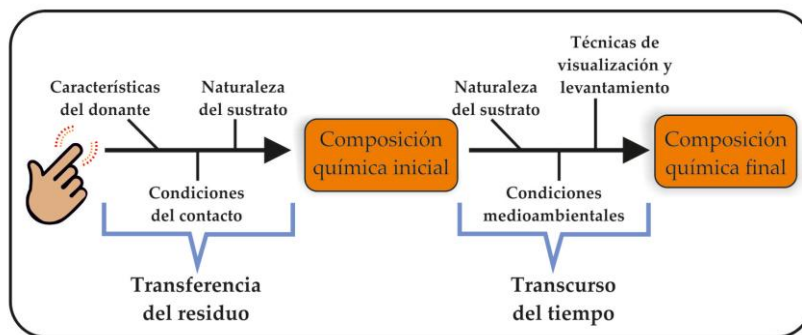


Figura 5.1: Representación de las variables que afectan la composición química de residuos de huellas latentes. Adaptado de (74).

5.1 Composición Química Inicial

El sudor secretado a través de los poros sudoríparos llega a la superficie cutánea y se acumula a lo largo de las crestas de fricción. De esta manera, cuando la piel entra en contacto con una superficie u objeto, el sudor y el material presente en ella son transferidos, dando lugar a una huella latente (una imagen detallada de las crestas de fricción como forma de estampa) sobre la superficie en cuestión (21).

Sin embargo, la composición química de un residuo de huella latente es mucho más compleja que la del sudor, siendo una mezcla de diversas sustancias de origen intrínseco (provenientes de la epidermis y de las glándulas secretoras de la dermis), compuestos derivados de medicamentos o metabolitos de drogas de abuso, y componentes extrínsecos como sangre, suciedad o contaminantes procedentes de cosméticos, alimentos, etc. (74). Pudiendo todos ellos variar significativamente entre individuos, en un mismo individuo en la sucesión de los días, o incluso en el transcurso de un día (75).

5.1.1 Componentes intrínsecos

La proporción del componente acuoso en huellas digitales latentes es un interrogante. Mientras algunos datos teóricos indican que el 95-99% de su composición estaría conformada por agua, hay quienes postulan que este porcentaje no superaría el 20% (76).

No obstante, es indiscutible que los componentes intrínsecos de estas impresiones forman en su conjunto, una emulsión compleja que comprende agua además de compuestos orgánicos e inorgánicos (77, 36).

5.1.1.1 Compuestos procedentes de la dermis

Aunque la función de las glándulas sudoríparas apocrinas parece no contribuir significativamente en la composición de residuos de huellas latentes debido a su localización corporal, las glándulas sudoríparas ecrinas y los compuestos secretados por éstas, se consideran trascendentales en la formación y detección de huellas latentes (74).

Las proteínas y polipéptidos son los compuestos resultantes de la secreción sudorípara ecrina más abundantes, acompañados en menor proporción por ácido láctico, aminoácidos, urea, ácido úrico, creatinina, vitaminas, sustancias inorgánicas, etc. (9, 74) (Tabla 6.1).

No obstante, a pesar de la abundancia relativa de proteínas y polipéptidos, las bajas concentraciones a las que se encuentran en los residuos de huellas digitales latentes han impedido su identificación mediante los procesos analíticos disponibles (78-82).

Por lo contrario, los aminoácidos se han estudiado ampliamente mediante diversas técnicas analíticas, lo que ha permitido la identificación de muchos de ellos, caracterizando a la serina como el más abundante en esta matriz (36, 79, 83-88).

Del mismo modo, se han identificado y cuantificado otras sustancias como ácido láctico, ácido úrico, creatinina, urea y fenol, al igual que el complejo vitamínico B (en particular la riboflavina, responsable de la fluorescencia emitida por los residuos de huellas latentes sometidos a iluminación laser) (86, 89), y una gran cantidad de compuestos inorgánicos como cloruro, potasio, sodio y magnesio, entre otros (74).

Tabla 5.1: Componentes químicos procedentes de la secreción sudorípara (9, 74).

SECRECIÓN SUDORÍPARA			
	SECRECIÓN ECRINA	SECRECIÓN APOCRINA	
COMPUESTOS ORGÁNICOS	Más abundantes	Proteínas Polipéptidos Aminoácidos Azúcares Ácido láctico Urea Piruvato	Proteínas Hidratos de Carbono Colesterol
	Trazas	Creatinina Creatina Glicógeno Ácido úrico Vitaminas	.....
COMPUESTOS INORGÁNICOS	Más abundantes	Cloruro de amonio Sodio Potasio Calcio Bicarbonato Sulfato Fosfato Ioduro Bromuro Fluoruro	Hierro
	Trazas	Magnesio Zinc Cobre Cobalto Manganeseo Estaño	.....

Por otra parte, al explicar la diferencia cualitativa y cuantitativa de la composición química de los residuos de huellas en relación a la propia del sudor, hay que considerar dentro de los compuestos intrínsecos, a aquellos procedentes de la secreción de diferentes glándulas a la sudorípara ecrina.

En relación a esto, si bien las glándulas sebáceas se encuentran sobre toda la superficie de la piel a excepción de las palmas de las manos y las plantas de los pies, su secreción se transfiere a éstas zonas como consecuencia de su contacto con otras partes del cuerpo, proceso por el cual el sebo pasa a formar parte de la composición química de los residuos de huellas en una alta proporción.

El sebo está conformado mayoritariamente por escualeno, ésteres, triglicéridos y fosfolípidos, y en menor medida por ácidos grasos, colesterol y esteroides (36, 85).

Los ácidos grasos libres son los compuestos lipídicos más abundantes identificados en los residuos de huellas latentes (83, 85, 89-98).

Triglicéridos y otros ésteres resultantes de la esterificación de ácidos grasos y alcoholes grasos han sido objeto en escasos estudios, y si bien se reconocen como parte de la composición química de residuos de huellas, no se cuenta con datos cuantitativos y pocos trabajos los han identificado (91, 92, 96, 99).

Finalmente, compuestos como colesterol y su precursor escualeno se registraron mediante diversas técnicas analíticas (85, 89-93, 96, 98, 100, 101). Y dada la capacidad de éste último de reaccionar y degradarse, fueron identificados productos de oxidación como hidroperóxidos y epóxidos de escualeno, en residuos de huellas digitales frescas (91, 102) (Tabla 6.2).

5.1.1.2 Compuestos procedentes de la epidermis

Con la finalidad de asegurar la actividad protectora de la epidermis, el estrato córneo se encuentra cubierto por una película hidrófoba conformada por ácidos grasos, colesterol y esteroides, que junto a los compuestos resultantes de la secreción sebácea, constituyen el componente lipídico de los residuos de huellas latentes (103).

Del mismo modo, diversas proteínas expresadas en la epidermis durante el proceso de descamación, como la queratina 1, queratina 10 y cathepsina D, pueden ser transferidas a un sustrato durante el contacto con la capa cornea y por consiguiente, ser encontradas en huellas latentes (104). Sin embargo, son escasos los estudios donde se han identificado proteínas provenientes del proceso de descamación epidérmica en estos residuos.

Tabla 5.2: Componentes químicos procedentes de la secreción sebácea (9, 74).

SECRECIÓN SEBÁCEA	
MAS ABUNDANTES	MENOS ABUNDANTES
Ácidos grasos libres	Aldehídos
Ésteres de ácidos grasos	Cetonas
Mono y diglicéridos	Aminas
Triglicéridos	Amidas
Colesterol	Fosfolípidos
Ésteres de colesterol	Alcoholes
Escualeno	Pirroles
Productos de oxidación del escualeno	Piperidinas
Esteroles	Furanos
	Sulfhidrilos
	Piridinas
	Mercaptanos
	Haloalcanos
	Pirazinas

5.1.1.3 Otros componentes intrínsecos

Además de aquellos provenientes de las secreciones naturales, otros compuestos como medicamentos, drogas de abuso y sus diversos metabolitos deben ser considerados.

Sulfonamidas y derivados anfetamínicos fueron identificadas en el sudor en concentraciones comparables a las plasmáticas, por lo que se sugiere que, una vez consumidas, ciertas sustancias pueden pasar a formar parte del metabolismo del organismo y de este modo estar presentes en huellas latentes (74); lo cual debe diferenciarse de aquellas drogas de abuso o medicamentos identificados en estas impresiones como consecuencia de una contaminación externa (105, 106).

5.1.2 Componentes extrínsecos - Contaminantes

Mediante las actividades cotidianas, las manos entran en contacto con variadas sustancias químicas que potencialmente pueden depositarse en la superficie de la piel y así transferirse a residuos de huellas digitales latentes.

Por ello, una gran variedad de compuestos procedentes de fuentes externas al organismo tales como residuos de alimentos, drogas, suciedad, cosméticos, depósitos grasos, sangre, residuos de armas de fuego y explosivos, se han identificado en estos residuos (85, 91, 96, 98, 105-108). Siendo los productos cosméticos los que causan particular interés, debido a que muchos de ellos contienen compuestos lipídicos que están naturalmente presentes en las secreciones del organismo, dificultando así su diferenciación con componentes intrínsecos (109).

Se han estudiado diversos métodos químicos con el propósito de perfeccionar la detección de una amplia variedad de materiales exógenos (107, 108). Sin embargo, la identificación de estos compuestos en residuos de huellas digitales latentes es de utilidad sólo en casos específicos, por lo que su estudio y aplicación son limitados.

5.2 Composición Química Final

En el transcurso del tiempo ocurren múltiples alteraciones en la composición inicial de una huella latente como consecuencia de un continuo proceso que involucra diversos fenómenos como degradación, oxidación, evaporación, migración, metabolismo, secado o polimerización (9) (Figura 6.2). Por lo tanto, la composición química final puede explicarse como el resultado de procesos biológicos, químicos y físicos que sufren los componentes químicos iniciales (74).

5.2.1 Cambios químicos observados en el tiempo

5.2.1.1 Pérdida de masa y humedad

El efecto general del envejecimiento de un residuo de huella digital es la pérdida de agua y la consecuente pérdida de masa. Se ha evidenciado que el peso de una huella digital disminuye un

85% en el transcurso de 2 semanas, posiblemente debido a la pérdida de humedad y de componentes volátiles (91, 110-112).

Con el tiempo, una huella latente adquiere un aspecto viscoso y cambia su espesor inicial, tornándose más frágil y de aspecto irregular (113). De este modo, incrementa su susceptibilidad a la erosión física, a la vez que se convierte en menos receptiva a los procesos químicos de revelado como consecuencia de la pérdida de los componentes involucrados (111) y la disminución del área superficial para la interacción con dichos reactivos (91).

5.2.1.2 Cambios en componentes inorgánicos

A pesar del número reducido de estudios destinados a evaluar las modificaciones que sufren estos compuestos en el tiempo, existen datos que indican una disminución de la concentración de cloruro en huellas digitales latentes debido a su difusión a través del sustrato, lo que podría explicar la ineficacia de métodos de revelado como el nitrato de plata, cuando se aplican sobre residuos de huellas digitales antiguas (9, 74).

Sin embargo, aunque el análisis de los cambios en el patrón de difusión de cloruro fuese sugerido como un método útil para explorar la edad de huellas latentes, éste se ve significativamente afectado por numerosas variables ambientales y no ha tomado relevancia en el ámbito científico para continuas investigaciones (9).

5.2.1.3 Cambios en componentes orgánicos

Dentro de los compuestos orgánicos que forman parte de un residuo de huella digital latente, los aminoácidos se han destacado por su estabilidad en el tiempo.

Se demostró que los procedimientos de visualización que involucran reacciones con aminoácidos ofrecen excelentes resultados sobre huellas latentes antiguas, principalmente sobre sustratos de papel (48). No obstante, a pesar de que la concentración de estos compuestos permanezca lo suficientemente elevada para brindar efectividad en ciertos métodos de revelado, no son totalmente estables en el tiempo (9).

Cierta estabilidad también fue evidente para proteínas (114) y sales ácidas como ácido láctico (82). Resultados positivos fueron obtenidos al aplicarse un método de revelado basado en anticuerpos para albúmina sobre residuos de huellas latentes frescos y con hasta 130 días de antigüedad sobre papel (114), mientras que Williams y col. (82) observaron que sales como el ácido láctico, presentan cierta estabilidad en el tiempo en relación a los ésteres.

Sin embargo, son limitados los datos actuales sobre el comportamiento general de otros componentes orgánicos como ácido úrico, creatinina, vitaminas, etc.

5.2.1.4 Cambios en componentes lipídicos

Luego del depósito, la concentración de lípidos, como escualeno, colesterol, ésteres y ácidos grasos, disminuye significativamente en huellas latentes en función del tiempo como consecuencia de procesos de degradación y descomposición, que resultan en la producción de nuevos compuestos, en su mayoría pequeñas moléculas oxidadas (85, 90, 91, 93, 98, 102, 115).

- Ácidos grasos

Bajo condiciones anaeróbicas ocurren procesos de hidrogenación sobre dobles enlaces con la subsecuente disminución de la proporción de ácidos grasos insaturados y un incremento en la concentración de ácidos grasos saturados (116), mientras que una degradación aeróbica inicia un proceso de reacciones en cadena que resulta en la formación de compuestos oxidados con enlaces peróxido, aldehídos y cetonas (117).

Se evidenció que los ácidos grasos saturados se mantienen relativamente estables en residuos de huellas digitales latentes, mientras que la concentración de los ácidos grasos insaturados disminuye notablemente en el tiempo (91, 93).

Mong y col. (91) observaron que ácidos grasos saturados y ésteres grasos de huellas digitales mantienen una relación constante durante un período de 60 días posteriores al depósito, detectando una marcada disminución en la concentración de ácidos grasos insaturados durante los primeros 30 días, y la aparición de ácidos grasos saturados de bajo peso molecular en los

residuos más antiguos, lo cual se asoció a los procesos de degradación aeróbica y anaeróbica que sufren los ácidos grasos insaturados, que generan productos saturados y de menor tamaño.

Archer y col. (93) obtuvieron resultados similares (93), advirtiendo un incremento en la concentración de ácidos grasos saturados de cadena corta durante los primeros 15 días posteriores al depósito de huellas digitales como consecuencia de la degradación de los ácidos grasos de cadena más larga. En este sentido, notaron que la concentración de ácido graso C14 aumentó durante los primeros 20 días, seguida de una disminución a niveles originales o inferiores en días posteriores, mientras que ácidos grasos de cadena corta como C6, C8 y C9, fueron más abundantes en las muestras de mayor antigüedad, y el tetracosano - alcano de 24 carbonos - fue identificado en las muestras de edad intermedia, lo que indicaría ser un posible intermediario en la descomposición de compuestos de cadenas más largas.

En base a estos resultados, los autores postularon tres teorías. Una de ellas sugiere que el incremento general de los niveles de ácidos grasos ocurre en dos fases claramente diferenciadas, con un aumento inicial entre los primeros 7 y 10 días, seguido por una ligera disminución que se continúa con un segundo incremento entre los 15 y 20 días. Otra teoría propone que el aumento de la concentración ocurre en diferentes momentos, dependiendo de diversos factores como la composición inicial del residuo depositado. Y en una teoría alternativa se plantea la existencia de diversos mecanismos de producción y de degradación que compiten entre sí, logrando el equilibrio que determina la concentración final de los ácidos grasos presentes (93).

Aunque ninguna fue confirmada, se ha manifestado que la mayoría de los ácidos grasos del sudor se originan a partir de la descomposición de esteres grasos y triglicéridos, y en menor medida a través de lipólisis enzimática (103), con su posterior pérdida por volatilización o degradación química; lo que respalda la presencia de mecanismos de formación y degradación de ácidos grasos en equilibrio dentro de un residuo de huella digital latente.

- Ésteres grasos

Si bien el incremento de la concentración de ácidos grasos puede darse por la descomposición de los ésteres (93), estos componentes químicos son levemente afectados por el transcurso del tiempo debido a que su estructura molecular carece de grupos funcionales objeto de

descomposición, motivo por el cual son escasos los trabajos de investigación forense focalizados en su estudio (9).

- Triglicéridos

La degradación de triglicéridos mediante hidrólisis da lugar a la formación de glicerol y los correspondientes ácidos grasos (118).

Debido a la gran diversidad estructural de los triglicéridos y de las posibles reacciones en las que se ven involucrados, los mecanismos de descomposición son particularmente complejos y resultan en mezclas de productos de diversa naturaleza química. Y a pesar de ser objeto de investigación en otras áreas científicas (116), no se abordaron estudios específicos de identificación y cinética de formación y descomposición en huellas dactilares latentes.

- Colesterol

El colesterol es el lípido más prominente de las células eucariotas, con diversas funciones como la de alterar las características biofísicas de las membranas celulares y ser precursor en la síntesis de un gran número de compuestos que incluye hormonas, vitamina D y ácidos biliares (118). La mayor parte de estas acciones está asociada a la oxidación del colesterol, que da lugar a la formación de oxisteroles y que puede producirse mediante vías enzimáticas o no enzimáticas (auto-oxidación) (119).

De manera general, el proceso de oxidación no enzimática implica la presencia de oxígeno junto a otros factores, como la presencia de metales trazas y especies reactivas del oxígeno. Sin embargo, en algunos estudios se evidenció que la susceptibilidad del colesterol a sufrir este proceso de oxidación puede verse afectada por la temperatura, la presencia de agua, pH y características del sustrato, variando la velocidad y productos generados (120). Incluso, se ha observado que puede modificarse por la presencia de triglicéridos y ácidos grasos, al mismo tiempo que el colesterol puede influir en la descomposición de triglicéridos (119), lo que indica que la estabilidad de los componentes lipídicos en general, estaría influenciada por numerosas interacciones entre éstos o sus productos de degradación.

Sin embargo, los estudios abordados hasta el momento sobre este compuesto en huellas dactilares latentes sólo determinaron una disminución de su concentración en el tiempo (91, 98), sin identificar sus productos de degradación ni mecanismos implicados.

- Escualeno

La degradación del escualeno resulta en diversos productos intermediarios como epóxidos, cetonas, hidroperóxidos y alcoholes, y finaliza con la formación de moléculas totalmente oxidadas como ácido pentadioico y hexadioico (9).

En residuos de huellas dactilares latentes, Mong y col. (91) observaron que el escualeno, al igual que el ácido oleico y ácido palmitoleico, se degradan significativamente luego de 60 días de exposición al aire libre en comparación con los compuestos análogos saturados.

Por otra parte, los resultados obtenidos por Mountford y col. (102), quienes evaluaron las concentraciones de escualeno y de sus productos de degradación en función del tiempo, indican que este compuesto se descompone rápidamente sin poder detectarse en la mayoría de las huellas digitales antiguas.

Estos autores lograron identificar derivados totalmente oxidados como ácido hexanodioico y ácido pentanodioico, y productos intermediarios como epóxidos, cetonas y una amplia gama de hidroperóxidos, los cuales fueron detectables incluso después de transcurridos 20 días desde el momento del depósito. E indicaron a la foto-oxidación como un proceso de descomposición, dada la producción de malonaldehído, formaldehído, acetona y acetaldehído, compuestos altamente reactivos y volátiles que se pierden rápidamente en huellas latentes.

5.2.1.5 Relación de composición

La principal dificultad al momento de evaluar el efecto del tiempo sobre los componentes químicos de una huella digital latente está dada por la gran variabilidad manifiesta en la composición química inicial.

