



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

APLICACIÓN DE TÉCNICAS FORENSES EN ODONTOLOGÍA.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N A D E N T I S T A

P R E S E N T A:

CLAUDIA VELASCO TENORIO

TUTORA: Dra. GLORIA GUTIÉRREZ VENÉ GAS

MÉXICO, D.F.

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Agradecimientos:

Es imposible expresar en estas líneas lo importante que fue y seguirá siendo mi amada UNAM, quisiera agradecer a cada uno de los profesores que formaron parte en el camino hacia mi formación, cada enseñanza, cada palabra de apoyo, incluso cada regaño me sirvió para mejorar; gracias sinceramente.

Agradezco a la Dra. Gloria Gutiérrez Venégas, por su apoyo en la elaboración de esta tesina; pero sobre todo le agradezco sus consejos, en verdad me sirvieron mucho.



Dedicatorias:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi padre por todas sus enseñanzas, pero sobre todo por ser esa luz de apoyo que guía mi camino, ese gran ejemplo a seguir en mi vida, por brindarme siempre su ayuda y por creer en mí, por su comprensión, paciencia, perseverancia y su gran amor pero sobre todo por no soltar mi mano en este largo trayecto, te amo.

A mi madre por su apoyo, le agradezco todas sus enseñanzas que me hicieron fortalecer mi camino y saber que siempre existe un mejor futuro a pesar de las circunstancias del presente. Gracias por toda la ayuda brindada, te amo.

A mi hermana Karla le agradezco el apoyo incondicional que siempre me brindó, por ser mi compañera, amiga, cómplice, la persona que me conoce mejor que nadie; a Daniel más que un amigo, mi hermano por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos. Muchas gracias los adoro.

A Héctor mi novio, le agradezco ser mi compañero y apoyo en todo este trayecto que empezamos a recorrer juntos como un gran equipo, por enseñarme a ser más tolerante, por todos los sueños y metas compartidas. Gracias te adoro.

A mis amigos, agradezco a cada uno por formar parte de este trayecto, por todas las risas, aventuras, emociones compartidas, por todo su apoyo. Gracias por su ayuda

¡Gracias a todos ustedes este sueño fue posible!



OBJETIVOS	7
INTRODUCCIÓN.....	7
RESEÑA HISTÓRICA	8
APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS FORENSES EN ODONTOLOGÍA	12
ODONTOLOGÍA FORENSE.....	12
CONCEPTO	12
APLICACIONES.....	12
TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN EN LA ODONTOLOGÍA FORENSE.....	13
TIPOS DE TÉCNICAS EN ODONTOLOGÍA FORENSE.....	13
DETERMINACION DE SEXO	13
• Cuerpo de Barr	13
• Tamaño y alineación de los órganos dentarios.....	13
• Paladar	14
• Morfología mandibular	14
• Medición mandibular	14
DETERMINACIÓN DE LA EDAD.....	15
• Cronología dental.....	15
• Angulación mandibular.....	15
• Desgaste dental.....	16
FOTOGRAFIA BUCODENTAL	16
RADIOGRAFÍA.....	17
QUEILOSCOPIA	18
RUGOSCOPIA.....	20
HUELLAS, REGISTROS DENTALES	22
TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	23
TÉCNICAS CLÁSICAS	23



TÉCNICAS MODERNAS	27
ANÁLISIS DE ADN	29
CONCEPTO DE ADN	29
TIPOS DE ADN.....	31
ADN GENÓMICO	31
ADN MITOCONDRIAL	31
ADN EN ODONTOLOGÍA FORENSE	32
ADN EN EL DIENTE	33
PREPARACIÓN DEL DIENTE	34
• Trituración.....	34
• División vertical y horizontal	35
• Acceso endodóntico	35
AISLAMIENTO DEL ADN	36
BASES GENÉTICAS	37
MARCADORES MOLECULARES	40
TÉCNICAS PARA IDENTIFICAR MARCADORES DE ADN.....	41
TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE ADN MÁS USADAS EN ODONTOLOGÍA FORENSE.....	45
HIBRIDACIÓN TIPO SOUTHERN.....	45
SNP (<i>single-nucleotide polymorphism</i>) POLIMORFISMO DE NUCLEÓTIDO	
SIMPLE.....	46
RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) POLIMORFISMOS DE	
LONGITUD DE FRAGMENTOS DE RESTRICCIÓN	47
POLIMORFISMO EN EL NÚMERO DE REPETICIONES EN TÁNDEM (VNTR).....	47
PCR (Polymerase Chain Reaction) REACCIÓN EN CADENA DE LA POLIMERASA	
.....	48
ANÁLISIS STR (short tandem repeat) Pequeñas repeticiones en tándem	52
ANÁLISIS DEL CROMOSOMA Y.....	52
AMPFLP: POLIMORFISMO DE LONGITUD DE FRAGMENTOS AMPLIFICADOS	53
ANÁLISIS DEL ADNmt (ADN MITOCONDRIAL).....	53
CONCLUSIÓN	56
BIBLIOGRAFIA.....	57



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Agirpina	8
Figura 2. Patrones de huellas labiales	19
Figura 3. Patrones de rugas palatinas	20
Figura 4. Tipos de mordedura.....	23
Figura 5. Proceso para la oclusografía.....	25
Figura 6. Proceso para la oclusoradiografía	40
Figura 8. Transferencia Southern.....	46
Figura 9. Replicación de ADN por PCR.....	51

ABREVIATURAS

ADN: Ácido desoxirribonucleico

ADNmt: Ácido desoxirribonucleico mitocondrial

AMEL: Gen de la amelogenina

AmpFLP: Polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción

HLA: Antígenos leucocitarios humanos

HWM DNA: ADN de alto peso molecular

Ng: nanogramo

PCR: Reacción en cadena de la polimerasa

PB: Pares de bases

RFLP: Polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados

SNP: Polimorfismo de nucleótido simple

STR: Repeticiones cortas en tándem

VNTR: Número variable de repeticiones en tándem



OBJETIVOS

- Describir la evolución de las diferentes técnicas en odontología forense.
- Analizar los métodos empleados en la odontología forense para la identificación de restos humanos.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realizó una revisión de la literatura de las técnicas empleadas en la odontología forense que ha tenido un gran avance en las últimas décadas, ya que esta disciplina se ocupa de la aplicación de la ciencia y la tecnología para la detección e investigación de la delincuencia y la administración de justicia, así como la identificación de personas ya que cada individuo posee características únicas en la cavidad bucal que con las diferentes técnicas empleadas pueden servir para la identificación de género, estimación de edad y la identificación humana.

También se describen los diferentes métodos de análisis de ADN que ofrecen una nueva perspectiva con una gran fiabilidad y aceptación como pruebas legales, debido a los componentes del órgano dentario y a su ubicación este es un excelente recurso de ADN cuando las técnicas comunes son imposibles de llevar a cabo, entre las más empleadas se encuentra la técnica de hibridación de Southern y la Reacción en Cadena de la Polimerasa. Así como el material genético es único en cada individuo existen otros elementos interesantes que debido a su singularidad pueden ser de gran interés en la odontología forense; la rugoscopia y la queiloscopia son algunos de las técnicas auxiliares que en la actualidad han sido estudiadas más profundamente, y con los cuales se ha logrado determinar la identidad humana.



RESEÑA HISTÓRICA

La disciplina forense se ocupa de la aplicación de la ciencia y la tecnología para la detección e investigación del crimen y la administración de justicia, requiriendo de los esfuerzos coordinados de un equipo multidisciplinario.

La identificación dental sigue siendo uno de los más confiables y frecuentes métodos utilizados para la identificación humana, principalmente por las comparaciones de los archivos ante-mortem y post-mortem.¹

Es importante saber que la odontología forense se relaciona históricamente con la medicina forense, en particular con aquellos casos en los que la identificación de sujetos ha revestido un problema singular. El hecho que los tratamientos odontológicos antiguos hayan sido efectuados con materiales más o menos perdurables, permite reconocer y establecer las técnicas y los propios materiales utilizados.

Un ejemplo del primer caso de identificación por elementos dentales se remonta a la Roma Imperial, en la época de Claudio I, Tiberio Druso quien reinó del 41 al 54, envenenado por su cuarta esposa Agripina para permitir el ascenso de su hijo (del matrimonio anterior de Agripina) Nerón.



Figura 1. Agripina: identificó un cadáver gracias a la mal posición dentaria
Imagen tomada de: "La Odontología Forense en el Contexto Universal"

Claudio tenía una amante de nombre Lolilla Paulina, rival poderosa de Agripina, quien mandó a ejecutarla indicando que se le llevara su cabeza cercenada, y así lo hicieron pero debido al tiempo que transcurrió entre la



ejecución y la presentación de la cabeza ésta ya presentaba signos de putrefacción, por lo cual Agripina separó los labios del cadáver observando la tonalidad de los dientes, así como una mala posición, que coincidía con las características dentales que presentaba en vida Loilla Paulina.

Ya a finales de la Edad Media, un duque de Borgoña, Carlos el Temerario, muere y su cuerpo queda mezclado con los restos de otros combatientes, sus ayudantes tratan de localizarlo al recordar que él había sufrido la caída de un caballo, en la que perdió cuatro incisivos superiores, dato que les permitió hallar el cuerpo del Duque.

Continuando con la evolución de la odontología forense, Paul Revere, considerado precursor de la odontología forense al ser el primero en hacer una identificación dental asentada en documentos, ya que el construyó un puente fijo con alambre de plata a un amigo suyo, Joseph Warren, héroe de la independencia muerto por una bala que le perforo el cráneo en la batalla de Bunker Hill (actualmente Breed's Hill), sepultado por los británicos, Warren fue exhumado al día siguiente para ser exhibido como ejemplo de lo que les ocurriría a los demás revolucionarios, y luego devuelto a su sepultura. Tiempo después los hermanos de Warren, junto con Revere, desenterraron e identificaron el cuerpo gracias al puente que se le había colocado.

En los años posteriores (1849-1879) se solicitaron por primera vez los servicios de un cirujano dentista en Estados Unidos, el doctor Keep, quien identificó un cadáver incinerado por una prótesis de porcelana que él había colocado. Otra identificación, pero por incrustaciones de oro fue la que realizó el doctor Roustein al dar con los restos del príncipe Luis Napoleón.

En 1894, el doctor Plastching presenta en Roma un método de identificación y le da el nombre de "odontometría", con el cual fija las bases para la



completa reestructuración dentaria, con fichas legales que permiten tener un registro completo y de fácil interpretación.²

El Dr. Oscar Amoeda (padre de la Odontología Forense) identificó a víctimas de un incendio en Francia en 1898 donde murieron 126 personas, publicó su libro *L'artdentaire en médecine légale*; además presentó en el congreso Médico Internacional de Rouen de 1897 un artículo titulado "Función de los dentistas en la identificación de las víctimas de la catástrofe del bazar de la Caridad". En éste artículo concluye que era necesario establecer un sistema internacional de trazo uniforme de diagramas de la dentición y una sola nomenclatura.^{1, 3}

En 1898, el cirujano dentista Schwars, presentó un trabajo basado en la medición de la maxila y mandíbula, al que llamo prosometría, en el que propone la integración de un cuerpo odontológico auxiliar al servicio de la identificación forense. En 1924 el doctor Amadeo López de León publica su trabajo "Odontología criminal" con el que implanta las bases de la rugoscopia.

