



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

**DESARROLLO DE NUEVAS HERRAMIENTAS
INFORMÁTICAS PARA EL ANÁLISIS DE HUELLAS
POR MORDEDURAS HUMANAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO: MEDICINA CLÍNICA Y SALUD
PÚBLICA**

Autora: Ana Belén Molina García

2017

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autora: Ana Belén Molina García
ISBN: 978-84-9163-379-2
URI: <http://hdl.handle.net/10481/47734>

El doctorando / The *doctoral candidate* [ANA BELÉN MOLINA GARCÍA] y los directores de la tesis / and the thesis supervisor/s: [STELLA MARTÍN DE LAS HERAS Y JUAN CARLOS TORRES CANTERO]

Garantizamos, al firmar esta tesis doctoral, que el trabajo ha sido realizado por el doctorando bajo la dirección de los directores de la tesis y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo, se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

/

Guarantee, by signing this doctoral thesis, that the work has been done by the doctoral candidate under the direction of the thesis supervisor/s and, as far as our knowledge reaches, in the performance of the work, the rights of other authors to be cited (when their results or publications have been used) have been respected.

Lugar y fecha / Place and date:

En Granada a 7 de junio de 2017

Director/es de la Tesis / Thesis supervisor/s;

Doctorando / Doctoral candidate:



Firma / Signed

Firma / Signed

Parte de estos resultados han sido presentados en los siguientes congresos:

Congreso Internacional *International Academy of Legal Medicine, Intersocietal Symposium* celebrado en Venecia, 21-24 de Junio de 2016 por la *International Academy of Legal Medicine*:

Título; "Geometric representation of bite marks in human skin"

Autores; Martin-de-las-Heras S, Ramos B, Molina A, Torres JC.

Tipo de participación; Póster.

Publicación (ISSN/ISBN): IALM, Intersocietal Symposium P5 Medicine & Justice.

Abstract Book.

Pags. 455.

Congreso *VIII Reunión Científica de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense* celebrado en La Granja, Segovia, 16 y 17 de Septiembre de 2016 por la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense (AEAOF):

Título; "Desarrollo de un nuevo método para representar geoméricamente las lesiones por mordeduras humanas"

Autores; Martin-de-las-Heras S, Ramos B, Torres JC, Molina A.

Tipo de participación; Comunicación oral

Asimismo, parte de los resultados han sido publicados en la siguiente revista científica internacional:

Journal of Forensic Sciences.

Molina A, Martin-de-las-Heras S. Accuracy of 3D scanners in tooth mark analysis. *J Forensic Sci.* 2015;60(1):222-6. Epub 2014 Nov 12.

Por otro lado, parte de los resultados se encuentran actualmente en prensa para su publicación en la siguiente revista:

Australian Journal of Forensic Sciences

Título: "A new method to geometrically represent bite marks in human skin for comparison with the suspected dentition"

Autores: Ramos B, Torres JC, Molina A, Martin-de-las-Heras S.

La doctoranda autora de la presente Tesis Doctoral ha realizado como coautora los siguientes trabajos de investigación:

Publicación en la revista científica internacional:

Australian Journal of Forensic Sciences

Martin-de-las-Heras S, Del-Rey M, Molina A, Rubio L. Spectrophotometric dental color measurement to assess age in living adults. Aust J Forensic Sci. 2016:1-8.

Presentación en el congreso *International Academy of Legal Medicine, Intersocietal Symposium* celebrado en Venecia, 21-24 de Junio de 2016 por la *International Academy of Legal Medicine*:

Título; "Dental age estimation in adults using coronal pulp/crown volume ratio obtained from cone-beam CT"

Autores; Martin-de-las-Heras S, Romero E, Martinez N, Molina A.

Tipo de participación; Póster

Publicación (ISSN/ISBN): (ISSN/ISBN): IALM, Intersocietal Symposium P5
Medicine & Justice. Abstract Book.

Pags. 454.

Presentación en el congreso *VII Reunión Científica de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense* celebrado en Toledo, 6 y 7 de Noviembre de 2015 por la *Asociación Española de Antropología y Odontología Forense (AEAOF)*:

Título; "Aplicación de tecnología radiográfica 3D para la estimación de la edad con fines forenses"

Autores; Martin-de-las-Heras S, Romero EM, Martínez N, Molina A.

Tipo de participación; Comunicación oral.

En primer lugar quiero dar mi agradecimiento a la profesora Stella Martín de las Heras, por su dedicación y esfuerzo en este proyecto y por haberme animado y guiado en todo momento. Este trabajo no habría podido llevarse a cabo sin su ayuda e incansable espíritu investigador. Mi agradecimiento y más sincera admiración.

Quiero agradecer al profesor Juan Carlos Torres Cantero del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la universidad de Granada, así como a la ingeniera Beatriz Ramos Ontiveros, su trabajo y gran aportación para la realización del proyecto, ya que sin ellos no habría sido posible desarrollar el software Biteprint©.

RESUMEN

El interés forense de las mordeduras humanas consiste en la posibilidad de identificar a la persona que la produjo. El análisis de las marcas por mordedura se basa en la unicidad de la dentición y en que dicha unicidad puede quedar registrada en la piel u objetos. Sin embargo, el acto de morder es un proceso dinámico en el que intervienen elementos móviles como son el maxilar superior, la mandíbula y la reacción de la persona que está siendo mordida. Además, las marcas por mordedura pueden verse alteradas por la localización anatómica y la elasticidad de la piel. La complejidad del análisis de las mordeduras enfatiza la necesidad de desarrollar técnicas que permitan el correcto estudio de las mismas. El análisis del componente tridimensional, es decir, las indentaciones en las lesiones por mordedura en la piel humana tiene un alto valor forense, pero con poca frecuencia pueden ser encontradas durante los exámenes forenses. Por este motivo, se necesitan herramientas adicionales para analizar las fotografías de los hematomas causados por una mordedura humana.