La identificación de varios compuestos y el análisis de su descomposición en el tiempo permiten comparar relaciones de concentración, obteniendo conclusiones más precisas (9).

A pesar de que los estudios cinéticos de reacciones de degradación requieren de profundas investigaciones que logren identificar productos y la velocidad a la que se forman, la relación entre concentraciones de diferentes compuestos químicos parecería un método de análisis más sencillo y con el potencial de brindar datos fiables y reproducibles al momento de explorar los cambios que ocurren en la composición de una huella latente (90, 93).

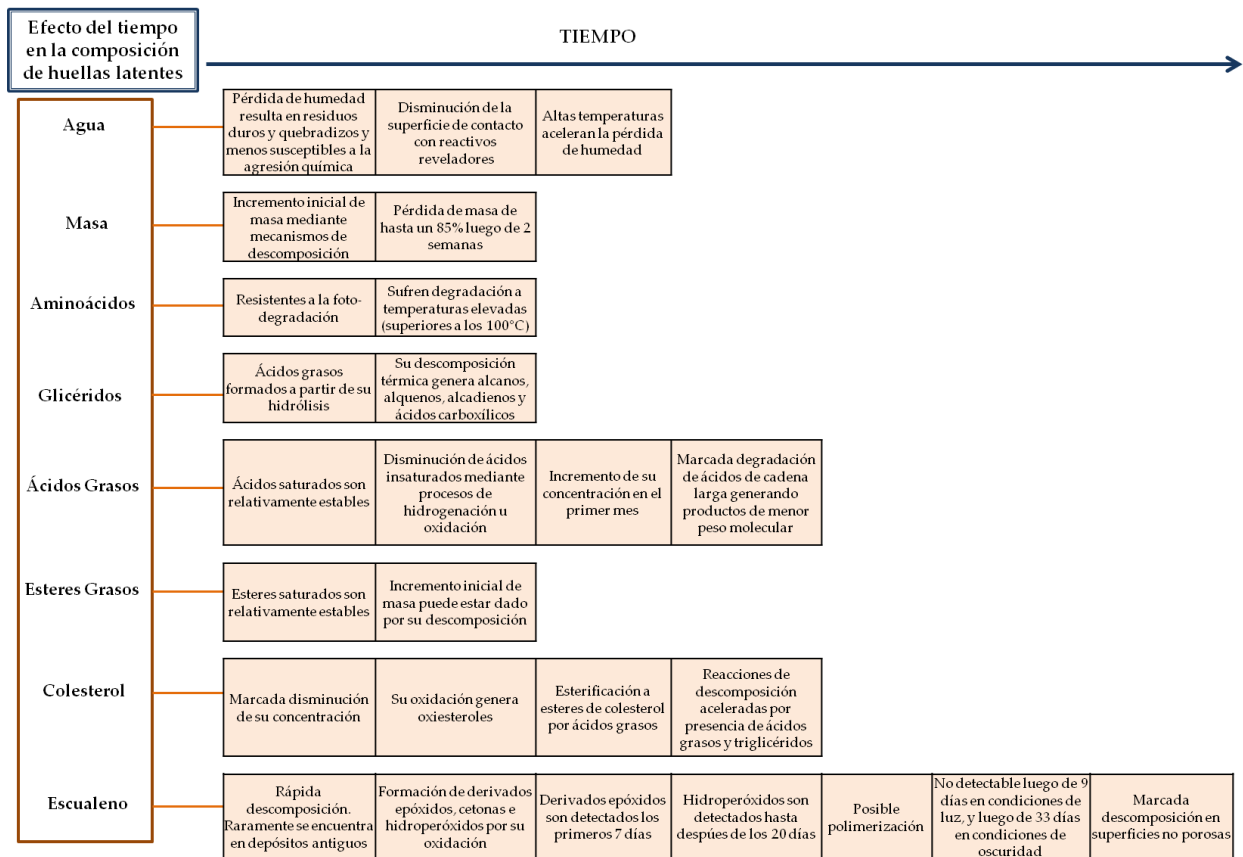


Figura 5.2: Resumen del efecto del tiempo en la composición química de huellas latentes. Adaptado de (9).

5.3 Factores que afectan la Composición Química

Es evidente que la composición y caracterización química de los residuos de huellas latentes derivan del conocimiento indiscutible sobre los compuestos químicos que forman parte de las secreciones naturales - sudorípara y sebácea principalmente -, responsables de que éstos se presenten en la superficie cutánea y que, por lo tanto, puedan ser transferidos hacia una superficie de contacto (9).

Sin embargo, hasta el momento no existen datos definitivos y concretos que describan de manera precisa la naturaleza química de estos depósitos. En parte, debido a las dificultades técnicas y metodológicas que se presentan al momento de abordar los diferentes estudios, pero sobre todo, por la gran diversidad de resultados obtenidos como consecuencia de la amplia gama de factores que afectan la composición final de estos residuos, haciendo que los datos disponibles no puedan ser extrapolables o generalizados (9, 21, 74).

5.3.1 Características propias del donante

La composición química de un residuo de huella digital difiere entre individuos como consecuencia de diversos factores estrechamente relacionados a las características propias del donante como edad, sexo, origen étnico, estado psicológico, estado de salud, medicación, metabolismo y dieta (15).

5.3.1.1 Género

En estudios realizados en diversas poblaciones se observaron diferencias significativas entre hombres y mujeres en relación a las características físicas - como cantidad y densidad - de las crestas de fricción digitales (121-124) y palmares (125), planteándose la existencia de un dimorfismo sexual que puede ser utilizado como indicador del sexo de un sospechoso en el marco de una investigación penal.

Del mismo modo, también se evidenciaron diferencias en las características químicas de residuos de huellas digitales de hombres y mujeres. Si bien en muchos estudios las variaciones dependientes del género no fueron estadísticamente significativas (75), autores plantearon la posibilidad de que algunos componentes químicos como urea y ácidos grasos, pueden ser útiles para diferenciar el sexo del donante (89, 126); y en recientes trabajos se indica una mayor concentración de ácidos grasos saturados en residuos de donantes masculinos (85) y mayores niveles de ciertos aminoácidos en residuos de donantes de sexo femenino (85, 127), al igual que una variación dependiente del género en el grado de secreción sebácea de ésteres (128) y en la abundancia relativa de aminoácidos en residuos de huellas digitales latentes (88).

En adición, en un trabajo realizado por Ferguson y col. (129), centrado en la determinación de péptidos y proteínas en depósitos de huellas digitales latentes mediante espectrometría de masas acoplada a desorción-ionización láser asistida por matriz (MALDI-MS), se demostró que esta metodología permite la determinación del sexo con una precisión del 85%, y se identificaron tres biomarcadores probablemente útiles para determinar género: DCD-1L para mujeres, y SSL-29 y LEK-45 para hombres. Mientras que Tang y col. (130) plantearon la posibilidad de diferenciar huellas dactilares de donantes femeninos y masculinos mediante el análisis de niveles de hormonas, como por ejemplo, estrógenos.

No obstante, a pesar de que los reportes publicados hasta el momento indicarían que una combinación de aspectos morfológicos y la composición química de una huella dactilar podría resultar factible en la determinación del sexo en un futuro cercano, las diferencias en cuanto a la morfología y composición química entre residuos de hombres y mujeres aun no fueron claramente establecidas y sistematizadas, y es evidente la necesidad de continuar ampliando y profundizando estas investigaciones.

5.3.1.2 Edad

Dado que las secreciones orgánicas varían dependiendo de la edad de un individuo, no resulta sorprendente encontrar diferencias significativas en la composición química de residuos de huellas digitales de niños, adolescentes y adultos.

Además de las diferencias físicas en las crestas de fricción, examinadores observaron variaciones notables en cuanto a la permanencia de una huella digital en el tiempo dependiendo de la edad del donante. De manera general, las huellas digitales de niños desaparecen rápidamente y son difíciles de encontrar luego de 24 horas posteriores a la deposición en una superficie, mientras que las de los adultos permanecen por mucho más tiempo (126, 131), fenómeno que puede explicarse teniendo en cuenta la variación de la actividad de las glándulas sebáceas en función de la edad.

La principal diferencia en la composición química entre huellas dactilares de niños y adultos es que las de los niños contienen mayores concentraciones de sales y ácidos grasos libres no esterificados y volátiles, mientras que en las de los adultos, se encuentran concentraciones

elevadas de compuestos más estables, como ésteres de ácidos grasos de cadena larga (81, 82, 126, 132).

El sebo de los niños se caracteriza por presentar concentraciones relativamente altas de ácidos grasos libres de cadena larga y niveles significativos de colesterol y ésteres de colesterol. Estos compuestos generalmente disminuyen en abundancia con la edad, mientras que las concentraciones de ésteres grasos tienden a aumentar de manera constante durante la pubertad, momento en el que comienzan a disminuir nuevamente con el envejecimiento adicional (133-135). Y si bien el colesterol total del sebo disminuye con la edad, la proporción de colesterol en su forma esterificada tiende a aumentar (126, 135, 136).

Antoine y col. (81) evaluaron la composición química de residuos de huellas digitales latentes de niños y adultos en el transcurso de 4 semanas y evidenciaron que los cambios observados en el tiempo varían significativamente dependiendo de la edad del donante. En relación a esto, demostraron que la cantidad de ésteres de carbonilo en huellas digitales de niños incrementa con el tiempo, mientras que disminuye en aquellas depositadas por adultos.

Por otra parte, si bien la disminución de la relación lípido/proteína determinada durante el transcurso del estudio fue similar entre ambos grupos, obtuvieron resultados que se corresponden con un mayor contenido lipídico en residuos de los donantes adultos en relación con los provenientes de niños en todos los puntos de tiempo evaluados, y las impresiones obtenidas mediante polvos reveladores fueron más oscuras y definidas en adultos, siendo más difíciles de visualizar aquellas obtenidas de niños, las cuales a su vez, fueron más tenues con el transcurso del tiempo. Esto se relaciona directamente con los resultados que indican que el sebo de niños contiene una mayor proporción de colesterol, ésteres de colesterol y ácidos grasos de cadena lineal, que son menos estables que el escualeno y ácidos grasos de cadena ramificada contenidos en el sebo de los adultos, y que se condice con datos reportados por otros autores como Jacobsen y col. (128), quienes determinaron que el grado de secreción sebácea disminuye con la edad y que existe una variabilidad significativa en el contenido lipídico entre secreciones de hombres y mujeres de entre 15 y 97 años; Hemmila y col. (132), quienes obtuvieron diferencias significativas dependientes de la edad del donante en la relación de ácidos grasos de cadena larga y sus correspondientes ésteres en residuos de huellas digitales de una población de 78 individuos de entre 4 y 68 años; y Williams y col. (82), que establecieron el rol que cumple el

género y el origen étnico de un individuo en la cantidad y calidad de residuos de huellas digitales latentes.

Es importante destacar que la pubertad causa numerosos cambios heterogéneos en la composición de residuos de huellas resultando en una notable variabilidad interindividual. Mientras algunos individuos adolescentes producen residuos que sólo se componen de sustancias relacionadas con la secreción ecrina, otros producen secreciones con componentes sebáceos comparables a la de individuos de edad avanzada, e incluso algunos muestran concentraciones de colesterol superiores a la de los adultos (91). Estas variaciones pueden explicarse considerando los procesos madurativos que ocurren en el metabolismo de adolescentes, y teniendo en cuenta que la etapa de pubertad comienza a diferentes edades para cada individuo (9, 74).

Finalmente, en lo que concierne a los compuestos inorgánicos, se ha reportado que la cantidad de cloruro en residuos de huellas digitales es inversamente proporcional a la edad del donante, sin embargo se realizaron pocos estudios sobre esta clase de compuestos, por lo que los datos resultan escasos para poder establecer una relación certera entre estas variables (74).

5.3.1.3 Hábitos alimenticios

Se comprobó que la conducta alimentaria y la dieta influye en el olor corporal de los seres humanos (137), lo que ha llevado a algunos autores a plantear la posibilidad de que componentes específicos relacionados con el comportamiento alimentario puedan encontrarse en el sudor, y por lo tanto, en el residuo de una huella digital latente.

En relación a esto, en un estudio realizado con el objetivo de identificar los componentes responsables de la fluorescencia intrínseca de las huellas dactilares utilizando cromatografía en placa delgada (TLC) combinada con espectroscopía de fluorescencia, Lambrechts y col. indicaron que los metabolitos de la clorofila fueron responsables de las manchas fluorescentes rojas características observadas en las huellas dactilares analizadas (138). Debido a que la clorofila se encuentra en los vegetales verdes, ellos proponen que la presencia de sus metabolitos en estos residuos puede brindar información acerca de la dieta del donante.

En adición, Kuwayama y col. (139) detectaron mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC/MS) concentraciones elevadas de cafeína y sus metabolitos en muestras de sangre y en residuos de huellas digitales de donantes, posterior a la ingesta de café. Y Croxton y col. (85) identificaron concentraciones superiores de los aminoácidos alanina, glicina y serina, y de ácido pentadecanoico en huellas digitales latentes de individuos vegetarianos en relación a aquellas provenientes de donantes con una alimentación omnívora. Sin embargo, es evidente la necesidad de estudios que amplíen y profundicen este tópico, ya que a pesar del escaso valor que la información sobre la dieta o hábitos alimenticios puede tener para una investigación forense, datos sobre metabolitos de alimentos de interés sumado a conocimientos de su cinética, como la tasa de absorción, metabolización y excreción, podrían resultar un aporte importante en algunos casos (15).

5.3.1.4 Origen étnico

A pesar de las ventajas que podría brindar, en servicios de investigación forense, en muy pocos trabajos científicos se han explorado las diferencias en la composición química en residuos de huellas digitales entre donantes de diferentes razas.

Michalski y col. (75) evidenciaron que la relación de concentración de algunos ácidos grasos y sus respectivos ésteres de metilo en estos depósitos difiere significativamente entre donantes de diferente grupo étnico. Sin embargo, estos autores reconocen que la población bajo estudio fue sólo de 37 individuos y que el pequeño tamaño de muestra no permitió obtener resultados concluyentes.

5.3.1.5 Estado psicológico y estado de salud

La cantidad y calidad del sudor excretado por un individuo varía en función del estado de salud (140-142) y de las condiciones bajo las cuales una persona puede transpirar, como situaciones de estrés o calor (143), y en la actualidad, este fluido es investigado como posible matriz biológica para el diagnóstico no invasivo de ciertas patologías (140-142).

Fue postulado que bioindicadores relacionados a diversas enfermedades pueden ser detectados en sudor, y por lo tanto, también en residuos de huellas digitales (9). Sin embargo, el valor diagnóstico del análisis químico sobre estas matrices aún no se ha establecido, y por lo tanto, actualmente no es factible obtener información sobre el estado de salud de un individuo en base al análisis de sus huellas digitales.

5.3.1.6 Hábitos personales

En diversos estudios se demostró que los ingredientes de cosméticos pueden observarse en huellas dactilares contaminadas, identificándose exitosamente productos como cremas faciales, cremas corporales y lociones (144).

Ciertos niveles de hidrocarburos como tetracosano y octacosano, posiblemente provenientes de cosméticos que contienen vaselina, metoxicimato de octilo comúnmente utilizado para la protección solar (91, 89), así como el ion dimetildioctadecilamonio, procedente de lociones y productos para el cabello, fueron detectados en residuos de huellas digitales (115). Del mismo modo, una gran variedad de ácidos grasos también se encuentran en cosméticos y productos de belleza, sin embargo, éstos compuestos son comunes en residuos de huellas dactilares, siendo imposible poder establecer si provienen de una fuente externa o son de origen endógeno (109).

Si bien el conocimiento sobre el uso de geles para el cabello, jabones, lociones y otros cosméticos podría brindar una mejor comprensión de los hábitos de vida e higiene personal, y de este modo, colaborar en reducir un posible grupo de donantes, aun no es factible distinguir componentes de una marca u origen específico a partir de huellas digitales, por lo que este análisis no posee gran relevancia en el ámbito forense. Sin embargo, Bradshaw y col. (145) lograron distinguir trazas de condones en estos residuos, lo cual podría brindar un importante aporte en casos de abuso sexual.

En relación a los hábitos personales, el consumo de drogas de abuso y medicamentos con fines terapéuticos también deben ser considerados. Una gran variedad de drogas y metabolitos fueron identificados tanto en sudor como en residuos de huellas digitales.

En relación a esto, Ishiyama y col. (146) determinaron metabolitos de morfina y metanfetamina en sudor de consumidores mediante inmunoensayos, mientras que otros autores lograron

detectar drogas de abuso y sus metabolitos, como cotinina, metadona, cocaína, benzoilecgonina y tetrahidrocannabinol (147-154), y medicamentos como algunas benzodiazepinas, clorfeniramina, dihidrocodeína y metilefedrina (155, 156).

Por otra parte, numerosos trabajos fueron focalizados en lograr diferenciar donantes fumadores de no fumadores.

Leggett y col. (147) y Hazarika y col. (149) lograron este objetivo mediante la determinación de cotinina - principal producto del metabolismo de la nicotina en el organismo - en residuos de huellas digitales utilizando inmunoensayos con anticuerpos específicos para este compuesto; mientras que Hazarika y col. lograron diferenciar entre donantes fumadores de no fumadores mediante la identificación de tiocianato y benzoato, otros metabolitos relacionados con el hábito de fumar (150).

Benton y col. (157) obtuvieron conclusiones similares y reportaron que la presencia de nicotina en residuos de huellas digitales puede ser utilizada para determinar hábitos de fumar del donante. No obstante, sus resultados indicaron la posibilidad de contaminación cruzada en individuos no fumadores, posiblemente como consecuencia de algún tipo de contacto con un individuo fumador o alguna superficie previamente contaminada, lo que puede llevar a conclusiones erróneas a la hora de analizar la nicotina como indicador del hábito del fumar.

Finalmente, también fue analizada la presencia de compuestos relacionados a explosivos y residuos de disparo de armas de fuego mediante diversas técnicas analíticas (158-161), teniendo gran interés en el campo de la criminalística.

5.3.2 Condiciones del contacto

Indudablemente, la composición química inicial de un residuo de huella digital latente se ve influenciada por la manera en la que se lleva a cabo el contacto físico entre la superficie de la piel involucrada y el sustrato (9,74), siendo los parámetros involucrados:

- La presión del contacto
- La duración del contacto
- La dimensión del área de la piel en contacto con el sustrato

- El dígito utilizado
- El momento del día en el que se produjo el contacto
- El aseo previo al contacto

Jasuja y col. (162) evidenciaron mediante el revelado de huellas digitales latentes con ninhidrina, que la intensidad de color en las impresiones aumentó proporcionalmente con el incremento de la presión aplicada en el momento del depósito. El método de la ninhidrina se basa en la capacidad de este compuesto de reaccionar con los aminoácidos presentes en el sudor de los residuos de huellas digitales latentes (Ver sección 4.1.2.4), por lo que la relación manifiesta entre la intensidad de color y la presión del contacto puede estar dada por una mayor cantidad de compuestos químicos transferidos (162).

A pesar de no contar aún con datos convincentes, el momento del día en el que una huella dactilar es generada parece influenciar significativamente su composición química (92, 93). De manera general, el metabolismo del organismo responde a un control circadiano que corresponde a ciclos de aproximadamente 24 horas, por lo que la expresión y secreción de ciertas sustancias pueden variar en el transcurso de un día, sin dejar exentas a aquellas que forman parte de los residuos de huellas digitales latentes.

