

Fiabilidad de la identificación dactilar, evidencias y limitaciones

Reliability of fingerprint identification, evidence, and limitations

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20311001>

AUTORES: Sonia Ximena Carguachi Paucar¹

Dayana Elizabeth Diaz Andrade²

Diana Mishell Paredes Solis³

Damariz Ailyn Salazar Calo⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: sonia.carguachi@ueb.edu.ec

Fecha de recepción: 07 / 09 / 2025

Fecha de aceptación: 18 / 12 / 2025

RESUMEN

La identificación lofoscópica es fundamental en investigaciones criminalísticas, pero enfrenta desafíos en precisión y estandarización. Este estudio analiza técnicas actuales de análisis dactilar para proponer mejoras metodológicas en contextos forenses mediante una revisión sistemática de seis investigaciones científicas (2016-2023) sobre metodologías lofoscópicas relevantes para criminalística. Se evaluaron protocolos de recolección, análisis comparativo de sistemas automatizados de identificación dactilar, validación de técnicas

¹ <https://orcid.org/0009-0007-8428-1020>, Universidad Estatal de Bolívar, sonia.carguachi@ueb.edu.ec

² <https://orcid.org/0009-0008-3426-166X>, Universidad Estatal de Bolívar, dayana.diaz@ueb.edu.ec

³ <https://orcid.org/0009-0003-6512-4637>, Universidad Estatal de Bolívar, diana.paredes@ueb.edu.ec

⁴ <https://orcid.org/0009-0001-6607-0963>, Universidad Estatal de Bolívar, damariz.salazar@ueb.edu.ec

químicas y físicas (polvos, ninhidrina), y parámetros de calidad, utilizando criterios de reproducibilidad y tasa de error. Los resultados indicaron que los sistemas automatizados de identificación dactilar mostraron entre 92% y 97% de precisión en condiciones controladas, reduciéndose a 78% - 85% en entornos operativos reales. Las técnicas químicas fueron más efectivas en superficies porosas (95%) versus no porosas (82%), observándose inconsistencias en documentación de pasos críticos (iluminación, contraste) en el 40% de los estudios. La discusión asocia la variabilidad a factores operativos (formación del personal, calidad de equipos) y limitaciones metodológicas (falta de estandarización), coincidiendo con hallazgos previos en entornos forenses diversos, aunque contrastando con protocolos de alta precisión en contextos ideales. Se propone un marco integrado con control de calidad estandarizado, capacitación especializada y actualización tecnológica.

Palabras clave: *Lofoscopia, Identificación forense, Criminalística, Huellas dactilares, Técnicas de revelado, Sistemas automatizados.*

ABSTRACT

Lophoscopic identification is fundamental in forensic investigations, but it faces challenges in accuracy and standardization. This study analyzes current fingerprint analysis techniques to propose methodological improvements in forensic contexts through a systematic review of six scientific investigations (2016–2023) on lophoscopic methodologies relevant to forensics. Collection protocols, comparative analysis of automated fingerprint systems, validation of chemical and physical techniques (powders, ninhydrin), and quality parameters were evaluated, using reproducibility and error rate criteria. The results indicated that automated fingerprint identification systems showed between 92% and 97% accuracy under controlled conditions, reducing to 78%–85% in real-life operational environments. Chemical techniques were more effective on porous (95%) versus non-porous (82%) surfaces, with inconsistencies in documentation of critical steps (illumination, contrast) observed in 40% of the studies. The discussion links variability to operational factors (staff training, equipment quality) and methodological limitations (lack

of standardization), consistent with previous findings in diverse forensic settings, although contrasting with highly accurate protocols in ideal contexts. An integrated framework with standardized quality control, specialized training, and technological updating is proposed.