Actualmente, los tribunales de justicia buscan métodos de análisis y comparación de las mordeduras cuantitativos, más que el análisis descriptivo simple de las mismas. Además, inquieren técnicas con un bajo componente subjetivo que permitan un análisis más objetivo de las características individualizadoras de las mordeduras. Por todas estas razones, existe la necesidad de desarrollar nuevas técnicas que permitan el reconocimiento automático de las marcas dentales en las fotografías de las mordeduras en la piel.

Anteriormente, los modelos dentales de la persona sospechosa de realizar la mordedura eran analizados con tecnología 2D, con la consiguiente pérdida de información, dada la complejidad y el componente tridimensional del acto de morder. En nuestra investigación hemos validado la tecnología tridimensional láser para su uso en el análisis de las mordeduras humanas, de este modo hemos mejorado el procedimiento del registro de modelos dentales y de la huella dental con una técnica tridimensional que conserva todas las características individualizadoras de los mismos.

Hasta el presente estudio, la comparación de los patrones de mordida poseía un importante componente subjetivo basándose en la superposición de los mismos. En nuestro trabajo de investigación, como resultado de la colaboración del Departamento de Medicina Legal y Forense de la Universidad de Granada y el Departamento de Sistemas y Lenguajes Informáticos de la Escuela Superior Técnica de Ingeniería Informática de la Universidad de Granada, hemos desarrollado un nuevo software, Biteprint©. El nuevo programa permite la identificación semiautomática de las marcas dentales de fotografías de las mordeduras humanas en la piel, minimizando la subjetividad del proceso. Biteprint© permite calcular de forma cuantitativa parámetros dentales que permiten caracterizar a un individuo (por ejemplo, la distancia intercanina, la rotación, la excentricidad, etc.). Además, el software que hemos desarrollado, representa los bordes incisales de los modelos dentales como un conjunto de coeficientes geométricos haciendo del procedimiento de análisis de las marcas por mordeduras un método mensurable y cuantificable.

El nuevo software que hemos desarrollado en el presente trabajo de investigación, BitePrint©, aproxima cada marca dental a una elipse y el arco dental a una semicircunferencia. El usuario selecciona inicialmente la anchura mesio-distal y el grosor incisal en la marca por mordedura de cada diente. El software muestra una elipse inicial con estos dos ejes y ajusta automáticamente la elipse informatizando la imagen binaria del área y ejecutando un algoritmo genético. El arco dental se calcula ajustando una circunferencia con un mínimo de tres elipses no alineadas. El software también puede calcular otros parámetros tales como la distancia intercanina, la rotación, la excentricidad, la posición angular y la distancia a la arcada de cada marca dental, permitiendo la identificación de la marca por mordedura. BitePrint© también puede trabajar con imágenes binarias obtenidas de los modelos dentales 3D con el software DentalPrint© (2004, Universidad de Granada, Departamento de Medicina Legal y Odontología Forense, Granada).

Por lo tanto, BitePrint© representa la mordedura como un conjunto de coeficientes geométricos y es capaz de comparar la fotografía de una marca por

mordedura y el patrón de la mordedura del molde dental 3D con un proceso mensurable y semiautomático.

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1. INTERÉS FORENSE DE LAS MARCAS POR MORDEDURA	15
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MARCAS POR MORDEDURA HUMANA: CARACTERÍSTICAS DE CLASE E INDIVIDUALES.....	17
3. PATRONES DE LAS MARCAS POR MORDEDURA HUMANAS Y VARIACIONES DE LOS MISMOS.....	22
4. EPIDEMIOLOGÍA Y PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LAS MARCAS POR MORDEDURA HUMANAS.....	32
4.1. Presentación de las marcas por mordedura humanas según delitos.....	34
4.1.1 Maltrato.....	35
4.1.1 Homicidio.....	36
5. UNICIDAD DE LAS MARCAS POR MORDEDURA HUMANAS.....	36
6. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURA HUMANAS.....	41
6.1. Recogida de información y muestras en la víctima y la lesión.....	41
6.1.1. Toma de muestras de saliva sobre la lesión.....	41
6.1.2. Toma de fotografías.....	42
6.1.3. Toma de impresiones de la lesión.....	43
6.1.4. Extirpación del tejido.....	44
6.2. Recogida de información y muestras en el sospechoso/agresor.....	44

6.3. Comparación de la huella por mordedura con las muestras del sospechoso.....	46
6.3.1 . Análisis métrico.....	46
6.3.2. Análisis comparativo de patrones.....	47
6.3.3. Técnicas complementarias.....	48
6.3.4. Importancia de las fotografías en el análisis de las marcas por mordedura humana.....	49
7. TÉCNICAS TRIDIMENSIONALES EN EL ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURA HUMANA.....	51
7.1. Tipos de escáneres 3D y sus características.....	54
8. FIABILIDAD EN LAS MARCAS POR MORDEDURAS HUMANAS.....	56
II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	59
III. MATERIAL Y MÉTODOS.....	63
1. VALIDACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER EN TRES DIMENSIONES.....	64
2. DESARROLLO DEL PROGRAMA BITEPRINT©.....	72
3. REPRODUCTIBILIDAD DEL SOFTWARE BITEPRINT©.....	79
4. VALIDACIÓN DEL SOFTWARE BITEPRINT©.....	82
IV. RESULTADOS.....	84
1. VALIDACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER EN TRES DIMENSIONES.....	85