Para 1971, el procurador de Justicia del Distrito Federal, comienza a desarrollar en México técnicas de identificación con metodología de punta, con la creación de departamentos especializados.²

En la actualidad se continúan aplicando los conocimientos odontológicos con la finalidad de resolver numerosos problemas judiciales.³

Esta rama de la Medicina Forense tiene un dominio establecido con amplias aplicaciones en:

- Examinación y evaluación de lesiones en boca, dientes y tejidos blandos bucales
- Identificación de individuos en investigaciones criminales y/o desastres masivos



- Identificación, examinación y evaluación de marcas de mordidas las cuales ocurren con frecuencia en las agresiones sexuales, en el abuso infantil y situaciones de defensa personal
- Estimación de la edad

Algunos otros métodos empleados en la Odontología Forense incluyen:

- Rugoscopia: estudio de las rugas palatinas
- Queiloscopía: estudio de las huellas labiales
- Impresiones dentales
- Radiografías
- PCR: Cadena en reacción de la polimerasa para el análisis del ADN pulpar¹



APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS FORENSES EN ODONTOLOGÍA

ODONTOLOGÍA FORENSE

CONCEPTO

La estomatología forense es la disciplina que aplica los conocimientos estomatológicos para el correcto examen, manejo, valoración y presentación de las pruebas bucodentales en interés de la justicia.

Además esta ciencia colabora con la criminalística en la investigación y comprobación de ciertos delitos mediante la identificación del culpable y la aportación de datos valiosos para el juicio.

También constituye un lazo de unión con la medicina forense, con la antropología forense y con el derecho, al aportar conocimientos muy valiosos para:

- Establecer la identidad de los sujetos que han perdido su individualidad por las circunstancias de la muerte
- Aclarar problemas legales relacionados con la profesión odontológica

APLICACIONES

La odontología forense interviene en múltiples actividades, principalmente:

1. Individualización por medio de las características odontológicas:
 - Determinación de sexo, edad y grupo racial
 - Establecimiento de ocupación, situación socioeconómica y lugar de origen
2. Identificación de un agresor (huellas de mordeduras)
3. Responsabilidad profesional y demandas por lesiones del aparato estomatognático.⁴



TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN EN LA ODONTOLOGÍA FORENSE

En Odontología Forense son clásicos dos tipos de estudios según la cantidad y calidad de la información de la que se disponga; así, en ocasiones se utiliza un método deductivo o, si se quiere, reconstructivo, esto es, a partir de las evidencias encontradas se intenta averiguar determinadas características del sujeto como puedan ser la especie, raza, sexo, etc. y en otras ocasiones se utiliza el método comparativo, esto es, se analiza la información post-mortem y se compara con registros previos. ⁵

TIPOS DE TÉCNICAS EN ODONTOLOGÍA FORENSE

DETERMINACION DE SEXO

Los factores que se pueden considerar para determinar el sexo son:

- **Cuerpo de Barr:** En el hombre normal, el cariotipo o idiograma corresponde al patron 46 XY; y en la mujer normal, al patron 46 XX por tanto, la determinación sexual se puede efectuar mediante el estudio del cuerpo de Barr, que es una parte de la cromatina sexual, correspondiente a uno de los cromosomas X femeninos; mide aproximadamente una micra y es posible observarlo a través del microscopio ordinario hasta en el 60% de las células del cuerpo femenino, se presenta solo cuando existen dos cromosomas X por lo que no existe en células del cuerpo masculino. Los cuerpos de Barr se pueden buscar en frotis teñidos de mucosa bucal o de pulpa dental.
- **Tamaño y alineación de los órganos dentarios:** Existen diversas investigaciones encaminadas a determinar el sexo por medio de la morfología y tamaño de los órganos dentarios; Astachoff establece lo siguiente:



- i) Los dos incisivos centrales superiores son más voluminosos en el sexo masculino; la diferencia en el diámetro mesiodistal es, en ocasiones de fracción de milímetro.
 - ii) La relación mesiodistal del incisivo central y el incisivo lateral es menor en el sexo femenino lo cual significa que las mujeres tienen los órganos dentarios más uniformes y alineados.
 - iii) En el sexo femenino, la erupción de la segunda dentición es más precoz (cuatro meses y medio).
- **Paladar:** Por lo general, el paladar del sexo masculino es ancho y poco profundo, y el del sexo femenino, estrecho y profundo, el arco dentario es más grueso y el femenino más fino; los bordes alveolares son más verticales en el sexo masculino que en el femenino.
 - **Morfología mandibular:** En el hombre la mandíbula es más grande y gruesa y la altura del cuerpo es mayor (considerando tres partes en línea sagital una para el proceso alveolar, y las otras dos para el resto del cuerpo); los cóndilos son más grandes y las apófisis coronoides son anchas y altas. En la mujer la mandíbula es más pequeña y menos robusta en todas sus estructuras la altura del cuerpo es menor (considerando dos partes en la línea media, una para el proceso alveolar, y la otra para el resto del cuerpo); los cóndilos y la apófisis coronoides son gráciles.
 - **Medición mandibular:** Para medir la mandíbula es necesario considerar lo siguiente:
 - i) Altura de la rama: esta medida se obtiene mediante el trazo de una tangente desde la cúspide del cóndilo hasta el plano donde reposa la mandíbula.



- ii) Anchura mínima de la rama se obtiene al medir perpendicularmente la altura.
- iii) Anchura bigoniaca: Distancia entre los goniones derecho e izquierdo.
- iv) Longitud total: distancia del borde anterior del mentón y el punto de intersección de la línea sagital con la línea que une los bordes posteriores del ángulo mandibular.

Una vez obtenidas las medidas anteriores se aplica la siguiente fórmula:

- $\text{Sexo} = \text{altura de la rama} + \text{anchura mínima de la rama} + \text{anchura biogoniaca} + \text{longitud total}$

Si los valores obtenidos exceden la cifra 1 200.88 corresponden al sexo masculino; y si quedan por debajo corresponden al sexo femenino. El error probable con esta técnica es de 18.41%

DETERMINACIÓN DE LA EDAD

La edad es uno de los elementos fundamentales en la identificación de un individuo, la odontología forense se auxilia de los siguientes métodos:

- **Cronología dental:** La naturaleza provee al ser humano de dos denticiones: primaria (temporal) y secundaria (permanente). Estas difieren en tamaño y anatomía; el estudio de la dentición se puede efectuar de manera clínica, o mediante el uso de radiografías.
- **Angulación mandibular:** no obstante que la angulación mandibular se debe tomar con cierta reserva, se considera que en el recién nacido es de aproximadamente 170° ; cuando surge la dentición secundaria es de alrededor de 150° ; en el adulto disminuye a 100 o 110° y en el anciano llega a 130 o 135° .



- **Desgaste dental:** El desgaste dental e puede emplear para la determinación de la edad solo cuando se conocen diferentes aspectos culturales, ocupacionales y alimentarios, así como alteraciones de la oclusión, etc.

FOTOGRAFIA BUCODENTAL

En la identificación odontológica es fundamental la técnica fotográfica para un mejor registro, ya que al aplicar sus técnicas es posible captar detalles que a simple vista resultarían inadvertidos en el momento del estudio.

Las fotografías fundamentales para la identificación odontológica son cinco, principalmente:

- Norma anterior: Los órganos dentarios superiores de deben encontrar en oclusión con los órganos dentarios inferiores; se tienen que registrar las superficies vestibulares desde el primer premolar izquierdo de ambas arcadas.
- Norma lateral derecha: Los órganos dentarios superiores de deben encontrar en oclusión con los órganos dentarios inferiores, es conveniente registrar desde el segundo premolar hasta el segundo molar.
- Norma lateral izquierda: misma técnica que e el lado derecho.
- Norma palatina: El propósito es registrar las superficies palatinas y las oclusales, así como las rugas palatinas.
- Norma lingual: Esta encaminada a registrar, principalmente las superficies linguales y oclusales de los órganos dentarios inferiores.⁶



RADIOGRÁFIA

La radiografía juega un papel vital en odontología forense para descubrir los hechos ocultos que no pueden ser vistos por medio de la exploración física. El examen dental y la comparación entre los registros radiográficos dentales ante-mortem y post-mortem puede producir resultados con un alto grado de fiabilidad y una simplicidad relativa. Las radiografías panorámicas son también útiles para determinar la edad del individuo mediante la evaluación de la etapa de erupción.

El uso de las radiografías es característico de las técnicas que implican la observación de las distintas etapas de mineralización. La estimación de edad se basa en el grado de formación de estructuras de las raíces y las coronas, la etapa de erupción y la mezcla de dentición primaria y secundaria.^{7,8}

También se puede observar el tamaño de la cavidad pulpar que se reduce como resultado del depósito de la dentina secundaria. Las medidas de esta reducción pueden utilizarse como un indicador de la edad (Kvaal *et al*, 1995); la longitud de la pulpa y la anchura se miden, estas proporciones están significativamente correlacionadas con la edad. Los resultados muestran la correlación más fuerte con la edad para estar en relación entre la anchura de la pulpa y la raíz. Esto indica que la velocidad de deposición de la dentina en las paredes mesial y distal está más estrechamente relacionada con la edad que en el techo de la cavidad pulpar. Sin embargo, la limitación de la técnica es que la correlación entre la edad y las proporciones entre la pulpa y la longitud de la raíz son solo importante para caninos y premolares superiores.^{7,9}



QUEILOSCOPIA

Queiloscopia (de las palabras griegas *cheilos* - labios, *skopein* - ver) es un estudio de los labios que muestra una serie de líneas que corren en diferentes sentidos, formando en algunos casos figuras geométricas, que deben ser estudiadas y descritas en la inspección integral del cuerpo, al igual que las comisuras y grosor de los labios. Se aplica principalmente en la identificación de los vivos, ya que huellas labiales se suelen dejar en la escena del crimen y pueden proporcionar un enlace directo con el sospechoso ya que los estudios de labios de impresión son exclusivos de una sola persona (excepto en los gemelos monocigóticos). Al igual que las huellas dactilares, los surcos labiales son permanentes e inmutables. Es posible identificar huellas labiales desde la sexta semana de vida intrauterina.