Keywords: Lofoscopy, Forensic Identification, Criminalistics, Fingerprints, Development Techniques, Automated Systems

INTRODUCCIÓN

En el ámbito criminalístico, la lofoscopia se ha constituido como una de las herramientas más útiles para la identificación humana, valiéndose de la unicidad y permanencia de las huellas dactilares, incluyendo impresiones dactilares, palmares y plantares encontradas en el lugar de los hechos (Lago Montejo, 2020). Las mismas nos acompañan durante el transcurso de nuestra vida sin alteraciones o modificaciones. La jurisprudencia menciona que las crestas papilares “huellas” se encuentran en toda la superficie de la palma y la planta del pie (Flores, y otros, 2025). Al adentrarnos en la práctica, la localización y revelado de huellas latentes resulta primordial pues se constituye como una evidencia clave para la investigación al momento de determinar la relación de un sospechoso con la escena (Bhati, 2023).

Sin embargo, técnicas tradicionales que emplean polvos, yodo cianoacrilato o ninhidrina, resultan un poco efectivos al enfrentarse a evidencias complejas, como lo son las huellas latentes degradadas, contaminadas o depositadas en superficies porosas e irregulares. Al presentarse estas condiciones en un escenario real la toma de muestra se verá entorpecida poniendo en riesgo su valor probatorio como su utilidad en bases de datos automatizadas de identificación.

Múltiples investigaciones realizadas recientemente ponen en evidencia estas dificultades. En su investigación Gurvinder Singh (2017) menciona que el fumeo con cianoacrilato requiere de condiciones de humedad controladas y puede obstaculizar análisis posteriores. Por otro lado, Jan Halánek (2016) mencionan que la ninhidrina es limitada cuando

hablamos de contaminación o desgaste avanzado. Uttam U (2020) advierte que en casos de huellas antiguas o parciales es necesario emplear métodos más avanzados como la espectrometría de masas para obtener los datos requeridos.

Debido a estas limitaciones, en los últimos años nuevas técnicas han surgido buscando superar las restricciones de los métodos tradicionales. Entre las más destacadas encontramos el uso de nanopartículas fluorescentes, colorantes especializados, algoritmos de inteligencia artificial e imágenes hiperespectrales (Lange & Carlisle-Davies, 2024), (Enfsi, 2015). Estas nuevas técnicas reflejan un avance significativo, pero también requieren de evaluaciones completas como su aplicabilidad, efectividad y costos.

Distinguir la técnica proporcionada tomando en cuenta la superficie y estado de conservación de la evidencia se vuelve una tarea compleja para los expertos. Igualmente, la falta de estandarizaciones global de estas técnicas crecientes adiciona una capa de dificultad. Debido a ello, instituciones como INTERPOL y ENFSI han impulsado guías para la correcta búsqueda, fijación y levantamiento de huellas latentes (Bhati, 2023), (Oliveira, y otros, 2024).

En este marco, se torna imperioso realizar una investigación integral que verifique los métodos tradicionales y modernos de revelado lofoscópico, determinando sus fortalezas y debilidades al momento de aplicarlas en una investigación real.

Como meta se pretende analizar de manera crítica diez técnicas lofoscópicas, tradicionales y modernas, valorando su efectividad, aplicabilidad, ventajas y limitaciones, a través de una revisión integral de literatura científica y referencia a estándares internacionales.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica de la literatura científica publicada entre los años 2016 y 2023, con el objetivo de reconocer y analizar los progresos en las técnicas lofoscópicas aplicadas en ámbitos forenses. La búsqueda fue efectuada en múltiples bases de datos Scopus, PubMed y Web of Science, preferidas por su calidad y nivel de eficacia en el campo científico.

Para la ubicación de estudios, se manejaron palabras claves en español e inglés tales como “huellas dactilares”, “lofoscopia”, “identificación forense” “forensic identification”. Las mismas que fueron compuestas con operadores booleanos (AND, OR) con el propósito de obtener resultados más confiables.

Los juicios de inclusión discurrieron artículos que abordaran:

- Reglamentos y métodos de recolección de huellas dactilares.
- Estudio comparativo de sistemas de identificación.
- Análisis de parámetros de calidad, reproducibilidad y tasa de error en la identificación.

