



El tejido dental como estudio científico en la identificación genética en odontología forense. El ADN pulpar y la dentina mediante la racemización del ácido aspártico. Revisión de literatura.

Dental tissue as a scientific study in genetic identification in forensic dentistry.

Pulp and dentin DNA through aspartic acid racemization. Literature review.

O tecido dentário como estudo científico na identificação genética em medicina dentária forense. DNA da polpa e da dentina através da racemização do ácido aspártico. Revisão da literatura.

Mateo Andrés Salinas Flores ^I

teo1salinas13@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-6771-2766>

Jenny Edith Collantes Acuña ^{II}

jennyc@uhemisferios.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8088-2896>

Luis Alberto Vallejo Izquierdo ^{III}

luis-v@uhemisferios.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0220-394X>

Correspondencia: teo1salinas13@gmail.com

Ciencias de la Salud
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 26 de septiembre de 2025 * **Aceptado:** 25 de octubre de 2025 * **Publicado:** 25 de noviembre de 2025

- I. Universidad Hemisferios Sociedad Ecuatoriana de Salud Pública SESP, Ecuador
- II. Universidad Hemisferios, Quito, Ecuador
- III. Universidad Hemisferios, Quito, Ecuador.

Resumen

Objetivo: A través de una revisión bibliográfica en las bases de datos PubMed y Scielo entre 2012 y 2024. Este estudio pretende valorar la utilidad del tejido dental como herramienta de identificación genética en escenarios forenses, poniendo énfasis en el ADN pulpar y en la dentina mediante la racemización del ácido aspártico. **Materiales y métodos:** Se llevó a cabo un estudio descriptivo basado en búsquedas en PubMed y Scielo; se incluyeron artículos en español e inglés publicados entre 2012 y 2024, aplicando la estrategia PICO con los términos “Pulpa dental”, “ADN”, “Forense”, “Ácido aspártico” y “Dentina”. **Resultados:** Se consideró para esta revisión 32 artículos, sin embargo, después de la lectura y exclusión, la selección arrojó 13 artículos considerados adecuados para cumplir con los objetivos planteados de esta revisión de literatura. **Conclusión:** La odontología forense es una herramienta fundamental para la identificación médico-legal tanto en vida como después de la muerte; la obtención de ADN de los tejidos dentales posibilita la individualización y la estimación de la edad. La variación en la celularidad y el contenido mineral de esmalte, dentina, pulpa y cemento genera un contexto bioquímico y anatómico particular para investigar la conservación y la degradación post mortem del ADN; estructuralmente la dentina se utiliza cuando la pulpa está ausente, aunque la pulpa, por su protección y mayor densidad celular, suele ofrecer mejores rendimientos de ADN y mayor eficacia en la identificación.

Palabras clave: Pulpa Dental, ADN, Ácido Aspártico, Dentina y Odontología Forense

Abstract

Objective: Through a literature review of the PubMed and SciELO databases between 2012 and 2024, this study aims to assess the usefulness of dental tissue as a genetic identification tool in forensic scenarios, emphasizing pulp DNA and dentin DNA through aspartic acid racemization. **Materials and methods:** A descriptive study was conducted based on searches in PubMed and SciELO. Articles in Spanish and English published between 2012 and 2024 were included, applying the PICO strategy with the terms “Dental pulp,” “DNA,” “Forensic,” “Aspartic acid,” and “Dentin.” **Results:** Thirty-two articles were considered for this review; however, after reading and exclusion, the selection yielded 13 articles deemed suitable to meet the objectives of this literature review. **Conclusion:** Forensic dentistry is a fundamental tool for medicolegal identification both

during life and after death. Obtaining DNA from dental tissues allows for individualization and age estimation. The variation in cellularity and mineral content of enamel, dentin, pulp, and cementum creates a unique biochemical and anatomical context for investigating postmortem DNA preservation and degradation. Structurally, dentin is used when pulp is absent, although pulp, due to its protective properties and higher cell density, generally offers better DNA yields and greater effectiveness in identification.

Keywords: Dental Pulp, DNA, Aspartic Acid, Dentin, Forensic Dentistry

Resumo

Objetivo: Através de uma revisão bibliográfica nas bases de dados PubMed e Scielo entre 2012 e 2024. Este estudo pretende valorizar a utilização do tecido dentário como ferramenta de identificação genética em cenários forenses, dando ênfase ao ADN pulpar e à dentina através da racemização do ácido aspártico. **Materiais e métodos:** Foi realizado um estudo descritivo baseado em pesquisas na PubMed e Scielo; foram incluídos artigos em espanhol e inglês publicados entre 2012 e 2024, aplicando a estratégia PICO com os termos “Pulpa dentária”, “ADN”, “Forense”, “Ácido aspártico” e “Dentina”. **Resultados:** Se considerados para esta revisão 32 artigos, sem embargo, após a palestra e exclusão, a seleção arrojou 13 artigos considerados adequados para cumprir os objetivos plantados desta revisão de literatura. **Conclusão:** A medicina dentária forense é uma ferramenta fundamental para a identificação médico-legal tanto na vida como após a morte; a obtenção de ADN dos tecidos dentários possibilita a individualização e a estimativa da idade. A variação na celularidade e no conteúdo mineral de esmalte, dentina, polpa e cimento gera um contexto bioquímico e anatómico específico para investigar a conservação e a degradação post mortem do ADN; estruturalmente a dentina é utilizada quando a polpa está ausente, embora a polpa, por sua protecção e maior densidade celular, eles oferecem melhores desempenhos de ADN e maior eficácia na identificação.

