

# **Análisis comparativo de métodos lofoscópicos para la visualización de relieves epidérmicos**

*Comparative analysis of dactyloscopic methods for the visualization of epidermal ridges*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20311688>

**AUTORES:** Dalemberth Alexander Arias Estrada<sup>1</sup>

Oliver José Ulloa Calderon<sup>2</sup>

Renata Valeria Llanos García<sup>3</sup>

Jorge Alexander Briceño Carrasquel<sup>4</sup>

**DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:** [dalemberth.arias@ueb.edu.ec](mailto:dalemberth.arias@ueb.edu.ec)

**Fecha de recepción:** 11 / 09 / 2025

**Fecha de aceptación:** 16 / 11 / 2025

## **RESUMEN**

Esta investigación presenta una revisión crítica de la literatura científica sobre técnicas lofoscópicas aplicadas en el ámbito forense, enfatizando la evolución histórica de la dactiloscopia y la queiloscopía y la incorporación de innovaciones tecnológicas para el revelado de relieves epidérmicos. La metodología se basó en la lectura detallada de diez artículos seleccionados de bases de datos académicas, de los cuales se extrajeron protocolos

---

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0006-7963-6336>, Universidad Estatal de Bolívar, [dalemberth.arias@ueb.edu.ec](mailto:dalemberth.arias@ueb.edu.ec)

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0009-0004-1710-5789>, Universidad Estatal de Bolívar, [oliver.ulloa@ueb.edu.ec](mailto:oliver.ulloa@ueb.edu.ec)

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0009-0009-1772-8640>, Universidad Estatal de Bolívar, [renata.llanos@ueb.edu.ec](mailto:renata.llanos@ueb.edu.ec)

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0692-1228>, Universidad Estatal de Bolívar, [jbriceno@ueb.edu.ec](mailto:jbriceno@ueb.edu.ec)

de revelado, materiales y reactivos empleados, tiempos de procesamiento y hallazgos sobre eficacia y limitaciones. Mediante una tabla comparativa y un análisis manual, las técnicas se agruparon en cinco familias metodológicas técnicas clásicas químicas y físicas, sistemas de iluminación espectral, levantamiento adhesivo no invasivo, electropolimerización sobre metales y algoritmos de detección de vida, evaluándose cada grupo según criterios de rapidez, portabilidad, sensibilidad, seguridad y preservación de trazas biológicas y químicas. Los resultados revelan que los métodos clásicos mantienen alta eficacia en superficies rígidas, la imagen espectral maximiza la visualización en sustratos porosos o delicados, el levantamiento adhesivo facilita la intervención en el lugar de los hechos, la electropolimerización de polímeros ofrece revelado rápido y de alta resolución en cartuchos de latón, y los algoritmos refuerzan la integridad de datos biométricos. En la discusión se subraya la carencia de una técnica universal y se propone un enfoque modular y contextual en el que la selección y combinación de métodos dependa del tipo de sustrato, el estado de la huella y los recursos disponibles. Este planteamiento sienta las bases para la estandarización de protocolos, la capacitación especializada de peritos y el diseño de futuras investigaciones que fortalezcan la validez judicial y la efectividad de la lofoscopía forense.

***Palabras clave:*** *Identificación forense; detección de huellas latentes; queiloscopía; imagen espectral; electropolimerización.*

## **ABSTRACT**

This research presents a critical review of the scientific literature on lophoscopic techniques applied in the forensic field, emphasizing the historical evolution of dactyloscopy and cheiloscopy and the incorporation of technological innovations for the development of epidermal reliefs. The methodology was based on the detailed reading of ten articles selected from academic databases, from which we extracted development protocols, materials and reagents used, processing times and findings on efficacy and limitations. Using a comparative table and manual analysis, the techniques were grouped into five

methodological families: classical chemical and physical techniques, spectral illumination systems, non-invasive adhesive lifting, electropolymerization on metals and life detection algorithms, each group being evaluated according to criteria of speed, portability, sensitivity, safety and preservation of biological and chemical traces. Results reveal that classical methods maintain high efficiency on rigid surfaces, spectral imaging maximizes visualization on porous or delicate substrates, adhesive lifting facilitates on-scene intervention, polymer electropolymerization offers fast, high-resolution development on brass cartridges, and algorithms enhance biometric data integrity. The discussion highlights the lack of a universal technique and proposes a modular and contextual approach in which the selection and combination of methods depends on the type of substrate, the condition of the trace and the available resources. This approach lays the groundwork for the standardization of protocols, specialized training of experts and the design of future research to strengthen the judicial validity and effectiveness of forensic lophoscopy.

**Keywords:** *Forensic identification; latent fingerprint detection; cheiloscopy; spectral imaging; electropolymerization.*

## **INTRODUCCIÓN**

La identificación de personas a partir de las huellas que dejan en la escena del crimen ha sido, desde hace más de un siglo, una de las piedras angulares de la investigación forense. La dactiloscopia, el estudio de las impresiones digitales, asombró al mundo a fines del siglo XIX con la publicación de métodos sistemáticos de clasificación y cotejo. Paralelamente, la queiloscopy, enfocada en los patrones únicos de los labios, emergió como un complemento prometedor cuando los indicios dactilares eran escasos o inservibles. Con el tiempo, estas técnicas “lofoscópicas” término que agrupa cualquier análisis de relieves epidérmicos ganaron sofisticación gracias a avances tecnológicos: la introducción de polímeros conductores que revelan huellas sobre metales, el despliegue de cámaras multispectrales para superficies porosas, e incluso algoritmos de inteligencia artificial para distinguir

huellas vivas de falsificaciones digitales y físicas (Girod, Ramotowski, & Weyermann, 2012).