La unión de los labios, la piel y la mucosa está formado por una línea blanca ondulada llamada cordón labial. La zona de la mucosa, zona de Klein, está cubierta por arrugas y estrías formando un patrón característico: impresión de labio.^{1, 4}

El estudio de los labios nos muestra una serie de líneas que corren en diferentes sentidos, formando en algunos casos figuras geométricas, que deben ser estudiadas y descritas en la inspección integral del cuerpo, al igual que las comisuras y grosor de los labios. Las líneas labiales se clasifican según Suzuki en:

- Verticales completas
- Verticales incompletas
- Bifurcadas
- En forma de X
- En forma de red
- Punteadas

Los labios en base a su espesor, se pueden clasificar en:

- Delgados: cuando la mucosa del labio superior es ligeramente visible
- Medianos: con la mucosa más redondeada y visible en un espacio de 8 a 10 mm
- Gruesos: cuando la mucosa es muy visible
- Voluminosos o muy gruesos: fuertemente vueltos hacia el exterior.⁴

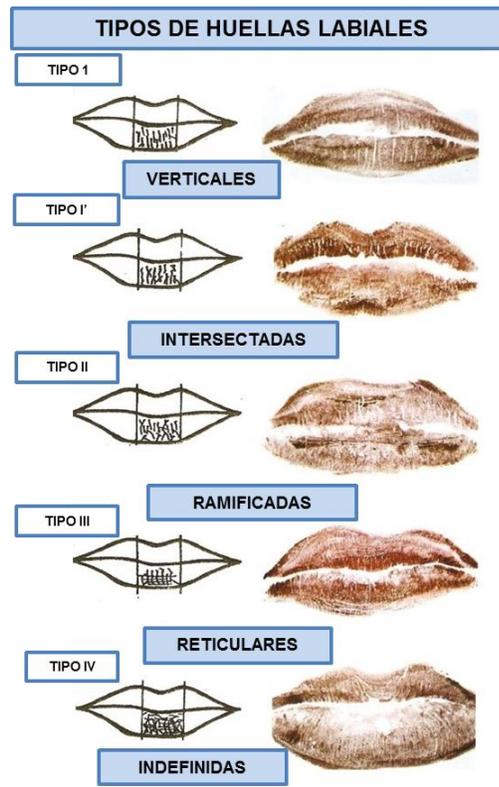


Figura 2. Patrones de huellas labiales: se presenta la clasificación de líneas labiales según Suzuki
Imagen tomada de "*Experimental studies of forensic odontology to aid in the identification process*"

El grosor del labio también varía en función de la raza, por ejemplo, los labios delgados (común en los caucásicos), medio (de 8 a 10 mm, son el tipo más común), labios voluminosos o muy gruesos (generalmente se observan en los afro americanos).¹

RUGOSCOPIA

El fundamento de la técnica de identificación rugoscópica se basa en el estudio de las arrugas o crestas de la bóveda palatina de los humanos, que son unas eminencias papilares de la parte anterior del paladar duro, formadas desde el periodo de gestación y que permanecen toda la vida. La rugoscopy constituye una técnica auxiliar de la odontología forense, encaminada a determinar la identidad humana.



Figura 3. Patrones de rugas palatinas: análisis de diferentes de rugas palatinas
Imagen tomada de: "*Experimental studies of forensic odontology to aid in the identification process*"

En la nomenclatura de la dactiloscopia se encuentra una clasificación para las distintas rugas palatinas:

- Diferentes (diversas, distintas): no existen dos personas con la misma disposición de rugosidades palatinas
- Inmutables (no mudables): siempre permanecen iguales, a pesar de sufrir traumatismos superficiales
- Perennes (continuas, perpetuas): desde su formación hasta la muerte permanecen iguales

De tal manera que no existen dos conjuntos de crestas palatinas iguales, estas no cambian de posición y duran toda la vida. Sin embargo las rugas del



paladar sí son susceptibles a perderse debido a la acción compresiva de algunas prótesis, ya que la presión de tales aditamentos altera su forma llegando a borrar las que estén en contacto con la superficie de la prótesis. Accidentes catastróficos relacionados con los accidentes de avión, los incendios y las explosiones pueden destruir las huellas dactilares, pero, curiosamente los patrones de las rugas palatinas se conservan.¹

Según autores como Cortez¹⁰, el proceso de descomposición de las rugas palatinas comienza aproximadamente cinco días después de la muerte; sin embargo, otros autores indican que por encontrarse protegidas por estructuras dentales y óseas presentan cierto nivel de resistencia a la acción destructiva de la putrefacción y las altas temperaturas, en comparación con el resto de los tejidos blandos.

El brasileño Luis Silva¹ implantó un sistema de clasificación para diferenciarlas, según la forma que dibujan sobre el paladar y las dividió en simples, y compuestas (que resultan de las uniones de las líneas simples).

Para el estudio del paladar este se divide en dos partes, con una línea media que marca el lado derecho y el izquierdo, comenzando siempre de la parte más anterior.

En lo que respecta al rafe o papila palatina, que se encuentra sobre la línea media, se encuentra en cuatro diferentes formas:

- Papila simple (casi un punto): S
- Papila con prolongación no mayor a los caninos : C
- Papila con prolongación no mayor a los segundos premolares: M
- Papila con prolongación mayor a los segundos premolares: L⁴

La estereoscopia es una técnica en la que se obtiene la imagen 3D de la anatomía de las rugas palatinas, basado en el análisis de las imágenes



tomadas con una cámara, a partir de dos puntos diferentes, utilizando un equipo especial.

La estereofotogrametría, se realiza mediante el uso de un dispositivo especial llamado *TrasterMarker*, que permite una determinación precisa de la longitud y la posición de cada ruga palatina.¹

La identificación forense en la rugoscopia consiste en la comparación de los datos ante-mortem con los post-mortem; de la comparación directa de los modelos del maxilar, en el que quedan duplicados los tejidos del paladar duro, ante-mortem y post-mortem.¹¹

HUELLAS, REGISTROS DENTALES

El análisis por marcas de mordida está basado en la individualidad de la dentición humana. Características como el tamaño de los dientes, la forma, el desgaste, el alineamiento, rehabilitaciones, pueden ser identificadas con fiabilidad.

La mordedura es una lesión traumática contusa, desgarrante o contuso perforante que, según la presión ejercida en los tejidos afectados puede causar:

- Excoriación
- Equimosis
- Heridas: superficiales o profundas, con colgajo o mutilantes

En la descripción individual, una mordedura puede ser estática o dinámica. Las estáticas son aquellas que encontramos bien definidas las marcas de los bordes incisales de los dientes en el cuerpo, mientras en las dinámicas esta marca presenta un desplazamiento irregular semejando un “barrido” de la lesión, que no ofrece una buena definición de la de la huella dental.

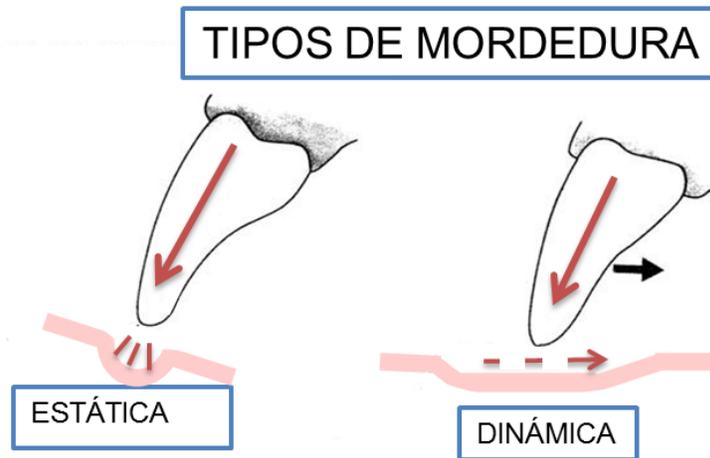


Figura 4. **Tipos de mordedura:** estáticas (marcas de los bordes incisales de los dientes en el cuerpo) y dinámicas (marca con un desplazamiento irregular semejando un "barrido" de la lesión).
Imagen tomada de: "*Estomatología Forense*"

Los casos más frecuentes en los que se estudian huellas de mordida son violaciones, pederastia, secuestros y robos; y la localización varía según las causas y las circunstancias de la agresión. La clásica marca de mordida se produce por la acción de los incisivos superiores e inferiores, que dejan una marca oval o circular; estas pueden registrarse tanto en la piel (víctima y/o agresor) como en restos de comida y objetos que producen una marca evidente tan válida como la dejada en piel.

Circunstancias como la elasticidad del tejido, la localización, la profundidad o la fuerza, la duración, la presión de la lengua, la succión, la posición o los movimientos de la víctima, o si la mordedura se produjo antemortem o postmortem son circunstancias que pueden distorsionar la marca de la mordida.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS

TÉCNICAS CLÁSICAS

En general, el análisis de las huellas de mordida se basa en técnicas de comparación. Los métodos clásicos de análisis pueden ser:



- Directos: se basan en la comparación del modelo de los dientes del sospechoso con la marca de mordida o fotografías de la misma.
- Indirectos: se basan en la comparación de registros indirectos de la mordida del sospechoso. Los métodos indirectos facilitan la comparación, pero pueden introducir errores en el análisis.
 - Superposiciones transparentes o trazados: trazado de la dentición del sospechoso en una lámina de acetato sobre el modelo.
 - Superposiciones transparentes sobre fotocopia: trazado de la dentición del sospechoso en una lámina de acetato sobre una fotocopia del modelo. Con este método se evitara el trazado a mano alzada sobre el modelo.
 - Transparencias o superposiciones fotográficas: fotografía sobre la transparencia de la dentición del sospechoso para facilitar la comparación con la marca de la mordida.
 - Superposiciones generadas por fotocopidora: impresión sobre transparencia de las superficies oclusales del modelo del sospechoso.
 - Entintado: entintado de las superficies oclusales del modelo del sospechoso y fotocopia del mismo con papel de transparencias.
 - Empolvado: empolvado de las superficies oclusales con polvo revelador de huellas dactilares y fotocopia del mismo con papel de transparencias.
 - Superposiciones radiográficas: registro en cera de la mordida del sospechoso directamente u obtenida del modelo. Se rellenan las indentaciones con polvo radiopaco y se toma una

radiografía. Este método genera una superposición muy nítida, pero se debe tener en cuenta la distinta consistencia de la piel o los alimentos o la cera, lo que podría provocar distorsiones.⁸

Existen otros métodos como el método oclusográfico que consiste en el registro y comparación de mordedura, para lo que se obtiene una fotografía previa de la huella con relación 1:1; se recorta un recuadro de cera rosada a la cual se le cubre de grafito y se fija con algún fijador con el objetivo de oscurecer la lámina. Seguidamente se reblandece y se impresionan las arcadas del presunto hasta casi perforar la cera quedando así una superficie transparente en los bordes incisales y superficies oclusales (oclosograma). A esta lámina se le toma una foto con película B/N y se procesa el negativo. Acto seguido se ubica la foto inicial sobre la base de un ampliador fotográfico y se ubica el negativo del oclusograma en la parte superior móvil del ampliador y se sube o baja hasta que coincida el tamaño, la posición y la forma de la proyección del negativo sobre la foto.

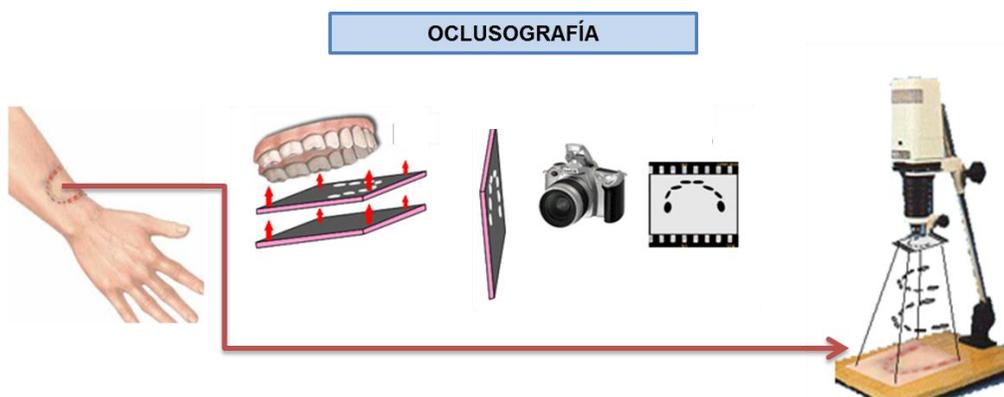


Figura 5. Proceso para la oclusografía: Registro fotográfico de la lesión sobre la víctima con relación a tamaño real 1:1. Obtención del oclusograma con una lámina de cera rosada que se ha teñido de negro con grafito. Esto se realiza con todos los sospechosos. Foto en blanco y negro de los oclusogramas y revelado del negativo. Colocación de los negativos en la parte superior de una

amplificadora fotográfica (en el espacio diseñado para tal fin) y proyección sobre la foto hasta ver coincidencia. La coincidencia de uno de los negativos corresponderá al causante de la lesión.
Imagen tomada de: *"Rugoscopia, queiloscopia, oclusografía y ocluseradiografía como métodos de identificación en odontología forense"*⁹

Debido a que la evidencia fotográfica no es plenamente válida en algunos códigos penales se adecuó la técnica ideando así la Ocluseradiografía. En este caso la técnica es igual hasta la obtención del oclusograma en cera (paso B de la técnica anterior), seguidamente en un cuarto oscuro (con la luz apagada) se abre una placa radiográfica oclusal y sobre esta se ubica el oclusograma, entonces se aplica un destello de luz (puede bastar con un rápido encendido y apagado de la luz), logrando velar la placa sobre las marcas -traslúcidas- de la lámina.