Palavras-chave: Pulpa Dentária, ADN, Ácido Aspártico, Dentina e Odontología Forense

Introducción

La identificación implica un proceso comparativo y reconstructivo orientado a situar a un individuo desconocido dentro de un conjunto biosocial, entendido como un grupo de personas con orígenes y características genéticas y morfométricas afines. (Caiza, 2024).

Al tener la duración de gestación más prolongada de todos los órganos del cuerpo humano, la dentición alberga más información de su existencia que cualquier otro componente del cuerpo (Sperber, 2017). Los dientes son una fuente esquelética preferida de ADN por varias razones.

Tanto en el maxilar superior como inferior, por su estructura y localización, internamente están en gran medida protegidos de las condiciones físicas y ambientales que actúan aceleradamente en la descomposición tanto en post mortem y el ADN. Por lo tanto, “el ADN extraído de los dientes suele ser de mayor calidad y es menos propenso a la contaminación que el ADN extraído de los huesos” (Higgins, 2013).

Los perfiles biológicos comúnmente incluyen sexo, edad, ascendencia y altura. Por lo tanto, la estimación de la edad es uno de los componentes clave que se utiliza para la identificación de los restos. Los órganos dentales son las estructuras más duras del cuerpo humano y pueden sobrevivir después de la descomposición de todo lo demás. En particular, la pulpa dental está protegida de las agresiones externas por tejidos duros. (Zapico, 2021). Tradicionalmente, los dientes se han utilizado como fuente de ADN cuando se han perdido todos los demás tejidos o no han producido suficiente ADN para la identificación. La pulpa dental está revestida de un esmalte dental extremadamente resistente y, por lo tanto, constituye una fuente protegida de ADN mitocondrial y nuclear para la genotipificación. (Stamm, 2016). Se ha observado una mayor recuperación de ADN en dientes con abundante pulpa y en piezas multirradiculares frente a las unirradiculares (Higgins, 2013).

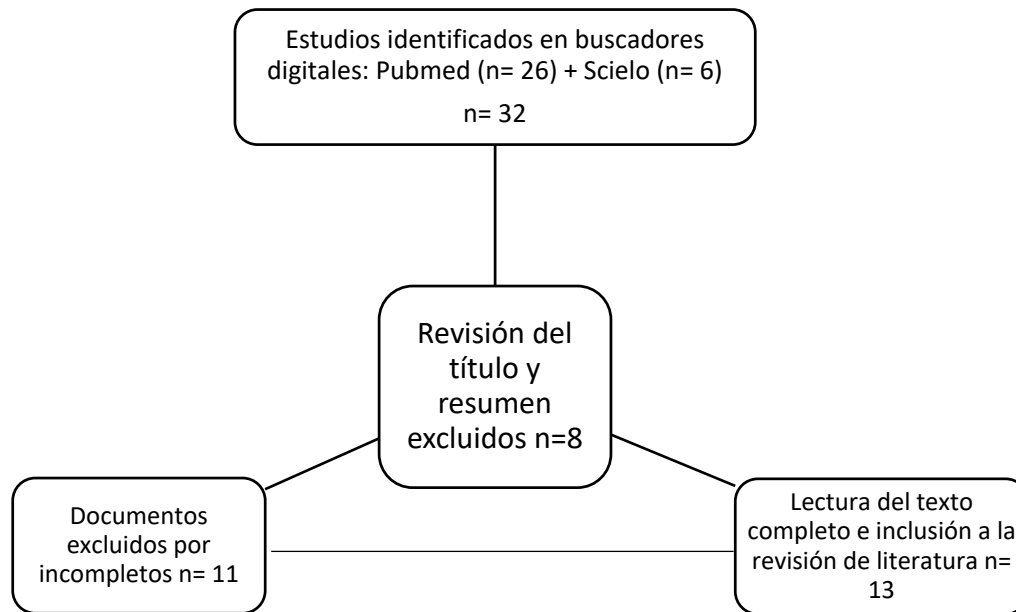
Para la estimación de edad en contextos forenses es frecuente el uso de la racemización del ácido aspártico (AAR); la dentina, por ser un tejido braditrófico, se considera preferente para esta técnica, mostrando correlación entre los niveles de D-Asp y la edad (Sirin, 2018). Por tanto, el objetivo de este trabajo fue valorar la importancia del tejido dental como método de identificación genética en forense mediante una revisión de la literatura en Scielo y PubMed entre 2012 y 2024.

Materiales y métodos

Se realizó una investigación de carácter descriptivo empleando los buscadores Scielo y PubMed. Se incorporaron artículos en español e inglés publicados entre 2012 y 2024. La estrategia de búsqueda se diseñó conforme al enfoque PICO con los descriptores: “Pulpa dental”, “ADN”, “Forense”, “Ácido Aspártico” y “Dentina”. Se buscó y recopiló información detallada relacionada con el tema, abarcando objetivos, autores, año de publicación, metodología, metaanálisis, revisiones sistemáticas y revisiones de literatura que tratan dos métodos científicos en la identificación genética en forense en el tejido dental como es la pulpa y la dentina mediante la racemización del ácido aspártico. Se excluyeron todos los estudios que no abordaban esta relación en identificación genética forense.