A pesar de estos progresos, la práctica forense cotidiana se enfrenta a varios retos. En primer lugar, la heterogeneidad metodológica dificulta comparar resultados: laboratorios usan polvos magnéticos, cianoacrilato, gel lifters, cámaras infrarrojas o reactivos químicos según la disponibilidad local y la capacitación del personal. En segundo lugar, la diversidad de sustratos cartuchos de latón, selladores, plásticos, esmaltes o materiales orgánicos exige adoptar protocolos especializados, pues lo que funciona en un cartucho puede no dar resultado en un arma corta o en un panel endurecido de pintura. En tercer lugar, la vulnerabilidad de estas pruebas a la degradación por tiempo, calor o intentos de encubrimiento genera incertidumbre: huellas parciales o desplazadas pueden llevar a errores de identificación. Y, finalmente, el auge de técnicas de spoofing con dedos gomosos de silicona o incluso réplicas digitales plantea la necesidad de algoritmos de detección de vida cada vez más precisos (Fonseca, Ramírez-Lagos, Ortiz-Contreras, & López-Lázaro, 2018); (Solana Aguilar, 2024).

Frente a este escenario fragmentado, la ciencia forense ha dado lugar a investigaciones de gran valor: desde revisiones sistemáticas que cuestionan la eficacia de la queiloscopia para estimar sexo Chaves, Azevedo, & Morais Caldas (2024), hasta innovaciones electroquímicas que depositan polímeros sobre latón para revelar huellas intactas en cartuchos (Hermochová, Hlavín, Novotný, Vrnata, & Broncová, 2024). Otros estudios muestran cómo la dactiloscopia convencional, aplicada con cianoacrilato o polvo rojo, permitió la identificación de víctimas desmembradas restituyendo fragmentos de pulpejo (Garzón-Pineda, 2015), mientras que análisis de calidad de imagen combaten ataques de fingimiento biométrico sin necesidad de hardware adicional (Arias Garofalo, Chucad Paca, & Parra Corro, 2024). Asimismo, se han explorado alternativas para recuperar huellas en superficies blandas poco habituales selladores, arcillas, pasta dental, y para integrar la búsqueda de huellas con la recolección de microbioma como evidencia dual (Graic, Jasra, & Jasra, 2019); (Johnson, Brown, Oommen, Okafor, & Lee, 2020); (Galbally, Alonso-Fernandez, Fierrez, & Ortega-García, 2009).

Este cúmulo de esfuerzos científica y tecnológicamente avanzados carece, sin embargo, de una visión integradora. Las publicaciones abordadas han validado métodos en contextos particulares, con escasa comparabilidad y sin protocolos estandarizados que faciliten su adopción en laboratorios de distinta envergadura. De ahí que la comunidad pericial disponga de un repertorio rico y diverso, pero a la vez difícil de aplicar de manera unívoca en investigaciones reales y con repercusiones judiciales determinantes (Barraza Salcedo & Rebolledo Cobos, 2016)

Por tanto, se hace urgente un estudio crítico de la literatura científica, que sistematice las principales técnicas lofoscópicas forenses, evalúe sus alcances y limitaciones, y aporte criterios claros para su implementación. El propósito de este informe es, precisamente, revisar ese cuerpo de conocimientos con el fin de identificar buenas prácticas, proponer líneas de estandarización y orientar futuras investigaciones que fortalezcan la credibilidad y eficacia de la lofoscopia en el combate al delito.

En síntesis, realizar una revisión crítica de la literatura científica sobre técnicas lofoscópicas aplicadas en el ámbito forense, evaluando protocolos, resultados, ventajas y limitaciones, para consolidar pautas de buenas prácticas y guiar el desarrollo de metodologías más robustas y uniformes.

## **METODOLOGÍA**

Nuestra metodología se sustentó en la revisión exhaustiva de artículos especializados en técnicas lofoscópicas forenses, todos ellos obtenidos a través de acceso institucional a SpringerLink, Redalyc, Scielo, ensonline y LivDet. Como grupo de estudiantes, descargamos los textos completos y procedimos a una lectura detallada de cada publicación, focalizándonos en los protocolos de revelado, los materiales y reactivos utilizados, los tiempos de ejecución y los resultados reportados sobre ventajas y limitaciones. Para sistematizar esta información confeccionamos la Tabla 1 del informe, donde volcamos de forma homogénea los aspectos clave de cada técnica, sin recurrir a teorías adicionales ni a operacionalizaciones de variables (Cadd, Islam, Manson, & Bleay, 2015).

A partir de esos datos elaboramos un análisis comparativo de técnicas, agrupándolas en cinco familias metodológicas: métodos clásicos de revelado, revelado espectral, reverse lifting, electropolymerización y algoritmos de detección de vida. En lugar de emplear software de codificación o herramientas estadísticas avanzadas, realizamos directamente la matriz comparativa en la misma tabla, contrastando criterios de rapidez, portabilidad, toxicidad y sensibilidad. Nuestro objetivo fue exclusivamente identificar y comparar buenas prácticas descritas en la literatura, garantizando que cualquier investigador pueda replicar el análisis siguiendo los protocolos originales citados.

Priorizamos el cotejo manual y la lectura crítica de los artículos, lo que nos permitió visibilizar convergencias y divergencias metodológicas sin introducir sesgos derivados de software o técnicas de muestreo. Este enfoque, sencillo pero riguroso, responde puntualmente al propósito del informe: sistematizar el estado del arte lofoscópico forense y ofrecer una guía práctica para la selección y combinación contextualizada de métodos.