Por otra parte, no se ha estudiado en profundidad el efecto que ejerce la extensión de la superficie de la piel en contacto con el sustrato y el dígito utilizado sobre la composición del residuo generado. En un trabajo basado en la determinación de escualeno y colesterol en huellas digitales latentes se concluyó que las cantidades de estos compuestos no se correlacionaron significativamente con las diferencias en las dimensiones de los dígitos estudiadas (98). Sin embargo, otros resultados mostraron que el dígito utilizado para generar una huella sería un parámetro que influye en su composición química (163). Se observó que los residuos generados con los dígitos de la mano izquierda contienen mayor cantidad de cloruro de los de la mano derecha, mientras que el pulgar, el índice y el dígito medio contienen significativamente menor cantidad que el anular y el meñique, lo cual puede explicarse teniendo en cuenta que la mayoría de los donantes son diestros, por lo que emplean con más frecuencia la mano derecha que la izquierda, al mismo tiempo que utilizan su pulgar, índice y dígito medio más que el anular y el

meñique, y por lo tanto, éstos pierden mayor cantidad de sus secreciones debido al contacto frecuente con diversas superficies.

Por otra parte, Croxton y col. (85) advirtieron que el aseo de las manos tuvo un efecto significativo, tanto cualitativamente como cuantitativamente, en la composición de ácidos grasos y algunos aminoácidos presentes en residuos de huellas digitales; mientras que Jones y col. (164) evidenciaron diferencias en la calidad de impresiones generadas por donantes que habían limpiado sus manos y por individuos que previamente las habían frotado sobre su frente.

De manera general, hay que tener presente que la influencia precisa de los parámetros mencionados sobre la composición química de una huella digital es difícil de determinar, además de que conclusiones erróneas pueden manifestarse cuando éstos se evalúan de forma aislada sin considerar la naturaleza del sustrato interviniente.

5.3.3 Naturaleza del sustrato

La superficie sobre el cual una huella digital es depositada es considerablemente importante.

La manera en la que un sustrato puede influir en la composición química de estos residuos está dada por su textura, su capacidad de retener compuestos, su estructura físico-química, su curvatura, su temperatura, su fuerza electrostática, su tensión superficial y su capacidad de reaccionar químicamente con los componentes depositados (9).

Dependiendo de su naturaleza, los sustratos se clasifican de manera sencilla como porosos (por ejemplo: papel, algodón y madera), semi-porosos (como por ejemplo: plásticos, maderas barnizadas, superficies cerosas y papel brillante) y no porosos (como por ejemplo: vidrio, metales, plásticos y superficies pintadas) (74).

Los procesos físico-químicos que ocurren en la superficie y el interior de un sustrato son de suma importancia e interfieren de forma directa en las características químicas de residuos de huellas digitales latentes (8).

En diversos estudios se concluyó que a mayor porosidad de una superficie, mayores son las fuerzas de adhesión, y de este modo, más componentes de la superficie dérmica migran hacia el sustrato (165) y mayor es la penetración de dicho residuo (60).

En relación esto, se ha demostrado que los niveles de aminoácidos pueden llegar a ser hasta tres veces más elevados en impresiones sobre soportes absorbentes que en las generadas sobre superficies no absorbentes (8).

Weyermann y col. (98) manifestaron que las concentraciones iniciales de escualeno y colesterol fueron superiores en residuos depositados sobre diferentes tipos de papel en relación con aquellos depositados sobre superficies de vidrio, además de evidenciar diferencias significativas en el comportamiento de estos compuestos en el tiempo, que dependió del sustrato analizado, determinando que en el transcurso de 1 semana los niveles de escualeno de residuos sobre vidrio disminuyeron rápidamente sin poder detectarse luego de éste período, mientras que esa disminución fue más lenta en los residuos sobre papel, pudiendo detectarlos aun transcurridos 30 días desde la deposición.

Resultados coincidentes fueron obtenidos al evaluar la concentración de cloruro sobre residuos depositados en papel de aluminio y en papel de absorbente (74).

La energía libre de la superficie de papel es otro factor que influye en la profundidad de penetración, observándose que mientras un papel con baja energía libre superficial reacciona del mismo modo que las superficies no porosas, uno con alta, muestra el mismo comportamiento que las superficies porosas (166).

Otros factores importantes a considerar son la temperatura y la naturaleza química del sustrato. La fuerza adhesiva de una superficie es inversamente proporcional a la temperatura, haciendo que la capacidad de adhesión de ciertos compuestos se vea modificada (165), además de que pueden existir diversas reacciones químicas entre los componentes de un residuo y la superficie sobre la cual se depositan (167, 168).

5.3.4 Condiciones ambientales

Factores como humedad, exposición a la luz, temperatura, circulación de aire, suciedad y contaminantes presentes en la atmósfera o en los materiales y superficies adyacentes, son los que deben considerarse a la hora de evaluar la influencia del medioambiente sobre un residuo de huella digital latente (170).

Fue demostrado que la temperatura ejerce un efecto marcado sobre la estabilidad de diversos compuestos. En este sentido, se evidenció que a temperaturas elevadas, los ésteres que forman parte de residuos de huellas digitales latentes sufren una aceleración en su proceso de degradación (79, 82), al igual que la urea (79) y algunos aminoácidos (84), mientras que las sales de naturaleza ácida presentan mayor resistencia (79). Y productos de descomposición de ciertos aminoácidos, como alanina y aspartato, fueron detectados y propuestos como posibles causantes de la fluorescencia observada en huellas digitales después de su exposición a un incremento de la temperatura (170, 171).

Por otra parte, los resultados obtenidos por Archer y col. (93) cuando compararon los niveles de escualeno y colesterol en residuos expuestos a la luz y residuos sometidos a condiciones de oscuridad, reflejaron que sus niveles disminuyen más rápidamente frente a la exposición lumínica. Por lo contrario, un incremento en la concentración de ácidos grasos saturados fue evidente en residuos sometidos a ambas condiciones, para luego disminuir pasados los 20 días desde el depósito, hecho que fue demostrado por otros autores (98) y que puede ser atribuido a una descomposición de triglicéridos a ácidos grasos causada por la actividad bacteriana, lo que genera un aumento inicial de estos últimos, para luego comenzar a disminuir cuando todos los triglicéridos presentes han sufrido dicho proceso de descomposición.

González Amorós y col. (172) reportaron conclusiones similares cuando evidenciaron sobre residuos de huellas digitales latentes una marcada relación entre el incremento en la degradación del escualeno y la exposición a elevadas temperaturas, y la influencia de la luz en el incremento de la degradación de colesterol.

Weyermann y col. (98) postularon que bajo condiciones de oscuridad, sin flujo de aire, a una temperatura de 20-25°C y humedad relativa de 40-80%, los compuestos insaturados como el escualeno, el ácido palmítico y el ácido oleico, parecen disminuir sustancialmente en el transcurso de 1 mes, mientras que los compuestos saturados como el ácido esteárico, ésteres y colesterol, lo hacen más lentamente.

Paine y col. (141) realizaron un análisis específico sobre el efecto de la humedad relativa en la eficacia del revelado de huellas digitales latentes con cianoacrilato. Si bien los resultados alcanzados se obtuvieron subjetivamente y basándose en un método de relevado específico, apoyan la hipótesis de que la humedad influye en los compuestos químicos encontrados en

residuos de huellas digitales, siendo los provenientes de la secreción ecrina, como el cloruro de sodio, los más afectados.

Por su parte, Bright y col. (173) investigaron el efecto que ejerce la exposición al vacío sobre un residuo de huella digital latente, para lo cual evaluaron los cambios en su composición química antes y después de que éstas se hayan sometido a sistemas de baja presión. Los resultados mostraron una reducción significativamente superior en los niveles de escualeno, ácido tetradecanoico y ácido pentadecanoico en los residuos sometidos a vacío en relación a aquellos que se mantuvieron bajo condiciones ambientales normales.

Por último, aunque no se abordaron estudios específicos sobre los efectos ejercidos por otros parámetros como la presencia de polvos, precipitaciones, radiaciones y circulación del aire, éstos deben ser considerados como posibles factores de influencia en lo que respecta a la composición química final de una huella digital latente, principalmente cuando se deben fijar las condiciones en el momento de preparar y acondicionar las muestras para su posterior el análisis químico (174).

5.3.5 Técnicas de visualización y levantamiento

Comúnmente, en el marco de un proceso de investigación forense, las huellas digitales de interés son latentes, por lo que existe una amplia variedad de técnicas químicas y físicas para su revelado (Ver Capítulo 4), que indudablemente pueden influir en la composición química de un residuo y en la metodología empleada para su análisis.

Koenig y col. (96) evaluaron el efecto de tres técnicas de revelado usualmente implementadas en la práctica forense (indanodiona, polvo de aluminio y vapores de cianoacrilato) sobre los niveles de ciertos lípidos en residuos de huellas digitales analizados por cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC/MS), y observaron que el tratamiento con vapores de cianoacrilato no afectó significativamente las cantidades recuperadas de los analitos estudiados, mientras que el revelado con polvo de aluminio y con indanodiona produjo una contaminación de las muestras que interfirió en los cromatogramas resultantes, al mismo tiempo que el disolvente utilizado en la formulación de este último reactivo, influyó de manera negativa en el procedimiento de recuperación.

Kaplan-Sandquist y col. (175) obtuvieron resultados similares al evaluar la capacidad de detección de pseudoefedrina, procaína, trinitrotolueno y ciclotrimetilentrinitramina mediante espectrometría de masas de tiempo de vuelo acoplada a la técnica de desorción-ionización laser asistida por matriz (MALDI/ToF-MS) en huellas digitales latentes sometidas individualmente a cuatro técnicas de revelado tradicionales, donde los resultados del análisis químico dependieron del procedimiento de revelado previamente aplicado.

No obstante, los datos disponibles hasta el momento son escasos y se torna evidente la necesidad de estudios que aborden esta temática y que aporten conocimientos de cómo pueden afectar a su composición final, los procedimientos de rutina implementados sobre huellas digitales latentes.

5.3.6 Tiempo transcurrido

Es claro que la composición química de una huella latente depende del tiempo transcurrido entre el instante en el que dicha impresión fue generada y el momento en el que se somete a análisis.

Con el propósito de desarrollar y optimizar prácticas de revelado (12, 78, 79, 81-86, 91, 93, 95, 100, 102, 104, 105, 110, 111, 115, 126, 163, 176-181), generar técnicas que permitan datar huellas digitales (79, 81, 93, 96, 98, 99, 115, 169, 182-184) o con la intención de lograr distinguir e individualizar donantes (79, 81, 132, 92), se llevaron a cabo un número considerable de investigaciones que determinen los cambios que ocurren en residuos de huellas latentes en función del tiempo, logrando definir ciertas alteraciones generales. Sin embargo, estos efectos no pueden ser evaluados independientemente de las demás variables, por lo que muchos resultados son inciertos y no siempre comparables.

CAPÍTULO 6

Datación de Huellas Latentes

Un método capaz de estimar la edad de una huella digital de manera fiable y reproducible tendría considerables ventajas para investigaciones criminales, pero actualmente, mientras que una impresión representa un fuerte vínculo entre un lugar u objeto y una persona, no existen metodologías validadas para determinar con precisión el momento del contacto. Y la datación de huellas digitales sigue representando un área relativamente inexplorada en el campo de la investigación forense (9, 185).

6.1 Utilidad

Conocer la edad de una huella digital posibilitaría vincular dicha impresión a un cierto intervalo de tiempo y así, ubicar o descartar a posibles sospechosos dentro de una escena en el momento en el que fue llevado a cabo el crimen.

Reconocer que un rastro fue depositado en un momento diferente al del crimen permitiría excluirlo de la investigación, reduciendo tiempo y gastos, además de evitar la identificación de huellas de individuos no involucrados, garantizando el derecho de protección de datos vigente en diversos países (186, 187).

Por otra parte, a través del análisis de datación podría ser factible obtener la secuencia en la superposición de diferentes huellas dactilares o la reconstrucción de una sucesión de eventos ocurrida en un dado crimen (188). Además de resultar útil para investigar si ciertas huellas digitales fueron establecidas en un momento determinado y así ser aplicado en procesos de gestión preventiva (189).

6.2 Métodos propuestos

En base a la literatura, los métodos propuestos inherentes a la datación de huellas dactilares pueden dividirse en tres categorías:

- Estudios basados en la información del hecho delictivo y su contexto.
- Estudios sobre cambios en las características físicas de huellas digitales.
- Estudios sobre cambios en la composición química de huellas digitales.

6.2.1 Estudios basados en la información del hecho delictivo y su contexto

Cuando un individuo comete un delito existe una unidad de tiempo, lugar y acción que el proceso de investigación pertinente deberá demostrar (190).

Durante un evento criminal donde una huella es depositada, se transfieren propiedades inherentes de un objeto o una persona que pueden brindar información temporal.

De esta manera, la determinación del estado de envejecimiento de una huella puede dar información acerca del tiempo transcurrido entre el evento y el momento en el que la evidencia fue recolectada, y finalmente, la reconstrucción de la secuencia de transferencia de rastros puede otorgar información cronológica sobre el tiempo relativo de los eventos de interés (190).

El uso de datos obtenidos a través del proceso de investigación con el fin de estimar la edad de una huella digital podría ser de gran ayuda para la resolución de casos, y debe recogerse siempre que sea posible (191, 192).

Información contextual para el examen de evidencias y su entorno, también puede ser utilizada con la finalidad de evitar la toma de decisiones erróneas, basadas únicamente en la calidad de las huellas digitales o en vista de que las condiciones climáticas siempre ejercerán efectos adversos (193).

En este sentido, Cohen y col. (194) reportaron un caso inusual en el cual una huella latente sobre un marco de ventana de aluminio fue revelada más de 2 años después de haber sido impresa, probablemente como consecuencia de un fenómeno de "fijación" a la estructura metálica.

Con el objetivo de simular dicho efecto en el laboratorio, fueron examinados diversos parámetros posibles, como condiciones climáticas, tipo de sustrato, condiciones de impresión y técnica de revelado, demostrando la necesidad de ser cautos al momento de intentar determinar la edad de una huella digital.

Estos autores también demostraron que bajo ciertas condiciones, huellas dactilares latentes impresas sobre superficies blancas de aluminio y de policloruro de vinilo (PVC) pueden observarse con polvo magnético negro 1 o 2 meses posteriores al contacto, incluso luego de la aplicación de diferentes productos de limpieza comerciales (194).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que muchos datos obtenidos sobre el contexto pueden ser incorrectos o imprecisos y conducen a inferencias sesgadas. Por lo tanto, es importante emplear este tipo de información considerando que las huellas digitales latentes son lábiles en cualquier tipo de medioambiente y que deben ser analizadas junto a otras fuentes de información (185).

6.2.2 Estudios sobre cambios en las características físicas de huellas digitales

Los primeros métodos de datación propuestos se han centrado principalmente en los cambios físicos y químicos de las huellas dactilares a través del tiempo y su efecto en el posterior revelado con polvos o técnicas químicas (184, 195, 196).

De esta manera, la calidad de una impresión y la facilidad en su revelado se han considerado parámetros fiables para predecir la edad de una huella digital. Sin embargo, estos procedimientos han sido cuestionados debido a que los resultados observados no sólo son producto del tiempo, sino también de otros factores (98, 111, 162, 169, 197).

6.2.2.1 Eficacia de los métodos de revelado

El proceso de envejecimiento de una huella digital puede dividirse en dos etapas: una etapa inicial que corresponde a la pérdida de agua con la conservación de los componentes grasos del sudor, y una segunda etapa caracterizada por la pérdida de legibilidad de la impresión dactilar (198). Por lo tanto, la evolución de dicho proceso puede reflejarse en los cambios que acontecen en la imagen de un rastro, como puede ser su estrechamiento, pérdida de continuidad y

alteraciones en la calidad de los procesos de revelado, los cuales ocurren de manera sucesiva y son característicos de cada etapa.

Fundamentado en ello, Baniuk (198) infirió la edad de huellas digitales recuperadas mediante su comparación con una base de datos y la identificación de cambios específicos en los detalles de las crestas de fricción en el tiempo, considerando las variables ambientales, para lo cual recurrió a la reconstrucción de las condiciones bajo las cuales se depositaron los rastros a partir del informe detallado de la escena del crimen, el examen comparativo de los rastros con las huellas dactilares del sospechoso sometidas a un examen experimental relacionado con un entorno determinado, y el mecanismo de formación de huellas dactilares a través del conocimiento de expertos en fisiología de la piel y en los procesos de desarrollo y envejecimiento de las huellas dactilares.

Los resultados obtenidos evidenciaron que la velocidad y evolución del proceso de envejecimiento de una huella digital dependen cualitativa y cuantitativamente de los componentes grasos del sudor, de las propiedades físicas y químicas del sustrato, y de las condiciones atmosféricas. Sin embargo, aunque el método propuesto destacó la importancia de estudiar el efecto de las variables ambientales y del sustrato, se basa sólo en resultados obtenidos mediante técnicas de revelado con polvos físicos adherentes, sin tener en cuenta la composición de los residuos o posibles variaciones entre los donantes, además de que la estimación de la antigüedad de las huellas recuperadas fue en base a la experiencia del examinador, lo que pudo dar lugar a conclusiones parciales y subjetivas (199).

Del mismo modo, otros autores han investigado la capacidad de estimar la edad de una huella digital mediante el tratamiento con polvos reveladores y los cambios observados en dichas impresiones en función del tiempo, sobre distintas superficies y bajo condiciones ambientales variables, en un intento de replicar las circunstancias de la escena del crimen, pero sin lograr resultados concluyentes (169, 197).

En un estudio reciente basado en un hecho real, se evaluó el envejecimiento de huellas digitales sometidas a condiciones de laboratorio controladas, con la finalidad de definir patrones particulares de degradación en base a indicadores de observación, determinar el efecto de cada factor ambiental establecido, y estimar la edad aproximada de los rastros obtenidos en el lugar del hecho mediante la extrapolación de los resultados experimentales (184). El revelado con

polvo adherente blanco a base de dióxido de titanio se utilizó como un método cualitativo indirecto para el análisis visual de la degradación de las huellas dactilares latentes, y las características ambientales fueron definidas acorde a las condiciones descritas de la escena del crimen.

Una vez más, los resultados remarcan la influencia de factores medioambientales y del sustrato sobre la evolución de las huellas latentes en el tiempo, sin poder estimar la edad de rastros recuperados, y demostrando claramente que el empleo de técnicas de revelado como herramienta para la datación de huellas digitales latentes es un método poco fiable.

En muchas publicaciones se han mencionado revelados exitosos de rastros latentes en circunstancias inusuales, como por ejemplo: de residuos de 110 días de antigüedad con revelador a base de yodo (200), de una huella dactilar de 15 años con PD (201), de rastros depositados sobre ventanas externas 2 años antes a su revelado (202), e incluso, de huellas dactilares de 55 años de antigüedad (203).

No obstante, en otros estudios se demostró la dificultad de obtener conclusiones basadas sólo en el análisis visual de la calidad de las huellas dactilares naturales o mejoradas mediante algún procedimiento de revelado (185). Afirmando que el proceso de envejecimiento de una huella digital latente es complejo y altamente influenciado por diversos factores además del tiempo (190), incluyendo el estado inicial del residuo depositado (74), que pueden acelerar o inhibir dicho proceso de manera considerable.