Al revelar la placa quedan las marcas de la mordida y esta radiografía se superpone a la foto de la huella.

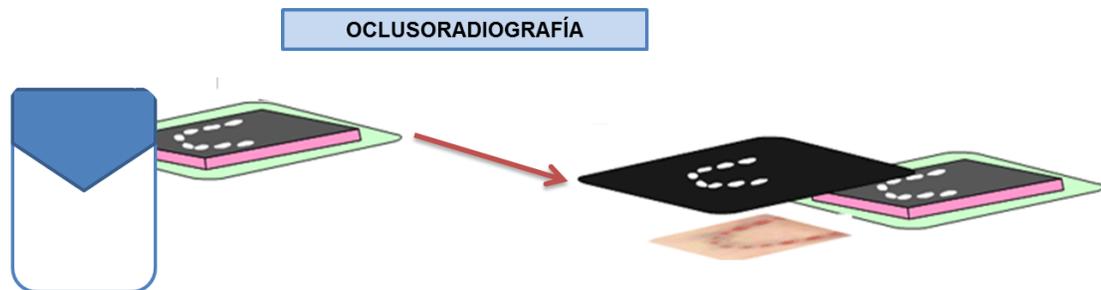


Ilustración 6. Proceso para la ocluseradiografía: Una vez obtenido el oclusograma y estando dentro del cuarto oscuro, se saca una placa radiográfica oclusal de su sobre y se coloca debajo del oclusograma. Se incide brevemente la luz sobre el conjunto anterior y se revela tradicionalmente. Se superpone la radiografía sobre la foto original
Imagen tomada de: *"Rugoscopia, queiloscopia, oclusografía y ocluseradiografía como métodos de identificación en odontología forense"*⁹



TÉCNICAS MODERNAS

- Superposiciones generadas por ordenador: han mostrado menores errores y mayor fiabilidad que otros métodos indirectos, ya que al ser las comparaciones tridimensionales, se aproximan más a la realidad que las fotografías y otras superposiciones.
- Escáner tridimensional: digitalización de los modelos del sospechoso con escáner tridimensional y comparación de pintos de referencia de fotografías de la marca de la mordida. Este sistema permite rotar los objetos y hacer que encajen, simulando incluso la progresión de la mordida, mostrando cómo el modelo va penetrando progresivamente en la piel sin distorsiones.
- Registro de puntos: toma de registros del agresor en cera doble con aluminio para controlar la penetración. Señalado de puntos de referencia y mediciones de los dientes. Comparación de mordida.
- Replicas acrílicas transparentes de los modelos del sospechoso
- ADN: estudio del ADN salivar extraído de la marca de la mordida. El ADN es estable en piel al menos 60 horas después de que se haya producido la mordedura.
- Estreptococo cepas bacterianas. El estreptococo es una bacteria que se encuentra en todas las superficies de los dientes y en todas las mordeduras producidas por humanos. En diversos estudios se han comparado los estreptococos aislados de la mordida con los del agresor con resultados positivos. La coincidencia de las cepas de estreptococos de la mordedura con el agresor no es un método



individualizador, pero constituye un dato que apoya la evidencia forense.

- Otras técnicas: transiluminación de la piel, fotografías ultravioletas, etc.¹²



ANÁLISIS DE ADN

CONCEPTO DE ADN

La información genética de todos los organismos vivos, se almacena en el ADN. Los ácidos nucleicos, llamados anteriormente “nucleina” debido a que se aislaron de los núcleos de las células por F. Miescher en 1869, son macromoléculas compuestas de subunidades repetidas, denominadas nucleótidos y cada uno de éstos está compuesto por:

- Un grupo fosfato
- Un azúcar de cinco carbonos (o pentosa)
- Una base (compuesto cíclico nitrogenado)

En el ADN, el azúcar es la 2-desoxirribosa (de ahí su nombre de ácido desoxirribonucleico); hay cuatro bases que se encuentran comúnmente en el ADN:

- Adenina } Bases de doble anillo
- Guanina } Purinas
- Timina } Bases de anillo sencillo
- Citosina } Pirimidinas

En 1953 J.D. Watson y F.H.C. Crick dedujeron la estructura correcta del ADN. Su modelo de la doble hélice de la estructura del ADN se basó en dos tipos principales de indicios: la relación que existía entre la timina y la adenina, lo mismo que la citosina y la guanina; los patrones de difracción de los rayos X, que indicaban que el ADN era una estructura muy ordenada, con cadenas múltiples con subestructuras repetidas cada 3.4 unidades angstrom a lo largo del eje de la molécula.



Con base a lo anterior, Watson y Crick propusieron que el ADN existe como una doble hélice en la cual las dos cadenas de polinucleótidos están arrolladas en forma de espiral una alrededor de la otra. Cada cadena de polinucleótidos consiste en una secuencia de nucleótidos unidos entre sí mediante enlaces fosfodiéster, que unen porciones adyacentes de desoxirribosa. Las dos cadenas de polinucleótidos se mantienen unidas en su configuración helicoidal mediante puentes de hidrógeno entre bases de cadenas opuestas. Los pares de bases resultantes están aplicados entre las dos cadenas perpendiculares al eje de las moléculas como los peldaños de una escalera de caracol.

El apareamiento de bases es específico; la adenina siempre forma par con la timina y la guanina siempre se aparea con la citosina. De este modo, todos los pares de bases consisten en una purina y una pirimidina. La especificidad del apareamiento es resultado de la capacidad de formación de puentes de hidrógeno por parte de las bases en sus configuraciones normales. En sus configuraciones estructuralmente más comunes, la adenina y la timina forman dos puentes de hidrógeno y la guanina y la citosina forman tres puentes de hidrógeno.

Una vez que la secuencia de bases de una cadena de una doble hélice de ADN se conoce, también se conoce la secuencia de bases de la otra cadena, debido al apareamiento específico entre bases ya que éstas son complementarias, lo que hace al ADN una molécula extraordinariamente apropiada para almacenar y transmitir información genética.

Los pares de bases del ADN están apilados con una distancia de 3.4 angstrom y 10 pares de bases por cada giro (360°) de la doble hélice. Los esqueletos de azúcar –fosfato de las dos cadenas complementarias son antiparalelas; esto es, tienen una polaridad química opuesta. Si uno se mueve unidireccionalmente a lo largo de una doble hélice, los enlaces



fosfodiéster de una cadena van del carbono 3' de un nucleótido al carbono 5' del nucleótido adyacente, mientras que los de la cadena complementaria van del carbono 5' al carbono 3'.¹³

TIPOS DE ADN

ADN GENÓMICO

El genoma humano, que contiene 3.200 millones de pares de base, se encuentra físicamente situado los cromosomas que consisten en 22 autosomas y 2 cromosomas sexuales (X e Y). La inmensa mayoría de las células nucleadas del organismo humano son diploides y poseen dos copias de cada autosoma más dos cromosomas sexuales (XY en hombres y XX en mujeres), lo que lleva a un total de 46 cromosomas en cada célula. Estas células son las llamadas somáticas, en contraste con las células de la línea germinal (gametos) que son haploides y sólo tienen 23 cromosomas. En las células somáticas, los cromosomas se organizan en pares llamados “pares homólogos” (uno heredado desde la madre y otro desde el padre) que contienen la misma sucesión de genes y marcadores genéticos. Sin embargo, la secuencia nucleotídica de estos genes no siempre es exactamente igual en los genes del cromosoma paterno respecto a los genes del cromosoma materno debido a la existencia de variaciones genéticas.

ADN MITOCONDRIAL

El ADN mitocondrial es una pequeña cadena circular de ADN que contiene solamente 6.569 pares de base. Reside dentro de las organelas generadoras de energía de la célula, denominadas mitocondrias. La ventaja de esta técnica de análisis radica en que el ADN mitocondrial se encuentra presente



en múltiples copias dentro de la célula, por lo cual es más fácil recuperarlo en el caso de restos que no están adecuadamente conservados. El ADN mitocondrial se hereda únicamente de la madre. El ADNmt se caracteriza por presentar poliplasmia, lo que significa que existe un alto número de copias de ADNmt tanto por mitocondria (entre 2 y 10 copias) como por número de copias por célula (entre 1.000 y 100.000 copias de ADNmt por célula en la mayoría de los tejidos).¹⁴

ADN EN ODONTOLOGÍA FORENSE

El ADN es un excelente recurso para la identificación de restos humanos. Debido a que la pulpa dental está rodeada por dentina y esmalte, los cuales forman una armadura dental, que ofrece la mejor fuente de ADN para un tipo de genética confiable en la ciencia forense.⁵ El ADN genómico se encuentra en el núcleo de cada célula y representa la fuente de ADN para la mayoría de las aplicaciones forenses. Cuando los tejidos del cuerpo tienen descompuesto, las estructuras del esmalte, el complejo dentina-pulpa persiste.^{15,16, 17}

La experiencia ha demostrado que el ADN de tejidos duros como los huesos y los dientes es más estable incluso después de la putrefacción de los cuerpos.

Schwartz (1991) aisló HMW ADN de dientes a 4°C hasta 6 semanas. A 25°C, HMW ADN puede aislarse después de 19 años. A 37°C, los dientes pueden producir almacenamiento HMW ADN durante 6 meses. TC Boles (1995) extrajo con éxito ADN de los dientes que habían sido enterrados durante 80 años.

Es posible diferenciar a un individuo de todos los demás con un alto nivel de confianza iniciando con tan solo 1 ng o menos de ADN diana, mientras que, la cantidad de ADN que puede ser recuperado de los dientes molares es casi 15-20 mg.



En un estudio realizado por Pötsch, (1992), la producción total de ADN genómico obtenido de una muestra dental varió de 6 a 50 g de ADN. Los resultados se obtuvieron a partir del ADN extraído de la pulpa dental y no mostró ninguna diferencia en comparación con los patrones obtenidos a partir del ADN aislado de muestras de sangre o tejidos pulmonares. Un tercer molar no erupcionado preservado permite la extracción de ADN de la pulpa dental (1,35 g), el cual es una excelente fuente de ADN genómico de alto peso molecular.