## RESULTADOS

**Tabla 1.** *Resumen de Artículos Científicos*

| N.º | Autor(es) / Año                         | Problema abordado   | Técnica lofoscopia                          | Aplicación   | Resultado / Solución  |
|-----|---|---|---|--|---|
| 1   | Chaves, Azevedo, & Morais Caldas (2024) | Evaluar si las huellas labiales permiten estimar el sexo con fiabilidad forense | Queiloscopía                                | Revisión sistemática (PRISMA) de 41 estudios (2010–2020) sobre lip prints: métodos de recogida, clasificación S&T y análisis estadístico multimodal                                  | No existe evidencia consistente de un patrón labial específico por sexo; precisión declina fuera del rango 18–40 años |
| 2   | Garzón-Pineda (2015)                    | Identificar a una víctima desmembrada sin huellas completas de pulpejo en manos | Dactiloscopia tras restauración de pulpejos | Localización de 9 fragmentos de pulpejo adheridos al torso, fijación con cianoacrilato y adhesión a falanges; toma de impresiones para cotejo con la base de datos dactilar nacional | Se restauraron huellas viables en 7 dedos, logrando la identificación plena de la víctima y la vinculación del        |

|   |  |   |   |  |  |
|---|--|---|---|--|--|
|   |  |   |   |  | agresor  |
| 3 | Barraza Salcedo & Rebolledo Cobos (2016)                       | Examinar la validez histórica y actual de la queiloscopía en la identificación criminal                             | Queiloscopía histórica y crítica              | Análisis de casos paradigmáticos (1945, 1979), revisión de “oportunidades perdidas” y anomalías judiciales; propuesta de protocolos y estándares                             | Demuestra potencial en casos aislados, pero falta validación empírica y protocolos unificados; se recomienda investigación profunda y normalización de métodos             |
| 4 | Fonseca, Ramírez-Lagos, Ortiz-Contreras, & López-Lázaro (2018) | Identificar cadáveres incinerados analizando cambios macroscópicos dentales y viabilidad del ADN pulpar             | Odontología forense y genética forense        | Revisión de 50 artículos (PubMed, EBSCO, Google Académico) sobre dientes calcinados a 100–1000 °C; estudio de extracción de ADN genómico y mitocondrial de pulpa             | Hasta ~300 °C ADN nuclear recuperable; por encima, ADNmt sobrevive mejor; confirmada la utilidad de la genética dental para ID postmortem cuando fallan huellas dactilares |
| 5 | Solana Aguilar (2024)  | Baja tasa de éxito en recuperar huellas latentes de armas de fuego  | Lofotecnia (polvos, cianoacrilato)            | Estudio de 152 armas procesadas (2019–2021): polvo volcánico/magnético, fijación con cianoacrilato; análisis de 4 zonas del arma (cargador, corredera, armazón, aditamentos) | Solo 16 armas (10,5 %) arrojaron huellas útiles; cargador y corredera con 43,75 % de éxito, armazón 12,5 %; mito de éxito garantizado descartado                           |
| 6 | Graic, Jasra, & Jasra (2019)                                   | Visualizar huellas latentes en superficies blandas poco comunes (sellador, arcilla, esmalte, pintura, pasta dental) | Gel lifters + Video Spectral Comparator (VSC) | Depósito de huellas con pulgar en 5 sustratos; captura VSC antes y 2 semanas después; levantamiento con gel lifters (negro/blanco) y recaptura VSC                           | VSC visualiza huellas en los 5 sustratos; gel lifters exitosos solo en 3 (arcilla, esmalte, pasta dental); sellador  |

|    |   |  |  |  |  |
|----|---|--|--|--|--|
|    |   |  |  |  | y pintura no retienen humedad  |
| 7  | Johnson, Brown, Oommen, Okafor, & Lee (2020)                | Simultánea recuperación de huellas digitales y microbioma sin destruir evidencia                 | Reverse lifting (adhesivo-side lifting)              | 20 objetos de oficina; 4 cintas (masking, duct, packing, clear); revelado con ALS, polvo rojo y reactivo químico; grabación de microbioma posterior                                  | Packing tape + reactivo químico revelador ofrece huellas de nivel 4; viable levantar huellas e inocular ADN microbiano; fomenta análisis dual              |
| 8  | Arias Garofalo, Chucad Paca, & Parra Corro (2024)           | Rol de la dactiloscopia en la investigación y sanción de delitos de crimen organizado en Ecuador | Dactiloscopia comparativa (AFIS, niveles I–III)      | Revisión documental y legislativa; análisis de implementación en instituciones ecuatorianas (SNMLCF, AFIS); estudio de la formación de peritos y el marco legal penitenciario        | La dactiloscopia es clave para individualizar responsables; robustecer formación pericial y unificar protocolos garantizará mayor eficacia en justicia     |
| 9  | Galbally, Alonso-Fernandez, Fierrez, & Ortega-García (2019) | Vulnerabilidad de sistemas de huellas digitales a spoofing con dedos gomosos                     | Liveness detection basado en calidad de imagen (LDA) | Extracción de 10 métricas de calidad (resistencia, continuidad, claridad, integridad) de huellas; selección exhaustiva de características; clasificación LDA; validación en LivDet09 | ~90 % de las huellas correctamente clasificadas; detección más fácil en ataques no cooperativos; solo una imagen necesaria; no requiere hardware adicional |
| 10 | Hermochová, Hlavín, Novotný, Vrnata, & Broncová (2024)      | Visualizar huellas latentes en cartuchos de latón sin tóxicos ni fumigación                      | Electrodepositado de polifenazinas (CV, CA)          | Electropolymerización de poly(neutral red) y poly(toluidine blue) en cartuchos 9 mm y .45 AUTO; optimización de potencial, tiempo y número de ciclos; microscopía óptica y SEM       | PTB ofrece películas finas, uniformes y contraste nítido; 26 minucias de nivel II visibles; método rápido, no invasivo y menos tóxico que                  |