6.2.2.2 Cambios en la intensidad de fluorescencia

Las huellas digitales latentes frescas exhiben una fluorescencia amarilla o verde, mientras que aquellas más antiguas presentan una tonalidad naranja, por lo que este fenómeno de desplazamiento en la longitud de onda de fluorescencia en el tiempo fue explorado como un método de datación alternativo a las técnicas tradicionales de revelado (182).

Si bien en un estudio realizado por Menzel (182) las notables variaciones entre donantes impidieron estimaciones precisas, recientemente Van Dam y col. (204) lograron estimar la edad de huellas dactilares mediante espectroscopía de fluorescencia.

Por exposición al aire, los lípidos insaturados se oxidan y originan compuestos capaces de reaccionar con proteínas, generando productos fluorescentes, y fue expuesto que las proteínas que contienen triptófano en su estructura serían el principal promotor de la fluorescencia observada en huellas dactilares (179, 138).

Estos autores elaboraron un modelo de datación sobre la base de las reacciones de oxidación de lípidos y proteínas, determinando la cantidad relativa de productos de oxidación fluorescentes y la velocidad a la cual éstos se forman (204), y lograron establecer la edad de huellas digitales hasta 3 semanas posteriores a su depósito con una incertidumbre de 1,9 días. No obstante, sólo el 55% de las impresiones fueron adecuadas para la estimación de la edad, y no se consideró el sustrato ni la presencia de contaminantes frecuentes con capacidad de generar intensa fluorescencia, al momento de medir la tasa de envejecimiento.

Finalmente, en un nuevo trabajo desarrollado con el objetivo de identificar compuestos químicos responsables de la autofluorescencia de huellas dactilares latentes (205), se estudió la presencia de productos de envejecimiento fluorescentes en estas impresiones mediante TLC combinada con espectroscopía de fluorescencia, y fue demostrado que compuestos derivados de triptófano, como el ácido indolacético, beta-carbolinas y ácido xanturenico, desempeñan un papel importante en el envejecimiento de las huellas dactilares y se señalan como principales contribuyentes de la fluorescencia observada en depósitos de 3 semanas de antigüedad.

En base a estos resultados, los autores indican que el conocimiento acerca de los productos de envejecimiento fluorescentes podría ser útil para el desarrollo de métodos de estimación de la edad de huellas digitales, y sugieren que su proceso de envejecimiento podría ser seguido de una manera reproducible a través de la relación entre la fluorescencia de las proteínas que contienen triptófano y la fluorescencia de otros productos de oxidación aún desconocidos (205).

6.2.2.3 Cambios en las características físicas de las crestas de fricción

Diversos datos obtenidos indican que ocurren cambios morfológicos de las crestas de fricción y de los poros individuales en función del tiempo (196, 206, 207).

En este sentido, en un estudio de 2 años de duración se evidenció que a partir de los 5 días posteriores al depósito de una huella dactilar, los poros comienzan a sufrir alteraciones

morfológicas, mientras la distancia entre ellos se acorta e incluso algunos desaparecen. Las crestas de fricción pierden espesor y el número de elementos macroscópicos de interés dactiloscópico disminuye (206).

Estos resultados se condicen con los presentados por Barros y col. (196), quienes reportaron una reducción dependiente del tiempo en la anchura y porcentaje de las crestas de fricción visibles en residuos de huellas palmares de más de 30 días de antigüedad reveladas con polvo magnético.

De manera similar, Merkel y col. (207) intentaron identificar patrones de alteración en el tiempo en las crestas de fricción para establecer una curva de envejecimiento de huellas digitales latentes, pero utilizando un sensor óptico de luz cromática blanca de alta resolución para la captura de las características físicas de las impresiones. Ellos observaron una disminución dependiente del tiempo en el contraste entre el residuo y el sustrato en huellas de hasta 24 horas de antigüedad, pero estudios durante períodos más prolongados y utilizando diferentes donantes, demostraron dificultades en la reproducibilidad de los resultados (207).

Si bien estos autores demostraron el gran potencial de los dispositivos no invasivos de captura ópticos para determinar la edad de huellas digitales latentes, las estimaciones fueron desarrolladas sobre escenarios limitados y los datos obtenidos hasta el momento no son lo suficientemente fiables para garantizar un proceso metodológico óptimo para tal fin (185).

6.2.2.4 Cambios electrostáticos

Cuando un objeto entra en contacto con un material y posteriormente es retirado, una pequeña cantidad de carga se deposita sobre el material aislante (208).

De este modo, ciertos materiales tienen la capacidad de adquirir carga superficial cuando un dígito se asienta sobre ellos. La cantidad de carga depositada se limita a los puntos de unión y por lo tanto, sirve como una impresión del objeto de contacto.

Si bien la cantidad de carga decae por debajo de niveles medibles en un período de días o semanas (209), la distribución espacial se mantiene intacta, conservándose las definiciones de la imagen. Y los avances tecnológicos han permitido la aplicación de métodos electrostáticos en el

campo de la criminalística a los fines de revelar imágenes latentes, incluyendo huellas dactilares (210, 211).

Con el objetivo de estimar la edad de huellas digitales, Watson y col. (212) propusieron un método basado en la observación del decaimiento de la carga eléctrica de depósitos, a través de mediciones consecutivas durante un período de 14 días con un sensor de potencial eléctrico.

Los resultados obtenidos mostraron que esta técnica podría ser la base de un método no destructivo para estimar el tiempo transcurrido desde que una huella digital fue impresa (213).

Sin embargo, debe considerarse que la caída de la carga superficial resultante en una superficie depende de las propiedades físicas del material y las condiciones ambientales (214), además de que sólo es factible la evaluación de depósitos relativamente recientes, siendo esta metodología limitada para estudios en tiempos muy largos.

6.2.3 Estudios sobre cambios en la composición química de huellas digitales

En numerosos estudios se ha explorado la cinética de reacciones de descomposición y las cantidades relativas de varios compuestos químicos que podrían utilizarse para desarrollar un método capaz de determinar la edad de una huella dactilar latente.

En relación a esto, diversos autores evaluaron la variación en función del tiempo de la concentración de lípidos presentes en residuos de huellas digitales (81, 83, 93).

Se ha establecido que la concentración de ácidos grasos se reduce notablemente en un período de 30 días y que los compuestos insaturados disminuyen más rápidamente en el tiempo que los saturados (91). Sin embargo en pocos estudios se exploró la cinética de estas reacciones, y fue evidente que los cambios ocurridos en la concentración de estos compuestos varían según las condiciones ambientales (93, 173) y entre donantes (81).

Se ha analizado escualeno y colesterol con particular detalle, y éstos fueron calificados como posibles compuestos potencialmente útiles para la datación de huellas digitales latentes.

La concentración de escualeno disminuye rápidamente en el tiempo, siendo indetectable en la mayoría de la huellas digitales antiguas (85, 90, 91, 93, 98), mientras se tornan evidentes compuestos derivados de su degradación, como epóxidos e hidroperóxidos (102). De este modo, impresiones digitales recientes tendrían mayores concentraciones de escualeno y epóxido de

escualeno en comparación con aquellas de mayor antigüedad, las cuales tendrían concentraciones elevadas de hidroperóxidos, por lo que comparaciones y relaciones entre las concentraciones de estos compuestos podrían ser herramientas útiles para estimar la edad de una huella digital (102).

Asimismo, la identificación y cuantificación de aquellos compuestos provenientes de la degradación del colesterol (98) y del ácido oleico (115), que se generan en residuos de huellas latentes mientras éstos disminuyen en el tiempo, podrían ser válidas para desarrollar métodos de datación confiables.

Recientemente, Girod y col. (215) demostraron la posibilidad de crear modelos reproducibles de envejecimiento de huellas dactilares empleando el conocimiento de la cinética de degradación y el cálculo de las proporciones relativas entre componentes lipídicos. Para ello, mediante GC/MS determinaron varios compuestos lipídicos en residuos de huellas dactilares expuestas a diferentes factores de influencia, como efectos del donante, sustrato y técnicas de revelado - llamados factores conocidos, dado que fueron obtenidos a partir de casos reales -, y otros factores, como características del depósito, presión, temperatura e iluminación - denominados factores desconocidos -. Analizaron los datos mediante modelos matemáticos de envejecimiento, y demostraron la factibilidad de obtener modelos de datación reproducibles, así como estimaciones de edad prometedoras, pero estos modelos todavía no son aplicables en la práctica y deben validarse (215).

Por otra parte, los aminoácidos se han estudiado ampliamente en residuos de huellas digitales latentes mediante diversas técnicas analíticas, lo que ha permitido la identificación de muchos de ellos (79, 83, 85, 86), además de analizar su evolución en el tiempo bajo diversas condiciones. (84, 171, 180, 216).

Si bien son muy estables y no sufren foto-degradación, los aminoácidos pueden degradarse a elevadas temperaturas (180). 2,5-diona-3,6-dimetilpiperazina y maleimida, y 2,5-furanodiona se identificaron como productos de descomposición térmica de alanina y ácido aspártico respectivamente (84), y propuestos como responsables de la fluorescencia en huellas digitales expuestas a altas temperaturas (171, 216). Sin embargo, se requieren de investigaciones referentes a la cinética de estas reacciones para evaluar su utilidad para el desarrollo de una metodología de datación cuantitativa confiable.

Si bien se ha propuesto un modelo para estimar la antigüedad de huellas latentes sobre la base de la cinética de formación y cantidad relativa de compuestos fluorescentes fruto de la oxidación proteica (204), las proteínas y polipéptidos son difíciles de identificar y cuantificar en estos residuos con los procesos analíticos disponibles; por lo que no se han considerado como instrumentos de datación. Al igual que otros componentes orgánicos e inorgánicos identificados y cuantificados en residuos de huellas latentes.

6.3 Parámetros a considerar en la búsqueda del método óptimo

De todos los enfoques investigados y propuestos para desarrollar un método óptimo que permita datar huellas dactilares latentes, el análisis de la composición química ha captado el mayor interés, y es en la actualidad el más aceptado como posible método de datación (9, 185).

Y aunque aún no se disponga de un método validado y aprobado, se han propuesto parámetros claves que deben considerarse a la hora de utilizar las características químicas de una huella digital para evaluar su antigüedad (9, 185).

6.3.1 Compuestos de interés

Un compuesto de interés ideal debería cumplir con las siguientes premisas:

- Ser detectable en huellas dactilares latentes de cualquier posible donante.
- Ser un componente de origen endógeno fácilmente diferenciable de aquellos contaminantes que a menudo se encuentran en la superficie de las manos.
- Ser fácilmente detectable y medible con las técnicas analíticas disponibles en laboratorios forenses operacionales.
- Mostrar baja variabilidad frente a los diversos factores que pueden influenciar la composición de huellas dactilares en el tiempo.
- Sufrir modificaciones absolutas o relativas reproducibles y cuantificables en el tiempo.

De los componentes químicos analizados hasta el momento, los lípidos están presentes en todas las huellas dactilares, muestran cambios reproducibles en el tiempo y en condiciones controladas, además de que pueden examinarse con técnicas analíticas utilizadas de forma rutinaria, por lo que pueden considerarse compuestos diana. Sin embargo, algunos también se encuentran a menudo en los cosméticos.

El cambio ocurrido en la fluorescencia de aminoácidos de huellas latentes en el tiempo también podría calificarse como un parámetro potencial de envejecimiento, pero hasta el momento, no se ha documentado fehacientemente su versatilidad frente a la exposición a diferentes factores de influencia (185).

Los lípidos y los aminoácidos serían los compuestos químicos que han captado el mayor interés científico en lo que respecta al análisis de huellas dactilares latentes. No obstante, la composición química de estos residuos es heterogénea y compleja, resultando en la necesidad de nuevos estudios en lo que se logre identificar compuestos hasta el momento desconocidos, que puedan sumarse a los ya identificados con potencial para ser implementados en procesos de datación.

Finalmente, considerando las diversas variables que ejercen un efecto crucial en la composición química de huellas digitales; cuando la naturaleza de algunas de ellas es conocida, puede integrarse en modelos de datación, pero muchas no pueden reconstruirse con precisión (215), por lo que su impacto debe ser rigurosamente investigado al momento de elegir un compuesto de interés pertinente.

6.3.2 Parámetros y modelos de datación

Un buen parámetro de datación sería aquel que demuestre cambios reproducibles en el tiempo y que permita minimizar la variabilidad de los resultados causada por factores de influencia (185).

Y el análisis de las proporciones de compuestos parece una opción propicia para hallar parámetros de envejecimiento, ya que pueden corregir la variabilidad entre muestras.

Respecto a esto, el uso de las relaciones entre compuestos químicos en huellas dactilares latentes ha dado buenos resultados (98, 215, 204), permitiendo reducir la variabilidad intrínseca.

Mediante la determinación de las proporciones de lípidos (98, 215) y la relación de fluorescencia entre las proteínas que contienen triptófano y sus productos de oxidación (204), se ha logrado construir curvas de envejecimiento de huellas digitales latentes reproducibles.

La noción detallada de las velocidades de reacción de descomposición permitiría una comparación entre las concentraciones de los compuestos originarios con la de sus productos, a su vez que, el conocimiento de varios de estos mecanismos diferentes dentro de una huella digital, incrementaría la fiabilidad del método de datación (9).

De esta manera, una correcta estimación de la edad debe basarse en las concentraciones de varias especies químicas diferentes, con distintas tasas de descomposición y que sean afectadas de manera desigual por las variables ambientales. Y donde los mecanismos de descomposición explorados sean los impulsados predominantemente por la exposición al oxígeno, y no los influenciados por radiación UV o por fluctuaciones en la temperatura (9).

Por otra parte, los métodos quimiométricos, que consisten en la aplicación de herramientas matemáticas y estadísticas para obtener información a partir de datos químicos (217, 218), se han calificado instrumentos útiles para modelar el envejecimiento utilizando diferentes parámetros.

Fritz y col. (219) estudiaron los cambios que ocurren en las huellas dactilares en el tiempo utilizando los espectros de espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) como parámetro de envejecimiento y el análisis de componentes principales (PCA), para el trazado de sus resultados.

PCA es una herramienta quimiométrica que permite la reducción de la complejidad de los datos mediante el cálculo dentro de un sistema de coordenadas que contiene solo las dimensiones más relevantes, denominadas componentes principales (217, 218), y que también se ha empleado en trabajos recientemente publicados por Girod y col. para resaltar huellas dactilares de hasta 34 días de edad analizadas por FTIR (220), y sobre datos obtenidos del estudio de huellas dactilares mediante CG/MS (215), donde esta herramienta permitió la observación de patrones de envejecimiento entre impresiones dactilares expuestas a diferentes factores de influencia.

No obstante, si bien estos modelos representan un enfoque prometedor para el abordaje de métodos de datación, son todavía preliminares y se requieren más trabajos de investigación que avalen su potencial.

6.3.3 Modelos de interpretación y validación

Una vez descubiertos parámetros y modelos de datación reproducibles, se deben desarrollar y probar modelos de interpretación, con el fin de producir elementos fiables que contribuyan en la inferencia de la edad.

En cuanto a las huellas dactilares, pueden desarrollarse modelos estadísticos para determinar su antigüedad en función de las concentraciones de componentes específicos en un residuo sometido a la influencia de factores ambientales conocidos (9).

Además de aquellos basados en PCA (215, 219, 220), se han reportado otros modelos de datación consistentes en cálculos de regresión (98, 215) y cocientes de probabilidad (215). Con los cuales, dependiendo del análisis aplicado, es posible inferir intervalos de tiempo durante los cuales pudo haberse depositado una huella digital (pruebas de tendencia), determinar la edad absoluta dentro de un intervalo de confianza (cálculos de regresión) o comparar dos hipótesis alternativas (cocientes de probabilidad estadística) (185). Sin embargo, independiente del modelo elegido, las deducciones siempre deben asentarse en la investigación de un gran número de datos de huellas digitales y tener presente los factores de influencia, por lo que la atención también debe centrarse en la validación de los procedimientos generales más allá de las técnicas analíticas habituales.

6.3.4 Contexto y particularidades del caso

Con el propósito de evitar esfuerzos innecesarios, es posible que la datación de huellas digitales sea preservada solo para casos específicos, en los que se demuestre la importancia perentoria de este tipo de análisis.

Por lo tanto, el contexto de cada caso debería ser cuidadosamente evaluado, con el fin de dar cuenta de la relevancia de realizar estudios de datación (185).

En este sentido, hay que tener presente que un análisis para establecer la antigüedad de huellas digitales sólo podrá desarrollarse en casos que se correspondan en tiempo a la vida media de los

compuestos específicos a determinar, el cual sólo podrá determinarse mediante la información obtenida de la investigación.

De igual modo, deben establecerse aquellas variables capaces de afectar significativamente la composición química de huellas digitales recuperadas (93, 96, 215), y es la investigación, la que debe aportar la información necesaria para advertir cuales factores deben considerarse en cada caso particular, y así, poder definir si los estudios de datación son factibles.

6.3.5 Impronta cuestionada y material de comparación

Para lograr que una técnica de datación sea eficaz, ésta debe simular las condiciones reales del trabajo forense. Por lo tanto, para inferir la antigüedad de una marca o impresión dactilar cuestionada deben determinarse los parámetros de datación a evaluar y posteriormente, introducirse en modelos de datación y de interpretación, los cuales deberán construirse con material de comparación relevante.

Con la intención de evitar la mayor variabilidad posible, el material de comparación debe provenir del sospechoso, ser recogido bajo diferentes condiciones y sobre un sustrato similar al evidenciado en el hecho, y ser evaluado bajo la influencia de variables claramente establecidas.

Para ello, el individuo sospechoso debe ser previamente identificado y localizado, y el tratamiento del material de comparación debe plantearse en base a información contextual aportada por la investigación del caso (185).

6.3.6 Técnicas analíticas

Si bien el éxito de una técnica analítica particular varía dependiendo del compuesto de interés a analizar, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Debe ser de bajo costo y fácilmente disponible en laboratorios forenses.
- Debe poseer la especificidad suficiente que permita diferenciar compuestos endógenos de posibles contaminantes.

- Debe ser capaz de analizar compuestos disponibles en huellas dactilares depositadas sobre diferentes tipos de sustratos.
- Debe ser en lo posible, no destructivo, para permitir que se lleven a cabo otros análisis posteriores.
- Debe ser aplicable posteriormente al tratamiento de revelado de huellas latentes o de otras secuencias de tratamientos de rutina.
- Debe ser una técnica fiable y robusta, que requiera de una preparación de muestras rápida, fácil y reproducible, y que conste de pasos analíticos sencillos.

La TLC es una técnica cromatográfica sencilla y de bajo costo que se ha empleado para evaluar el comportamiento de lípidos en el tiempo en extractos de residuos de huellas dactilares latentes (101), pero los resultados no fueron concluyentes, principalmente debido a las limitaciones técnicas. En la actualidad, el uso de esta metodología para el análisis químico de huellas digitales se ha reemplazado por métodos automatizados, y algunos trabajos la han utilizado sólo como un método de detección rápida, junto o en combinación con otras técnicas de mayor resolución (102, 182).