De un total de 32 artículos encontrados. Tras aplicar los criterios de exclusión mediante un análisis de títulos y resúmenes, se descartaron 8 artículos, resultando en 24. El último criterio evaluado fue la comprobación de si los artículos cumplían con los requisitos de fecha de publicación y si contenían información suficiente sobre el ADN pulpar y la racemización del ácido aspártico en dentina como métodos científicos de identificación genética en forense en el tejido dental, se descartaron 11 artículos, lo que condujo a la selección final de 13 artículos. Estos incluían revisiones de literatura y revisiones sistemáticas ya que proporcionaban información relevante sobre el tema. Posteriormente, se descargó el texto completo de los artículos seleccionados.

Tabla 1. Diagrama de búsqueda y selección de artículos empleados en la revisión de literatura.



Resultados

Para el presente trabajo se utilizaron un total de 13 artículos, los cuales elegidos teniendo en cuenta su título, año, objetivo, materiales y métodos. Adicionalmente en la presente tabla se colocó información importante sobre cada uno de ellos (tabla 2).

Tabla 2. Resultados de los métodos de identificación forense empleados en la revisión de literatura

Análisis sobre los métodos científicos en identificación genética en forense sobre el tejido dental.

Tabla 2

Autor	Objetivo	Materiales y métodos	Resultados	Conclusión
Salazar, C et al., 2012 (1)	Se busca implementar de manera exitosa la técnica para determinar la edad en	Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura, evaluando la efectividad y precisión del método	La dentina ofrece una alternativa viable y eficiente para emplear el método de AAR, logrando	Este tejido se considera el más adecuado para establecer la edad mediante el AAR y ha sido utilizado en diversos

	el ámbito de la práctica forense.	basado en el AAR aplicado a la dentina en odontología forense.	una precisión aproximada de ± 3 años.	estudios forenses, proporcionando resultados técnicos que pueden ser altamente satisfactorios.
Mahlke, N et al., 2021 (2)	Se investigó si estos métodos son aplicables también en casos con intervalos posdeposicionales mucho más allá del período forense relevante para dos "relojes proteicos": la acumulación de ácido D-aspartico (D-Asp) y la acumulación de pentosidina (Pen) en dentina.	Se analizaron ocho dientes de esqueletos de diferentes yacimientos funerarios de Austria, con intervalos posdeposicionales entre c. 1216 y c. 8775 años.	Dado los resultados de la estimación de edad al fallecimiento basados en D-Asp y Pen en dentina se compararon con los obtenidos a partir de un examen morfológico clásico. La estimación de la edad al fallecimiento basada en D-Asp arrojó sistemáticamente valores altos falsos. Por el contrario, las estimaciones de edades basadas en Pen se ajustaron bien a los diagnósticos de edad morfológica.	El efecto descrito de la degradación proteica post mortem es insignificante en horizontes temporales de relevancia forense, pero no para intervalos posdeposicionales de miles de años. Esto significa que el «reloj de D-Asp» pierde su funcionalidad al aumentar los intervalos posdeposicionales, mientras que Pen parece ser muy estable.
Kumar, P et al., 2018 (3)	Evaluar la AAR en tejidos dentinarios de dientes cariados para determinar la estimación en la práctica forense de la edad dental.	Analizaron únicamente 25 dientes cariados extraídos de 23 individuos y utilizaron únicamente tres dientes sanos para la comparación.	Observaron que existe una amplia variación entre las edades dentales estimadas y las edades reales al analizar el tejido dentinario de dientes cariados en comparación con el de dientes sanos.	La caries puede afectar significativamente la precisión de la determinación de la edad basada en la AAR. Sin embargo, tenemos ciertas reservas sobre la

				metodología empleada y las conclusiones extraídas en el estudio, que deben ser profundizadas para una mejor comprensión de esta importante investigación.
Sirin, N et al., 2017 (4)	Examinar sistemáticamente muestras de dentina preparadas estandarizadas de dientes afectados por caries para aclarar la pregunta, si los dientes afectados por caries no deben usarse para la estimación de la edad basada en AAR en absoluto, o si el análisis de muestras de dentina de dichos dientes pueden ser útil después de la eliminación del tejido afectado por caries según los estándares clínicos.	Se analizaron noventa y nueve muestras estandarizadas de dentina radicular preparada (cubo) de 25 muelas del juicio con lesiones cariosas (23 individuos, con edades comprendidas entre 21 y 79 años). Para comprobar la influencia del método de preparación, se analizaron, además tres muelas del juicio sanas (de 3 individuos, con edades comprendidas entre 17 y 35 años). Las muestras se tomaron de dientes vitales sin obturaciones ni restauraciones radiculares.	La caries puede causar una degradación proteica extensa incluso en dentina de aspecto sano, afectando la precisión de la AAR.	Para estimar la edad de forma fiable con AAR se recomiendan muestras de dientes sanos; si solo se dispone de dientes cariados, analizar al menos dos dientes del mismo individuo y proceder con cautela en la interpretación.