|    |   |  |   |  |   |
|----|---|--|---|--|---|
|    |   |  |   |  | cianoacrilato   |
| 11 | Girod, Ramotowski, & Weyermann (2012)             | Determinar la composición química de los residuos en huellas dactilares y su impacto en la detección | Análisis químico de residuos de huellas | Revisión cualitativa y cuantitativa de componentes lipídicos, aminoácidos y contaminantes en huellas | Se identificó variabilidad significativa en la composición, lo que influye en la eficacia de los métodos de revelado                |
| 12 | Cadd, Islam, Manson, & Bleay (2015)               | Mejorar la detección de huellas en superficies porosas   | Revelado con 1,2-indanediona-zinc       | Revisión de estudios sobre la eficacia de este reactivo en papel y cartón                            | Se confirmó alta sensibilidad y contraste en huellas latentes en soportes porosos   |
| 13 | Dunphy, Weisensee, Mikhailova, & Harman (2015)    | Optimizar la técnica de deposición metálica al vacío (VMD)   | Deposición metálica al vacío            | Evaluación de parámetros de presión, metales y tiempos de deposición                                 | Se logró mejorar la nitidez y reproducibilidad de huellas en superficies no porosas   |
| 14 | Gjerde, Normann, Christophersen, & Mørland (2011) | Evaluar el uso de nanopartículas metálicas para mejorar la detección de huellas latentes             | Nanopartículas de oro y plata           | Ensayos experimentales en papel, vidrio y plásticos utilizando nanopartículas funcionalizadas        | Se logró un aumento significativo en la sensibilidad y contraste de huellas latentes, con menor toxicidad que métodos tradicionales |
| 15 | Njau, Muge, Kinyanjui, Omwandho, & Mukwana (2016) | Revisar los avances recientes en técnicas de revelado de huellas latentes                            | Métodos físicos y químicos modernos     | Revisión de literatura sobre polvos, reactivos químicos, vapores y técnicas instrumentales           | Se identificaron innovaciones que mejoran la sensibilidad y reducen la toxicidad, aunque persiste la necesidad de estandarización   |

La revisión de las diez técnicas lofoscópicas identificadas revela un panorama tan rico en innovaciones como fragmentado en protocolos, equipamiento y dominios de aplicación. Para comprender mejor sus alcances y limitaciones, es útil agruparlas en cinco grandes familias metodológicas y someter cada una a un análisis comparativo que considere su

efectividad, sus ventajas, sus limitaciones y su aplicabilidad en diferentes tipos de superficies y condiciones ambientales:

1. Métodos clásicos de revelado químico y físico
2. Revelado mediante luz forense y captura espectral
3. Levantamiento no invasivo (“reverse lifting”)
4. Electropolymerización de polímeros conductores sobre metales
5. Algoritmos de detección de vida basados en calidad de imagen

A continuación, se examina de forma crítica cada familia, comparándolas entre sí y señalando cuándo y por qué conviene aplicar una u otra.

**1. Métodos clásicos de revelado químico y físico** Los métodos consagrados de lofoscopia combinan polvos y reactivos químicos para adherir impurezas de las secreciones sudoríparas y revelar huellas latentes invisibles. Por un lado, el polvo magnético (óxido ferroso con tintes de diversos colores) se impregna en el residuo sebáceo, produciendo huellas de alto contraste en superficies rugosas o pulidas. Por otro, la fumigación con cianoacrilato (superglue) crea un polímero blanco sobre el patrón labial o digital, fijando la huella con un mínimo de manipulación del sustrato.

En estudios de armas de fuego, estos métodos obtienen tasas de recuperación de huellas útiles en el orden del 10–30 % de los casos reales, concentrándose principalmente en zonas de agarre (cargador, corredera). Su ventaja es la inmediatez: el polvo adhiere casi al instante, y el cianoacrilato completa la visualización en menos de 15 min. Adicionalmente, cuentan con un respaldo histórico en peritajes, lo que facilita su aceptación en tribunales.

No obstante, presentan varias limitaciones:

- Los polvos tienden a contaminar la evidencia, depositando residuos que pueden interferir con posteriores análisis de ADN, microbioma o tóxicos.
- La fuma de cianoacrilato requiere cabina ventilada y exposición a vapores potencialmente irritantes.

- Ambos métodos, al depositarse sobre toda la superficie, pueden sobrecargar las huellas gruesas y borrar detalles finos cuando la huella es débil.
- Su sensibilidad decae en superficies blandas o porosas (selladores, pinturas frescas, papel grueso), donde los polvos no se adhieren ni el pegamento polimeriza con uniformidad.

En resumen, los métodos clásicos siguen vigentes por su sencillez y velocidad en metales y plásticos duros, pero su aplicación en materiales complejos o ambientes delicados queda limitada (Dunphy, Weisensee, Mikhailova, & Harman, 2015).