Otros métodos cromatográficos, como la cromatografía líquida (LC) y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), se han implementado en huellas dactilares con el fin de estudiar cambios químicos en el tiempo, como por ejemplo, la estabilidad y variabilidad de aminoácidos (88, 180), y el comportamiento de lípidos, ácido láctico y urea (102).

La electroforesis capilar acoplada a espectrometría de masas (CE/MS) ha demostrado ser un método óptimo en el análisis de aminoácidos (87), aunque aún no se ha desarrollado un estudio que evalúe su potencial para determinar la evolución en el tiempo de compuestos químicos en residuos de huellas latentes.

No obstante, los notables avances producidos en los últimos 20 años en relación a la sensibilidad y fiabilidad de GC/MS, han dado lugar a un gran número de investigaciones sobre la composición química de huellas digitales utilizando esta metodología analítica, que si bien es destructiva, permite la determinación de numerosos compuestos químicos en diversos sustratos. Mediante GC/MS se han realizado comparaciones en la composición química de huellas digitales entre individuos de diferentes edades (126), razas (75) y género (75, 92), evaluaciones

de técnicas de revelado (84), estudios de inter e intra-variabilidad de huellas dactilares (98, 109) y estudios para estimar su antigüedad (91, 93, 96, 109).

De este modo, Croxton y col. (83, 85) establecieron la variabilidad de ácidos grasos en el tiempo en comparación con la estabilidad de aminoácidos, Archer y col. (93) determinaron alteraciones de ácidos grasos y escualeno bajo condiciones controladas; mientras que otros autores demostraron la posibilidad de crear modelos de datación de huellas dactilares utilizando la degradación de lípidos, y las proporciones entre éstos y sus productos de descomposición (98, 215).

Además de GC/MS, FTIR también es una de las técnicas más empleadas para la determinación química de huellas latentes. Es un método cuantitativo y no destructivo ampliamente utilizado en el estudio de la estructura química y física de diversos materiales. Es una técnica vibracional aplicada al análisis y caracterización de moléculas que abarca la zona del infrarrojo del espectro electromagnético (221, 222).

FTIR se ha utilizado en el estudio de residuos de huellas digitales latentes como posible método de detección y visualización (86), para establecer secuencias de aplicación de huellas y escrituras sobre papel (223), para determinar la composición de lípidos y aminoácidos (79), evaluar las diferencias en la proporción y comportamiento de componentes lipídicos en el tiempo entre huellas digitales de niños y adultos (81) y como un indicador biométrico de la edad de un individuo (132).

Considerando el tamaño y la naturaleza heterogénea de los residuos de huellas digitales, el desarrollo de la microespectroscopía vibracional - basada en una combinación de FTIR con microscopía óptica (222) - ha proporcionado una serie de ventajas para el análisis de estas impresiones, y se ha utilizado para examinar, tanto la composición química en el tiempo bajo ciertas condiciones (173) y en diversas superficies (78, 82, 224, 225), como la presencia de contaminantes (226, 227).

En lo que respecta a la estimación de la antigüedad de huellas dactilares, Fritz y col. (219) emplearon FTIR para evaluar el comportamiento de lípidos en función del tiempo sin conseguir resultados concluyentes; mientras que Girod y col. (220), con el objetivo de obtener información sobre la composición química inicial y la cinética de envejecimiento, lograron distinguir huellas

dactilares en grupos de entre 0 a 34 días de antigüedad y establecer diferencias en la composición química dependientes de la exposición a condiciones de luz u oscuridad.

De esta manera, GC/MS y FTIR demuestran ser métodos con gran potencial para el análisis químico de huellas ya que ambos están normalmente disponibles en la mayoría de los laboratorios forenses y también son complementarios. Mientras GC/MS permite la identificación precisa y la diferenciación de compuestos endógenos y contaminantes, FTIR sólo detecta los enlaces atómicos, siendo menos específica. Por otro lado, con GC/MS pueden analizarse depósitos sobre diferentes tipos de sustratos (porosos y no porosos), mientras FTIR es óptimo para superficies reflectantes no porosas (185).

Sin embargo, FTIR es una técnica no destructiva que puede llevarse a cabo in situ y con una mínima preparación de la muestra, mientras GC/MS requiere de un proceso de extracción -cuya eficacia dependerá del solvente empleado-, y de más etapas de análisis, incluyendo procesos de derivatización para algunos compuestos de interés (80, 228).

Finalmente, en recientes estudios donde se evaluó la autofluorescencia de huellas digitales latentes (138, 204), se ha propuesto un modelo de datación mediante la cinética de formación de compuestos fluorescentes determinados mediante espectroscopía de fluorescencia (204). Si bien esta metodología puede considerarse similar a FTIR dado que es una técnica no destructiva, fácilmente disponible y que proporciona un rápido análisis, no se ha estudiado extensamente para este tipo de muestras y tiene la desventaja de no poder diferenciar compuestos endógenos de contaminantes (185).

Por otra parte, el desarrollo de técnicas avanzadas en espectrometría de masas (MS) vinculadas a diferentes procesos de ionización, ofrece nuevas alternativas para el estudio de huellas digitales latentes (94, 99, 115, 154, 175, 229, 230).

Se ha propuesto MALDI-MS como una técnica efectiva para diferenciar y separar impresiones de huellas dactilares superpuestas (229) y para obtener información visual y química de manera simultánea en este tipo de matriz (231, 232).

Ferguson y col. (129) demostraron que la detección directa de péptidos y proteínas presentes en huellas digitales latentes mediante MALDI-MS junto con la modelación multivariable de los espectros, permitió determinar el sexo del donante con una precisión del 85%, mientras Wolstenholme y col. (115) corroboraron su potencial para el análisis químico y datación de estos

residuos al distinguir exitosamente huellas de diferentes edades mediante la detección de ácido oleico y sus productos de descomposición en el tiempo aplicando esta metodología.

La utilidad de la espectrometría de masas de iones secundarios (SIMS) también fue evaluada y calificada como una metodología de imagen eficaz para detectar y localizar una gran diversidad de componentes de origen sebáceo y ecrino en huellas dactilares, y que no es obstaculizada por la aplicación de polvos reveladores comunes (175, 230).

SIMS utiliza un haz de iones primarios finamente enfocado para la ionización suave de una superficie a través de la desorción de iones secundarios, y cuando se combina con un espectrómetro de masas en tiempo de vuelo (ToF-SIMS) permite un análisis rápido sobre un amplio rango de masas, produciendo imágenes de alta resolución. Método que se ha utilizado para establecer variaciones en la composición lipídica de residuos de donantes de ambos sexos (99) y para determinar la secuencia de deposición de las huellas dactilares e impresiones de tinta en una superficie de papel poroso, dando óptimos resultados (233, 234).

Del mismo modo, MALDI/ToF-MS (95, 97, 106) y Túnel de electrones activado por láser (LAET) (130), se han utilizado para la detección de diversos compuestos químicos endógenos y exógenos en huellas dactilares latentes.

Sumado a esto, una mejora significativa en los últimos años en el campo de los sensores ópticos, ha dado lugar a una mejor calidad del análisis químico sin contacto de diversas superficies y sustancias (112, 207). Aplicando estas técnicas de visualización no invasivas, y por lo tanto no destructivas, es posible obtener una tendencia de envejecimiento de impresiones de huellas latentes mediante capturas en intervalos de tiempo regulares (112).

Además de la espectroscopía Raman (107) y FTIR (79, 81, 82), destinadas al análisis químico de huellas digitales latentes, en recientes estudios en los que utilizaron sensores cromáticos de luz blanca con la finalidad de producir observaciones de alta resolución y obtener tendencias de senectud, se logró demostrar una tendencia logarítmica de envejecimiento característica - tanto en 2 dimensiones como en imágenes topográficas 3D - de rastros de huellas digitales en diferentes condiciones ambientales y superficies (207, 235, 236).

Por ello, se definieron numerosas ventajas para tales dispositivos de captura ópticos en el análisis de residuos de huellas latentes (207). En primer lugar, estas técnicas otorgan observaciones muy precisas de envejecimiento de impresiones mediante capturas en intervalos

de tiempo regulares y el análisis de los cambios que se producen, además de brindar la posibilidad de una evaluación detallada que incluye la observación de las propiedades de envejecimiento de partículas específicas.

Por otra parte, mediante la combinación de diversos dispositivos físicos, como scanners 3D y microscopios, y dispositivos de captura químicos, como rayos UV, FTIR o espectroscopía Raman, se podrían obtener diferentes características de envejecimiento, como contraste óptico, cambios morfológicos, o alteraciones en la composición química de estos residuos. Y por último, las técnicas de procesamiento digital disponibles pueden brindar diversas formas de analizar los datos, como por ejemplo: métodos de pre-procesamiento para mejorar la calidad de impresiones o borrar o disminuir efectos causados por diferentes factores, o técnicas de reconocimiento de patrones establecidos para la detección de ciertas características de envejecimiento (207).

Finalmente, las imágenes hiperespectrales (HSI), que integran técnicas de imagen convencionales y espectroscopía, permiten analizar la composición química de huellas y simultáneamente, visualizar su distribución espacial, ofreciendo la posibilidad de detección, visualización, identificación y estimación de la antigüedad de estos rastros (237).

Al igual que la espectroscopía, HSI pueden aplicarse en diferentes partes del espectro electromagnético, y demostraron ser eficientes para la obtención de imágenes de huellas dactilares latentes y la detección de cantidades trazas de materiales dentro de éstas.

El análisis del comportamiento temporal de los espectros puede dar la penetración de los cambios químicos dentro de una muestra, que pueden utilizarse para la estimación de la edad (238).

En adición, una serie de ventajas, como su naturaleza no destructiva, la velocidad de adquisición de los datos, la reducción del error humano y la posibilidad de ilustrar los resultados, además de la disponibilidad de sistemas portátiles, caracterizan a HSI como una herramienta analítica idónea en el campo de a ciencias forenses.

En lo que respecta al análisis de huellas digitales latentes, se ha evaluado en numerosos trabajos como técnica de detección y visualización de impresiones sobre diversos sustratos como plásticos (239), papel (225, 239, 240), cintas (225), metales y cerámicos (224, 241), para el revelado de impresiones superpuestas (242, 243), y con la finalidad de incrementar el contraste y calidad visual de huellas dactilares tratadas con métodos tradicionales de revelado (236, 238, 244).

De igual modo, se han probado diferentes algoritmos de búsqueda espectral para determinar su eficacia en la pesquisa de numerosas sustancias en huellas dactilares, como restos de componentes explosivos, drogas y otros compuestos exógenos (108, 161, 226, 244, 245), e incluso, como una técnica para la detección e identificación de rastros dactilares contaminados con sangre, (246) obteniendo resultados prometedores.

No obstante, todas estas metodologías analíticas aun se encuentran en desarrollo y no se han validado para su implementación en laboratorios forenses.

Y si bien, respecto a la estimación de la edad de huellas digitales latentes, las necesidades parecen orientarse hacia métodos de análisis químico cuantitativos no destructivos, es importante tener presente las diferentes capacidades en términos de sensibilidad, selectividad, reproducibilidad y viabilidad de cada metodología (247), que hacen que ninguna de ellas pueda cumplir con todos los criterios necesarios para ser considerada óptima, exigiendo aún, de un proceso iterativo para seleccionar la opción más fiable para tan fin.

6.4 Consideraciones Legales

En una revisión sobre casos legales ocurridos hasta el momento, donde fue discutida de manera implícita y explícita la antigüedad de huellas dactilares latentes recuperadas en la escena del crimen, se mostró que las estimaciones establecidas no fueron apoyadas por procedimientos científicos sólidos, incluso cuando se intentaron experimentos limitados (185).

La mayor parte de las discusiones enfatizaron en que es esencialmente imposible determinar de manera precisa la antigüedad de rastros latentes, y puntualizan en que una estimación no debe basarse únicamente en la calidad de una impresión (185).

Por otra parte, además de las limitaciones metodológicas, hay que considerar aquellas dificultades que podrían presentarse en el marco del proceso judicial del hecho que se investiga. Debe contarse con los procedimientos adecuados ante situaciones problemáticas que podrían surgir frente a sospechosos no dispuestos a cooperar, además de desarrollarse métodos de control, con la finalidad de evitar que éstos apliquen intencionalmente contaminantes externos en su impresión en un intento de alterar su composición.

Por último, al momento de implementar un estudio, también se deben tener en cuenta aspectos de privacidad, inconveniente que probablemente podría remediarse si las metodologías de análisis adoptadas se centran en compuestos neutrales que no revelen ningún aspecto del individuo sujeto a investigación.

En tal sentido, en un análisis desde el punto de vista técnico-jurídico realizado por Merkel y col. (186) se señala a los sensores de imagen sin contacto como una posible tecnología para determinar la edad de huellas digitales capaz de proteger la privacidad, garantizando transparencia, idoneidad, limitación de uso y seguridad de datos.

6.5 Perspectivas Futuras

Como fue planteado por Cadd y col. (9), con la finalidad de evaluar la composición química en el tiempo como un método viable de datación de huellas dactilares latentes, se deben explorar puntos claves:

- La identificación de las reacciones químicas y mecanismos de descomposición que se producen en huellas dactilares en el tiempo, así como los posibles productos de descomposición intermedios y finales.
- La determinación de la cinética de reacción de descomposición de ciertos compuestos químicos, que permita identificar la composición de huellas digitales en intervalos de tiempo específicos posteriores a la deposición.
- La determinación de la relación de compuestos específicos y sus productos de descomposición en el tiempo, para lograr estimaciones de edad más precisas en comparación con los cambios de concentración de compuestos individuales.
- La determinación del efecto que ejercen las variables ambientales, sustratos y técnicas de revelado en la composición química de residuos de huellas latentes.
- El desarrollo de pruebas a gran escala para explorar la significación de los resultados e identificar la exactitud, precisión y fiabilidad del método propuesto para la determinación de la edad de una huella dactilar.

- El desarrollo de nuevos reactivos reveladores adaptados específicamente para determinar la edad de huellas digitales, como por ejemplo, reactivos dirigidos de manera selectiva hacia compuestos químicos que sólo están presentes en un lapso de tiempo conocido.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Las huellas dactilares constituyen una forma de identificación absoluta de un individuo y son frecuentemente encontradas en la escena de un delito, pero sin la posibilidad de evaluar su antigüedad, el valor probatorio de la pericia dactiloscópica clásica se torna en muchos casos insuficiente. En numerosos testimonios de expertos se hace referencia de estimaciones de edad sobre la base de parámetros subjetivos, como la calidad de las impresiones antes o después de su revelado, que pueden ser tomadas por un juez o jurado llevando a conclusiones erróneas o sesgadas.

Mientras que en la literatura se establece que la datación de huellas dactilares latentes es imposible, hay quienes postulan que, además del análisis rutinario de las características de las crestas de fricción, es factible obtener información adicional a partir de su composición química. En este sentido, dentro de los enfoques investigados, la determinación de los cambios en la composición química a través del tiempo, parece el método con mayor potencial para estimar la edad de estos residuos.

No obstante, en la actualidad no se dispone de métodos analíticos aceptados y validados para tal fin. Y a pesar de estar comprobado que la composición entre depósitos de huellas latentes frescas y envejecidas difiere significativamente, se desconocen los compuestos específicos responsables de esta diferencia.

El principal motivo por el cual aún no es posible resolver este reto radica en diversos aspectos: 1) una huella dactilar latente está compuesta por una gran diversidad de sustancias y su composición puede variar de manera considerable, tanto cuantitativa como cualitativamente, 2) las técnicas de visualización y revelado tradicionales alteran los componentes de estos residuos y 3) existen numerosos factores que influyen su comportamiento en el tiempo.

De este modo, en la estimación de su longevidad se deben considerar la composición de los residuos, las características ambientales y las condiciones asociadas a la colocación y la durabilidad de la impresión.

Por otra parte, las técnicas analíticas propuestas hasta el momento resultan en una costosa y compleja combinación de procedimientos analíticos, además de no poder replicarse las condiciones reales en las cuales se encuentran las huellas digitales latentes en las operaciones cotidianas, y de no establecerse el impacto legal que genera de la necesidad de contar con múltiples impresiones de un sospechoso.

Los estudios y casos revisados en este trabajo revelan una amplia variación de los cambios que acontecen sobre huellas latentes en el tiempo, y que no es factible obtener ninguna indicación confiable sobre su antigüedad a partir de sus tasas de desarrollo o apariencia luego de ser reveladas.

En las investigaciones científicas realizadas recientemente apuntan a los métodos de análisis químico cuantitativo no destructivos (de no contacto) como el medio óptimo para asegurar resultados fiables de datación, y postulan que, mientras la visualización de huellas latentes no pueda realizarse sin contacto, la estimación de su envejecimiento a través de la evaluación de la composición de sustancias es irrealizable.

Sin embargo, estas técnicas no destructivas todavía se encuentran en fases iniciales de su desarrollo y no se implementaron en casos forenses reales, donde aún se aplican los procesos de revelado tradicionales, basados en el uso de reactivos dirigidos a componentes específicos de estas impresiones.

En cuanto a lo expresado hasta aquí, nuestro medio no está exento a esta problemática, por lo que la incorporación de técnicas de datación dentro del trabajo de investigación realizado en la Policía Judicial de la Provincia de Córdoba, no podrá ser factible en un corto plazo.

Sin embargo, la importancia de poder llevar a cabo el plan de investigación propuesto radica en la posibilidad de aportar conocimientos en esta temática desde un lugar donde aún nada se ha probado o desarrollado. Aunque es relevante destacar que la metodología propuesta hasta el momento resulta costosa y requiere de personal altamente capacitado, generando la necesidad de un arduo trabajo multidisciplinario que abarque, no sólo el desarrollo científico, sino también, la correcta transmisión de conocimientos.

Con todo ello, podemos concluir que, debido a su naturaleza lábil y compleja, la determinación de la composición química de residuos de huellas dactilares latentes sigue representando un desafío analítico a nivel internacional y presupone que la estimación de su antigüedad no será

aplicable a los exámenes de rutina en un futuro próximo. Mientras tanto, las especulaciones y testimonios con respecto al momento en el que una huella latente fue generada podrán seguir cuestionándose.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) RABINOVICH-BERKMAN, RD. *Un viaje por la historia del derecho*. Editorial Quórum, Buenos Aires, 2002.
- (2) BARNES, JG. "History". En: *The Fingerprint Sourcebook*. Washington DC: Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, 2011, Chapter 1. p. 1-22.
- (3) GUZMÁN, CA. *Manual de Criminalística*. Ediciones La Rocca, Buenos Aires, 2000. p. 93-107. ISBN: 950-9714-93-3.
- (4) ALEGRETTI, JC., BRANDIMARTI DE PINI, N. *Tratado de Papiloscopía*. Ediciones La Rocca, Buenos Aires, 2007. p. 223-243.
- (5) ALEGRETTI, JC., BRANDIMARTI DE PINI, N. *Tratado de Papiloscopía*. Ediciones La Rocca, Buenos Aires, 2007. p. 25-54.
- (6) CHAUHAN, A., SINGH, J. "A Review; Timeline of Palm prints since beginning till now". En: *International Journal of Research (IJR)* Volume 2, Issue 06, 2015. ISSN: 2348-6848.
- (7) ARTONE, CJ. "Fingerprints". En: MOZAYANI, A., NOZIGLIA, C. *The Forensic Laboratory Handbook. Procedures and Practice*. 2nd Ed., Humana Press, Houston, 2011. p. 146-179. ISBN: 978-1-60761-871-3.
- (8) NATIONAL FORENSIC SCIENCE TECHNOLOGY CENTER (NFSTC). *Crime Scene Investigation. A Guide for Law Enforcement*. Florida: Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, September 2013. Disponible en web: <https://www.nfstc.org/bja-programs/crime-scene-investigation-guide/>.
- (9) CADD, S., ISLAM, M., MANSON, P., et al. "Fingerprint composition and aging: A literature review". En: *Science and Justice* Volume 55, Issue 4, 2015. p. 219-238.
- (10) ALMOG, J., GLASNER, H. "Ninhydrin Thiohemiketals: Basic Research Towards Improved Fingerprint Detection Techniques Employing Nano-Technology". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 55, No 1, 2010. p. 215-220.
- (11) CADD, SJ., BLEAY, SM., SEARS, VG. "Evaluation of the solvent black 3 fingerprint enhancement reagent: Part 2 – Investigation of the optimum formulation and application parameters". En: *Science and Justice* Volume 53, Issue 2, 2013. p. 131-143.
- (12) MINK, T., VOORHAAR, A., STOEL, R., et al. "Determination of efficacy of fingerprint enhancement reagents; the use of propyl chloroformate for the derivatization of fingerprint amino acids extracted from paper". En: *Science and Justice* Volume 53, Issue 3, 2013. p. 301-308.