Elfawal, M et al., 2014 (5)	Aplicar la racemización del ácido aspártico en dentina radicular para estimar edad en una población kuwaití.	Una población kuwaití utilizando dentina radicular de un total, de 89 primeros premolares superiores.	La relación D/L del ácido aspártico se obtuvo mediante la técnica HPLC en un grupo de prueba de 50 sujetos y se estableció una línea de regresión lineal entre la racemización del ácido aspártico y la edad.	Para la evaluación de la edad por racemización tiene mayor importancia el tipo de diente elegido que las variaciones étnicas. Por lo tanto, se requiere más investigación en esta área para determinar si nuestros hallazgos y la fórmula propuesta se pueden aplicar a otras poblaciones. Mientras tanto, cabe destacar que la estimación de la edad por AAR a partir de dientes necesita requisitos técnicos específicos con un alto grado de estandarización que, en general, no están disponibles en todos los laboratorios forenses y, por lo tanto, no se pueden emplear como una herramienta rutinaria para la estimación de la edad, en particular en los países en desarrollo.
Wochna, K et al., 2018 (6)	Valorar la aplicabilidad de la enantiomería AAR en dentina coronal y	Fueron extraídos de 16 cadáveres varones que se sometieron a autopsias medicolegales	Los resultados demostraron una correlación muy alta entre	El método de racemización del ácido aspártico utilizando dentina radicular permite

	radicular para estimar edad en una muestra polaca.	(judiciales) en el Departamento de Medicina Forense de la Universidad Médica de Lodz entre los años 2012 y 2014. . Se estudió la dentina coronal y radicular de cuatro grupos de dientes de la mandíbula mediante cromatografía de gases con espectrometría de masas.	la edad cronológica y la composición enantiomérica en ambas muestras de dentina. Las ecuaciones lineales individuales de la dentina radicular con coeficientes de correlación entre 0,96 y 0,98 y un error de estimación estándar de $\pm 2,95$– 4,84 años validaron la aplicación de la racemización del ácido aspártico como una contribución práctica significativa a la práctica médica forense diaria.	para obtener estimaciones precisas de la edad. La edad estimada se pudo calcular con alta precisión. Además, los parámetros de regresión lineal confirmaron que la credibilidad de tales resultados era muy sólida Sin embargo, este estudio inicial debería repetirse con diferentes muestras, no sólo de personas de otras áreas geográficas polacas, pero también con dientes femeninos y maxilares anteriores, para concluir si este método es aplicable a toda la población polaca.
Dutta, P et al., 2017 (7)	Determinar el sexo mediante una muestra de ADN obtenida de la dentina o la pulpa dental y ayudar en la identificación de personas desaparecidas y víctimas de desastres.	Se estudiaron 50 muestras de dientes y fueron sometidos a diversas condiciones ambientales. Se utilizaron dientes recién extraídos como control durante un mes y tres meses. Se obtuvo tejido pulpar de las muestras dentales mediante la apertura de conductos	La prueba ANOVA y la prueba T resultaron estadísticamente significativas y se observó una tasa de recuperación del 100% en las muestras.	El tejido pulpar junto con los procesos odontoblasticos degenerativos producen una cantidad suficiente de ADN para la determinación del género cuando se someten a diversas condiciones forenses con la máxima precisión.

		radiculares y, en el caso de las muestras incineradas, se trituraron.		
Stamm, S et al., 2016 (8)	Comparar dos métodos para preparar polvo de dentina a partir de raíces de dientes con problemas ambientales para analizar el ADN en la práctica forense.	Los dentistas recogieron muestras dentarias (n = 14) e hisopos bucales de referencia de siete pacientes sometidos a extracciones dentales rutinarias. Se realizaron 2 métodos de extracción de ADN; método de limado y método de molienda.	El método de limado era más laborioso y producía menos polvo de dentina, la cantidad de ADN amplificable por miligramo de polvo era considerablemente mayor con este método que con el pulido de toda la raíz. El ADN total obtenido con el método de limado fue mayor que con el método de pulido. El método de limado produjo más ADN amplificable por miligramo de polvo que moler toda la raíz en todas las muestras, independientemente de la exposición ambiental.	Si bien se han descrito previamente otros métodos de extracción de tejido rico en ADN de la cámara pulpar, el método de limado es mínimamente invasivo, lo que permite preservar la morfología del diente y la corona.
Coello, J et al., 2024 (9)	Realizar una revisión sistemática de la literatura sobre las técnicas aplicadas en la identificación forense de restos humanos en Ecuador, con el propósito de	Para este estudio, se seleccionó y recopiló información actualizada de bases de datos científicas, textos relevantes y normativas pertinentes al tema.	Mediante un análisis teórico y bibliográfico de artículos académicos y libros, se obtuvo información contemporánea sobre los métodos de identificación humana en cuerpos. Esta	Aunque existen múltiples métodos para identificar cadáveres en el país, su eficacia depende de factores como la genética, la antropología o la odontología forense, especialmente cuando los métodos