Se excluyeron trabajos que:

- No se relacionaban con la materia y el campo.
- No contenían información acerca de técnicas, métodos o resultados de validación.
- Textos que no presentan datos experimentales.

La etapa de selección estuvo compuesta de tres fases: revisión de títulos, análisis de recopilación y lectura integral. Los artículos seleccionados fueron incluidos en el estudio final. La información fue condensada en dos tablas:

La integración de los resultados se efectuó a través de un análisis comparativo y descriptivo, estimando los principales hallazgos acerca de la certidumbre y efectividad de las técnicas detalladas.

RESULTADOS

- **Tabla 1:** Sintetiza las dificultades abordadas, métodos empleados, aplicaciones, resultados y fuentes.

- **Tabla 2:** Expone la comparación de la precisión y eficacia de las múltiples técnicas lofoscópicas reconocidas.

Tabla 1. *Resumen de Artículos Científicos*

N.º	Autor(es) / Año	Problema abordado	Técnica lofoscópica	Aplicación	Resultado / Solución
1	(Gurvinder Singh, 2017)	Inconvenientes para el revelado de huellas en superficies no porosas, siendo los métodos tradicionales poco eficaces.	Fumeo con cianoacrilato	Las superficies requeridas son expuestas a un humado de cianoacrilato en una cámara cerrada provocando la reacción de los residuos de la huella tornándose visibles.	Como resultado se obtuvieron huellas latentes nítidas, perennes y fuertes a la manipulación posterior, facilitando del mismo modo análisis posteriores.
2	(Flores, y otros, 2025)	Dificultades al revelar huellas en superficies como vidrio y aluminio.	ZnO nanopartículas	Nanopartículas de óxido de zinc son aplicadas para posteriormente sufrir una exposición a la luz ultravioleta mejorando la resolución de la huella.	Huellas apreciables de gran calidad, aun en superficies poco manejables, obtenidas a través de una técnica rápida y poco invasiva.
3	(Lange & Carlyse-Davies, 2024)	Investigación coexistente de huellas dactilares y la presencia de alcaloides en papel.	Ninhidrina	Reactivo aplicado en la huella sobre el papel, el efecto colorea las crestas facilitando estudiar la composición química de las drogas.	Evidencia conjuntamente la huella dactilar y la composición química de la droga existente en el elemento, técnica la cual es empleada constantemente en el tráfico de narcóticos.
4	(Gundgurti & Kulkarni, 2025)	Impedimento para examinar huellas supuestas.	Deep Learning (FingerGAN)	Emplea una red neuronal para separar huellas dactilares de forma digital con el objetivo de reconstruirlas por separado.	Su efectividad según estudios ronda el 99% en reconstrucción digital de huellas facilitando en gran medida la individualización de huellas en escenas difíciles.
5	(Rajan, Zakaria, Shamsuddin, & Nik Hassan,	Necesidad de un revelado sostenible para huellas antiguas que no	Sílice nanométrica biocompatibles	Se emplea polvo deshidratado obtenido de la cáscara de arroz, aplicado en la superficie para	Su revelado es efectivo y limpio,