Remualdo (2004) evaluó la amplificación por PCR del ADN extraído de dientes sometidos a calor (200°C, 400°C, 500°C y 600°C) durante 60 minutos, probando tres diferentes métodos de extracción (orgánico; acetato de amonio / isopropanol y sílice). Usando el método orgánico para la extracción de ADN genómico, 50% de las muestras sometidas a combustión fueron amplificadas, pero sólo a bajas temperaturas (200°C y 400°C). A temperaturas más elevadas (500°C y 600°C), el método de acetato de isopropanol/amoniaco dio mejores resultados, principalmente para la extracción de ADN mitocondrial (ADNmt).

Un estudio reciente ha descubierto que el ADNmt puede obtenerse de la dentina en polvo obtenida mediante molienda criogénica.

La pulpa producía las señales más fuertes de amplificación de PCR, mientras que las señales de la dentina y el cemento eran muy similares entre sí.¹⁸

ADN EN EL DIENTE

Los dientes difieren en forma y tamaño, pero tienen una estructura histológica similar. La dentina es un tejido conectivo que forma el principal eje estructural del diente y esta apenas expuesta a su entorno (medio ambiente). La dentina de la corona del diente está cubierta por el esmalte. El esmalte tiene un origen ectodérmico y es un tejido muy mineralizado. Además, es una estructura acelular y avascular. La dentina



radicular está cubierta por el cemento, otro tipo de tejido conectivo calcificado. El tejido blando dentro de la cámara pulpar coronal y radicular se compone de odontoblastos, fibroblastos, células endoteliales, nervio periférico, células mesenquimatosas indiferenciadas y componentes nucleados de la sangre que son fuentes ricas de ADN. Otros sitios menos utilizados para el ADN son odontoblastos que se extienden en los túbulos dentinarios, tejidos blandos dentro de conductos accesorios, cemento celular, hueso adherente y las fibras del ligamento periodontal.⁴

PREPARACIÓN DEL DIENTE

Los dientes se limpian y se almacenan generalmente en solución salina normal y pueden o no ser refrigerados, dependiendo del tiempo y las instalaciones. En los dientes, como se explicó anteriormente las fuentes de ADN son la pulpa, dentina, cemento, fibras periodontales, y fragmentos de huesos conectados; el tejido pulpar es más comúnmente utilizado, ya que suele ser abundante y tiene menor posibilidad de contaminación por ADN no humano.

Existen tres métodos para realizar el muestreo del tejido pulpar:

- **Trituración:** Éste método se utiliza como último recurso debido a que no da margen para una mayor evaluación de la histología y morfología de los dientes; además la muestra triturada debe someterse a múltiples ciclos de descalcificación y purificación, existe una técnica realizada por Sweet y Hildebrand, pioneros en la molienda criogénica de dientes, se realiza la pulverización del diente limpio en un molino criogénico con nitrógeno líquido minimizando el riesgo de contaminación de la muestra, el polvo se disuelve en una solución de



proteínasa K y se incuba durante una noche. La cantidad de ADN que se obtiene puede ser escasa.

- ***División vertical y horizontal:***

- a) Vertical o longitudinal: Éste método proporciona la excavación fácil de todo el tejido pulpar con una mínima probabilidad de contaminación. La división se realiza con discos de carburo dividiendo el diente desde el borde incisal (con el lavado frecuente con agua destilada) hasta llegar a la cavidad pulpar, después se divide el diente con un cincel para evitar daños por calor al tejido pulpar; se extrae la pulpa y se transfiere a un vial (contenedor) de laboratorio. Una ventaja de éste método es que el resto del diente puede ser utilizado para una evaluación morfológica.
 - b) Horizontal: Éste método es realizado cuando es necesario preservar la corona dental, esencialmente es el mismo procediendo que el vertical solo que en este método se secciona la raíz separándola de la corona.
- ***Acceso endodóntico:*** Éste método se realiza con un acceso endodóntico convencional.¹⁹

EL proceso de extracción de ADN se compone de 3 etapas diferentes:

- Rotura celular o lisis: que permite el uso de varias técnicas para el eficaz ruptura de las membranas celulares.
- Desnaturalización de proteína e inactivación (por agentes quelantes y proteínasas con el fin de inactivar elementos, tales como proteínas),
- Extracción de ADN

Las técnicas de extracción de ADN más empleada a menudo en Odontología Forense es el método orgánica (compuesta de fenol-cloroformo y se utiliza para ADN de alto peso molecular, esta técnica



es laboriosa, y tiene una mayor probabilidad de errores, dado el uso de múltiples tubos y sólo se puede realizar si la abundancia de muestra está disponible); Chelex 100 (el más rápido con el menor riesgo de contaminación, sin embargo, muy caro; Papel FTA (compuesto absorbente celulosa de papel con sustancias químicas, que aceleran su uso), y alcohol isopropílico (que contiene amonio y el isopropanol, el cual es menos costoso y también una alternativa a la método orgánico).²⁰

AISLAMIENTO DEL ADN

Después de obtener la pulpa dental, se coloca en viales de Eppendorf, se agrega un mililitro de agua desionizada estéril y se centrifuga 3 veces en intervalos de 5 min. Se agrega un tampón que contiene Tris HCl y EDTA, y se incuba con proteinasa K durante 18 horas. Los contenidos están sujetos a múltiples etapas de centrifugación y purificación para obtener el sedimento final. Esto se añade a un 1% en gel de agarosa en TBE (Tris HCL, ácido bórico, y EDTA) y se preparan para electroforesis en gel.

El tejido pulpar es el más fácil analizar. Sin embargo, en muchos casos, el diente puede carecer de pulpa, o puede estar tratado endodónticamente. También puede estar contaminada por microorganismos, que introducen ADN no humano en la muestra. En tales casos, la dentina o el cemento se utilizan para extraer el ADN. La posibilidad de encontrar ADN no humano es menor en los tejidos calcificados (excepto en los casos de lesiones de caries) y hay más probabilidad de recuperación de ADN intacto. Las muestras de dentina y cemento se obtienen por molienda de la raíz, ya sea como un polvo puro de la dentina, o como un polvo de dentina-cemento. Después el polvo se solubiliza y se almacena en viales de laboratorio; se sigue un procedimiento similar para la extracción de ADN



como para el tejido de pulpa. El polvo de dentina es una buena fuente de ADNmt, siendo este más útil que el ADN genómico o nuclear ya que el ADNmt tiene sólo 13 genes, en comparación con casi 100.000 en el ADN nuclear. Las células contienen un alto número de copias de ADNmt que pueden sobrevivir por períodos prolongados en comparación con el ADN nuclear.

Las técnicas para el uso de hueso son esencialmente las mismas que la de los dientes, siendo más utilizada la trituración.¹⁹

BASES GENÉTICAS

El gen es un segmento de ADN que codifica para una proteína en particular. Esto representa sólo el 2-5% de todo el ADN celular. La función del restante 95% o más del ADN no es conocido y se llama ADN no codificante o ADN basura.

El ADN genómico es una entidad extremadamente variable, esta diversidad o variabilidad genética se debe a variaciones en la secuencia del genoma; por tanto, en un sentido amplio el concepto de diversidad se hace sinónimo de polimorfismo (en su significado literal, muchas formas). El polimorfismo afecta tanto a regiones codificantes del genoma (polimorfismo génico) como no codificantes (polimorfismo genético en general). En ambos casos puede consistir en la variación de un solo par de bases del ADN o, menos frecuente, de millones de pb.

El ADN codificante, aunque es el más interesante desde el punto de vista médico, posee en general poca variabilidad, con la excepción de la región HLA. Desde el punto de vista del análisis del polimorfismo es mucho más interesante el ADN no codificante, que no es transcrito a ARN, y que representa, además, cuantitativamente, la mayor parte del genoma humano.



El primer caso se conoce hoy en día como polimorfismo de un solo nucleótido (SNP).

Inicialmente, la definición de polimorfismo se refería a las proteínas, y luego a sus genes. Actualmente se debe definir como la existencia simultánea en una población de genomas con distintos alelos para un locus determinado sea éste génico o no. Los alelos son variaciones de la secuencia de ADN presente en un locus o posición definida en un cromosoma.²¹

Aproximadamente la mitad del ADN no codificante es ADN repetitivo y aunque gran parte del mismo es extremadamente polimórfico, por diversos motivos, el ADN más utilizado con fines forenses es el ADN repetido en tándem y, dentro de él, los minisatélites y microsatélites de ADN.

Estos consisten en repeticiones de fragmentos de ADN de número variable, por lo que genéricamente se denominan VNTR ("variable number of tandem repeats"). Las repeticiones en el ADN microsatélite son de tamaño pequeño (de 2 a 5 pares de bases) por lo que se suelen denominar STRs ("short tandem repeats"). Las repeticiones en un locus minisatélite tienen un tamaño medio de alrededor de 30 pares de bases. Poniendo un ejemplo, un locus STR puede tener una estructura en su zona repetitiva y variable, como ACTT ACTT ACTT ACTT ACTT ACTT ACTT...hasta un número n de repeticiones. Los individuos nos diferenciamos por el número de repeticiones de esa secuencia. Un individuo 8-12 para ese STR significa que tiene 8 veces la unidad de repetición (ACTT) en un lugar específico de un cromosoma (locus génico) y 12 veces en el mismo lugar de su otro cromosoma.

Los microsatélites pueden ser tres tipos: simples, compuestos y complejos. Simples son aquellos que poseen una única unidad de repetición en algunos



casos con algún alelo que posee alguna inserción o delección ("non-consensus alleles"). Estos raros alelos son en general el más pesado o el más ligero para cada sistema, lo que ha sido indicado como un posible mecanismo para prevenir la expansión a un número elevado de repeticiones o la extrema contracción a un número bajo (no polimórfico) de repeticiones.

Los STRs complejos son sistemas de elevado polimorfismo y gran complejidad con numerosas unidades de repetición distintas y muchas inserciones y delecciones de tamaño diverso. Ejemplos son los STR denominados HUMACTBP2, HUMFIBRA o el STR situado en el locus D21S11. Todos ellos poseen tasas de mutación bastante elevadas (pero todavía aceptables a efectos forenses ya que son inferiores al 1%) y una notable uniformidad entre poblaciones.²²

MARCADORES MOLECULARES

Los marcadores de ADN constituyen la nueva generación de marcadores moleculares, pues son capaces de generar una cantidad virtualmente infinita de marcadores. La determinación de la huella genética de ADN se basa en el polimorfismo de secuencias que se da en el genoma humano (y en el genoma de todos los organismos).²⁶

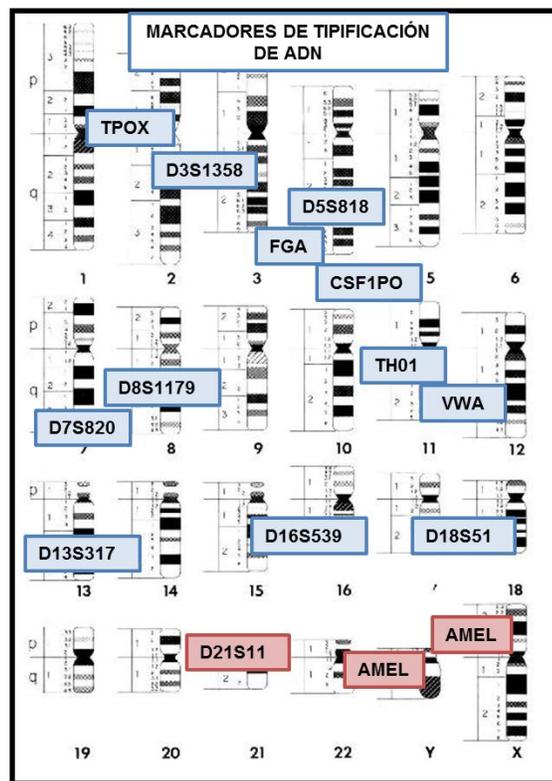


Figura 7. Localización cromosomal de los marcadores de tipificación de ADN: Los marcadores más utilizados en la odontología forense se resaltan en los recuadros rojos. Imagen tomada de: “La identificación de criminales a través del ADN”



TÉCNICAS PARA IDENTIFICAR MARCADORES DE ADN

Existen varias técnicas para identificar marcadores de ADN, las que se pueden agrupar en tres categorías:

- Hibridación tipo Southern,
- Reacción de polimerización en cadena (PCR) y
- Combinación PCR o sus productos de ADN con la hibridación tipo Southern.