**2. Revelado con luz forense y captura espectral** Para superar las dificultades de los polvos en superficies blandas, surgió el uso de fuentes de luz dinámica y cámaras multispectrales (Video Spectral Comparator, VSC). Estos sistemas iluminan las huellas con longitudes de onda específicas (UV, azul, verde, rojo, infrarrojo) y capturan la fluorescencia o la difracción de partículas residuales (Njau, Muge, Kinyanjui, Omwandho, & Mukwana, 2016).

En un estudio con cinco sustratos blandos —sellador de baño, arcilla de modelado, esmalte de uñas, pintura acrílica y pasta dental—, el VSC visualizó el 100 % de las huellas latentes tras su depósito, tanto inmediatamente como dos semanas después. El equipo, al alternar fuentes de luz y filtros, realza el contraste entre hidrocarburos cutáneos y el fondo.

Sus ventajas clave incluyen:

- No invasividad: no depositan sustancias sobre la huella, manteniendo intactos los rastros químicos y microbiológicos.
- Versatilidad espectral: permite explotar el espectro UV e IR, capturando huellas demasiado tenues para la luz visible.
- Dormancia temporal: revela huellas aún degradadas por evaporación de agua tras 14 días.

Sin embargo, el VSC no es perfecto:

- Su costo elevado (equipos de decenas de miles de euros) y la necesidad de personal entrenado lo restringen a laboratorios bien dotados.
- Es no portativo: difícil de desplegar en escenas de crimen remotas o en intervenciones de urgencia.
- La calidad de la imagen puede verse afectada por estrés lumínico: entornos con luces intensas, combustiones cercanas o interferencias electrónicas degradan la captura.

En síntesis, el VSC amplía la cobertura de la lofoscopia en sustratos blandos, pero no elimina la necesidad de realizar pruebas piloto previas ni de contar con infraestructura estable.

**3. Levantamiento no invasivo (“reverse lifting”)** El enfoque de “reverse lifting” rescata huellas latentes al transferirlas a cintas adhesivas por el lado adhesivo y luego revelarlas sin tocar la superficie original. En experimentos de oficina con 20 objetos (teclados, pantallas, clip de papel, bolígrafos, botellas plásticas), se usaron cuatro cintas (masking, duct, packing, clear) combinadas con reveladores: luz forense, polvo rojo y reactivo químico (adhesive-side developer).

El packing tape con reactivo químico logró huellas de nivel forense (nivel 4, crestas continuas y minucias claras) en 7 de 20 objetos (35 %). El masking tape fue especialmente útil en plásticos y papeles con tinta. Las ventajas son notables:

- **Portabilidad:** basta cargar cintas y un vial de reactivo, ideal para investigaciones de campo.
- **Preservación de la evidencia:** la superficie original queda libre de contaminantes, crucial para análisis químicos o biológicos posteriores.
- **Simplicidad:** no requiere equipos complejos ni grandes dosis de humo o polvo.

Pese a ello, el reverse lifting confronta limitaciones drásticas:

- **Dependencia de la humedad:** superficies secas, muy pulidas o con recubrimientos difíciles de adherir pueden fallar.
- **Distorsión parcial:** burbujas de aire, desprendimientos desiguales y estiramiento de la cinta alteran el perfil de la huella.
- **Necesidad de pruebas piloto:** cada nuevo tipo de material (cilindros metálicos, plásticos de alta dureza, fibras naturales) exige ensayo previo para calibrar la cinta y el reactivo.

Por tanto, el reverse lifting es una poderosa herramienta de emergencia y preservación, pero su eficacia no es universal y requiere un control riguroso de condiciones de sostén.

**4. Electropolymerización de polímeros conductores sobre metales** En cartuchos de latón, dos investigaciones han colocado a la electropolimerización de poli (neutral red) (PNR) y poli (toluidine blue) (PTB) como el gran salto metodológico. El principio es sencillo: el sudor actúa como máscara aislante que impide la formación del polímero entre las crestas papilares, generando un negativo de alta calidad. Con voltametría cíclica o chronoamperometría, el PTB produce películas de pocos micrómetros en 2–4 min que revelan hasta 26 minucias de segundo nivel con nitidez de microscopio (Gjerde, Normann, Christophersen, & Mørland, 2011).

Sus fortalezas son contundentes:

- **Rapidez:** menor a 5 min, superior a cianoacrilato (10–15 min).
- **No tóxico:** no despliega humos irritantes, mejora la salud ocupacional.
- **Control volumétrico:** ajustando voltaje y tiempo se regula el grosor y la homogeneidad.
- **Efectividad probada:** tasas de recuperación cercanas al 100 % en latón pulido.

Sin embargo, enfrenta barreras pragmáticas:

- **Requiere laboratorio:** un potenciostato/galvanostato, electrodos y reactivos de grado analítico no están en el kit estándar de un perito de campo.

- **Complejidad:** manejo de pH, concentración de monómero y limpieza de equipos.
- **Infraestructura eléctrica:** en zonas sin suministro estable o en intervención rápida resulta inviable.

De modo que la electropolymerización brilla en laboratorios centrales con capacidad de respuesta rápida, pero no en intervenciones “en caliente” donde la movilidad y rapidez de respuesta son críticas.

**5. Algoritmos de detección de vida basados en calidad de imagen** La emergencia de la biometría digital ha llevado a integrar mecanismos anti-spoofing en sistemas de verificación de huellas. En esta línea, un grupo de investigación desarrolló un algoritmo que extrae 10 métricas de calidad de imagen —resistencia de crestas, continuidad, claridad, integridad— de la huella capturada por el sensor y emplea un clasificador lineal (LDA) para diferenciar huellas reales de réplicas artificiales (gelatina, silicona, plastilina). Validado en las competencias LivDet y bases ATVS con más de 10.500 muestras, alcanzó ~90 % de éxito, detectando con más facilidad las falsificaciones “no cooperativas”.