	2024)	altere su composición.		fijarse en los residuos de la huella.	manteniendo la integridad de la huella al emplear productos naturales.
6	(Dhaneshwar, Kaur, & Kaur, 2021)	Carencia de consenso sobre efectividad de métodos clásicos y moderno.	Revisión sistemática	Investigación y comparación profunda de técnicas existentes a través de una literatura científica.	Se identifican fortalezas y debilidades en las técnicas tradicionales y emergentes, debido a ello se realizan recomendaciones para mejorar las mismas.
7	(Uttam U, 2020)	Restricciones en la velocidad y precisión del reconocimiento manual de huellas latentes.	DCNN + FFT (Deep Learning + Fourier)	Se extrae delicadamente minutiae y se realiza un emparejamiento digital de la huella.	Su grado de efectividad es del 100% brindando huellas claras y se reduce a un 84.5% al tratarse de casos complejos.
8	(Halámek & Huynh, 2016)	Inconvenientes de los métodos tradicionales para distinguir componentes químicos en huellas procesadas.	MALDI-MS	Consecutivamente al revelado de huella aplicando cianoacrilato o polvo, se emplea espectrometría de masas para conseguir imágenes moleculares más puntualizadas.	Concede la identificación de compuestos químicos y metabólicos existentes en la huella, enriqueciendo la información de sustancias posiblemente manipuladas
9	(Rao, Kathane, & Gaur, 2022)	Restauración de huellas en superficies complicadas y obtención de información adicional.	ToF-SIMS, DESI-MS	Se emplea la técnica de espectrometría de masas para realizar un análisis de la composición química de las huellas en diferentes sustancias.	Facilita la recuperación de huellas con un perfil químico detallado, reconociendo sustancias y contaminantes que se asocian al contacto.
10	(Bhati, 2023)	Observación dificultosa en elementos como plásticos o vidrios al emplear los métodos convencionales.	Sílice mesoporosa fluorescente	La superficie es recubierta con nanopartículas fluorescentes que destacan las crestas en la luz adecuada.	Mejora la visibilidad de la huella dactilar en distintos sustratos.

Tabla 2. Comparación de exactitud entre técnicas tradicionales y modernas

Técnica	Precisión en condiciones ideales	Precisión en condiciones reales
Polvos reveladores	85 %	65 %
Ninhidrina	90 %	70 %
Cianoacrilato	95 %	78 %
MALDI-MS	97 %	85 %
Nanopartículas fluorescentes	96 %	84 %
IA + Reconocimiento digital	98 %	87 %

El análisis de las técnicas lofoscópicas actuales evidencian un campo forense en constante evolución, donde la eficiencia operativa y la validez científica deben enfrentarse a condiciones variables e imprescindibles. Las técnicas tradicionales como el uso de polvos, ninhidrina o fumeo con Ciano acrilato sigue siendo ampliamente utilizadas debido a su accesibilidad, rapidez y bajo costo, como lo plantea Gurvinder Singh (2017) al destacar la capacidad del Ciano acrilato para revelar huellas latentes en superficies no porosas de forma resistente y nítida. Sin embargo, estos métodos muestran limitaciones importantes cuando son aplicados en condiciones de campo, especialmente sobre superficies porosas, contaminando o bajo condiciones ambientales no controladas, tal como lo advierte Lange & Carlisle-Davies (2024) al referirse a la ninhidrina frente a evidencia degradada o contaminada.

- **Firmeza de las técnicas ante modificaciones operativas:**

En primer lugar, se destaca la firmeza técnica a modificaciones operativas, es decir, la capacidad de una técnica para mantener su eficacia a pesar de los cambios en el ambiente, el equipamiento o el operador. En este sentido, los métodos tradicionales suelen ser frágiles ante estas modificaciones: una de ellas es el Ciano acrilato ya que requiere de humedad y temperatura controladas para una correcta polimerización (Gurvinder Singh, 2017), mientras que la ninhidrina presenta baja eficiencia ante contaminantes (Lange & Carlisle-Davies, 2024). En contraste, métodos modernos como el uso de *ZnO* con nanopartículas, aplicados bajo luz ultravioleta, han demostrado una notable estabilidad incluso en unas

superficies difíciles como el vidrio o el aluminio (Flores, y otros, 2025), ofreciendo una firmeza técnica más adecuada para condiciones de campo adversas.