	identificar los progresos y obstáculos asociados a estos métodos.		información permitió entender mejor los desafíos y avances que enfrenta la criminalística en sus diversas áreas.	convencionales no garantizan una identificación clara e indiscutible del cuerpo.
Sperber, GH et al., 2017 (10)	Se analiza la información que se puede extraer de los dientes	Se realizó una revisión bibliográfica.	El papel de los dientes como indicadores del estilo de vida del pasado y del presente, y como elementos clave de los estudios evolutivos y forenses. Los dientes proporcionan registros quimográficos de las vidas vividas desde el útero hasta la tumba. La interpretación de esta información odontológica ofrece mucho que analizar	Las nuevas tecnologías están extrayendo la información consolidada sobre la estructura del esmalte, la dentina y el ADN de las células de la pulpa dental.
Higgins, D et al., 2015 (11)	Investigar la distribución del ADN y las tasas de degradación del ADN.	Se realizó un examen genético e histológico combinado del contenido de ADN y las tasas de degradación del ADN en los diferentes tejidos dentales de 150 molares humanos en intervalos post mortem cortos-medios. Se extrajo ADN de la dentina coronaria, dentina radicular, cemento y pulpa de 114 dientes mediante un método de columna de	Los ensayos de cuantificación en tiempo real basados en dos fragmentos de ADN nuclear y un fragmento de ADN mitocondrial mostraron que el ADN nuclear y mitocondrial se degradaba exponencialmente, pero a diferentes tasas, dependiendo del intervalo post mortem y la temperatura del suelo. A	El muestreo selectivo de cemento de dientes enterrados hasta 16 meses puede proporcionar una fuente fiable de ADN nuclear para la genotipificación basada en STR mediante métodos de extracción estándar, sin necesidad de equipos especializados ni grandes etapas de desmineralización.

		sílíce y los 36 dientes restantes se examinaron histológicamente.	diferencia de estudios previos, identificamos una supervivencia diferencial del ADN nuclear y ADN en diferentes tejidos dentales. Además, el examen histológico mostró que la pulpa y la dentina se vieron rápidamente afectadas por la pérdida de integridad estructural, y la pulpa se destruyó completamente en un período de tiempo relativamente corto.	
Zapico, S et al., 2021 (12)	Ampliar el alcance de este trabajo mediante el análisis de la metilación del ADN en la pulpa dental de individuos adultos.	Se extrajeron terceros molares sanos erupcionados de individuos de entre 22 y 70 años. Se aisló el ADN de la pulpa y se convirtió con bisulfito. La pirosecuenciación fue la técnica elegida para evaluar la metilación del ADN.	Los resultados proporcionan una gran precisión, con un Error Absoluto Medio (EMA) entre la edad prevista y la cronológica de 1,5 a 2,13 años para estimar la edad al morir en adultos.	Describe por primera vez la aplicación de la metilación del ADN para determinar la edad en tejidos pulpares mediante pirosecuenciación. La precisión es excelente, superando a otras técnicas de estimación de la antropología forense. Investigaciones futuras ampliarán estos resultados incrementando el número de dientes, explorando otros marcadores e investigando las agresiones tafonómicas y ambientales.

Higgins, D et al., 2013 (13)	Revisar la morfología dental en relación con la distribución y preservación del ADN y cómo los cambios post mortem afectan su recuperación según distintos protocolos.	Se realizó una revisión de literatura y se destacó las ventajas y desventajas del uso de tejidos dentales específicos para la extracción de ADN y ofrecemos recomendaciones para la selección y el muestreo de dientes que maximizarán el éxito de la tipificación de ADN.	Una comprensión integral de la estructura dental y una apreciación de la relación entre el ADN y los tejidos mineralizados en los dientes post mortem son fundamentales para una selección óptima de la muestra. Métodos de muestreo más informados, enfocados en tejidos dentales específicos, aumentarán la probabilidad de un análisis genético exitoso y permitirán un trabajo de casos de personas desaparecidas eficiente y oportuno, así como una respuesta de identificación de víctimas de desastres.	Los dientes son una excelente fuente de ADN nuclear y mitocondrial, y se han utilizado con éxito en la identificación forense de restos óseos humanos comprometidos. Es evidente que una comprensión completa de la estructura y composición dental, así como del proceso de diagénesis, es crucial para determinar la ubicación del ADN en dientes post mortem. Esto permitirá una selección más adecuada de muestras y técnicas de muestreo.
------------------------------	--	--	---	---

Desarrollo

El tejido dental

En caso de un incidente con gran mortalidad, el ADN desempeña un papel vital en la identificación de las víctimas. Dado que los dientes poseen una rica fuente de información genética, son la opción preferida para extraer ADN con fines de identificación. La dentina y el esmalte son estructuras altamente calcificadas en el cuerpo que resisten la descomposición, lo que los convierte en una mejor fuente de ADN (Dutta, 2017).