2. SOFTWARE BITEPRINT©.....	92
2.1. Diseño del software Biteprint© y análisis de las marcas por mordedura con el nuevo programa.....	95
2.1.1. Procesamiento con Biteprint© de las huellas dentales de las imágenes de los modelos 3D obtenidas por DentalPrint ©.....	109
4. REPRODUCTIBILIDAD Y VALIDACIÓN DEL SOFTWARE BITEPRINT©.....	110
V. DISCUSIÓN.....	115
1. ANÁLISIS DE LOS ESCANERES 3D POR CONTACTO Y LÁSER EN EL ESTUDIO DE LAS HUELLAS POR MORDEDURA HUMANAS.....	116
2. ANÁLISIS DEL NUEVO SOFTWARE DESARROLLADO, BITEPRINT ©.....	119
VI. CONCLUSIONES.....	129
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	132

I. INTRODUCCIÓN

1. INTERÉS FORENSE DE LAS MARCAS POR MORDEDURA

Una marca por mordedura es una marca creada por los dientes, ya sean solos o en la combinación con otras estructuras orales (1, 2) como resultado de una alteración física en un sustrato causada por el contacto de los dientes, también puede definirse como un patrón representativo dejado en un objeto o tejido por las estructuras dentales de un animal o un humano (3, 4).

En 1990, Pierce, Strickland y Smith publicaron un artículo que describía un caso de 1870 en el que se vieron involucradas las marcas por mordeduras como evidencia judicial (5). Este es el primer caso descrito en América del Norte que incluyó el testimonio de un dentista en un caso de marcas por mordedura. El agresor fue acusado de asesinato al dejar marcas de mordeduras claramente visibles en los brazos de la que fuera su amante.

Las mordeduras se describen, generalmente, como una lesión elíptica o circular, siendo el tipo más común de marca por mordedura la contusión, presentando un patrón de arco doble (6, 7).

Las marcas por mordedura son creadas por la acción dinámica de los maxilares de un sujeto humano o animal sobre un sustrato, en el que quedan grabadas las huellas dentales, así como otras estructuras asociadas, en cualquier sustancia capaz de ser marcada por estas; piel de sujetos vivos o cadáveres, u objetos inanimados (8-22). La mordedura no siempre es una representación exacta de los dientes, depende del movimiento de la mandíbula y de la presión de la lengua y de los labios sobre los tejidos blandos. La mandíbula es móvil y da la fuerza a la mordida, el maxilar superior suele sostener y estirar la piel.

La identificación de la marca de la mordedura se basa en la unicidad de la dentición, la cual se utiliza para emparejar una marca por mordedura a un autor

sospechoso. Este emparejamiento se basa en una comparación de diente por diente y de arco a arco utilizando parámetros de tamaño, forma y alineación (23).

El análisis de las marcas por mordedura está basado en dos premisas. La primera es que la dentadura humana es única para cada individuo (24-29) y la segunda es que esas características individualizadoras pueden ser registradas con precisión en la piel o en objetos. Por ello, las marcas por mordedura han sido casi universalmente aceptadas en los tribunales de justicia (30). Sin embargo, existe una corriente crítica sobre ésta evidencia como un instrumento científico fiable en los procedimientos judiciales basándose en cierta naturaleza subjetiva de los análisis comparativos, además de cierta duda en cuanto a su fiabilidad por la mala interpretación del término de la singularidad de la dentición humana y un uso inapropiado en los tribunales (30-33). Cabe destacar, en este sentido, que el problema no reside tanto en la unicidad como en las características de la piel y hasta qué punto es capaz de registrar un patrón determinado.

No existe duda de que la boca presenta suficientes características individualizadoras que permiten la identificación humana. Las características individualizadoras y el alto número de combinaciones de éstas características presentes en la dentadura humana están determinadas, no solo por la posición de las piezas en la arcada dental y el tamaño de la misma, también por la presencia de tratamientos y restauraciones dentales, tipo de las mismas, ausencias dentales, etc. (34, 35). No existen dos bocas iguales, por lo que se considera una valiosa alternativa a la huella dactilar y la identificación del ADN en los exámenes forenses. De hecho, se ha estimado que la gran diversidad de características combinadas de forma diferente en una boca son comparables a la gran variedad de secuencias del ADN mitocondrial (35, 36).

Además de por las características intrínsecas de la dentadura, las mordeduras son importantes en el ámbito legal y forense para la identificación por la posibilidad de

demostrar el contacto del agresor con la víctima, ya que es posible obtener material genético de la propia lesión (21). Por otro lado, la presencia de éstas nos da una idea de la naturaleza violenta del contacto entre el mordedor y la persona mordida. En casos de abuso a menores o agresión sexual la presencia de marcas por mordedura puede ser decisiva cuando la defensa refiere lesiones discutiblemente accidentales o sexo consentido. Es decir, la presencia de una marca por mordedura en la piel indica una interacción violenta.

Los odontólogos forenses tienen el papel de recoger, analizar y conservar las huellas por mordedura (37). Además, deben ser adiestrados para una correcta recogida y un registro adecuado de las lesiones y el material (38), para que éstos no se vean alterados o, en el peor de los casos, no sean registrados imposibilitando una resolución del caso (39, 40).

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MARCAS POR MORDEDURA HUMANA: CARACTERÍSTICAS DE CLASE E INDIVIDUALES

Las características de *clase* son rasgos o dibujos vistos preferentemente en un grupo dado que indica un origen concreto (41). El término fue aplicado a las marcas de herramientas (42) y su definición ha sido modificada para adecuarlo a las mordeduras. Se refiere a características morfológicas en un patrón de transferencia que se espera que sean reproducidas por todos y cada uno de los miembros de una determinada clase o conjunto y sirvan para identificar el conjunto del cual se derivó. En el ámbito de la odontología forense, las características de clase de la dentición humana son características que cuando se observan en una lesión permiten su identificación como una marca por mordedura humana genérica.