La hibridación tipo Southern explora las variaciones en la longitud o tamaño de los fragmentos de ADN ocasionadas por la restricción del genoma mediada por una enzima particular (endonucleasa).

Dentro de esta técnica se encuentran los marcadores RFLP (polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción) y los VNTR (secuencias adyacentes que se repiten en número variable).

La técnica de PCR, o reacción en cadena de la polimerasa, es una tecnología utilizada para multiplicar (sintetizar) in vitro fragmentos específicos de ADN con la finalidad de detectar una secuencia o gen de interés en el genoma del individuo en estudio.

Dentro de esta metodología se encuentran los marcadores llamados RAPD (ADN polimórfico amplificado al azar), PCR iniciada con microsatélites (MP-PCR), AFLP (polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados) y DAF (amplificación de huellas del ADN), entre otros.

Finalmente, dentro de las metodologías que combinan la PCR o sus productos de ADN más la hibridación tipo Southern, están los RAHM y RAMPO (amplificación aleatoria del polimorfismo de microsatélites).²³



POLIMORFISMOS

La determinación de la huella genética de ADN se basa en el polimorfismo de secuencias que se da en el genoma humano (y en el genoma de todos los organismos).

Los polimorfismos de secuencia consisten en pequeñas diferencias secuenciales (generalmente cambios de pares de bases únicos) que se dan entre individuos una vez cada pocos cientos de pares de bases promedio. Cada diferencia con respecto al genoma humano consenso se presenta normalmente en sólo una pequeña parte de la población, pero todos los individuos muestran alguna diferencia. Algunos de los cambios de secuencia afectan a dianas de restricción, originando diferencias en los tamaños de ciertos fragmentos de ADN producidos por digestión con una enzima de restricción, en individuos distintos.

Los primeros polimorfismos de ADN utilizados con fines forenses fueron polimorfismos en ADN minisatélite, que se identificaban como RFLPs (polimorfismos basados en la longitud de los fragmentos de restricción). En 1985, Jeffreys y col. basándose en que la región hipervariable de la mioglobina estaba flanqueada por una repetición directa de 9 bp característica de la duplicación de secuencias blanco generada por elementos transponibles, sugirieron que algunas regiones hipervariables podían estar relacionadas por transposición. Posteriores experimentos no confirmaron esta hipótesis, pero se pudo observar que la homología parcial existente entre las secuencias de varias regiones hipervariables daba lugar, hibridando en condiciones poco rigurosas la secuencia de 33 bp con ADN genómico, a la aparición de un complejo patrón de bandas para cada individuo. Jeffreys y col. consideraron que estos patrones serían prácticamente específicos para cada individuo, y los denominaron "DNA fingerprints" (huellas genéticas). Las bandas que aparecen en un patrón de



"DNA fingerprint" (huella genética) corresponden a distintos loci hipervariables o no, con secuencias relacionadas. En la práctica esta metodología tuvo una escasa utilización pues era difícil la estandarización y creación de bases de datos y el uso de estas sondas originaba serios problemas de interpretación bioestadística de los resultados. Trabajando sobre el fenómeno de la homología parcial, Nakamura, realizó un estudio sistemático utilizando oligonucleótidos con las secuencias conocidas de varios loci hipervariables como sondas para analizar una librería genómica humana. Una vez hubieron seleccionado los clones positivos (que hibridaban con alguno de los oligonucleótidos), usaron estos clones como sondas en un análisis por RFLP en individuos elegidos al azar. De esta manera, el grupo de Nakamura fue capaz de caracterizar unos 200 loci hipervariables, que denominaron VNTRs. El uso de sondas multilocus fue pronto sustituido mediante la determinación de loci VNTR individuales mediante sondas de locus único (SLPs, "single locus probes") que, con condiciones de hibridación rigurosas, permiten la detección de locus minisatélites únicos. Este tipo de sondas aún se utiliza con frecuencia, fundamentalmente en investigaciones de la paternidad pues detectan loci minisatélites enormemente informativos. El uso de las SLPs para detectar polimorfismos minisatélites presentó, algunos problemas iniciales, que llevaron a la necesidad lógica de una estandarización obligada de la prueba. Para empezar son cientos los polimorfismos de ADN minisatélite descritos que pueden ser detectados con decenas de enzimas de restricción diferentes. Si cada laboratorio utilizase sus propias sondas y enzimas sería enormemente difícil poder comprobar un resultado en otro laboratorio y se imposibilitaría una necesidad legal básica: la realización de contrapericias o segundas opiniones. En Europa, se estandarizó el uso de HinfI como enzima de restricción y se validaron varias sondas SLPs de las que las más utilizadas son las denominadas YNH24, MS43a y MS31. Reconocen estas sondas loci minisatélite de extraordinaria variabilidad que se puede medir por el número de heterocigotos que es



superior al 90% en todos los minisatélites que se usan. Un problema del uso de SLPs es que los individuos no pueden ser caracterizados exactamente por el número de repeticiones en el locus minisatélite y solamente lo pueden ser por el tamaño de los fragmentos de restricción, tamaño que puede variar según la metodología utilizada. Ello obligó a una estandarización muy rigurosa de la misma. Por otra parte los alelos de los polimorfismos detectados por SLPs no pueden ser separados en clases discretas y la estima de frecuencias se hace más compleja.



TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE ADN MÁS USADAS EN ODONTOLOGÍA FORENSE

La aplicación de la huella del ADN en odontología forense comprenden los casos donde el ADN no estaba disponible en ninguna otra parte del cuerpo como en el caso de grandes catástrofes como un accidente de avión, cuerpos carbonizados, cuerpos en descomposición y derrumbe de un edificio. Algunos casos interesantes reportados en la literatura se mencionan a continuación.

Un caso muy interesante fue presentado por Sweet y Sweet ⁴ (1995) en el que una víctima fue incinerada, su cuerpo estaba carbonizado por completo y la extracción de ADN por el método usual no era posible. Sin embargo, su cuerpo fue identificado después de una extracción de ADN en un tercer molar no erupcionado.

El tsunami del Océano Índico del 26 de diciembre de 2004 creó grandes desafíos para la identificación forense de los cadáveres. Perfiles de ADN son útiles en la identificación de los cuerpos donde otros métodos dentales han sido infructuosos.⁴

HIBRIDACIÓN TIPO SOUTHERN

Es una técnica simple y fácil de realizar que detecta fragmentos de ADN procedentes de la digestión del ADN genómico con endonucleasas de restricción se separan según su tamaño mediante electroforesis en gel de agarosa.

Los fragmentos de ADN se desnaturalizan por inmersión en gel álcali y, a continuación se transfieren a una membrana de nilón para reproducir la distribución de fragmentos en gel, después la membrana se sumerge en una

en una disolución que contenga una sonda de ADN marcada con radioactividad.

La sonda de una secuencia que se repita varias veces en el genoma humano generalmente identifica unos pocos de los millares de fragmentos de ADN generados cuando el genoma humano es digerido con una endonucleasa de restricción. Los fragmentos que se hibridan con la sonda se revelan por autorradiografía.²⁴

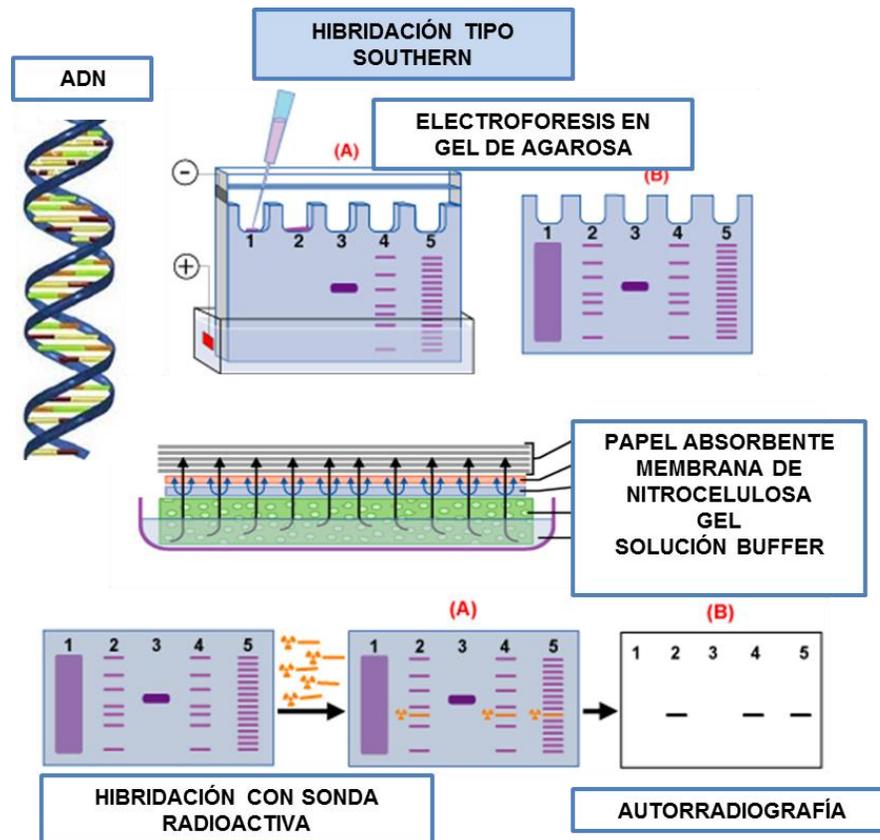


Figura 8. Transferencia Southern: detección de fragmentos de ADN mediante electroforesis en gel de agarosa.

Imagen tomada de: <http://bigenmol.blogspot.mx/2008/08/transferencia-de-dna-membranas.html>

SNP (*single-nucleotide polymorphism*) POLIMORFISMO DE NUCLEÓTIPO SIMPLE

La tecnología de detección del SNP se utilizan para buscar nuevos polimorfismos y para determinar el alelo (s) de un polimorfismo conocido en



secuencias diana. Estas han evolucionado a partir del trabajo intensivo, el consumo de tiempo, y procesos caros para algunos de los más altamente métodos automatizados, eficientes y relativamente baratos. Local, objetivo, el descubrimiento del SNP se basa principalmente en la secuenciación directa del ADN o en la desnaturalización cromatografía líquida de alta resolución. Un SNP puede visualizarse en un Southern blot como un polimorfismo de longitudes de fragmentos de restricción (RFLP), si la diferencia en los dos alelos corresponde a una diferencia en el sitio de reconocimiento de una enzima de restricción.²⁵

RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) POLIMORFISMOS DE LONGITUD DE FRAGMENTOS DE RESTRICCIÓN

Los RFLP son variaciones de las longitudes de los fragmentos de ADN producidos por el corte de moléculas de ADN con endonucleasas de restricción específicas. Como las enzimas de restricción cortan el ADN de una manera de secuencia específica cada molécula homóloga de ADN proviene de cada célula de un organismo totalmente (todos los genes y todas las secuencias de ADN) homocigótico será cortada en exactamente los mismos sitios. Esto es lo que permite aislar grandes cantidades de fragmentos específicos de ADN para subclonación y secuenciación.