Los dientes, comúnmente utilizados para identificaciones forenses y estudios de ADN antiguo, ofrecen un gran potencial para el muestreo dirigido en diversas etapas de la vida en el intervalo post mortem (PMI) y para examinar la degradación del ADN a corto plazo. Su ubicación anatómica

y su estructura morfológica proporcionan una protección única al ADN endógeno contra la degradación post mortem. Además, la variación en celularidad y contenido mineral entre esmalte, dentina, pulpa y cemento crea un entorno anatómico y bioquímico idóneo para analizar la conservación y pérdida post mortem del ADN. El muestreo convencional de dientes para el análisis de ADN generalmente sigue una de dos vías: el muestreo dirigido de la pulpa (el componente de tejido blando del diente rico en ADN) mediante la apertura del diente o la perforación a través de la corona, o el muestreo no dirigido de todo el diente (o raíz). El pulido de todo el diente proporciona acceso a la mayor cantidad de ADN, pero también incluye una gran cantidad de minerales (el cemento está compuesto en un 45 %, la dentina en un 70 % y el esmalte en un 97 % de minerales) que deben eliminarse antes del análisis posterior (Higgins, 2015).

La corona, dominada por esmalte, aporta mucho menos ADN que las raíces, donde predominan dentina, pulpa y cemento; incluso cuando la pulpa está presente, el rendimiento de ADN de la corona suele ser diez veces inferior al de las raíces. El complejo dentina/pulpa constituye la mayor fracción no mineralizada del diente. La pulpa, tejido conectivo inervado y altamente vascularizado contiene odontoblastos, son las células más producidas en la pulpa dental, aproximadamente 11.000 por mm² y los fibroblastos, se ha estimado en 1000 por mm². Por lo tanto, como aproximadamente 80 células diploides pueden producir la cantidad mínima de ADN necesaria para la tipificación de STR (Higgins, 2013).

ADN pulpar

La pulpa dental está protegida de las agresiones externas por tejidos duros. La pulpa se encuentra en la región central del diente y está formada por un tejido estromal que contiene nervios, sangre y vasos linfáticos. Su ubicación y estructura únicas la convierten en el tejido predilecto para el análisis de ADN (Zapico, 2021).

En Estados Unidos, los odontólogos por sus avances científicos utilizan a la biología molecular junto a la bioquímica dentaria para determinar la identidad y la edad del cadáver mediante el análisis del ADN de la pulpa. El procedimiento de identificación se centra en las características dentales y la dentición y posterior a esto se compara en los casos donde el cadáver y los restos hayan estado expuestos a condiciones extremas, como descomposición avanzada, quemaduras

graves, en dichos casos la función del forense es tomar el ADN de la pulpa dental dando una identificación fiable y detallada incluso en situaciones adversas. (Coello, 2024)

La pulpa se descompone más lentamente que otros tejidos blandos, manteniéndose parcialmente viable (>50% células viables) hasta 12 h post mortem y con células detectables hasta 24 h. Un entorno seco favorece la desecación y protege el ADN frente a la hidrólisis. Se ha demostrado la persistencia de pulpa en dientes sometidos a elevadas temperaturas (>100 °C): hay informes donde terceros molares de cuerpos incinerados permitieron obtener ADN nuclear suficiente para generar perfiles STR y facilitar la identificación. (Higgins, 2013)

Racemización del Ácido Aspártico

La identificación es una de las funciones más importantes del trabajo forense. El número de cadáveres y restos humanos sin identificar en todo el mundo está en aumento. Los dientes, el tejido humano más duro, son altamente resistentes a las influencias físicas y químicas. Incluso en casos de destrucción extensa del cuerpo, los dientes suelen conservarse, especialmente las muelas. (Elfawal, 2015).

Una de las tareas clave de la odontología forense es la identificación de cadáveres de identidad desconocida, necesaria no solo por razones procesales y legales, sino también humanitarias. En el caso de cadáveres o restos no identificados, la primera tarea consiste en establecer las características grupales del difunto, seguidas de sus características individuales, como el sexo y la edad cronológica, determinándose estas últimas con la mayor precisión posible. La odontología forense busca, en primer lugar, establecer rasgos grupales del individuo y luego características individuales como sexo y edad, siendo la edad cronológica un parámetro crítico. La AAR es un método químico de estimación de la edad dental que se introdujo en la segunda mitad del siglo XX y actualmente para la estimación de la edad, es de los más precisos y fiables. El ácido aspártico es un compuesto químico orgánico y un aminoácido proteico que está involucrado en muchos tejidos humanos, incluyendo la dentina dental. (Wochna, 2018)

La utilidad de los llamados relojes moleculares, como el “reloj epigenético” (basado en la metilación del ADN) y los “relojes proteicos” (acumulación de ácido D-aspártico y pentosidina en proteínas permanentes), para estimar la edad al morir mediante el análisis de muestras de

individuos con edades conocidas, y se confirmó su alto potencial en el contexto forense (con intervalos cortos posteriores a la deposición de hasta aproximadamente 50 años). (Mahlke, 2021).

En la práctica forense, la dentina es el tejido escogido para estimar la edad basada en el AAR, ya que es un tejido braditrófico que presenta una estrecha relación entre el contenido de ácido aspártico y la edad (Sirin, 2017).

La racemización convierte progresivamente moléculas ópticamente activas hacia una mezcla racémica; la matriz orgánica relativamente homogénea de la dentina facilita determinaciones precisas de edad a partir de dentina total o extractos ácidos. La técnica puede alcanzar una precisión cercana a ± 3 años, siempre que se estandarice el procedimiento: curvas calibradas por tipo de diente, descontaminación con hipoclorito, almacenamiento en condiciones secas y frías, evitar lavados con ácidos, desmineralización a bajas temperaturas y pirólisis controlada. La temperatura es un factor crítico, ya que la AAR depende de ella, y factores como la caries, el tipo de diente y su posición en la arcada influyen en la relación D/L observada. (Salazar, 2012).