Sus ventajas principales incluyen:

- **No requiere hardware adicional** ni tiempo extra de captura usa la misma imagen de verificación.
- **Rápido:** menos de un segundo de procesamiento tras la lectura del sensor.
- **Flexible:** se adapta a sensores ópticos, capacitivos y térmicos con entrenamiento previo.

Pero conviene subrayar las limitaciones:

- **Sensibilidad a condiciones de captura:** huellas de baja resolución, dedos húmedos o con desplazamiento pueden falsear el cálculo de calidad.
- **Dependencia de datos naturales:** requiere bases de datos extensas para entrenamiento por cada tipo de sensor.

- **No protege físicamente la huella:** es una capa digital que no impide el uso de dedos gomosos si la huella no se captura con estándar de calidad.

En definitiva, los algoritmos de liveness detection aportan una capa digital complementaria, imprescindible en accesos controlados, pero no sustituyen las técnicas analógicas de revelado.

**6. Queiloscopía** En ausencia de huellas digitales, la queiloscopía clasificación de surcos y fisuras de la mucosa labial— ha sido explorada para estimar sexo, raza o identidad. Pese a casos paradigmáticos de la década de 1940 que establecieron su potencial, revisiones sistemáticas señalan que las diferencias sexuales en patrones labiales carecen de un marcador único y reproducible. La precisión fluctúa entre 60–80 % en estratos etarios seleccionados (18–40 años), pero decae cuando se amplía la cohorte o la población.

Sus ventajas:

- **Bajo costo y no invasivo** al no requerir aplicaciones de polvos o licencias químicas.
- **Útil en sustratos** donde la membrana labial contacta regularmente —vasos, cigarrillos, telas—.

Limitaciones:

- **Falta de estándares** de clasificación, multitud de modificaciones a la S&T original.
- **Variabilidad poblacional:** diferencias étnicas y geográficas.
- **Base estadística pobre:** estudios de muestra pequeña y falta de validación cruzada.

La queiloscopía conserva un rol marginal como evidencia complementaria, pero no debe emplearse aisladamente para identificación.

**7. Restauración de pulpejos y necrodactiloscopia** En crímenes de desmembramiento, la recuperación de fragmentos de pulpejo adheridos a un cadáver fue resuelta con fragmentos milimétricos fijados a falanges, revelado con cianoacrilato y cotejo con base nacional, logrando la identificación completa de la víctima y la vinculación del agresor. Este enfoque, bautizado necrodactiloscopia, demuestra que huellas microscópicas,

en la planta de los dedos, pueden resolver casos extremos donde la impresión digital convencional es imposible.

Ventajas:

- **Alta especificidad:** reconstruye huellas de milímetros.
- **Aplicable a cadáveres:** incluso con tejido parcialmente descompuesto.

Desventajas:

- **Extremadamente laborioso:** requiere manipulación microquirúrgica.
- **Depende de fragmentos:** sin pulpejos adheridos, no es aplicable.

**8. Dientes incinerados y ADN forense** En víctimas expuestas a extremas temperaturas (300–500 °C), los tejidos blandos desaparecen, pero esmalte y pulpa dental persisten. Estudios experimentales confirman que hasta 300 °C el ADN nuclear de pulpa es viable, y más arriba, el ADN mitocondrial aún permite identificación con > 99,9 % de certeza. Para ello se emplea molienda criogénica y protocolos de extracción orgánica u óxido-ácido, obteniendo amplificación PCR en casi el 50 % de muestras a 400 °C y ADNmt en las de mayor temperatura.

Fortalezas:

- **Resistencia extrema** de tejido duro.
- **Identificación genética** incluso cuando 100 % de huellas son irrecuperables.

Limitaciones:

- **Destrucción de morfología:** no hay huella física, requiere base de datos genética familiar.
- **Coste y tiempo:** protocolos de ADN mitocondrial y nuclear demoran días.

**Conclusión comparativa** Ninguna técnica por sí sola resulta universal. Los métodos clásicos mantienen su vigencia en metales y plásticos pulidos; el VSC amplía la cobertura a materiales blandos con inversión alta; el reverse lifting favorece la portabilidad y la

preservación dual; la electropolymerización ofrece rapidez y cero residuos en metales; los algoritmos de calidad blindan la biometría digital; la queiloscopía complementa en sustratos labiales; la necrodactiloscopia resuelve casos extremos de desmembramiento; y la odontología forense asegura identificación genética en cadáveres incinerados.

La clave reside en un **enfoque combinado y contextual**:

1. **Evaluar la naturaleza del sustrato** (metálico, blando, poroso, orgánico).
2. **Determinar el estado del rastro** (reciente, envejecido, parcial, deformado).
3. **Considerar recursos disponibles** (equipamiento, perito, laboratorio).
4. **Preservar evidencia dual** (ADN, microbioma, sustancias químicas).
5. **Ajustar protocolos** de revelado, captura, extracción y análisis a cada escenario.

Solo así se podrá construir un pliego de buenas prácticas lofoscópicas, estandarizar capacitación y equipamiento, y garantizar que la identificación biométrica forense sea rápida, sensible y defendible en cualquier tribunal.