Por lo general, la morfología de las mordeduras humanas se caracteriza por ser heridas/marcas circulares u ovaladas en la que se observan dos arcos dispuestos como

imágenes especulares que representan la arcada superior/maxilar superior y la arcada inferior/mandíbula. Estos arcos se encuentran dispuestos en forma de U enfrentadas y separadas entre sí en sus bases. En ocasiones, presentan un área difusa externa con un hematoma más o menos intenso, el cual es producido por la presión que ejercen los labios. Además, encontramos un área central de equimosis producida a su vez por compresión de tejido entre la arcadas superior e inferior, causando ruptura de los capilares. En las mordeduras humanas se registran con mayor frecuencia los seis dientes anteriores (incisivos y caninos maxilares y mandibulares), ocasionalmente, observaremos marcas de premolares y rara vez de molares. Cada diente deja registrado en el arco una lesión individual que se aproxima a la morfología, tamaño y disposición del mismo en la arcada (figuras 1, 2 y 3).

El patrón registrado para los incisivos sería el de un rectángulo alargado, aproximándose más a un cuadrado para los incisivos mandibulares por su menor tamaño. En el caso de los caninos, el patrón registrado sería el de un triángulo, por su parte, los premolares dejan una forma más variable, pudiendo ser triangular, de doble triángulo o adiamantada, pudiendo encontrarse una pequeña marca a pocos milímetros en el interior del arco correspondiente a la cúspide lingual. Los molares, si están presentes, dejan una forma rectangular ancha.

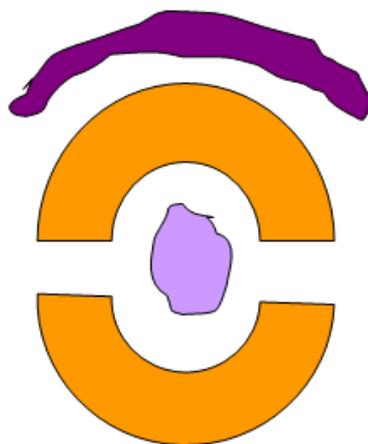


Figura 1. Esquema del patrón típico en una marca por mordedura humana en la que observamos de fuera a dentro: área difusa de hematoma, causada por los labios; marcas dejadas por los dientes anteriores; y equimosis o contusión central causada por

la presión de los dientes que rompen pequeños vasos. (Tomado de Tafur Elbaz D, 2010 [43]).

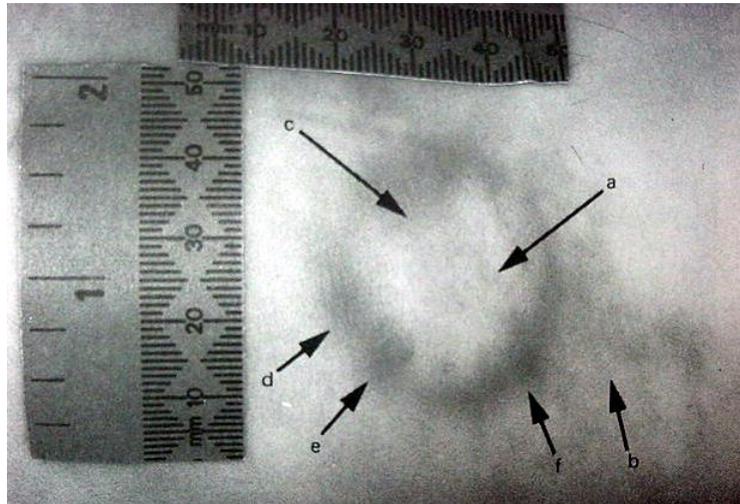


Figura 2. Esquema representativo de las características de una marca por mordedura humana (Tomado de Ciapparelli y Hughes, 1992 [44]). Señalado con la letra “a” se observa el área de equimosis central. La flecha “b” señala un hematoma difuso producido por los labios. La flecha “c” corresponde a la cara palatina de los incisivos superiores y las flechas “d, e, f” indican características específicas de las marcas dentales.



Figura 3. Ejemplos de patrones típicos en mordeduras realizadas en la espalda (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Existen diferencias entre las marcas dentales maxilares y mandibulares. Los incisivos quedan registrados como una hilera de cuatro marcas lineales o rectangulares por arco. Sin embargo, en el caso del maxilar, los incisivos centrales superiores dejan marcas rectangulares más anchas (8-9 mm), seguidas por las marcas de los incisivos laterales superiores, ligeramente de menor longitud (6-7 mm). Estos últimos frecuentemente son más cortos, pudiendo no llegar al plano oclusal, por lo que ejercerían menor presión sobre la piel dando lugar a marcas menos intensas o incluso pudiendo ser inexistentes. En la mandíbula observamos de igual forma una hilera de marcas rectangulares de menor tamaño que las superiores y con un tamaño más uniforme entre incisivos centrales y laterales (5,5 y 6,0 mm) (46). La distancia intercanina superior es ligeramente mayor que la inferior debido al mayor tamaño del arco maxilar frente al arco mandibular. Además, las marcas mandibulares aparecen más intensas y definidas que las maxilares, esto es debido a la dinámica de las mordeduras, ya que es la mandíbula la que ejerce el movimiento, entrando en contacto más directo los bordes incisales con la piel y transmitiendo presión a nivel de las caras palatinas de los dientes superiores y no directamente contra los bordes incisales (47).