Técnicas para la extracción de ADN en odontología forense

La identificación humana en cadáveres integra múltiples disciplinas y niveles de trabajo (macro, meso, micro). A nivel macro se aplican protocolos internacionales (EE. UU., Australia, Reino Unido); en EE. UU. la odontología forense compara rasgos dentales únicos con registros ante mortem. En Ecuador, aunque no se aplica de forma rutinaria a nivel micro, la odontología forense ha sido útil en casos de incineración, desastres masivos y descomposición avanzada, apoyándose en la comparación de registros ante mortem y post mortem, ortodometría, prótesis, radiología forense y necropsias bucales. (Coello, 2024).

Los métodos para aislar material dental incluyen el tallado de todo el diente o de la raíz, el seccionamiento vertical u horizontal en la unión esmalte-cemento, el acceso endodóntico a la cámara pulpar mediante fresa, y técnicas sin polvo que remojan la pieza en tampones de digestión. El método histórico para dientes antiguos (método de conducto radicular inverso) accedía a la dentina por el foramen apical. Pulverizar todo el diente maximiza la producción de ADN, pero destruye la estructura, impidiendo análisis morfológicos o radiográficos posteriores y potencialmente empeorando la calidad del ADN por el incremento de inhibidores y degradación;

por ello, se observó mayor inhibición de la PCR y degradación en extractos de diente completo frente a pulpa pura (Stamm, 2016).

Discusión

Las patologías dentales no solo disminuyen la cantidad de ADN disponible, sino que también incrementan el riesgo de contaminación. Por lo tanto, los dientes seleccionados para el análisis de ADN deben estar en condiciones óptimas y sin enfermedades. Los tejidos dentales presentan altas concentraciones de calcio (particularmente en el esmalte) y colágeno, que pueden complicar la amplificación del ADN mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) si se extraen simultáneamente con este. Por ende, es fundamental que los protocolos de extracción y muestreo dental se enfoquen en tejidos ricos en ADN, minimizando la recolección de aquellos con un alto contenido mineral y bajo contenido de ADN, así como reduciendo la coextracción de sustancias que puedan inhibir el análisis del ADN. La efectividad del análisis genético realizado en dientes depende de la cantidad total de ADN presente, el grado de degradación y la eficacia de los métodos utilizados para muestreo y extracción. Se llevaron a cabo muestreos en 10 dientes sometidos a tratamiento endodóntico (es decir, dientes cuya pulpa ha sido completamente removida), reportando rendimientos suficientes de ADN para obtener perfiles STR nucleares completos en ocho dientes, a pesar de la ausencia de pulpa. (Higgins, 2013)

Recientemente, la AAR en la dentina parecía ser la técnica más precisa para determinar la edad de individuos adultos. Sin embargo, la epigenética, el estudio de los cambios hereditarios en la expresión génica ha demostrado ser una herramienta más precisa y valiosa al estimar la edad. (Zapico, 2021)

Se ha evaluado la AAR en tejidos dentinarios de dientes cariados para la estimación forense de la edad dental y han concluido que la caries puede afectar significativamente la precisión de la estimación de la edad basada en la racemización del ácido aspártico. Observaron que existe una amplia variación entre las edades dentales estimadas y las edades reales al analizar el tejido dentinario de dientes cariados en comparación con el de dientes sanos. Al comparar los niveles de ácido aspártico en el tejido dentinario de dientes cariados con el de dientes sanos, mantener la

homogeneidad entre las muestras de prueba (dientes cariados) y las muestras de control (dientes sanos) es fundamental. Los autores analizaron únicamente 25 dientes cariados extraídos de 23 individuos y utilizaron únicamente tres dientes sanos para la comparación. Incluso las variaciones de edad de los 23 individuos con dientes cariados son demasiado grandes, con un rango de 21 a 79 años, en comparación con los tres dientes sanos, cuya edad oscilaba entre los 17 y los 35 años. (Kumar, 2018)

La temperatura es un factor ambiental crucial; se estima que una temperatura promedio constante de 15°C durante más de diez años puede provocar un desfase estimado en 0.2 años al evaluar la edad basándose en los dientes. En los casos de restos calcinados, los márgenes de error pueden aumentar significativamente debido a una aceleración del proceso de racemización del ácido aspártico (AAR). Además, se han observado variaciones en los valores relacionados con esta racemización dependiendo del tipo y ubicación del diente dentro de la cavidad bucal. Considerando las complejidades asociadas a AAR, investigaciones recientes sugieren implementar mezclas estándar de aminoácidos D y L o desarrollar nuevas metodologías para optimizar tanto esta técnica como su aplicación forense. La concentración media del ácido D-aspártico presente en los dientes disminuye según el siguiente orden: primer molar > segundo molar > segundo premolar > primer premolar > canino > incisivo central > incisivo lateral. Dado que el desarrollo de la dentina ocurre desde la corona hacia el ápice, la relación entre D y L del ácido aspártico es mayor en la corona y disminuye hacia el extremo radicular. Actualmente, el método más utilizado implica la racemización del ácido aspártico, particularmente en dentina, logrando una precisión notable; estudios indican que presenta una exactitud aproximada de +/- 3 años, siempre que el diente no esté contaminado, afectado por caries o contenga un alto contenido mineral como el esmalte. Además, se observa que el ADN tiende a ser más abundante y celular en las raíces y molares. Es crucial evitar que las muestras sean manipuladas con las manos. (Salazar, 2012). Aunque este método de identificación sea efectivo en la práctica clínica, existen otros métodos de identificación forense como la rugoscopia y dactiloscopia, métodos mucho más efectivos y precisos.