POLIMORFISMO EN EL NÚMERO DE REPETICIONES EN TÁNDEM (VNTR)

Este polimorfismo surge de la presencia de ADN repetitivo no codificante en eucariotas, concretamente de repeticiones en tándem (ADN satélite, minisatélite y microsatélite). El polimorfismo, entre individuos y entre los dos alelos de un mismo individuo, surge porque el número de unidades de repetición que forman cada bloque no es siempre el mismo, la razón por la



que varíe con tanta facilidad el número de repeticiones está en la posibilidad de recombinación entre ellas con sobrecruzamientos desiguales.²¹

La digestión se lleva a cabo mediante el aislamiento y la cuantificación de ADN, que se corta en fragmentos con la ayuda de enzimas especiales conocidas como endonucleasas de restricción. Estas enzimas funcionan como tijeras moleculares, se escinde el ADN en sitios específicos, cada uno reconoce una secuencia particular. Estas tijeras de ADN se eligieron específicamente para cortar el ADN en sitios que no se encontraron dentro de la secuencia de repeticiones en tándem en lugar de las regiones conservadas menos variables. Los fragmentos cortados contendrán un número variable de repeticiones en tándem (VNTR) de diferentes longitudes, mediante la producción de fragmentos de ADN de varios tamaños.

La prueba de VNTR, que puede presentar pequeñas secuencias repetidas de tamaño intermedio (15-65 pares de base), se utiliza raramente en los análisis forenses debido al ADN de mala calidad que proporciona este método.

PCR (*Polymerase Chain Reaction*) REACCIÓN EN CADENA DE LA POLIMERASA

La reacción en cadena de la polimerasa es un procedimiento eficaz que permite amplificar una secuencia seleccionada de ADN de un genoma un millón de veces o más, puede usarse para clonar una secuencia determinada de ADN *in vitro* sin tener que usar células vivas durante el proceso de clonación; sin embargo el procedimiento solo puede aplicarse cuando se conoce la secuencia de nucleótidos de al menos un segmento corto de ADN a cada lado de la región de interés.

El procedimiento de la PCR implica utilizar oligonucleótidos sintéticos complementarios de las secuencias conocidas que se extienden por la región



de interés para cebar la amplificación enzimática de este segmento de ADN en el tubo de ensayo. Este procedimiento incluye tres pasos, cada uno de los cuales se repite muchas veces para producir ciclos de amplificación.

1. Desnaturalización: calentamiento para la separación de las dos hebras de ADN, mediante una incubación breve (30-120s) a una temperatura entre 68 y 97°C, que debe ser superior a la fusión (T_m) de la región de ADN que se quiere amplificar.
2. Hibridación o templado: enfriamiento rápido por debajo de T_m de forma que se permite la hibridación de las hebras sencillas del ADN de interés con los oligos cebadores. Generalmente se usan temperaturas de 37 a 65°C que se mantienen entre 10 y 120s.
3. Elongación o replicación: etapa de amplificación propiamente dicha (72-75°C, 1 a 3 min) en la que el ADN polimerasa termoestable elonga los cebadores, empleando como molde ambas hebras originales. La replicación transcurre en dirección 5' a 3' a partir del extremo 3' OH de cada cebador, empleando como sustrato los cuatro dNTPs, hasta terminar la lectura del molde o hasta que se comience una nueva etapa de desnaturalización.

Este ciclo se repite muchas veces hasta que se logra el nivel deseado de amplificación.

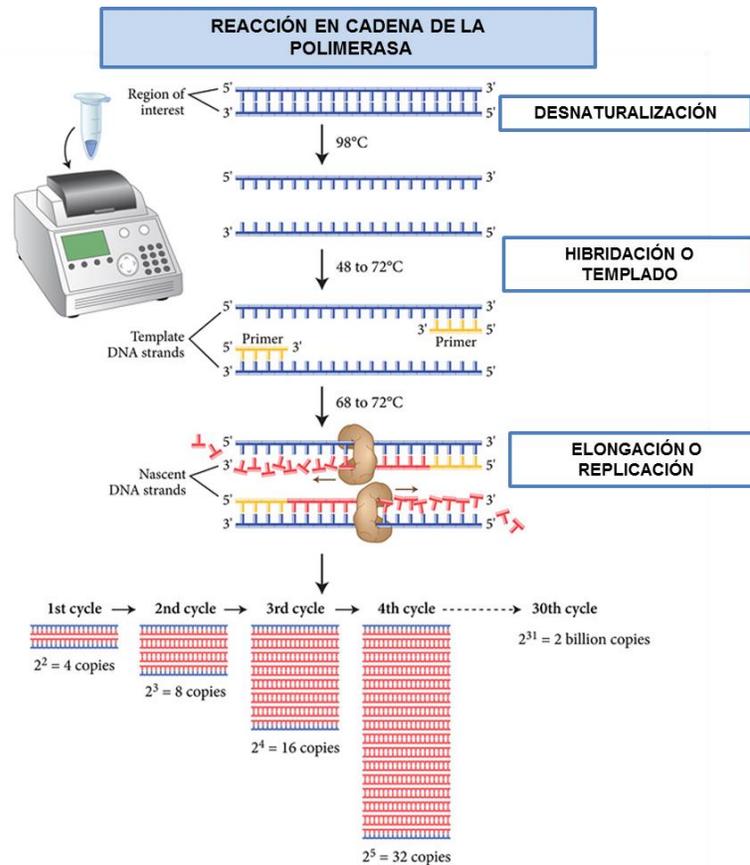


Figura 10. Proceso de la Reacción en Cadena de la Polimerasa: uso de oligonucleótidos sintéticos complementarios de secuencias conocidas que se extienden por la región de interés para cebar la amplificación enzimática de este segmento de ADN.
 Imagen tomada de: "DNA Amplification & PCR"

En un principio la PCR se realizaba con el fragmento Klenow de la ADN polimerasa I de *E.coli* como la duplicadora. Como esta enzima es inactivada por el calor durante el paso de desnaturalización, se tenía que agregar nueva enzima en el paso 3 de cada ciclo. La amplificación de ADN mediante la PCR mejoró notablemente con el descubrimiento de una ADN polimerasa estable al calor en la bacteria termófila *Thermus aquaticus*. Esta polimerasa denominada Taq polimerasa (por el nombre del género y la especie de la bacteria de la cual se aisló), permanece activa durante el paso de la desnaturalización en cada ciclo de amplificación.

El ADN encontrado puede ser genómico (que se encuentra en el núcleo) y ADNmt (en la mitocondria).

Una doble hélice de ADN genera dos dobles hélices después de un ciclo de duplicación, 4 después de 2 ciclos, 8 después de 3 ciclos, 16 después de 4 ciclos, 1024 después de 10 ciclos y así sucesivamente.

Los dientes son una excelente fuente de origen genómico y mitocondrial porque los análisis de PCR permiten comparar las muestras post mortem a las muestras recogidas antemortem o ADN parental. La principal ventaja de ADNmt es el alto número de copias por célula (de cientos a miles de organelos).⁴

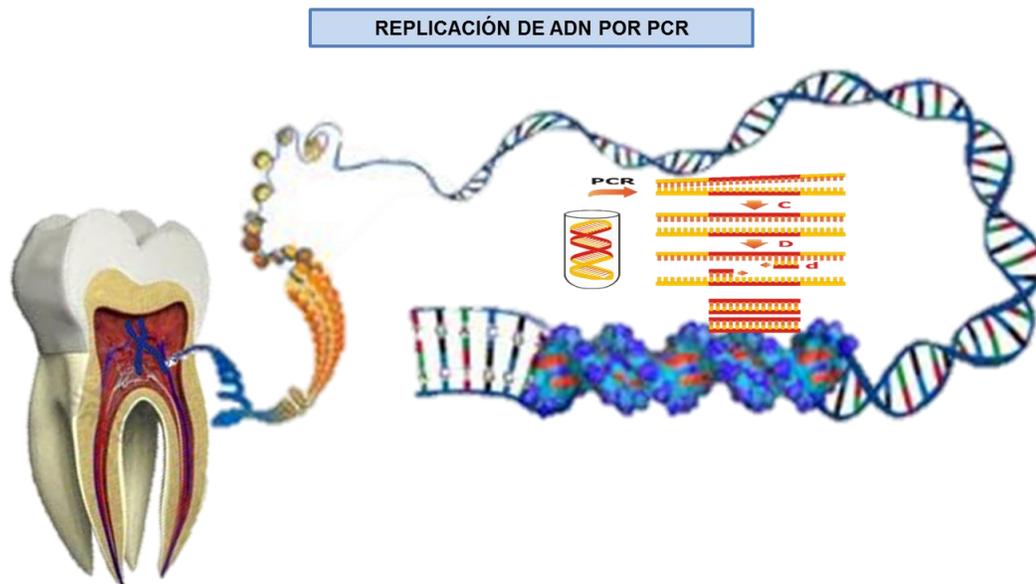


Figura 9. Replicación de ADN por PCR: ADN extraído de la pulpa dental para la amplificación con PCR, el esquema muestra los diferentes ciclos de este proceso (desnaturalización, hibridación y elongación)

Imagen tomada de "Dental DNA fingerprinting in identification of human remains"⁵

El sistema mejor desarrollado para el análisis forense mediante PCR es el HLA-DQ α así como en la determinación de paternidad y estudios antropológicos debido a que comparado con otros marcadores es el menos .