También existen diferencias observables entre adultos y niños. Diferenciar la dentición adulta de la de un niño suele ser sencillo cuando ambos arcos están presentes (48). Los niños con dentición decidua presentan arcos de menor tamaño y más redondeados, existiendo un espaciamiento entre dientes, un menor tamaño dental, así como una menor diferencia de tamaño entre los incisivos superiores centrales y laterales (46, 49). En los niños con dentición mixta los espacios entre dientes quedan cerrados tras la erupción de los incisivos permanentes. Esto hace que el segmento anterior se ensanche mientras que los segmentos posteriores quedan relativamente estrechados lingualmente (49) (Figura 4).



Figura 4. Ejemplo de una marca por mordedura típica infligida por un niño. En la imagen se observan marcas dentales más pequeñas y separadas entre sí (tomado de Dorion R., [45]).

Las características *individuales* son rasgos o dibujos que representan una variación individual. Estas irregularidades son producidas accidentalmente durante la fabricación de una herramienta o causadas por el uso, desuso o deterioro del objeto. Las características individuales morfológicas y anatómicas dentales de cada individuo, tales como fracturas, rotaciones, cúspides accesorias o prominentes, restauraciones dentales y otros rasgos distintivos, proporcionan también datos al odontólogo forense y posibilitan la identificación del autor de determinada marca por mordedura (39, 50-51). La importancia forense de las lesiones por mordedura está íntimamente relacionada con el número de características de clase y características individuales que se pueden observar, medir y comparar. Una lesión con un alto número de características individualizadoras podrá considerarse de una alta significación forense. El número específico y reproducción precisa de estas características individuales determina la precisión para establecer la identificación.

3. PATRONES DE LAS MARCAS POR MORDEDURA HUMANAS Y VARIACIONES DE LOS MISMOS

Una marca por mordedura en un sujeto vivo se caracteriza por ser una reacción del tejido vivo frente a una agresión, es por esto por lo que no siempre la huella dejada se ajusta a la perfección con la morfología del objeto que la produjo. Pudiéndose dar un derrame/hematoma excesivo en la piel o por el contrario haber sido levemente dañada de modo que no genere una marca suficientemente diferenciadora. Pretty, en 2007, describió una clasificación para las mordeduras en base a este aspecto (52). Dicha clasificación nos permite relacionar una escala de gravedad y una escala de significación forense de la lesión que permita a los odontólogos describir una mordedura utilizando un índice validado y mejorar el proceso de identificación mediante el análisis de las marcas por mordedura (figura 5).

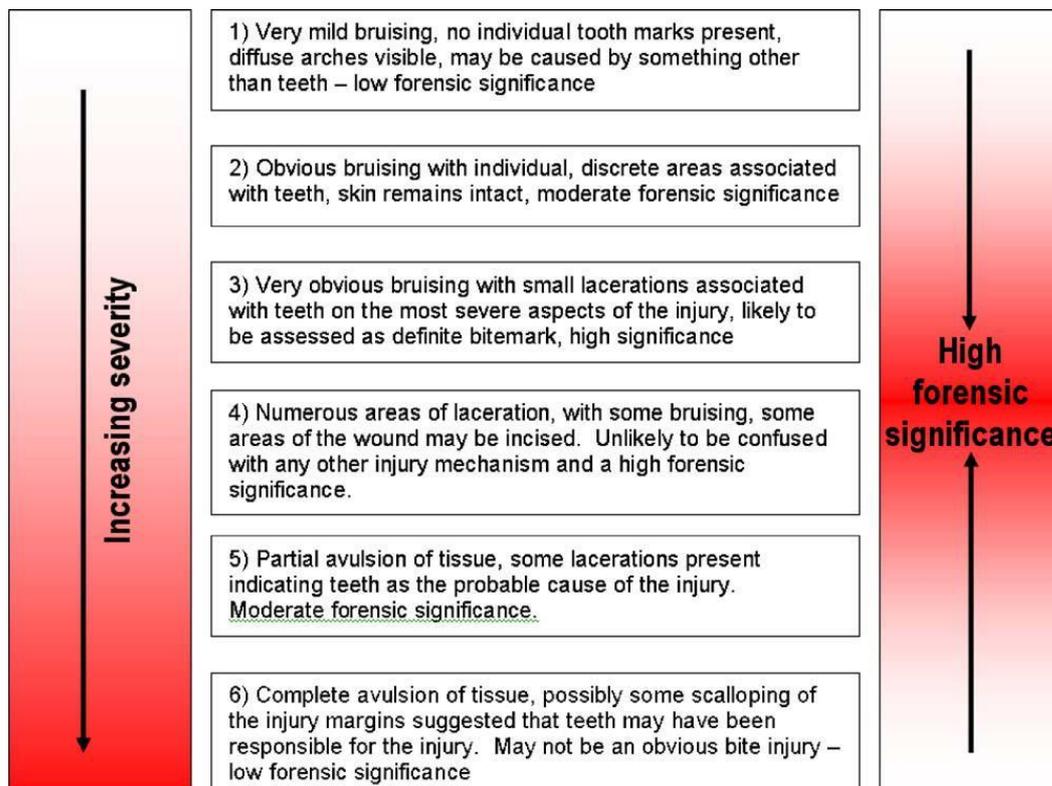


Figura 5. Esquema representativo del rango de severidad de la marca por mordedura; Gravedad de la marca por mordedura y escala de significación forense (30).