Como se mencionó anteriormente este método de identificación en un estudio macro, meso y micro el cual es muy limitado tanto en práctica como en estudio, debido al mandamiento de infraestructura como laboratorios especializados en pruebas de ADN, en investigación, por su baja

práctica y por ende su limitada existencia de artículos y por último en recursos, son procesos de alta demanda de casos y poca inversión. Frente a esta situación es importante entender la relación costo-beneficio que implica este tipo de procedimientos científicos y para su desarrollo deberíamos plantearnos la ejecución de estudios de cohorte y estudios con seguimiento longitudinal.

Conclusiones

La odontología forense constituye un pilar en la identificación médico-legal tanto en etapas pre como post mortem. La extracción y el análisis de ADN dental permiten individualizar sujetos y estimar la edad. Estructuralmente la dentina se emplea cuando la pulpa no está disponible; sin embargo, la pulpa, debido a su protección y mayor concentración celular, suele proporcionar un rendimiento superior y un rango de efectividad más amplio que la dentina en la recuperación de ADN con fines forenses.

Bibliografía

1. Barriga Salazar, Cristopher, Rivera Martínez, César, & Suazo Galdames, Iván. (2012). Datación mediante racemización del ácido aspártico en dentina humana. *Medicina Legal de Costa Rica*, 29(1), 35-41. Retrieved May 22, 2025, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152012000100005&lng=en&tlng=es.
2. Mahlke, N. S., Renhart, S., Talaa, D., Reckert, A., & Ritz-Timme, S. (2021). Molecular clocks in ancient proteins: Do they reflect the age at death even after millennia?. *International journal of legal medicine*, 135(4), 1225–1233. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02522-1>
3. Kumar, P. A., & Kanchan, T. (2018). Age estimation based on aspartic acid racemization in caries-affected teeth: need for further explorations. *International journal of legal medicine*, 132(5), 1465. <https://doi.org/10.1007/s00414-018-1836-2>
4. Sirin, N., Matzenauer, C., Reckert, A., & Ritz-Timme, S. (2018). Age estimation based on aspartic acid racemization in dentine: what about caries-affected teeth?. *International journal of legal medicine*, 132(2), 623–628. <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1667-6>

5. Elfawal, M. A., Alqattan, S. I., & Ghallab, N. A. (2015). Racemization of aspartic acid in root dentin as a tool for age estimation in a Kuwaiti population. *Medicine, science, and the law*, 55(1), 22–29. <https://doi.org/10.1177/0025802414524383>
6. Wochna, K., Bonikowski, R., Śmigielski, J., & Berent, J. (2018). Aspartic acid racemization of root dentin used for dental age estimation in a Polish population sample. *Forensic science, medicine, and pathology*, 14(3), 285–294. <https://doi.org/10.1007/s12024-018-9984-8>
7. Dutta, P., Bhosale, S., Singh, R., Gubrellay, P., Patil, J., Sehdev, B., Bhagat, S., & Bansal, T. (2017). Amelogenin Gene - The Pioneer in Gender Determination from Forensic Dental Samples. *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR*, 11(2), ZC56–ZC59. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/22183.9407>
8. Hughes-Stamm, S., Warnke, F., & van Daal, A. (2016). An alternate method for extracting DNA from environmentally challenged teeth for improved DNA analysis. *Legal medicine (Tokyo, Japan)*, 18, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.11.008>
9. Coello, J. L. C., Parra, R. D. C., Pino, J. G. L., & Cevallos, J. E. M. (2024). Identificación humana en cadáveres del Ecuador: avances y desafíos en técnicas forenses. *Anatomía Digital*, 7(2.2), 54-75.
10. Sperber G. H. (2017). Teeth as pearls of wisdom. *British dental journal*, 223(10), 787–788. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2017.987>
11. Higgins, D., Rohrlach, A. B., Kaidonis, J., Townsend, G., & Austin, J. J. (2015). Differential nuclear and mitochondrial DNA preservation in post-mortem teeth with implications for forensic and ancient DNA studies. *PloS one*, 10(5), e0126935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126935>
12. C Zapico, S., Gauthier, Q., Antevska, A., & McCord, B. R. (2021). Identifying Methylation Patterns in Dental Pulp Aging: Application to Age-at-Death Estimation in Forensic Anthropology. *International journal of molecular sciences*, 22(7), 3717. <https://doi.org/10.3390/ijms22073717>

13. Higgins, D., & Austin, J. J. (2013). Teeth as a source of DNA for forensic identification of human remains: a review. *Science & justice : journal of the Forensic Science Society*, 53(4), 433–441. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2013.06.001>