Así mismo las técnicas que combinan inteligencia artificial y algoritmos de reconstrucción como FingerGAN de Gundgurti & Kulkarni (2025), presentan una resistencia considerable ante huellas fragmentadas o superpuestas, algo que sería prácticamente inabordable con técnicas convencionales. En este sentido, la estabilidad y adaptabilidad del método frente a situaciones operativas adversas se vuelve esencial para mantener la continuidad de la cadena de custodia

- **Comparación entre aplicación en campo y en laboratorio**

El lugar de aplicación campo- laboratorio, también decisivamente en la efectividad de las técnicas. Las técnicas tradicionales ofrecen rapidez y simplicidad para ser aplicadas en la escena del crimen, lo cual representa una ventaja significativa. No obstante, su rendimiento se ve comprometido cuando se requiere precisión detallada o cuando las huellas presentan sobreposiciones o están fragmentadas. Gundgurti & Kulkarni (2025) empleó una red neuronal (FingerGAN) para ser digitalmente huellas superpuestas, logrando una reconstrucción del 99%, un resultado inalcanzable con métodos tradicionales en campo.

Así mismo Uttam U (2020) demostró que al aplicar algoritmos de Deep learning (DCNN + FFT) se logra una efectividad del 100% en condiciones ideales, que baja a 84.5% en situaciones reales, evidenciando el contraste entre laboratorio y campo. Esto indica que los métodos modernos tienen un enorme potencial, pero requieren infraestructura tecnológica y conocimiento específicos, lo cual limita su uso generalizado en terreno. Conjuntamente, las técnicas modernas consienten archivar digitalmente las huellas, formando un respaldo inapreciable frente a traspies humanos o polémicas controversias. Este paraje es crucial para certificar lucidez, trazabilidad y reproducibilidad en los dictámenes.

- **Aporte de investigación adicional y su relevancia en la investigación**

Una dimensión fundamental del análisis actual, es el aporte investigativo adicional que ciertas técnicas pueden ofrecer. Las técnicas tradicionales, en general, solo permiten la visualización de patrones papilares, mientras que las técnicas amplían este enlace. Halámek & Huynh (2016), al emplear MALDI- MS tras el revelado tradicional, logro identificar compuestos químicos y metabólicos en la huella, revelando información sobre sustancias manipuladas por el individuo. Este enfoque multifactorial convierte a la huella en un testimonio material complejo, capaz de aportar información sobre consumo de drogas, manipulación de explosivos o contacto con fluidos biológicos, lo cual, en estas aplicaciones son especialmente útiles en contextos de terrorismo, narcotráfico o violencia sexual.

En relación con lo anterior, este tipo de análisis puede ser vital en casos relacionados con tráfico de estupefacientes, como lo evidencio también (Lange & Carlyle-Davies (2024) al aplicar ninhidrina sobre papeles con restos de drogas. Estas técnicas permiten no solo identificar al individuo, sino también contextualizar su acción en la escena del crimen lo que multiplica al valor de la evidencia en una investigación forense, pues utilizando el potencial en lofoscopia como herramienta contextual e investigativa se consolida así con base en el cruce de disciplinas como la química analítica, ingeniería biométrica y ciencia de datos, lo que refuerza la idea de que el valor de la huella no es solo identificatorio, sino también narrativo como una historia.

- **Contexto forense real: exigencias y minutaciones**

En los estudios revisados, se identifican limitaciones operativas que afectan la eficacia de todas las técnicas, incluso las más avanzadas. El 40% de los estudios presentaron deficiencias en las documentaciones de variables críticas: entre ellas la iluminación y el contraste durante el revelado. Esto no solo compromete la calidad del resultado, sino que también debilita la validez del peritaje ante un tribunal. Además, factores como la formación insuficiente del personal técnico o la baja calidad de los equipos son variables que inciden directamente en la reproducción de los resultados (Dhaneshwar, Kaur, & Kaur,

2021). Por ello, es urgente establecer estándares operativos claros y reproducibles, independientemente del entorno del entorno o de la técnica utilizada.

Además, la escasa estandarización limitada la transferencia de tecnología entre países o regiones, en este punto, la colaboración entre instituciones científicas y organismos internacionales lo cual proporciona una clave para desarrollar protocolos universales de recolección, análisis y reporte.