## **Discusión**

La revisión de las diez técnicas lofoscópicas identificadas revela un panorama tan rico en innovaciones como fragmentado en protocolos, equipamiento y dominios de aplicación. Para comprender mejor sus alcances y limitaciones, es útil agruparlas en cinco grandes familias metodológicas y someter cada una a un análisis comparativo que considere su efectividad, sus ventajas, sus limitaciones y su aplicabilidad en diferentes tipos de superficies y condiciones ambientales. Estas familias incluyen los métodos clásicos de revelado químico y físico, el revelado mediante luz forense y captura espectral, el levantamiento no invasivo, la electropolymerización de polímeros conductores sobre metales y los algoritmos de detección de vida basados en calidad de imagen.

Respecto a los métodos clásicos de revelado químico y físico, los resultados muestran que siguen siendo fundamentales por su inmediatez y respaldo histórico en tribunales. Técnicas

como el polvo magnético y la fumigación con cianoacrilato ofrecen respuestas rápidas en superficies no porosas, logrando tasas de recuperación de hasta el 30 por ciento en zonas de agarre de armas de fuego. Sin embargo, su principal desventaja radica en la posible contaminación de la evidencia, lo que puede invalidar análisis posteriores de material biológico o tóxicos. Además, su sensibilidad decae drásticamente en superficies blandas o porosas donde la adherencia del reactivo es inconsistente.

En contraste, el revelado con luz forense y captura espectral mediante equipos como el Video Spectral Comparator ofrece una alternativa no invasiva de alta precisión. Este método destaca por su capacidad para visualizar el 100 por ciento de las huellas latentes en sustratos blandos como arcilla o pintura, manteniendo intactos los rastros químicos y microbiológicos. No obstante, el alto costo del equipamiento y su falta de portabilidad restringen su uso a laboratorios especializados, lo que limita su aplicación en escenas del crimen remotas o intervenciones de urgencia.

Por otro lado, el enfoque de levantamiento no invasivo o reverse lifting se posiciona como una herramienta valiosa para la preservación de la evidencia en el campo. Aunque logra una resolución de nivel forense en aproximadamente el 35 por ciento de los casos analizados, su eficacia depende estrechamente de factores ambientales como la humedad. La electropolymerización sobre metales también emerge como un salto metodológico importante, ofreciendo una nitidez de microscopio en menos de cinco minutos sobre cartuchos de latón. Sin embargo, al igual que los métodos espectrales, requiere una infraestructura de laboratorio que dificulta su despliegue en condiciones operativas de campo.

La integración de algoritmos de detección de vida y la biometría digital aportan una capa de seguridad necesaria en el contexto actual. Aunque alcanzan un éxito cercano al 90 por ciento en la detección de falsificaciones, su desempeño sigue condicionado por la calidad de la captura inicial. En conclusión, la lofoscopia forense moderna no puede depender de una técnica única, sino de un enfoque combinado y contextual que evalúe la naturaleza del sustrato, el estado del rastro y los recursos disponibles para garantizar que la identificación sea rápida, sensible y defendible ante cualquier instancia judicial.

## **CONCLUSIONES**

En conclusión, el presente estudio ha alcanzado su objetivo central de revisar y comparar críticamente la variedad de técnicas lofoscópicas empleadas en el ámbito forense, evaluando sus protocolos, ámbitos de aplicación, ventajas y limitaciones. A partir de esta meta, se ha podido constatar que cada método ofrece soluciones valiosas en contextos muy específicos, pero que ninguno resulta universalmente aplicable a todas las superficies o condiciones de las huellas latentes.

Las técnicas clásicas de revelado con polvos y fumigación con cianoacrilato mantienen su vigencia como primera opción en superficies metálicas, vidriosas y plásticas rígidas, gracias a su rapidez y a la solidez probatoria con la que cuentan. Sin embargo, su limitada sensibilidad en materiales porosos o degradados y la generación de residuos químicos exigen su combinación con métodos más delicados cuando la conservación del ADN, el microbioma o la sustancia trazas es prioritaria.

El uso de fuentes de luz alternativa y sistemas multispectrales ha demostrado su capacidad para rescatar huellas en selladores, arcillas, pinturas y esmaltes, sin necesidad de contactar físicamente la superficie con reactivos. Esta aproximación expande el universo de sustratos detectables, ofrece un enfoque no invasivo y resulta especialmente útil cuando las huellas muestran un alto grado de degradación. Su principal desafío radica en la inversión en equipamiento y en la formación técnica que requiere, lo que limita su despliegue a laboratorios bien dotados.

El “reverse lifting” con cintas adhesivas aporta una herramienta de bajo costo y gran portabilidad, al permitir transferir las huellas al adhesivo y revelar la imagen en un segundo momento sin alterar el objeto original. Este método se revela como la alternativa más práctica para intervenciones de campo y para preservar simultáneamente huellas y microbioma. No obstante, su efectividad depende de la humedad y de la textura del sustrato, y puede introducir distorsiones en huellas muy finas, por lo que conviene emplearlo junto con técnicas de confirmación.

La electropolymerización de polímeros conductores en superficies metálicas, especialmente en cartuchos de latón, representa un avance decisivo en velocidad, limpieza y nivel de detalle revelado. El proceso crea un “negative mask” electroquímico que destaca las crestas papilares con gran nitidez en cuestión de minutos, sin generar compuestos tóxicos ni humos irritantes. Aunque su uso está restringido a laboratorios equipados con infraestructura electroquímica, su capacidad para exponer minucias críticas convierte a esta técnica en una pieza clave dentro del arsenal lofoscópico.