- (13) SHENAWI, S., JABER, N., ALMOG, J., et al. "A novel approach to fingerprint visualization on paper using nanotechnology: reversing the appearance by tailoring the gold nanoparticles' capping ligands". En: *Chemical Communications* Volume 49, Issue 35, 2013. p. 3688-3690.
- (14) NIXON, C., ALMONG, MJ., BAUM, JB., et al. "Enhancement of Aged and Denatured Fingerprints Using the Cyanoacrylate Fuming Technique Following Dusting with Amino Acid-Containing Powders". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 58, No 2, 2013. p. 508-512.
- (15) VAN DAM, A., VAN BEEK, FT., AALDERS, CG., et al. "Techniques that acquire donor profiling information from fingermarks – A review". En: *Science and Justice* Volume 56, Issue 2, 2016. p. 143-154.
- (16) GENESER, F. *Histología*. 3^{er} Ed., Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, 2000. p. 445-464. ISBN: 950-06-0883-9.
- (17) FREINKEL, RK., WOODLEY, DT. *The Biology of the Skin*. Parthenon Publishing, New York, 2001.
- (18) FUCHS, E. "Epidermal Differentiation: The Bare Essentials". En: *The Journal of Cell Biology* Volume 111, No 6, 1990. p. 2807-2814.
- (19) ALEGRETTI, JC., BRANDIMARTI DE PINI, N. *Tratado de Papiloscopía*. Ediciones La Rocca, Buenos Aires, 2007. p. 56-69.
- (20) WILKE, K., MARTIN, A., TERSTEGEN, L., et al. "A short history of sweat gland biology". En: *International Journal of Cosmetic Science* Volume 29, 2007. p. 169-179.
- (21) BRAMBLE, SK., BRENNAN, JS. "Chemistry of Print Residue" En: *Encyclopedia of Forensics Sciences* Volume Set 1-3, Academic Press, 2000. p. 862-869. ISBN: 0122272153.
- (22) DALRYMPLE, B. "Identification and Classification" En: *Encyclopedia of Forensics Sciences* Volume 3, Academic Press, 2000. p. 869-877. ISBN: 0122272153.
- (23) ALMOG, J. "Visualization" En: *Encyclopedia of Forensics Sciences* Volume 3, Academic Press, 2000. p. 890-900. ISBN: 0122272153.
- (24) WERTHEIM, K. "Embryology and Morphology of Friction Ridge Skin". En: *The Fingerprint Sourcebook*. Washington DC: Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, Chapter 3. p. 1-26.
- (25) BABLER, WJ. "Prenatal selection and dermatoglyphic patterns". En: *American Journal of Physical Anthropology* Volume 48, Issue 1, 1978. p. 21-27.
- (26) SMITH, LT., HOLBROOK, KA. "Embryogenesis of the Dermis in Human Skin". En: *Pediatric Dermatology* Volume 3, No 3, 1986. p. 271-280.
- (27) ASHBAUGH, DR. *Quantitative–Qualitative Friction Ridge Analysis: An Introduction to Basic and Advanced Ridgeology*. CRC Press: Boca Raton, Florida, 1999.

- (28) MOORE, SJ., MUNGER, B. "The Early Ontogeny of the Afferent Nerves and Papillary Ridges in Human Digital Glabrous Skin". En: *Developmental Brain Research* Volume 48, No 1, 1989. p. 119-141.
- (29) MOROHUNFOLA, KA., JONES, TE., MUNGER, BL. "The differentiation of the skin and its appendages. I. Normal development of papillary ridges". En: *The Anatomical Record* Volume 232, Issue 4, 1992. p. 587-598.
- (30) KUCKEN, M., NEWELL, AC. "Fingerprint formation". En: *Journal of Theoretical Biology* Volume 235, Issue 1, 2005. p. 71-83.
- (31) BECUE, A., MORET, S., CHAMPOD, C., et al. "Use of stains to detect fingermarks". En: *Biotechnic and Histochemistry* Volume 83, Issue 3, 2011. p. 140-160.
- (32) AKIBA, N., SAITOH, N., KENRO KUROKI, BS. "Fluorescence Spectra and Images of Latent Fingerprints Excited with a Tunable Laser in the Ultraviolet Region". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 52, No 5, 2007. p. 1103-1106.
- (33) LENNARD, C. "The Detection and Enhancement of Latent Fingerprints". En: 13th INTERPOL Forensic Science Symposium, Lyon, France, October 16-19, 2001. Disponible en web: <https://www.interpol.int/es/INTERPOL-expertise/Forensics/Forensic-Symposium>.
- (34) SODHI, GS., KAUR, J. "Powder method for detecting latent fingerprints: a review". En: *Forensic Science International* Volume 120, 2001. p. 172-176.
- (35) MENZEL, ER. "Recent Advances in Photoluminescence Detection of Fingerprints". En: *The Scientific World* Volume 1, 2001. p. 498-509.
- (36) YAMASHITA, B., FRENCH, M. "Latent Print Development". En: *The Fingerprint Sourcebook*. Washington DC: Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, Chapter 7. p. 1-67.
- (37) STAUFFER, E., BECUE, A., SINGH, KV., et al. "Single-metal deposition (SMD) as a latent fingermark enhancement technique: an alternative to multimetal deposition (MMD)". En: *Forensic Science International* Volume 168, 2007. p. e5-e9.
- (38) DURUSSEL, P., STAUFFER, E., BECUE, A., et al. "Single-metal deposition: Optimization of this fingermark enhancement technique". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 59, 2009. p. 80-96.
- (39) LEE, HC., GAENSSLEN, RE. "Methods of latent fingerprint development". En: LEE HC, GAENSSLEN, RE. *Advances in Fingerprint Technology*. 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, 2001. p. 216-276.
- (40) JASUJA, OP., SINGH, GD., SODHI, GS. "Small particle reagents: development of fluorescent variants". En: *Science and Justice* Volume 48, 2008. p. 141-145.
- (41) RESCH-GENGER, U., GRABOLLE, M., CAVALIERE-JARICOT, S., et al. "Quantum dots versus organic dyes as fluorescent labels". En: *Nature Methods* Volume 5, No 9, 2008. p. 763-775.

- (42) MENZEL, ER., SASOY, SM., ULVICK, SJ., et al. "Photoluminescent semiconductor nanocrystals for fingerprint detection". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 45, No 3, 2000. p. 545-551.
- (43) MENZEL, ER., TAKATSU, M., MULDOCK, RH., et al. "Photoluminescent CdS/dendrimer nanocomposites for fingerprint detection". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 45, No 4, 2000. p. 770-773.
- (44) SAMETBAND, M., SHAWKEY, I., BANIN, U., et al. "Application of nanoparticles for the enhancement of latent fingerprints". En: *Chemical Communications* Volume 12, Issue 11, 2007. p. 1142-1144.
- (45) BECUE, A., MORET, S., CHAMPOD, C., et al. "Use of quantum dots in aqueous solution to detect blood fingermarks on non-porous surfaces". En: *Forensic Science International* Volume 191, Issues 1-3, 2009. p. 36-41.
- (46) WANG, YF., YANG, RQ., WANG, YJ., et al. "Application of CdSe nanoparticle suspension for developing latent fingermarks on the sticky side of adhesives". En: *Forensic Science International* Volume 185, Issues 1-3, 2009. p. 96-99.
- (47) TAN, W., WANG, K., HE, X., et al. "Bionanotechnology based on silica nanoparticles". En: *Medicinal Research Reviews* Volume 24, Issue 5, 2004. p. 621-638.
- (48) HANSEN, DB., JOULLIÉ, MM. "The development of novel ninhydrin analogues". En: *Chemical Society Reviews* Volume 34, Issue 5, 2005. p. 408-417.
- (49) WILKINSON, D., RUMSBY, D., BABIN, B., et al. "The Results from a Canadian National Field Trial Comparing 1,8-Diazafluoren-9-one (DFO) with Ninhydrin and the Sequence DFO Followed by Ninhydrin". En: Technical Report TR-03-2005; Canadian Police Research Centre, Ontario, 2005.
- (50) ROUX, C., JONES, N., LENNARD, C., et al. "Evaluation of 1,2-Indanedione and 5,6-Dimethoxy-1,2-Indanedione for the Detection of Latent Fingerprints on Porous Surfaces". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 45, No 4, 2000. p. 761-769.
- (51) D'ELIA, V., MATERAZZI, S., IULIANO, G., et al. "Evaluation and comparison of 1,2-indanedione and 1,8-diazafluoren-9-one solutions for the enhancement of latent fingerprints on porous surfaces". En: *Forensic Science International* Volume 254, 2015. p. 205-214.
- (52) WIESNER, S., SPRINGER, E., SASSON, Y., et al. "Chemical Development of Latent Fingerprints: 1,2-Indanedione Has Come of Age". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 46, No 5, 2001. p. 1082-1084.
- (53) RAWJI, A., BEAUDOIN A. "Oil red O versus physical developer on wet papers: a comparative study". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 56, 2006. p. 33-54.

- (54) NAVARRO, E., CASTELLÓ, A., LÓPEZ, JL., et al. "Criminalystic: Effectiveness of lysochromes on the developing of invisible lipstick contaminated lipmarks on human skin". En: *Forensic Science International* Volume 158, Issue 1, 2006. p. 9-13.
- (55) GRZEGORZEWSKA, E., FILBRANDT, B. "Enhancement of latent fingermarks with RTX method". En: *Problemy Kryminalny* Volume 246, 2004. p. 19-24.
- (56) MASHIKO, K., GERMAN, ER., MOTOJIMA, K., et al. "RTX: a new ruthenium tetroxide fuming procedure" En: *Journal of Forensic Identification* Volume 41, 1991. p. 429-436.
- (57) MASHIKO, K., MIYAMOTO, T. "Latent fingerprint processing by the ruthenium tetroxide". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 48, 1998. p. 279-290.
- (58) BLACKLEDGE, RD. "Latent print processing by the ruthenium tetroxide method" [letter plus editor's reply]. En: *Journal of Forensic Identification* Volume 48, 1998. p. 557-559.
- (59) ALMOG, J., COHEN, Y., AZOURY, M., et. al. "Genipin, a novel fingerprint reagent with colorimetric and fluorogenic activity" En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 49, No 2, 2004. p. 255-257.
- (60) LEVINTON-SHAMUILOV, G., COHEN, Y., AZOURY, M., et al. "Genipin, a novel fingerprint reagent with colorimetric and fluorogenic activity. Part II: Optimization, scope and limitations". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 50, No 6, 2005. p. 1367-1371.
- (61) HOME OFFICE SCIENTIFIC DEVELOPMENT BRANCH (HOSDB). "Use of DMAC on thermal papers". En: *HOSDB Fingerprint and Footwear Forensics Newsletter* Publication No 58/06, 2006.
- (62) VAN DAM, A., AALDERS, M., DE PUIT, M., et al. "Immunolabeling and the compatibility with a variety of fingermark development techniques". En: *Science and Justice* Volume 54, Issue 5, 2014. p. 356-362.
- (63) HUTCHINS, LA. "The Preservation of Friction Ridges". En: *The Fingerprint Sourcebook*. Washington DC: Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, Chapter 8. p. 1-21.
- (64) COMMITTEE ON IDENTIFYING THE NEEDS OF THE FORENSIC SCIENCES COMMUNITY, NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*. U.S. Department of Justice, 2009. ISBN: 0-309-13131-6. Disponible en web: <http://www.nap.edu/catalog/12589.html>.
- (65) SCIENTIFIC WORKING GROUP ON FRICTION RIDGE ANALYSIS, STUDY AND TECHNOLOGY (SWGFAST). *Standard for the Documentation of Analysis, Comparison, Evaluation, and Verification (ACE-V) (Latent)*. Document No 8, Version 2.0, 2012. Disponible en web: http://www.swgfast.org/documents/documentation/121124_Standard-Documentation-ACE-V_2.0.pdf.

- (66) MUSTONEN, V., HAKKARAINEN, K., TUUNAINEN J., et al. "Discrepancies in expert decision-making in forensic fingerprint examination". En: *Forensic Science International* Volume 254, 2015. p. 215-226.
- (67) ULERY, BT., HICKLIN, RA., ROBERTS, MA., et al. "Interexaminer variation of minutia markup on latent fingerprints". En: *Forensic Science International* Volume 264, 2016. p. 89-99.
- (68) ULERY, BT., HICKLIN, RA., ROBERTS, MA., et al. "Data on the interexaminer variation of minutia markup on latent fingerprints". En: *Data in Brief* Volume 8, 2016. p. 158-190.
- (69) DALRYMPLE, B., MACKILLICAN, J. "Automated Methods, including Criminal Record Administration" En: *Encyclopedia of Forensics Sciences* Volume 3, Academic Press, 2000. p. 854-862. ISBN: 0122272153.
- (70) MOSES, KR. "Automated Fingerprint Identification System (AFIS)". En: *The Fingerprint Sourcebook*. Washington DC: Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, Chapter 6. p. 1-33.
- (71) CHEN, Y. "Extended Feature Set and Touchless Imaging for Fingerprints Matching". A dissertation submitted to Michigan State University, 2009. Disponible en web: <http://biometrics.cse.msu.edu/pubs/theses.html>.
- (72) NEUMANN, C., ARMSTRONG, DE., WU, T. "Determination of AFIS "sufficiency" in friction ridge examination". En: *Forensic Science International* Volume 263, 2016. p. 114-125.
- (73) LEGISLACIÓN PROVINCIAL DE CÓRDOBA: LEY 7826. Disponible en web: <http://web2.cba.gov.ar/web/leyes.nsf/0/A2B559675C27419D03257CD800608211?OpenDocument&Highlight=0,7826>.
- (74) GIROD, A., RAMOTOWSKI, R., WEYERMANN, C. "Composition of fingerprints residue: A qualitative and quantitative review". En: *Forensic Science International* Volume 223, 2012. p. 10-24.
- (75) MICHALSKI, S., SHALER, R., DORMAN, FL. "The Evaluation of Fatty Acid Ratios in Latent Fingermarks by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) Analysis". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 58, No S1, 2013. p. S215-S220.
- (76) KENT, T. "Water content of latent fingerprints – Dispelling the myth". En *Forensic Science International* Volume 266, 2016. p. 134-138.
- (77) LEWELLYN, P. Jr., DINKINS, L. "New use for an old friend". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 42, Issue 5, 1995. p. 498-503.
- (78) WILLIAMS, DK., SCHWARTZ, RL., BARTICK, EG. "Analysis of Latent Fingerprint Deposits by Infrared Microspectroscopy". En: *Applied Spectroscopy* Volume 58, No 3, 2004. p. 313-316.
- (79) RICCI, C., OHIRIYAVITYOPAS, P., CURUM, N., et al. "Chemical Imaging of Latent Fingerprint Residues". En: *Applied Spectroscopy* Volume 61, No 5, 2007. p. 514-522.

- (80) KELLER, BO., SUI, J., YOUNG, AB., *et al.* "Interferences and contaminants encountered in modern mass spectrometry". En: *Analitica Chimica Acta* Volume 627, 2008. p. 71-81.
- (81) ANTOINE, KM., SHIRIM MORTAZAVI, BS., MILLER, AD., *et al.* "Chemical Differences Are Observed in Children's Versus Adults' Latent Fingerprints as a Function of Time". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 55, No 2, 2010. p. 513-518.
- (82) WILLIAMS, DK., BROWN, CJ., BRUKER, J. "Characterization of children's latent fingerprint residues by infrared microspectroscopy: Forensic implications". En: *Forensic Science International* Volume 206, 2011. p. 161-165.
- (83) CROXTON, RS., BARON, MG., BUTLER, D., *et al.* "Development of a GC-MS Method for the Simultaneous Analysis of Latent Fingerprint Components". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 51, No 6, 2006. p. 1329-1333.
- (84) RICHMOND-AYLOR, A., BELL, S., CALLERY P., *et al.* "Thermal Degradation Analysis of Amino Acids in Fingerprint Residue by Pyrolysis GC-MS to Develop New Latent Fingerprint Developing Reagents". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 52, No 2, 2007. p. 380-382.
- (85) CROXTON, RS., BARON, MG., BUTLER, D., *et al.* "Variation in amino acid and lipid composition of latent fingerprints". En: *Forensic Science International* Volume 199, 2010. p. 93-102.
- (86) CONNATSER, RM., PROKES, SM., GLEMBOCKI, OJ., *et al.* "Toward Surface-Enhanced Raman Imaging of Latent Fingerprints". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 55, No 6, 2010. p. 1462-1470.
- (87) ATHERTON, T., CROXTON, R., BARON, M., *et al.* "Analysis of amino acids in latent fingerprint residue by capillary electrophoresis-mass spectrometry". En: *Journal of Separation Science* Volume 35, Issue 21, 2012. p. 2994-2999.
- (88) DE PUIT, M., ISMAIL, M., XU, X. "LCMS Analysis of Fingerprints, the Amino Acid Profile of 20 Donors". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 59, No 2, 2014. p. 364-370.
- (89) HARTZELL-BAGULEY, B., HIPPEL, RE., MORGAN, NR., *et al.* "Chemical composition of latent fingerprints by gas chromatography-mass spectrometry. An experiment for an instrumental analysis course". En: *Journal of Chemical Education* Volume 84, Issue 4, 2007. p. 689-691.
- (90) JACQUAT, A. "Evolution des substances grasses des empreintes digitales au cours du temps: analyse par TLC et GC-MS". Master Project, Institut de Police Scientifique, Lausanne University, 1999.
- (91) MONG, GM., PETERSEN, CE., CLAUS TRW. "Advanced Fingerprint Analysis Project Fingerprint Constituents". Pacific Northwest National Laboratory, U.S. Department of Energy, 1999. Disponible en web: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/14172>.