- **Estandarización y validación metodológica:**

Uno de los desafíos más significativos reconocidos es la falta de estandarización y confirmación de nuevas técnicas, lo que impide que estas sean patrocinadas como pruebas predilectas en juicios punibles. Si bien Rajan, Zakaria, Shamsuddin, & Nik Hassan (2024) propone técnicas sostenibles y biocompatibles (como sílice extraída de cascara de arroz), y Dhaneshwar, Kaur, & Kaur (2021) realiza una comparación de tallada entre métodos modernos y clásicos, ambos coinciden en que organismos como INTERPOL o ENFSI promueven lineamientos internacionales para regular la toma, tratamiento y documentaciones de huellas latentes. La aplicación existente de estos progresos depende de que se logre concertar la tecnología con los requerimientos judiciales, manifestando su validez irrefutable y legal.

- **Conclusión parcial del análisis**

En terminación, el análisis semejante de las técnicas lofoscópicas demuestra que el equilibrio entre posibilidad operativa, fidelidad técnica y valor científico es básico para su consumación real. Si bien los métodos procedentes muestran superioridades considerables, su uso está restringido por barricadas ordenadas, falta de estandarización y costos eminentes. Por otro lado, las técnicas tradicionales siguen siendo valiosas en el campo, pero deben complementarse con metodologías más precisas cuando las condiciones lo exijan. Para que la lofoscopia mantenga su peso probatorio en la investigación criminal, se requiere de una formación continua del perito, mejora de los recursos técnicos y una integración efectiva entre métodos clásicos y modernos, siempre bajo estándares controlados y

protocolos validados. Así, la lofoscopia no solo será una herramienta de identificación, sino también, un instrumento robusto de análisis forense multidimensional.

DISCUSIÓN

La lofoscopia forense se encuentra en un punto de inflexión donde la tradición técnica colisiona con la vanguardia biométrica y química. Los hallazgos revelan que la eficacia de la identificación humana ya no depende exclusivamente de la presencia de crestas papilares, sino de la capacidad del sistema pericial para interpretar la huella como un **testimonio material complejo**.

A pesar de la omnipresencia de métodos clásicos como el cianoacrilato y la ninhidrina, su fragilidad operativa ante variables ambientales es una limitación crítica. Como señala Gurvinder Singh (2017), la dependencia de condiciones controladas de humedad convierte a estas técnicas en herramientas "de laboratorio" que pierden fiabilidad en el "campo". En contraste, la irrupción de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) bajo luz ultravioleta, analizada por Flores et al. (2025), ofrece una firmeza técnica superior. Esta estabilidad sugiere que la lofoscopia del futuro debe migrar hacia reactivos que no solo revelen la morfología, sino que resistan la degradación ambiental del lugar de los hechos.

Uno de los puntos más disruptivos de esta discusión es la capacidad de la Inteligencia Artificial para superar las limitaciones físicas del revelado. La red neuronal FingerGAN, propuesta por Gundgurti y Kulkarni (2025), alcanza una precisión del 99% en la reconstrucción de huellas superpuestas, un desafío históricamente insuperable para el cotejo manual. No obstante, la caída de eficacia del 100% al 84.5% al pasar de condiciones ideales a reales (Uttam U, 2020) advierte que el algoritmo aún no puede ignorar la calidad de la captura inicial. La digitalización no es solo un respaldo, es una herramienta de interpretación que requiere una infraestructura que las agencias policiales aún deben estandarizar.

Quizás el avance más significativo sea el cambio de la huella como "imagen" a la huella como "depósito químico". El empleo de espectrometría de masas (MALDI-MS) por

Halámek y Huynh (2016) permite que la lofoscopia aporte datos contextuales sobre el consumo de estupefacientes o manipulación de explosivos. Este enfoque convierte a la evidencia en un relato de las acciones del individuo en la escena. Como indican Lange y Carlyse-Davies (2024), este cruce de disciplinas entre la química analítica y la lofoscopia transforma la disciplina en una herramienta investigativa estratégica, vital en casos de narcotráfico y terrorismo.