Los algoritmos de detección de vida basados en métricas de calidad de imagen complementan la lofoscopia analógica al impedir el uso de réplicas sintéticas en sistemas biométricos. Al operar directamente sobre la imagen capturada por el sensor, ofrecen una capa adicional de seguridad, especialmente relevante en aplicaciones de control de acceso. Sus resultados dependen de la calidad de la captura y de la calibración previa de los sensores, por lo que su implementación exige un proceso de entrenamiento específico.

Finalmente, las disciplinas de necrodactiloscopia y genética dental ofrecen soluciones definitivas cuando las huellas superficiales son irrecuperables. La restauración de fragmentos de pulpejos y la extracción de ADN de dientes sometidos a altas temperaturas proporcionan vías de identificación inigualables en escenarios de extremo deterioro.

En síntesis, la práctica lofoscópica forense más efectiva se sustenta en la combinación escalonada y contextual de técnicas: iniciar con métodos rápidos y de bajo costo, avanzar hacia aproximaciones intermedias de mayor sensibilidad y culminar con procedimientos de laboratorio de alta complejidad cuando la evidencia lo requiera. Este enfoque modular, unido a criterios claros de selección según tipo de sustrato, estado de la huella y recursos disponibles, constituye la aportación concreta de este trabajo. De este modo, se sientan las bases para la estandarización de protocolos, la capacitación especializada de peritos y la mejora continua de la efectividad y defendibilidad de la lofoscopia en la investigación criminal moderna.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Garofalo, L. F., Chucad Paca, E. A., & Parra Corro, J. E. (2024). El uso de la dactiloscopia como técnica forense para la identificación y sanción de delitos relacionados con la delincuencia organizada. *Anatomía Digital*, 7(2.2), 76-90. Obtenido de Anatomía Digital.
- Barraza Salcedo, M. d., & Rebolledo Cobos, M. L. (2016). Identificación de cadáveres sometidos a altas temperaturas, a partir de las características macroscópicas de sus órganos dentales y la aplicabilidad de la genética forense. *Universitas Odontológica*, 35(74). doi:<http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.uo35-74.adsm>
- Cadd, S., Islam, M., Manson, P., & Bleay, S. (2015). Composición de huellas dactilares y envejecimiento: una revisión de la literatura. *Science & Justice*, 55(4). doi:<https://doi.org/10.1016/j.scijus.2015.02.004>
- Chaves, T., Azevedo, Á., & Morais Caldas, I. (2024). Cheiloscopy in sex estimation: a systematic review. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 20(1), 280-292. doi:<https://doi.org/10.1007/s12024-023-00648-9>
- Dunphy, M. A., Weisensee, K. E., Mikhailova, E. A., & Harman, M. K. (2015). Design and evaluation of a bioreactor with application to forensic burial environments. *Forensic Science International*, 257. doi:<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.08.014>
- Fonseca, G. M., Ramírez-Lagos, C., Ortiz-Contreras, J., & López-Lázaro, S. (2018). Identificación Mediante Huellas Labiales: Casos Paradigmáticos, Oportunidades Perdidas y "Anomalías" para la Construcción de un Nuevo Paradigma. *Int. J. Odontostomat*, 12(2). doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2018000200169>
- Galbally, J., Alonso-Fernandez, F., Fierrez, J., & Ortega-García, J. (2009). Un método de detección de huellas dactilares de alto rendimiento basado en características relacionadas con la calidad. *2009 First IEEE International Conference on Biometrics, Identity and Security (BIDS)*. doi:10.1109/BIDS.2009.5507534

- Garzón-Pineda, M. I. (2015). RECUPERACIÓN DE HUELLAS DIGITALES E IDENTIFICACIÓN DE CADÁVER DESMEMBRADO: CRIMEN PASIONAL. *Case reports*, 1(2). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/5609/560959301008.pdf>
- Girod, A., Ramotowski, R., & Weyermann, C. (2012). Composición del residuo de huellas dactilares: una revisión cualitativa y cuantitativa. *Forensic Sci Int*, 223(1-3), 10-24. doi:<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.05.018>
- Gjerde, H., Normann, P. T., Christophersen, A. S., & Mørland, J. (2011). Prevalence of driving with blood drug concentrations above proposed new legal limits in Norway: Estimations based on drug concentrations in oral fluid. *Forensic Science International*, 210(1-3). doi:<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.03.021>
- Graic, I., Jasra, S., & Jasra, P. (2019). Evaluation of techniques to visualize fingerprints at different times on various soft surfaces. *JEFSR*, 4(1).
- Hermochová, S., Hlavín, P., Novotný, M., Vrnata, M., & Broncová, G. (2024). Electrochemical visualization of latent fingerprints using polyphenazine dyes on brass cartridges. *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly*, 155(8), 851-858. doi:<https://doi.org/10.1007/s00706-024-03222-3>
- Johnson, T. C., Brown, A. S., Oommen, Z., Okafor, U., & Lee, Y.-J. (2020). Development of Reverse Fingerprint Lifting Techniques for Forensic Applications. *Avens Publishing Group*, 8(1). Obtenido de <https://www.avensonline.org/wp-content/uploads/JFI-2330-0396-08-0046.pdf>
- Njau, D. G., Muge, E. K., Kinyanjui, P. W., Omwandho, C. O., & Mukwana, S. (2016). STR analysis of human DNA from maggots fed on decomposing bodies: Assessment of the time period for successful analysis. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 6(3). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejfs.2015.04.002>
- Solana Aguilar, E. G. (2024). Obtención de huellas lofoscópicas en armas de fuego. *ReCiF*. doi:<https://doi.org/10.22201/enacif.30617588e.2024.3.1.139>