Existe un vínculo claro entre la gravedad de una lesión por mordedura y su significación forense. De este modo, en una lesión por mordedura que se presenta como una contusión difusa de escasa severidad, es poco probable que encontremos características individuales adecuadas para el análisis e identificación. Sin embargo, en el otro extremo del espectro de gravedad, en lesiones agresivas y avulsivas encontraremos poca información válida para el análisis, pues la pérdida de tejido, el desgarro y la distorsión de los márgenes de la herida hacen que tales lesiones sean malas candidatas para el análisis. Las lesiones por mordedura que se presentan en medio de estos extremos, como son los hematomas individuales discretos, pequeñas abrasiones y laceraciones, tienen una mayor significación forense y permiten un análisis para la identificación más preciso (52).

Hay varios factores que influyen en el registro de la marca por mordedura sobre la piel del sujeto, factores que son dependientes tanto del individuo en sí como de la localización de la mordedura. Entre estos factores se encuentra el tipo de piel. La textura de la misma, el grosor, la elasticidad, la vascularización, el tejido conjuntivo, y la grasa subyacente afectan al modo en que la mordedura queda registrada. Por otra parte, el movimiento de la víctima como reflejo defensivo alterará el patrón de la mordedura. La curvatura de la zona mordida tiene una importante influencia, la cantidad de piel recogida entre los maxilares será menor en superficies planas y tensas que en superficies curvadas y flexibles. Otros factores dependientes del individuo son el género, la edad, la presencia de enfermedades, así como la toma de fármacos sistémicos (p. e. anticoagulantes). Por parte del agresor, podemos destacar factores como son la fuerza ejercida en la mordida, así como la dirección en la que la realiza. A pesar de la naturaleza visco-elástica de la piel y de los factores mencionados, las marcas por mordedura son relevantes en el ámbito forense ya que, con frecuencia, los hematomas generados reproducen el objeto con el que se generaron.

Es por este carácter dinámico de las mordeduras y por los múltiples factores implicados por lo que hay variaciones observables en el patrón registrado (45), estas variaciones se describen a continuación.

Contusión central: área central de equimosis o contusión debido a la compresión de tejido apretado entre los dientes superior e inferior. Esta marca no es útil en el proceso de identificación (Figura 6).



Figura 6. Ejemplo de contusión central en una marca por mordedura. También podemos observar un área central pálida producida por la presión lingual al impedir la extravasación de sangre (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Abrasiones y contusiones lineales: es frecuente observar estas lesiones. Estas marcas se irradian en ángulo recto con respecto a los arcos externos a la periferia de la mordedura y son correspondientes al movimiento de arrastre por el sujeto al morder o por el acto reflejo de la víctima al retirarse del agresor. Tampoco son usadas en el proceso de identificación (Figura 7).



Figura 7. Ejemplo de abrasiones producidas por el arrastre de los dientes mandibulares (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Marcas linguales: estas representan los contornos de la superficie lingual de los dientes. Se pueden reproducir los contornos completos de los pliegues, los márgenes gingivales y las papilas. Son más frecuentes que queden marcados en los dientes superiores, por la compresión de la piel contra los dientes superiores por la mandíbula, que constituye el elemento móvil (figura 8).



Figura 8. Ejemplo de marcas linguales de los dientes anteriores en una marca por mordedura (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Empuje de la lengua: área pálida dentro de una contusión central en la que la presión de la lengua contra la piel evita la extravasación de sangre durante la formación de la contusión central (figura 6).

Reacción inflamatoria aguda: una mordedura puede mostrar los signos distintivos de la inflamación aguda, donde predomina el enrojecimiento y la hinchazón. La mordedura aparece difusa y eritematosa. La apariencia en doble U puede ser reemplazada por una marca oval enrojecida, impidiendo observar las marcas dentales. La reacción aguda disminuye desde las horas al día de su aparición, restaurándose las características de identificación de clase (Figura 9).



Figura 9. Ejemplo de una reacción inflamatoria aguda. A la izquierda observamos una lesión con una notable inflamación aguda fotografiada a las pocas horas de ser infligida. A la derecha observamos la misma lesión al día siguiente, mostrando un patrón típico anular (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Arcos ininterrumpidos: mordeduras ejercidas con una fuerza intensa o en pliegues de piel suficientemente delgada darán lugar a la continuidad entre las bases de los arcos en doble U típicos.

Identaciones de los dientes: estas marcas tridimensionales quedan registradas en el momento de la mordida debido a la memoria elástica de la piel. Normalmente se suavizan a los 20 minutos y rara vez están disponibles para su evaluación (Figura 10).

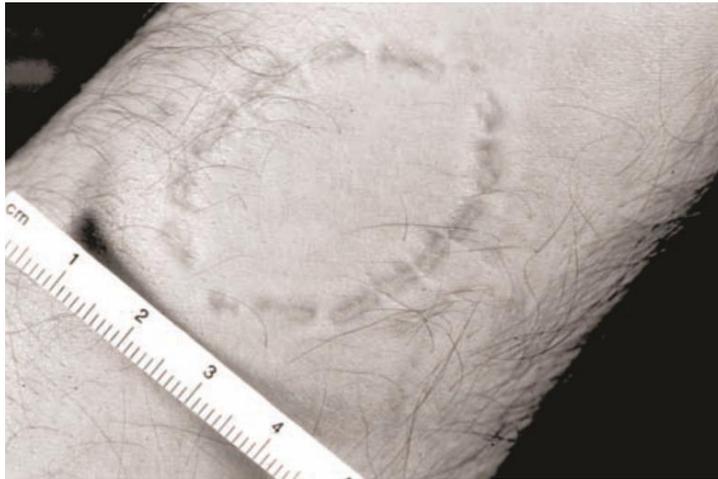


Figura 10. Ejemplo de una mordedura con identaciones. La lesión fue fotografiada a los minutos de ser infligida (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Doble mordida: ocurre cuando la víctima se retira parcialmente y el agresor vuelve a morder en la misma zona. El resultado son dos conjuntos concéntricos de arcos con duplicación del patrón de mordida. Puede estar acompañado de marcas por arrastre (Figura 11).