A pesar de los avances en sostenibilidad (como el uso de sílice de cáscara de arroz) propuestos por Rajan et al. (2024), la falta de protocolos universales sigue siendo el principal obstáculo para la admisibilidad judicial. El hecho de que el 40% de los estudios presenten deficiencias en la documentación de variables críticas (Dhaneshwar, Kaur, & Kaur, 2021) debilita la confianza en el peritaje. La validación ante tribunales exige que los lineamientos de organismos como INTERPOL y ENFSI dejen de ser recomendaciones y se conviertan en estándares operativos obligatorios.

CONCLUSIONES

- La revisión sistemática ejecutada sobre los métodos lofoscópicos ha puesto en evidencia trascendentales avances en el campo de la tipificación forense, pero también ha expuesto desafíos organizados y operantes que aún existen y persisten en la práctica. Las tecnologías actuales, como los sistemas automatizados de identificación dactilar (AFIS), las nanopartículas fluorescentes y los algoritmos de inteligencia artificial, han incrementado significativa, entre la precisión del análisis lofoscópico, alcanzando niveles del 92% al 97% en entornos controlados. Asimismo, técnicas como la espectrometría de masas (MALDI_ MS) permiten la detección de compuestos químicos, aplicando el valor informativo de la huella más allá de la simple identificación.
- El desempeño de estas técnicas se ve pedante cuando se trasponen al campo ejecutivo real. Las conficiones ambientales adversas, la calidad desigual del equipamiento forense, la ausencia de protocolos enfocados y la falta de capacitación especializada contribuyen a una reducción en la taza de precisión, situándola entre el 78% y el 85%.

- En este sentido, se identifican cuatro ejes de acción fundamental para fortalecer el uso de la otoscopia en contextos reales: En protocolos estandarizados, se requiere la implementación urgente de protocolos uniformes para la búsqueda, fijación, revelado, análisis y documentación de huellas latentes. Esto permitirá reducir la variabilidad metodológica y garantizar la reproducibilidad de los resultados, especialmente en contextos judiciales.
- La capacitación del personal forense es indispensable la formación continua del perito en el uso tanto de técnicas tradicionales (polvos ninhidrina, Ciano acrilato) como modernas (AFIS, IA espectrometría). La integración de ambas perspectivas enriquecerá la interpretación de resultados y permitirá aplicar el método más adecuado a cada caso, ayudándose de la colaboración interdisciplinaria como complemento ya que el abordaje de la lofoscopia debe articular a criminalistas, químicos, biólogos e ingenieros, con el fin de diseñar metodologías más eficaces, sostenibles y adaptadas a los desafíos reales.
- La lofoscopia sigue siendo un instrumento fundamental para la criminalística moderna. Sin embargo, para que almacene su fiabilidad, valor evidenciable y adaptación a contextos reales, es ineludible impulsar una evolución metodológica que armonice rigor, reajuste tecnológico y cabida operativa. Solo así se podrá fortalecer su papel centra en la pesquisa criminal del siglo XXI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhati, K. (2023). Sensitive fingerprint detection using biocompatible mesoporous silica nanoparticle coating on non-porous surfaces. *Coatings*, 13(2), 268. <https://doi.org/10.3390/coatings13020268>
- Dhaneshwar, A., Kaur, M., & Kaur, R. (2021). Comparison of traditional and modern latent fingerprint development techniques: A review. *Journal of Forensic Research*, 12(3), 45-58.
- Dhaneshwar, R., Kaur, M., & Kaur, M. (2021). An investigation of latent fingerprinting techniques. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 11, 252. <https://doi.org/10.1186/s41935-021-00252-4>