- (92) ASANO, KG., BAYNE, CK., HORSMAN, KM., et al. "Chemical composition of fingerprints for gender determination". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 47, No 4, 2010. p. 805-807.
- (93) ARCHER, NE., CHARLES, Y., ELLIOTT JA., et al. "Changes in the lipid composition of latent fingerprint residue with time after deposition on a surface". En: *Forensic Science International* Volume 154, 2005. p. 224-239.
- (94) IFA, DR., MANICKE, NE., AL D., et al. "Latent fingerprint chemical imaging by mass spectrometry". En: *Science* Volume 321, 2008. p. 805.
- (95) TANG, H-W., LU, W., CHE, C-M., et al. "Gold Nanoparticles and Imaging Mass Spectrometry: Double Imaging of Latent Fingerprints". En: *Analytical Chemistry* Volume 82, 2010. p. 1589-1593.
- (96) KOENIG, K., GIROD, A., WEYERMANN, C. "Identification of wax esters in fingermark residues by GC/MS and their potential use as aging parameters". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 61, Issue 6, 2011. p. 652-676.
- (97) LIM, AY., MA, Z., MA, J., et al. "Separation of fingerprint constituents using magnetic silica nanoparticles and direct on-particle SALDI-TOF-mass spectrometry". En: *Journal of Chromatography B* Volume 879, 2011. p. 2244-2250.
- (98) WEYERMANN, C., ROUX, C., CHAMPOD, C. "Initial Results on the Composition of Fingerprints and its Evolution as a Function of Time by GC/MS Analysis". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 56, No 1, 2011. p. 102-108.
- (99) EMERSON, B., GIDDEN, J., LAY, JO., et al. "Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry of Triacylglycerols and Other Components in Fingermark Samples". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 56, No 2, 2011. p. 381-389.
- (100) BRAMBLE, S. "Separation of latent fingermark residue by thin-layer chromatography". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 40, No 6, 1995. p. 969-975.
- (101) OLSEN, R. "Chemical dating techniques for latent fingerprints: a preliminary report". En: *Identification News*, 1987. p. 10-12.
- (102) MOUNTFORT, KA., BRONSTEIN, H., ARCHER, N., et al. "Identification of oxidation products of squalene in solution and in latent fingerprints by ESI-MS and LC/APCI-MS". En: *Analytical Chemistry*, Volume 79, Issue 7, 2007. p. 2650-2657.
- (103) GREENE, RS., DOWNING, DT., POCHI, PE., et al. "Anatomical variation in the amount and composition of human skin surface lipid". En: *The Journal of Investigative Dermatology* Volume 54, No 3, 1970. p. 240-247.
- (104) DRAPEL, V., BECUE, A., CHAMPOD, C., et al. "Identification of promising antigenic component in latent fingermark residues". En: *Forensic Science International* Volume 184, Issue 1-3, 2009. p. 47-53.

- (105) SZYNKOWSKA, MI., CZERSKI, K., ROGOWSKI, J., et al. "ToF-SIMS application in the visualization and analysis of fingerprints after contact with amphetamine drugs". En: *Forensic Science International* Volume 184, 2009. p. e24-e26.
- (106) SUNDAR, L., FREDERICK, R. "Detection of drugs in lifted cyanoacrylate-developed latent fingermarks using two laser desorption/ionization mass spectrometric methods". En: *Analyst* Volume 139, 2014. p. 633-642.
- (107) WEST, MJ., WENT, MJ. "The spectroscopic detection of exogenous material in fingerprints after development with powders and recovery with adhesive lifters". En: *Forensic Science International* Volume 174, 2008. p. 1-5.
- (108) NG, PH., WALKER, S., TAHTOUH, M., et al. "Detection of illicit substances in fingerprints by infrared spectral imaging". En: *Analytical and Bioanalytical Chemistry* Volume 394, Issue 8, 2009. p. 2039-2048.
- (109) GIROD, A., WEYERMANN, C. "Lipid composition of fingermark residue and donor classification using GC/MS". En: *Forensic Science International* Volume 238, 2014. p. 68-82.
- (110) BOHANAN, AM. "Latent from pre-pubescent children versus latent from adults". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 48, Issue 5, 1998. p. 570-573.
- (111) WARGACKI, SP., LEWIS, LA., DADMUN, MD. "Enhancing the Quality of Aged Latent Fingerprints Developed by Superglue Fuming: Loss and Replenishment of Initiator". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 53, No 5, 2008. p. 1138-1144.
- (112) MERKEL, R., GRUHN, S., DITTMANN, J., et al. "On non-invasive 2D and 3D Chromatic White Light image sensors for age determination of latent fingerprints". En: *Forensic Science International* Volume 222, 2012. p. 52-70.
- (113) THOMAS, GL. "The resistivity of fingerprint material". En: *Journal of Forensic Sciences Society* Volume 2, 1975. p. 133-135.
- (114) REINHOLZ, AD. "Albumin development method to visualize friction ridge detail on porous surface". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 58, Issue 5, 2008. p. 524-539.
- (115) WOLSTENHOLME, R., BRADHAW, R., CLENCH, MR., et al. "Study of latent fingermarks by matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry imaging of endogenous lipids". En: *Rapid Communications in Mass Spectrometry* Volume 23, 2009. p. 3031-3039.
- (116) SRIVASTAVA, A., PRASAD, R. "Triglycerides-based diesel fuels". En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 4, Issue 2, 2000. p. 111-133.
- (117) DENT, B., FORBES, S., STUART, B. "Review of human decomposition processes in soil". En: *Environmental Geology* Volume 45, Issue 4, 2004. p. 576-585.

- (118) BLANCO, A. *Química Biológica*. 7^{ma} Ed., El Ateneo, Buenos Aires, 2004. p. 77-94. ISBN: 950-02-0382-0.
- (119) IULIANO, L. "Pathways of cholesterol oxidation via non-enzymatic mechanisms". En: *Chemistry and Physics of Lipids* Volume 164, 2011. p. 457-468.
- (120) KIM, SK., NAWAR, WW. "Parameters Influencing Cholesterol Oxidation". En: *Lipids* Volume 28, No 10, 1993. p. 917-922.
- (121) GUNGADIN, S. "Sex determination from fingerprint ridge density". *Internet Journal of Medical Update* Volume 2, No2, 2007. p. 4-7.
- (122) AGNIHOTRI, AK., JOWAHEER, V., ALLOCK, A. "An analysis of fingerprint ridge density in the Indo-Mauritian population and its application to gender determination". En: *Medicine, Science and Law* Volume 52, 2012. p. 143-147.
- (123) ESHAK, GA., ZAHER, JF., HASAN, EI., et al. "Sex identification from fingertip features in Egyptian population". En: *Journal of Forensic and Legal Medicine* Volume 20, 2013. p. 46-50.
- (124) RIVARDERÍA, N., SÁNCHEZ-ANDRÉS, A., ALONSO-RODRÍGUEZ, C., et al. "Fingerprint ridge density in the Argentinean population and its application to sex inference: A comparative study. En: *HOMO – Journal of Comparative Human Biology* Volume 67, Issue 1, 2016. p. 65-84.
- (125) GUTIÉRREZ-REDOMERO, E., ALONSO-RODRÍGUEZ, C. "Sexual and topological differences in palmprint and ridge density in the Caucasian Spanish population". En: *Forensic Science International* Volume 229, 2013. p. 159e1-159e10.
- (126) BUCHANAN, MV., ASANO, K., BOHANON, A. "Chemical characterization of fingerprints from adults and children". En: *Forensic Evidence Analysis and Crime Scene Investigation, SPIE (International Society for Optical Engineering)* Volume 2941, 1996. p. 89-95.
- (127) BRUNELLE, E., HUYNH, C., LE, AM., et al. "New Horizons for Ninhydrin: Colorimetric Determination of Gender from Fingerprints". En: *Analytical Chemistry* Volume 88, Issue 4, 2016. p. 2413-2420.
- (128) JACOBSEN, E., BILLINGS, LK., FRANTZ, RA., et al. "Age-Related Changes in Sebaceous Wax Ester Secretion Rates in Men and Women". En: *The Journal of Investigative Dermatology* Volume 85, No 5, 1985. p. 483-485.
- (129) FERGUSON, LS., WULFERT, F., WOLSTENHOLME, R., et al. "Direct detection of peptides and small proteins in fingermarks and determination of sex by MALDI mass spectrometry profiling". En: *Analyst* Volume 137, Issue 20, 2012. p. 4686-4692.

- (130) TANG, X., HUANG, L., ZHANG, W., et al. "Chemical Imaging of Latent Fingerprints by Mass Spectrometry Based on Laser Activated Electron Tunneling". En: *Analytical Chemistry* Volume 87, Issue 5, 2015. p. 2693-2701.
- (131) BLASDELL, R. "The longevity of the latent fingerprints of children vs. adults". En: *Policing: International Journal of Police Strategies and Management* Volume 24, 2001. p. 363-370.
- (132) HEMMILA, A., MCGILL, J., RITTER, D. "Fourier Transform Infrared Reflectance Spectra of Latent Fingerprints: A Biometric Gauge for the Age of an Individual". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 53, No 2, 2008. p. 369-376.
- (133) STEWART, ME., DOWNING, DT. "Proportions of various straight and branched fatty acid chain types in the sebaceous wax esters of young children". En: *The Journal of Investigative Dermatology* Volume 84, No 6, 1985. p. 501-503.
- (134) YAMAMOTO, A., SERIZAWA, S., ITO, M., et al. "Effect of aging on sebaceous gland activity and on the fatty acid composition of wax esters". En: *The Journal of Investigative Dermatology* Volume 89, No 5, 1987. p. 507-512.
- (135) STEWART, ME., DOWNING, DT. "Unusual cholesterol esters in the sebum of young children". En: *The Journal of Investigative Dermatology* Volume 95, No 5, 1990. p. 603-6060.
- (136) NOBLE, D. "Vanished into thin air: the search for children's fingerprints". En: *Analytical Chemistry* Volume 67, 1995. p. 435A-438A.
- (137) HAVLICEK, J., LENOCHOVA, P. "The effect of meat consumption on body odor attractiveness". En: *Chemical Senses* Volume 31, 2006. p. 747-752.
- (138) LAMBRECHTS, SAG., VAN DAM, A., DE VOS, J., et al. "On the autofluorescence of fingermarks". En: *Forensic Science International* Volume 222, 2012. p. 89-93.
- (139) KUWAYAMA, K., TSUJIKAWA, K., MIYAGUCHI, H., et al. "Time-course measurements of caffeine and its metabolites extracted from fingertips after coffee intake: a preliminary study for the detection of drugs from fingerprints". En: *Analytical and Bioanalytical Chemistry* Volume 405, Issue 12, 2012. p. 3945-3952.
- (140) SAMPSON, K., SAMPSON, W. "Recovery of latent prints from human skin". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 55, Issue 3, 2005. p. 362-385.
- (141) PAINE, M., BANDEY, HL., BLEAY, SM., et al. "The effect of relative humidity on the effectiveness of the cyanoacrylate fuming process for fingermark development and on the microstructure of the developed marks". En: *Forensic Science International* Volume 212, 2011. p. 130-142.
- (142) AZOURY, M., GABBAY, R., COHEN, D., et al. "ESDA processing and latent fingerprint development: the humidity effect". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 48, No 3, 2003. p. 564-570.

- (143) CZARNOWSKI, D., LANGFORT, J., PILIS, W., et al. "Effect of a low carbohydrate diet on plasma and sweat ammonia concentrations during prolonged nonexhausting exercise". En: *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* Volume 70, 1995. p. 70-74.
- (144) RICCI, C., KAZARIAN, SG. "Collection and detection of latent fingerprints contaminated with cosmetics on nonporous and porous surfaces". En: *Surface Interface Analysis* Volume 42, 2010. p. 386-392.
- (145) BRADSHAW, R., WOLSTENHOLME, R., FERGUSON, LS., et al. "Spectroscopic imaging based approach for condom identification in condom contaminated fingerprints". En: *Analyst* Volume 138, 2013. p. 2546-2557.
- (146) ISHIYAMA, I., NAGAI, T., KOMURO, E., et al. "The significance of drug analysis of sweat in respect to rapid screening for drug abuse". En: *Z Rechtsmedizin* Volume 82, 1979. p. 251-256.
- (147) LEGGETT, R., LEE-SMITH, EE., JICKELLS, SM., et al. "Intelligent fingerprinting: simultaneous identification of drug metabolites and individuals by using antibody-functionalized nanoparticles". En: *Angewandte Chemie International Edition* Volume 46, 2007. p. 4100-4103.
- (148) HAZARIKA, P., JICKELLS, SM., WOLFF, K., et al. "Imaging of latent fingerprints through the detection of drugs and metabolites". En: *Angewandte Chemie International Edition* Volume 47, 2008. p. 10167-10170.
- (149) HAZARIKA, P., JICKELLS, SM., RUSSELL, DA. "Rapid detection of drug metabolites in latent fingerprints". En: *Analyst* Volume 134, 2009. p. 93-96.
- (150) HAZARIKA, P., JICKELLS, SM., WOLFF, K., et al. "Multiplexed detection of metabolites of narcotic drugs a single latent fingerprint". En: *Analytical Chemistry* Volume 82, 2010. p. 9150-9154.
- (151) BODDIS, AM., RUSSELL, DA. "Simultaneous development and detection of drug metabolites in latent fingerprints using antibody-magnetic particle conjugates". En: *Analytical Methods* Volume 3, 2011. p. 519-523.
- (152) VAN DER HEIDE, S., CALAVIA, PG., HARDWICK, S., et al. "A competitive enzyme immunoassay for the quantitative detection of cocaine from bank notes and latent fingerprints". En: *Forensic Science International* Volume 250, 2015. p. 1-7.
- (153) WOOD, M., MAYNARD, P., SPINDLER, X., et al. "Selective targeting of fingerprints using immunogenic techniques". En: *Australian Journal of Forensic Sciences* Volume 45, 2013. p. 211-226.
- (154) BAILEY, MJ., BRADSHAW, R., FRANCESE, S., et al. "Rapid detection of cocaine, benzoylecgonine and methylecgonine in fingerprints using surface mass spectrometry". En: *Analyst* Volume 140, Issue 18, 2015. p. 6254-6259.

- (155) GOUCHER, E., KICMAN, A., SMITH, N., et al. "The detection and quantification of lorazepam and its 3-O-glucuronide in fingerprint deposits by LC-MS/MS". En: *Journal of Separation Science* Volume 32, 2009. p. 2266-2272.
- (156) KUWAYAMA, K., YAMAMURO, T., TSUJIKAWA, K., et al. "Time-course measurements of drugs and metabolites transferred from fingertips after drug administration: Usefulness of fingerprints for drug testing". En: *Forensic Toxicology* Volume 32, 2014. p. 235-242.
- (157) BENTON, M., CHUA, MJ., GU, F., et al. "Environmental nicotine contamination in latent fingermarks from smoker contacts and passive smoking". En: *Forensic Science International* Volume 200, Issues 1-3, 2010. p. 28-34.
- (158) GILCHRIST, E., SMITH, N., BARRON, L. "Probing gunshot residue, sweat and latent human fingerprints with capillary-scale ion chromatography and suppressed conductivity detection". En: *Analyst* Volume 137, 2012. p. 1576-1583.
- (159) SAVERIO ROMOLO, F., MARGOT, P. "Identification of gunshot residue: a critical review". En: *Forensic Science International* Volume 119, 2001. p. 195-211.
- (160) MOU, Y., RABALAIS, JW. "Detection and identification of explosive particles in fingerprints using attenuated total reflection Fourier transform infrared spectromicroscopy". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 54, 2009. p. 846-850.
- (161) EMMONS, E., TRIPATHI, A., GUICHETEAU, J., et al. "Raman chemical imaging of explosive-contaminated fingerprints". En: *Applied Spectroscopy* Volume 63, 2009. p. 1197-1203.
- (162) JASUJA OP., TOOFANY, MA., SINGH, G., et al. "Dynamic of latent fingerprints: The effect of physical factor son quality on ninhydrin developed prints – A preliminary study". En: *Science and Justice* Volume 49, 2009. p. 8-11.
- (163) CUTHBERTSON, F. "The chemistry of fingerprints". En: *Atomic Weapons Research Establishment (AWRE), United Kingdom Atomic Energy Authority. Report No 013/69, 1969.*
- (164) JONES, N., MANSOUR, D., STOILOVIC, M., et al. "The influence of polymer type, print donor and age on the quality of fingerprints developed on plastic substrates using vacuum metal deposition". En: *Forensic Science International* Volume 124, Issues 2-3, 2001. p. 167-177.
- (165) BOBEV, K. "Fingerprints and factors affecting their conditions". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 45, 1995. p. 176-183.
- (166) AZOURY, M., COHEN, D., HIMBERG, K., et al. "Fingerprint detection on counterfeit US\$ banknotes: the importance of preliminary paper examination". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 49, No 5, 2004. p. 1015-1017.

- (167) BOND, J. "Visualization of latent fingerprint corrosion of metallic surfaces". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 53, No 4, 2008. p. 812-822.
- (168) BOND, J. "The thermodynamics of latent fingerprint corrosion of metal elements and alloy". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 53, No 6, 2008. p. 1344-1352.
- (169) WERTHEIM, K. "Fingerprint age determination: is there any hope?" En: *Journal of Forensic Identification* Volume 53, Issue 1, 2003. p. 42-49.
- (170) DOMINICK, A., NICDAEID, N., BLEAY, S., et al. "The recoverability of fingerprints on paper exposed to elevated temperatures - Part 2: Natural fluorescence". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 59, Issue 3, 2010. p. 340-355.
- (171) BROWN, A., SOMMERVILLE, D., REEDY, B., et al. "Revisiting the thermal development of latent fingerprints on porous surfaces: new aspects and refinements". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 54, No 1, 2009. p. 114-121.
- (172) GONZÁLEZ-AMORÓS, B., DE PUIT, M. "A model study into the effects of light and temperature on the degradation of fingerprint constituents". En: *Science and Justice* Volume 54, Issue 5, 2014. p. 346-350.
- (173) BRIGHT, NJ., WILLSON, TR., DRISCOLL, DJ., et al. "Chemical changes exhibited by latent fingerprints after exposure to vacuum conditions". En: *Forensic Science International* Volume 230, Issues 1-3, 2013. p. 81-86.
- (174) JONES, N., DAVIS, L., RUSSEL, C., et al. "A systematic approach to latent fingerprint sample preparation for comparative chemical studies". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 51, Issue 5, 2001. p. 504-513.
- (175) KAPLAN-SANDQUIST, KA., LEBEAU, MA., MILLER, ML. "Evaluation of Four Fingerprint Development Methods for Touch Chemistry Using Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization/Time-of-Flight Mass Spectrometry". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 60, No 3, 2015. p. 611-618.
- (176) McDONALD, D., POPE, H., MISKELLY, GM. "The effect of chlorine and hydrogen chloride on latent fingermark evidence". En: *Forensic Science International* Volume 179, 2011. p. 70-77.
- (177) JICKELLS, S., JONES, N. "Preliminary studies on the lipid chemistry of individual fingerprints and changes with time". En: *Forensic Science International* Volume 136, 2003. p. 131.
- (178) JICKELLS, SM. "Fingerprinting: into the future". En: *Measurement and Control* Volume 41, Issue 8, 2008. p. 243-247.