Figura 11. Ejemplo de una doble mordida. En la imagen se observa una duplicación concéntrica del patrón de la mordedura (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Mordidas múltiples y superpuestas: las mordeduras múltiples son mordeduras realizadas por un mismo mordedor en distintas zonas de la víctima. Éstas permiten al

odontólogo buscar patrones reproducibles entre todas las mordeduras que pueden considerarse como características más estables. Las mordeduras superpuestas se dan cuando se realizan múltiples mordidas en la mismas zona, de modo que pueden confundir el análisis de la mordedura porque se superponen y degradan los detalles de la misma (Figura 12).



Figura 12. Ejemplo de mordeduras múltiples en una víctima de homicidio. Además, se observan varias mordeduras superpuestas (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Patrones de tejido: en mordeduras que se realizan a través de la ropa puede quedar marcado el patón del tejido, y puede, a su vez, amortiguar o eliminar los detalles de las marcas dentales y evitar la deposición de saliva y ADN (Figura 13).



Figura 13. Ejemplo de una mordedura con interposición de tejido en la que se observan contusiones lineales (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Equimosis y abrasiones excesivas: la hemorragia excesiva fuera de los límites de la mordedura puede oscurecer los detalles del patrón y hacer que la mordedura aparezca más grande. Esto puede darse en mordeduras en zonas previamente lesionadas o incluso por abrasión intencionada por parte del agresor en un intento de borrar las marcas dentales. También podemos observarlo en personas con predisposición a hematomas bien sea por la edad, por fármacos o por patologías sistémicas de base.

Mordeduras parciales: son mordeduras en las que quedan marcados los arcos parcialmente. Pueden ser mordeduras unilaterales (izquierda o derecha), mordeduras de un solo arco (superior o inferior) o mordeduras en las que quedan registradas pocas marcas dentales (Figura 14).



Figura 14. Ejemplo de una mordedura parcial en la que se observa la hemiarcada maxilar y mandibular izquierda (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Marcas desvanecidas: se observan las características de clase de una mordedura y el patrón de doble arco, pero las marcas dentales individuales no son observables. Con mayor frecuencia se da en pieles más flexibles y blandas o con abundante tejido adiposo y cuando las mordeduras se curan (figura 15).



Figura 15. En la imagen se observa una marca difusa de una mordedura realizada en el abdomen (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Mordeduras Avulsivas: en estas se produce una pérdida de tejido blando. Esto se traduce en heridas abiertas que no son fácilmente identificables y de elevada dificultad para establecer el autor. Son poco frecuentes en las mordeduras por humanos, cuando se dan suelen ser en áreas prominentes como orejas, pezones, nariz, etc. (figura 16).



Figura 16. En la imagen se observa una mordedura avulsiva en la nariz (tomado de Dorion R., 2011 [45]).

Mordeduras cicatrizadas: en mordeduras cicatrizadas los cambios pigmentarios pueden mantener el patrón de una mordedura durante muchos meses. Cualquier lesión puede sanar con más, menos o la misma cantidad de melanina que la piel circundante.

Mordeduras post-mortem: no muestran las respuestas vitales del tejido frente a una lesión. Son de aspecto apergaminado, amarillentas y translúcidas.

4. EPIDEMIOLOGÍA Y PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LAS MARCAS POR MORDEDURA HUMANAS

Diversos estudios establecen las localizaciones más frecuentes de presentación de las mordeduras. Lowry (1936), en un estudio sobre 122 mordeduras encontró que la localización más habitual de presentación de las marcas por mordedura era en las extremidades (76%), seguidas de cara y cabeza (8%) (53). Posteriormente, Spiers (1941), coincidió con los resultados hallados en los estudios de Lowry, con una muestra de 114 casos, siendo la localización más frecuente en extremidades (64%) y en cabeza y cara (40%) (54). Sin embargo, en los casos de niños maltratados con lesiones por mordeduras, se presentan usualmente lesiones en la cara y la espalda (42, 55). Por otro lado, Rawson y cols. (1984), concluyeron que el 43% de las mordeduras en niños se producen en cabeza y cuello (13).

Estudios más recientes han observado que entre un 40-48% de los casos encontramos más de una mordedura en el mismo sujeto (mordeduras múltiples), por lo que, en el caso de encontrar una mordedura, se aconseja buscar la presencia de más mordeduras en otras zonas (56).

Una investigación, con una muestra amplia de lesiones por mordedura, estudió la distribución de las marcas dentales con la información de 1100 casos suministrados por dentistas forenses de 26 países diferentes en 259 personas en las que se habían producido un total de 778 mordeduras (57). En su estudio llegaron a las siguientes conclusiones:

- Distribución y localización de las mordeduras en función de la edad y sexo en la víctima

Cuando no se consideró el sexo de la víctima, el patrón de localización de las marcas por mordedura por orden de frecuencia fue el siguiente: brazos (22,7%),

espalda (12,1%), piernas (11,7%), cara (10,3%) y pechos (9,3%). Lo que indicó un mayor porcentaje para las extremidades superiores.

En el caso de los hombres, se encontraron mordeduras en extremidades superiores (32,4%), piernas (14,6%) y cara (11,1%). Sin embargo, en las mujeres se encontraron en extremidades superiores (23,2%), espalda (16,3%) y pechos (13,8%).