El segundo exón del gen DQ α es altamente variable. La amplificación de un fragmento de 242 pares de bases correspondientes a este exón ha permitido evidenciar 8 alelos de los cuales 6 son los más comunes. Los 6 alelos definen 21 genotipos con frecuencias que van de 0,005 a 0,15 y con un poder de discriminación del 0,93. Otro sistema es el del locus DP β , para el que se han identificado 21 alelos en el segundo exón del gen. Otro sistema altamente polimórfico es el que se encuentra en la región D-loop del ADN mitocondrial humano.²⁶

Análisis STR (short tandem repeat) Pequeñas repeticiones en tándem

En las muestras forenses, el estudio del ADN (genómico y mitocondrial) se realiza generalmente por el análisis de STR, que se puede definir como regiones hipervariables de ADN que presentan repeticiones consecutivas de fragmentos que tienen 2-7 par de bases. La Oficina Federal de Investigaciones ha elegido a 13 locus STR específicos para servir como el estándar para el sistema de Índice Combinado de ADN. STR se utilizó en 45 muestras de ADN de dientes obtenidas de cadáveres no identificados enterrados en 1995 y exhumados en 2000, la pulpa mostró fuertes señales de amplificación de PCR. La prueba STR se utiliza para casos forenses, haciendo una revolución en la identificación humana, y las pruebas de paternidad.^{13, 18, 19}

ANÁLISIS DEL CROMOSOMA Y

El cromosoma Y se transmite directamente de padre a hijo, por lo que el análisis de marcadores genéticos en el cromosoma Y es especialmente útil para el seguimiento de las relaciones entre los hombres, o para el análisis de muestras biológicas que implica múltiples colaboradores masculinos. Desde principios de los años 90 el campo forense de análisis del cromosoma Y se ha desarrollado con éxito para convertirse en un lugar común en los laboratorios que trabajan en el estudio de crimen en todo el mundo. En el



análisis de Y-STR, las regiones específicas de ADN en el cromosoma Y masculino se dirigen y se copia muchas veces. El sistema de análisis del ADN Y-STR se dirige selectivamente al ADN masculino, incluso en presencia de grandes cantidades de ADN femenino. El Servicio de Ciencias Forenses, encabezado por el Dr. Gill, ha desarrollado e implementado un número escaso de copias de ADN a finales de 1990. ESR Científico Principal, el Dr. John Buckleton, trabajó con el Dr. Gill y otros en el Reino Unido Servicio de Ciencias Forenses para establecer la técnica y el desarrollo de directrices de interpretación. Determinación de sexos de todas las muestras recogidas recientemente en 24 horas y después de 1 mes de la extracción, respectivamente, dio resultado 100%. Sin embargo, se ha observado que la técnica de PCR no es un método eficaz para la determinación del sexo después de 6 meses post-extracción.

AMPFLP: POLIMORFISMO DE LONGITUD DE FRAGMENTOS AMPLIFICADOS

Esta técnica es más rápida que el análisis de RFLP y utiliza PCR para amplificar las muestras de ADN. Análisis AmpFLP puede ser altamente automatizado, y permite fácilmente la creación de árboles filogenéticos basados en la comparación de muestras individuales de ADN. Debido a su costo relativamente bajo y la facilidad de instalación y operación, AmpFLP sigue siendo popular en los países de bajos ingresos.

ANÁLISIS DEL ADN_{mt} (ADN MITOCONDRIAL)

El ADN_{mt} difiere del ADN nuclear en su ubicación, su cantidad en la célula, su modo de herencia y su secuencia. El análisis del ADN_{mt} puede ser usado para examinar el ADN de las muestras que no pueden ser analizadas por



RFLP o STR. El análisis del ADNmt utiliza ADN extraído de otro organelo celular llamado mitocondria. Mientras que las mayores muestras biológicas que carecen de material nucleado celular, tal como el cabello, los huesos y los dientes, no se pueden analizar con STR y RFLP, pueden ser analizados con ADNmt. En la investigación de los casos que han quedado sin resolver desde hace muchos años, el ADNmt es extremadamente valioso. Es mejor que el genoma nuclear a medida que pasa a través del linaje materno y tiene 100-1000 copias de ADNmt. Este análisis se puede utilizar en el diente especialmente con la dentina y el cemento que contienen suficiente ADN para permitir la amplificación del ADNmt, que puede ser usado en la identificación humana. Silva (2007) indicó que el análisis del ADNmt para fines forenses se limita a tejidos antiguos, tales como los huesos, el pelo y los dientes, en la que el ADN nuclear no puede ser analizado.

IDENTIFICACIÓN DE SEXO

Las proteínas del esmalte que se requieren para el desarrollo normal del esmalte dental son codificadas por los genes de amelogenina. El gen amelogenina es un gen de copia única, que tiene 106 pb de X y 112 pb en Y; homólogos de los cuales se encuentran en Xp22.1-Xp22.3 y Yp11,2. La variación de longitud en el gen X-Y homóloga amelogenina (AMEL-X y AMEL-Y), se utilizan para la identificación de género. La pulpa dental es un valioso recurso de ADN para la determinación del sexo. Komuro T et al han identificado el sexo de la pulpa dental ADN a través del análisis de los picos de locus X y Y por electroforesis capilar en gel (CGE).²⁰

Las pruebas que emplean los genes AMEL son rápidas, más precisas, y requieren una cantidad pequeña muestra.

Sin embargo, algunos estudios han arrojado dudas sobre la fiabilidad del análisis del gen AMEL. Hay informes de pérdida del alelo del gen de amelogenina X en hombres, debido al polimorfismo de sitios de unión del



cebador. Esto da lugar a los hombres que se identifican como mujeres erróneamente debido a un perfil AMEL similar. La frecuencia global de este tipo de errores en la identificación de género habían sido tan bajas como 0,006% en varones y 0,015% en las mujeres. Sin embargo, los errores se observaron a ser mayor en los estudios de la India (03.02 a 03.06%) y también en Malasia (0,6-0,88%) y los grupos austriacos (0,018%).

El estándar de oro para la determinación del sexo es Y -STR y SRY y las pruebas de estas pruebas tienen que ser realizadas en conjunción con la prueba AMEL.

Un estudio reciente ha utilizado las células epiteliales exfoliadas recuperadas de dentaduras acrílicas para extraer el ADN, realizando análisis de SRY para la determinación del sexo, las muestras tuvieron éxito en la detección y cuantificación de ADN. También se examinaron las condiciones que podrían dar resultados contradictorios, como en trastornos cromosómicos (síndrome de Klinefelter, síndrome de Turner, síndrome XYY, y otros), el quimerismo (debido a trasplante de médula ósea), y microquimerismo, por ejemplo, en el embarazo (feto masculino), y trasplantes de órganos . Se recomienda el empleo de técnicas de SRY debe hacerse la prueba de fiabilidad en todas las condiciones antes mencionadas.⁶



CONCLUSIÓN

La odontología forense es un auxiliar en la medicina forense ya que tiene un gran impacto en el ámbito de la justicia, por el hecho de que a través de esta especialidad se puede determinar la identidad de humana. Además el campo de acción involucra valorar lesiones que comprometan a la cavidad bucal e intervenir en casos donde se deba analizar la responsabilidad profesional por prestación de servicios odontológicos, delitos de índole sexual, delitos por homicidio, entre otros.

Además estas técnicas tienen aplicación en situaciones en las que no se cuenten con datos que permitan realizar las técnicas comunes, debido a que no existen datos ante mortem para comparar y lograr la identificación humana. La correcta valoración de datos bucodentales también podrán determinar el sexo, estimar la edad, estimar el probable lugar de origen, la probable posición socioeconómica, la probable actividad laboral. Es por eso que es importante conocer las técnicas para una correcta aplicación de las mismas ya que dependiendo el caso será la técnica a utilizar, por ejemplo cuando no se cuenta con datos ante mortem para comparar, o cuando el estado del cuerpo imposibilita la realización de las técnicas comunes.

En la investigación criminal, el aporte de la odontología reviste vital importancia puesto que tras la valoración de elementos en los que se deba analizar al aparato estomatognático, ofrecen dispositivos fundamentales para lograr determinar la identidad de una persona que ha perdido su individualidad.

No esta demás el mencionar que los aportes de las técnicas forenses odontológicas es de vital ayuda en la resolución de casos como ya lo he mencionado. Sin embargo, llegó a la conclusión que el campo de investigación es muy amplio y falta mucho por explorar.



BIBLIOGRAFIA

1. Saxena S, Preeti S, Nitin G. Experimental studies of forensic odontology to aid in the identification process. *Journal of Forensic Dental Sciences* 2010; 2: 69-76.
2. Lozano O.A. *Estomatología Forense*. Cd de México: Editorial Trillas, 2007. Pp.200
3. Moya V, Roldán B, Sánchez J.A. *Odontología Legal y Forense*. Cd de España: Editorial Masson, 1994. Pp. 396.
4. Correa A.I. *Identificación forense*. Cd de México: Editorial Trillas, 1990.
5. Castilla J. *Odontología forense*. Barcelona, Editorial Salvat, 1991. Pp 1121-30.
6. Correa A.I. *Estomatología forense*. Cd de México: Editorial Trillas, 1990. Pp 91.
7. Singaraju S, Sharada P. Age estimation using pulp/tooth area ratio: A digital image analysis. *Journal of Forensic Dental Sciences* 2009; 1:37-41
8. McGinvey J, Fixott RH. Computer assisted dental identification. *Dental Clinics of North America* 2001; 45:309-325.
9. Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, Sotheim T. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sciences International* 1995; 74:175-85
10. Cortez M, Hidalgo E, Mendoza J, Martínez A, Ocampo M, Rivero E, Sotelo A. Rugoscopia como herramienta indispensable en la identificación humana. En: *Memorias del XVIII Coloquio de Investigación Estudiantil del Módulo de Laboratorio II de la Carrera de Cirujano Dentista de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala* 2007.



11. Solorzano, E. Study of characteristics of palatal rugae individualizing. Case: Fire department of Los Andes University Mérida - Venezuela Cuad Med Forense 2010; 16:199-204.
12. Labajo M.E. Marcas de mordidas: últimas técnicas de análisis. Revista de la escuela de Medicina Legal 2006: 47-53.
13. Gardner E.J, Simmons M.J, Snustand D.P. Principios de Genética. Cd de México: Editorial: Limusa Wiley, 2007. Pp.1190.
14. Santos JL. Epidemiología Genética. Chile: Editorial: Mediterráneo, 2011. Pp. 211.
15. Hutchison CA, Newbold J E, Potter SS, Edgell MH. Maternal inheritance of mammalian mitochondrial DNA. Nature 1980; 251: 536-538.
16. Schwartz T R, Schwartz E A, Mieszerski L, McNally L, Kobilinsky L. Characterization of deoxyribonucleic acid (DNA) obtained from teeth subjected to various environmental conditions Journal of Forensic Dental Sciences 1991; 36: 979-990.
17. Kapali S, Townsed G, Richards L, Parish T. Palatal rugae patterns in Australian Aborigines and Caucasians. Aust Dent J 1997; 4: 129,133.
18. Girish KL, Rahman F, Tippu S. Dental DNA fingerprinting in identification of human remains. Journal of Forensic Dental Sciences 2010; 2: 63-68.
19. Muruganandhan J, Sivakumar G. Practical aspects of DNA- based forensic studies in dentistry. Journal of Forensic Dental Sciences 2011; 3: 38-45.
20. Datta, P. Sood, S. Rastogi, P. Bhargava, K. Bhargava, D. Yadav, M. DNA Profiling in Forensic Dentistry. Journal of Indian Academic forensic medicine 2012; 2: 156-159.
21. Cabrera, JL. Herráez, A. Biología Molecular e Ingeniería Genética. España: Editorial Elsevier Science, 2002. Pp. 469



22. Carracedo, A. La variabilidad genética de los micro y minisatélites y su aplicación en medicina legal. España: Editorial Universidade da Coruña, 1996.Pp. 63-74.
23. Budowle B and Angela vanDaal. 2009. Extracting evidence from forensic DNA analyses: future molecular biology directions. BioTechniques 2009; 46:339-350.
24. Nelson D, Cox M. Lehninger Principios de Bioquímica. Barcelona: Editorial Omega, 2009. Pp. 1158.
25. Passarge E. Genética, Texto y Atlas. Cd de México: Editorial: Panamericana, 2001. Pp.457.
26. Nelson D, Cox M. Lehninger Principios de Bioquímica. Barcelona: Editorial Omega, 2009. Pp. 1158.
27. Santos JL. Epidemiología Genética. Chile: Editorial: Mediterráneo, 2011. Pp. 211.