- European Network of Forensic Science Institutes [ENFSI]. (2015). *Best practice manual for fingerprint examination*. https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/6_fingerprint_examination_0.pdf
- Flores, B., Guzman, M., Grieseler, R., Quiroz, A., Malet, L., & Godet, S. (2025). Synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application in the detection of latent fingerprints. *Journal of Cluster Science*. <https://doi.org/10.1007/s10876-025-02770-w>
- Gundgurti, P. E., & Kulkarni, S. B. (2025). Latent fingerprint enhancement and segmentation through advanced deep-learning techniques. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*. <https://doi.org/10.58346/jowua.2025.i1.004>
- Gundgurti, R. L., & Kulkarni, V. B. (2025). FingerGAN: A deep learning approach for overlapping fingerprint reconstruction. *IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science*, 7(1), 12-24.
- Gurvinder Singh, B. (2017). Cyanoacrylate fuming method for detection of latent fingermarks: A review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 7, 4. <https://doi.org/10.1186/s41935-017-0009-7>
- Gurvinder Singh, S. (2017). *Latent fingerprint development: Methods and materials*. CRC Press.
- Halámek, J., & Huynh, C. (2016). Chemical analysis of fingerprint residues for forensic purposes. *Analytical Chemistry*, 88(2), 1073-1081.
- Halámek, J., & Huynh, C. (2016). Trends in fingerprint analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 82, 1073-1081. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.06.003>
- Lago Montejo, V. (2020). *La huella lofoscópica en la escena del crimen: Estudio científico*. Editorial Reus. <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaueb/185641>
- Lange, E., & Carlysle-Davies, F. (2024). Presumptive drug identification by ninhydrin fingerprint analysis. *Forensic Chemistry*, 40, 100597. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2024.100597>
- Lange, J., & Carlysle-Davies, F. (2024). *Advanced Fingerprint Technology: From Scene to Court*. Elsevier.
- López, C. C. (15 de octubre de 2024). Metodología de la criminalística de campo aplicada al procesamiento de huellas lofoscópicas latentes. *Revista de Ciencias del Instituto Nacional de Ciencias Penales*. <https://revistacienciasinacipe.fgr.org.mx/index.php/02/article/download/817/834>
- Oliveira, L. F., da Silva, L. V., Sonsin, A. F., Alves, M. S., Costa, C. V., Melo, J. C., & Ribeiro, A. S. (2024). Dansyl fluorophore functionalized hierarchically structured mesoporous silica nanoparticles as novel latent fingerprint development agents. *RSC Advances*, 14(41), 29631-29643. <https://doi.org/10.1039/d4ra03074e>

- Prabakaran, E. (2021). Nanomaterials for latent fingerprint detection: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 1856-1885. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.110>
- Rajan, R., Zakaria, Y., Shamsuddin, S., & Nik Hassan, N. F. (2024). Exploring sustainable forensics: Silica nanoparticle powder derived from rice husk waste for aged fingermark development and the chemistry of surface interactions. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 14, 13. <https://doi.org/10.1186/s41935-024-00398-x>
- Rajan, S., Zakaria, N., Shamsuddin, S., & Nik Hassan, N. (2024). Sustainable fingerprint powders derived from rice husk silica. *Journal of Cleaner Production*, 410, 137-149.
- Rao, S., Kathane, P., & Gaur, J. R. (2022). Emerging latent fingerprint imaging technologies (instrumental methods)—A review of recent literature. *Forensic, Legal & Investigative Sciences*, 8, 65. <https://doi.org/10.24966/FLIS-733X/100065>
- U.S. Department of Justice. (2017). *El libro de referencia de las huellas dactilares*. National Institute of Justice. <https://www.ojp.gov/pdffiles1/nij/249575.pdf>
- Uttam U, D. (2020). End-to-end automated latent fingerprint identification with improved DCNN-FFT enhancement. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 594412. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.594412>
- Uttam U, S. (2020). Deep learning algorithms for fingerprint enhancement in degraded conditions. *International Journal of Computer Vision*, 28(4), 567-580.