- (179) JONES, NE., DAVIES, LM., BRENNAN, JS., et al. "Separation of visibly-excited fluorescent components in fingerprint residue by thin-layer chromatography". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 45, No 6, 2000. p. 1286-1293.
- (180) DE PAOLI, G., LEWIS, SA., SCHUETTE, EL., et al. "Photo- and thermal-degradation studies of select eccrine fingerprint constituents". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 55, No 4, 2010. p. 962-969.
- (181) AU, C., JACKSON-SMITH, H., QUINONES, I., et al. "Wet powder suspensions as an additional technique for the enhancement of bloodied marks". En: *Forensic Science International* Volume 204, Issues 1-3, 2011. p. 13-18.
- (182) MENZEL, ER. "Fingerprint age determination by fluorescence". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 37, No 5, 1992. p. 1212-1213.
- (183) BAYLEY, MJ., JONES, BN., HINDER, S., et al. "Dept profiling of fingerprint and ink signals by SIMS and MeV SIMS". En: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* Volume 268, 2010. p. 1929-1932.
- (184) DE ALCARAZ-FOSSOUL, J., MESTRES PATRIS, C., BALACIART MUNTANER, A., et al. "Determination of latent fingerprint degradation patterns - a real fieldwork study". En: *International Journal of Legal Medicine* Volume 127, Issue 4, 2013. p. 857-870.
- (185) GIROD, A., ROMOTOWSKI, R., LAMBRECHTS, S., et al. "Fingermark age determinations: Legal considerations, review of the literature and practical propositions". En: *Forensic Science International*, Volume 262, 2016. p. 212-226.
- (186) MERKEL, R., POCS, M., DITTMANN, J., et al. "Proposal of Non-invasive Fingerprint Age Determination to Improve Data Privacy Management in Police Work from a Legal Perspective Using the Example of Germany". En: DI PIETRO, et al. (Eds.), *Data Privacy Management and Autonomous Spontaneous Security*. DPM 2012 and SETOP 2012, 2013. p. 61-74.
- (187) Ley de Protección de los Datos Personales. Ley 25.326 de la Nación Argentina. Disponible en web: http://www.oas.org/juridico/PDFs/arg_ley25326.pdf
- (188) Directive 95/46/EC of the European Parliament and of the Council on data protection. Official Journal of the European Union L 281, 1995. p. 31.
- (189) LEICH, M., KILTZ, S., DITTMANN, J., et al. "Non-destructive forensic latent fingerprint acquisition with chromatic white light sensors". En: *Proceeding SPIE* Volume 7880, 2011. p. 78800S-1 - 11.
- (190) WEYERMANN, C., RIBAUX, O. "Situating forensic traces in time". En: *Science and Justice* Volume 52, 2012. p. 68-75.

- (191) HOWORKA, H. "Question relating to the determination of the age of objects assuming relevance in criminal investigations". En: *Fingerprints Whorl* Volume 15, Issue 57, 1989. p. 23-28.
- (192) STARRS, J.E. "The aging of fingerprints". En: *Science Sleuthing Reviews (Forensic Science in Courts)* Volume 22, No 2, 1998. p. 1-3.
- (193) BUNTER, S. "How long can an identifiable fingerprint persist on an exterior surface?". En: *CSEye - The home of crime scene science articles*. April, 2014.
- (194) COHEN, Y., ROZEN, E., AZOURY, M., et al. "Survivability of latent fingerprints Part I: Adhesion of latent fingerprints to smooth surfaces". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 62, Issue 1, 2012. p. 47-53.
- (195) SCHWABENLAND, JF. "Case report - Determining the evaporation rate of latent impressions on the exterior surfaces of aluminium beverage cans". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 42, Issue 2, 1992. p. 84-90.
- (196) BARROS, RM., FARIA, BEF., KUCKELHAUS, SAS. "Morphometry of latent palmprints as a function of time". En: *Science and Justice* Volume 53, 2013. p. 402-408.
- (197) MIDKIFF, CR. "Lifetime of a latent print. How long? Can you tell?" En: *Journal of Forensic Identification* Volume 43, Issue 4, 1993. p. 386-392.
- (198) BANIUK, K. "Determination of age of fingerprints". En: *Forensic Science International* Volume 46, 1990. p. 133-137.
- (199) LANGENBURG, G., CHAMPOD, C., WERTHEIM, P. "Testing for potential contextual bias effects during the verification stage of the ACE-V methodology when conducting fingerprint comparisons". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 54, No 3, 2009. p. 571-582.
- (200) ALMOG, J., SASSON, Y., ANATI, A. "Chemical reagents for the development of latent fingerprint. II: Controlled addition of water vapor to iodine fumes – a solution to the aging problem". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 24, No 2, 1979. p. 431-436.
- (201) BRENNAN, J. "Physical developer: temperature considerations". Presented at the 2nd Biennial International Fingerprint Research Group Meeting, Canada, Ottawa, 1999.
- (202) GREENLEES, D. "Age determination - case report". En: *Fingerprints Whorl* Volume 20, Issue 76, 1994. p. 50-52.
- (203) BOWMAN, V. "Fingerprint development and imaging update" En: *Home Office Scientific Development Branch (HOSDB), Newsletter*, Volume 26, 2003.
- (204) VAN DAM, A., SCHWARZ, JCV., DE VOS, J., et al. "Oxidation monitoring by fluorescence spectroscopy reveals the age of fingermarks". En: *Angewandte Chemie International Edition* Volume 53, 2014. p. 6272-6275.

- (205) VAN DAM, A., AALDERS, MCG., TODOROVSKY, T., et al. "On the autofluorescence of aged fingermarks". En: *Science International* Volume 258, 2016. p. 19-25.
- (206) POPA, G., POTOLAC, P., PREDA, N. "Method for fingerprints age determination". En: *Romanian Journal of Legal Medicine* Volume 2, 2010. p. 149-154.
- (207) MERKEL, R., GRUHN, S., DITTMANN, J., et al. "General fusion approaches for the age determination of latent fingerprint traces: results for 2D and 3D binary pixel feature fusion". En: *Proceeding SPIE* Volume 8290, 2012. p. 82900Y-1 - 16.
- (208) DIAZ, AF., FELIX-NAVARRO, RM. "A semi quantitative tribo-electric series for polymeric materials: the influence of chemical structure and properties". En: *Journal of Electrostatics* Volume 62, 2004. p. 277-290.
- (209) BEARDSMORE-RUST, ST., WATSON P., PRANCE, RJ., et al. "Imaging of charge spatial density on insulating materials". En: *Measurement Science and Technology* Volume 20, 2009. p. 6.
- (210) LOWELL, J., AKANDE, AR. "Contact electrification-why is it variable?" En: *Journal of Physics D: Applied Physics* Volume 2, 1988. p. 125-137.
- (211) JASJUA, OP., SINGLA, AK. "Preserving electrostatic detection apparatus (ESDA) images: a new approach". En: *Forensic Science International* Volume 52, 1991. p. 21-23.
- (212) WATSON, P., PRANCE, RJ., BEARDSMORE-RUST, S., et al. "Imaging electrostatic fingerprints with implications for a forensic timeline". En: *Forensic Science International* Volume 209, Issues 1-3, 2011. p. e41-e45.
- (213) WALTON, BL., VERBECK, GF. "Soft-Landing Ion Mobility of Silver Clusters for Small-Molecule Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization Mass Spectrometry and Imaging of Latent Fingerprints". En: *Analytical Chemistry* Volume 86, 2014. p. 8114-8120.
- (214) KAWASAKI, T., TERASHIMA, T. SUZUKI, S., et al. "Surface discharge on dielectric materials observed by advanced Pockels effect technique". En: *Journal of Applied Physics* Volume 76, 1994. p. 3724-3729.
- (215) GIROD, A., SPYRATOU, A., HOLMES, D., et al. "Aging of target lipid parameters in fingermarks residue using GC/MS: Effects of influence factors and perspectives for dating purposes". En: *Science and Justice* Volume 56, Issue 3, 2016. p. 165-180.
- (216) DOMINICK, A., NICDAEID, N., BLEAY, S., et al. "The recoverability of fingerprints on paper exposed to elevated temperatures - Part 2: natural fluorescence". En: *Journal of Forensic Identification* Volume 59, Issue 3, 2010. p. 340-355.
- (217) MASSART, DL., VANDEGINSTE, BGM., BUYDENS, LCM., et al. "Data handling in science and technology 20A". En: *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics, Part A*, Elsevier, Amsterdam, 1997.

- (218) MILLER, JN., MILLER, JC. *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. 5th ed., Pearson, Prentice Hall, 2005.
- (219) FRITZ, P., VAN BRONSWIJK, W., LEPKOVA, K., et al. "Infrared microscopy studies of the chemical composition of latent fingermark residues". En: *Microchemical Journal* Volume 111, 2013. p. 40-46.
- (220) GIROD, A., XIAO, L. REEDY, B., et al. "Fingermark initial composition and aging using Fourier Transform infrared microscopy (μ -FTIR)". En: *Forensic Science International* Volume 254, 2015. p. 185-196.
- (221) CHAN, KLA., KAZARIAN, SG. "Detection of trace materials with Fourier transform infrared spectroscopy using a multi-channel detector". En: *Analyst* Volume 131, 2006. p. 126-131.
- (222) GARCÍA BLASCO, M. "Microespectroscopía IR aplicada a la ciencia forense para el análisis de huellas dactilares". Disponible en web: <http://triplenlace.com/2015/09/05/microespectroscopa-ir-aplicada-a-la-ciencia-forense-para-el-analisis-de-huellas-dactilares/>.
- (223) FIELDHOUSE, SJ., KALANTZIS, N., PLATT, AWG. "Determination of the sequence of latent fingermarks and writing or printing on white office paper". En: *Forensic Science International* Volume 206, 2011. p. 155-160.
- (224) TAHTOUH, M., KALMAN, JR., ROUX, C., et al. "The Detection and Enhancement of Latent Fingermarks Using Infrared Chemical Imaging". En: *Journal of Forensic Science* Volume 50, No 1, 2005. p. 1-9.
- (225) CRANE, NJ., BARTICK, EG., SCHWARTZ PERLMAN, R., et al. "Infrared Spectroscopic Imaging for Noninvasive Detection of Latent Fingerprints". En: *Journal of Forensic Science* Volume 52, No 1, 2007. p. 48-53.
- (226) GRANT, A., WILKINSON, TJ., HOLMAN, DR., et al. "Identification of Recently Handled Materials by Analysis of Latent Human Fingerprints Using Infrared Spectroscopy". En: *Applied Spectroscopy* Volume 59, No 9, 2005. p. 1182-1187.
- (227) RICCI, C., CHAN, KLA., KAZARIAN, SG. "Combining the tape-lift method and Fourier transform infrared spectroscopic imaging for forensic applications". En: *Applied Spectroscopy* Volume 60, No 9, 2006. p. 1013-1021.
- (228) HARRIS, DC. *Análisis Químico Cuantitativo*. 2^{da} Ed., Reverté S.A., Buenos Aires, 2001.
- (229) BRADSHAW, R., RAO, W., WOLSTERNHOLME, R., et al. "Separation of overlapping fingermarks by Matrix Assisted Laser Desorption Ionization Mass Spectrometry Imaging". En: *Forensic Science International* Volume 222, 2012. p. 318-326.

- (230) SISCO, E., DEMORANVILLE, LT., GILLEN, G. "Evaluation of C₆₀ secondary ion mass spectrometry for the chemical analysis and imaging of fingerprints". En: *Forensic Science International* Volume 231, 2013. p. 263-269.
- (231) FERGUSON, L., BRADSHAW, R., WOLSTENHOLME, R., et al. "Two-Step Matrix Application for the Enhancement and Imaging of Latent Fingermarks". En: *Analytical Chemistry* Volume 83, 2011. p. 5585-5591.
- (232) YAGNIK, GB., KORTE, AR., JIN LEE, Y. "Multiplex mass spectrometry imaging for latent fingerprints". En: *Journal of Mass Spectrometry* Volume 48, 2013. p. 100-104.
- (233) ATTARD-MONTALTO, N., OJEDA, JJ., REYNOLS, A., et al. "Determining the chronology of deposition of natural fingermarks and inks on paper using secondary ion mass spectrometry". En: *Analyst* Volume 139, 2014. p. 4641-4653.
- (234) BAILEY, MJ., JONES, BN., HINDER, S., et al. "Depth profiling of fingerprint and ink signals by SIMS and MeV SIMS". En: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* Volume 268, 2010. p. 1929-1932.
- (235) MERKEL, R., BRAEUTIGAM, A., KRAETZER, C. et al. "Evaluation of Binary Pixel Aging Curves of Latent Fingerprint Traces for Different Surfaces Using a Chromatic White Light (CWL) Sensor". En: *Proceedings of the 13th ACM Workshop on Multimedia and Security*, New York, USA, 2011.
- (236) MERKEL, R., VIELHAUER, C. "On Using Flat Bed Scanners for the Age Determination of Latent Fingerprints: First Results for the Binary Pixel Feature". En: *Multimedia and Security*, United Kingdom, 2012.
- (237) EDELMAN, GJ., GASTON, E., VAN LEEUWEN, TG., et al. "Hyperspectral imaging for non-contact analysis of forensic traces". En: *Forensic Science International* Volume 223, 2012. p. 28-39.
- (238) EDELMAN, G., VAN LEEUWEN, TG., AALDERS, MCG. "Hyperspectral imaging for the age estimation of blood stains at the crime scene". En: *Forensic Science International* Volume 223, Issues 1-3, 2012. p. 72-77.
- (239) EXLINE, DL., WALLACE, C., ROUX, C., et al. "Forensic applications of chemical imaging: latent fingerprint detection using visible absorption and luminescence". En: *Journal of Forensic Science* Volume 48, 2003. p. 1047-1053.
- (240) PAYNE, G., REEDY, B., LENNARD, C., et al. "A further study to investigate the detection and enhancement of latent fingerprints using visible absorption and luminescence chemical imaging". En: *Forensic Science International* Volume 150, 2005. p. 33-51.

- (241) TAHTOUH, M., DESPLAND, P., SHIMMON, R., et al. "The Application of Infrared Chemical Imaging to the Detection and Enhancement of Latent Fingerprints: Method Optimization and Further Findings". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 52, No 5, 2007. p. 1089-1096.
- (242) NAKAMURA, A., OKUDA, H., NAGAOKA, T., et al. "Portable hyperspectral imager with continuous wave green laser for identification and detection of untreated latent fingerprints on walls". En: *Forensic Science International* Volume 254, 2015. p. 100-105.
- (243) BHARGAVA, R., SCHWARTZ PERLMAN, R., FERNANDEZ, DC., et al. "Non-invasive detection of superimposed latent fingerprints and inter-ridge trace evidence by infrared spectroscopic imaging". En: *Analytical Bioanalytical Chemistry* Volume 394, 2009. p. 2069-2075.
- (244) MISKELLY, GM., WAGNER, JH. "Using spectral information in forensic imaging". En: *Forensic Science International* Volume 155, 2005. p. 112-118.
- (245) CHEN, T., SCHULTZ, ZD., LEVIN IW. "Infrared Spectroscopic Imaging of Latent Fingerprints and Associated Forensic Evidence". En: *Analyst* Volume 134, Issue 9, 2009. p. 1902-1904.
- (246) CADD, S., LI, B., BEVERIDGE, P., et al. "The non-contact detection and identification of blood stained fingerprints using visible wavelength hyperspectral imaging: Part II effectiveness on a range of substrates". En: *Science and Justice* Volume 56, 2016. p. 191-200.
- (247) BAILEY, MJ., BRIGHT, NJ., CROXTON, RS., et al. "Chemical Characterization of Latent Fingerprints by Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization, Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry, Mega Electron Volt Secondary Mass Spectrometry, Gas Chromatography/Mass Spectrometry, X-ray Photoelectron Spectroscopy, and Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopic Imaging: An Intercomparison". En: *Analytical Chemistry* Volume 84, Issue 20, 2012. p. 8514-8523.
- (248) CZEKANSKI, P., FASOLA, M., ALLISON, J. "A mechanistic model for the superglue fuming of latent fingerprints". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 51, No 6, 2006. p. 1323-1328.
- (249) WARGACKI, SP., LEWIS, LA., DADMUN, MD. "Understanding the Chemistry of the Development of Latent Fingerprints by Superglue Fuming". En: *Journal of Forensic Sciences* Volume 52, No 5, 2007. p. 1057-1062.
- (250) MOORE, S., STEIN, WH. "Photometric ninhydrin method for use in the chromatography of amino acids". En: *The Journal of Biological Chemistry* Volume 176, Issue 1, 1948. p. 367-388.
- (251) SEARS, VG., BLEAY, SM., BANDEY, HL., et al. "A methodology for finger mark research". En: *Science and Justice* Volume 52, 2012. p. 145-160.
- (252) MEYER, H. "The Ninhydrin Reaction and its Analytical Applications". En: *Biochemical Journal* Volume 67, Issue 2, 1957. p. 333-340.

- (253) SUN, S-W., LIN, Y-C., WENG, Y-M., et al. "Efficiency improvements on ninhydrin method for amino acid quantification". En: *Journal of Food Composition and Analysis* Volume 19, 2006. p. 112-117.
- (254) LEE, YP., TAKAHASHI, T. "An Improved Colorimetric Determination of Amino Acids with the Use of Ninhydrin". En: *Analytical Biochemistry* Volume 14, 1966. p. 71-77.
- (255) ORGANISMO ARGENTINO DE ACREDITACIÓN (OAA). *Guía para Validación de Métodos de Ensayos*. Versión 1, Junio de 2013. Disponible en web: <http://www.oaa.org.ar/docs/GUI-LE-03%20v1.pdf>.
- (256) ORGANISMO ARGENTINO DE ACREDITACIÓN (OAA). *Guía para Validación de Métodos de Ensayos*. Versión 1, Junio de 2013. Disponible en web: <http://www.oaa.org.ar/docs/GUI-LE-03%20v1.pdf>.
- (257) NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025:2005(ES). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*. 2^{da} Ed., 2005-05-15.
- (258) INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). Nomenclature in Evaluation of Analytical Methods including detection and quantification capabilities (IUPAC recommendations 1995). *Pure and Applied Chemistry* Volume 67, No 10, 1995. p.1699-1723.
- (259) INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). Selectivity in analytical chemistry (IUPAC recommendations 2001). *Pure and Applied Chemistry* Volume 73, No 8, 2001. p.1381-1386.
- (260) INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). Harmonized Guidelines for Single-Laboratory Validation of Methods of Analysis (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry* Volume 74, No 5, 2002. p.835-855.
- (261) FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). *Guidance for Industry. Bioanalytical Method Validation*. U.S. Department of Health and Human Services. May 2001. Disponible en web: <http://www.fda.gov/downloads/Drugs/Guidance/ucm070107.pdf>.
- (262) EUROLAB ESPAÑA. *Guía Eurachem: La Adecuación al Uso de los Métodos Analíticos - Una Guía de Laboratorio para la Validación de Métodos y Temas Relacionados*. 1^{ra} Ed., 2016. Disponible en web: <http://www.eurachem.org>.
- (263) THE EUROPEAN AGENCY FOR THE EVALUATION OF MEDICINAL PRODUCTS. *ICH Topic Q1A Stability Testing Guidelines: Stability Testing of New Drug Substances and Products*. December 1998.
- (264) VALCÁRCEL, M., RÍOS, A. *La Calidad en los Laboratorios Analíticos*. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 2002. p. 168-172. ISBN: 84-291-7986-0.