En los casos de abuso infantil apenas hubo diferencias entre sexos, y las localizaciones más frecuentes fueron las siguientes: brazos (28,6%), piernas (18,9%), espalda (8,5%), nalgas (7,3%) y cara (7,3%), encontrando más de una mordedura en la misma víctima en el 43% de los casos.

- Frecuencia en el patrón de sexo de las víctimas

En el 65% de los casos las víctimas fueron mujeres, este porcentaje puede variar según el rango de edad. En niños de 0 a 10 años de edad el porcentaje entre sexos es muy similar, es a partir de los 11 años cuando el porcentaje de víctimas de sexo femenino se incrementa sobre las de sexo masculino, siendo de 4,16 veces superior de los 11 a los 20 años, 2,75 veces superior de los 21 a los 50 años y 2,4 veces mayor a partir de los 51 años.

- Tipos de delitos en relación al sexo y edades de las víctimas

En las mordeduras incluidas en el estudio, un 46,7% estaban implicadas en casos de homicidios, un 39,4% en agresiones sexuales y en un 32,8% en casos de abuso infantil. Algunas de las mordeduras estaban implicadas en varios de los grupos de delitos por lo que la suma total excede el 100%. En los casos de agresiones sexuales y homicidios el porcentaje de mujeres mordidas fue superior, sobre todo para el rango de edad de 21 a 50 años.

- Mordeduras infligidas por la víctima como defensa

En los casos en los que la víctima mordió a su agresor, se observó que un mayor porcentaje son infligidas por mujeres, encontrándose con mayor frecuencia en brazos, seguidas de la cabeza y la cara.

- Frecuencia del sexo del sospechoso de realizar la mordedura según el tipo de delito

En éste estudio, el 79% de los agresores causantes de una mordedura fueron hombres y el 21% mujeres, éste porcentaje aumenta a favor de los hombres en los casos de agresión sexual.

4.1. Presentación de las marcas por mordedura humanas según delitos

Las marcas por mordedura pueden aparecer en cualquier superficie de la piel (55, 58, 59), aunque se encuentran con mayor frecuencia en los senos, brazos, piernas y cabeza. La aparición de marcas por mordedura se encuentra relacionada con la edad y el sexo, tanto del asaltante como de la víctima, así como con el tipo de delito perpetrado. Suelen presentarse con mayor frecuencia en delitos de homicidio, violaciones, violencia de género y abuso a menores (13, 14, 39, 57, 60-66). También, se han descrito mordeduras relacionadas con trastornos psicológicos y enfermedades cerebrales orgánicas (67), convulsiones epilépticas o la inserción forzada del brazo en la boca de la víctima durante el forcejeo para someterla o evitar que llore (2, 68). El autor de la mordedura puede ser el asaltante, el cual usa el acto de morder como un arma, en un intento de enfatizar su poder sobre la víctima (69, 70), como expresión de cólera (71) o como un acto de dominación mediante la intimidación (72). Por otra parte, la mordedura puede ser infligida por la víctima en un intento de defenderse.

4.1.1 Maltrato

Frecuentemente observamos mordeduras en casos de abuso y maltrato por el componente mencionado de dominación por parte del agresor. En el caso de menores, estos se ven expuestos fácilmente por su edad e incapacidad para defenderse, los profesionales sanitarios deben estar alerta y adiestrados por la vulnerabilidad de este grupo de corta edad, para prevenir y tratar este tipo de situaciones. En estos casos contamos con un componente curativo que dificulta la detección, pues en los niños la reparación de la lesión procede a un ritmo mucho más rápido que en el adulto. Por este motivo, la realización de fotografías seriadas de la evolución de la lesión se hace imprescindible. Debemos estar alerta a los signos clásicos del niño maltratado definidos por la regla de la A a la H, por sus siglas en inglés (45):

- Abrasions (abrasiones)
- Burns and bitemarks (quemaduras y mordeduras)
- Contusions (contusiones)
- Dental neglect (descuido oral/dental)
- Ecchymosis (equimosis)
- Fractures (fracturas viejas/nuevas, fracturas óseas/dentales)
- General health neglect (descuido de la salud general)
- Hematoma (hematomas)

Ante la sospecha de lesiones orales que puedan estar asociadas a malos tratos en niños, se debe realizar un cuestionario prediseñado para disipar o confirmar la existencia de dicho maltrato (73, 74). Las marcas por mordedura son muy frecuentes en los casos de maltrato infantil. También se presentan en casos de maltrato entre hermanos de similar situación (hermanos de la misma edad, hermanos gemelos, etc.) en los que uno de ellos es favorecido por los padres y recibe los ataques del que recibe menor atención (45). De igual forma observamos estas lesiones en casos de abuso

sexual infantil, lo cual puede ser detectado por la localización de las mordeduras (genitales, muslos, etc-).

En el caso de los adultos, entre los tipos de crímenes asociados con mayor frecuencia con mordeduras encontramos el maltrato, además de la violación y el secuestro (45). Siendo más frecuentes en mujeres en los pechos, brazos y piernas, en situaciones de abuso sexual, violencia de género, homicidio...

Por su parte, el personal sanitario, como médicos y odontólogos, deben formarse para detectar, prevenir y actuar en caso hallar posibles casos de violencia de género, abuso infantil y cualquier tipo de agresión (75). Además, están obligados a denunciar cualquier clase de negligencia a los servicios sociales o a las agencias policiales (76).

4.1.1 Homicidio

En los casos de homicidios es frecuente la presentación de mordeduras. Estas suelen presentarse en la piel de la víctima, pudiendo haberse realizado ante-mortem o post-mortem. Las mordeduras pueden presentarse no solo en la piel de la víctima, el sospechoso suele morder objetos inanimados como chicle, chocolate, queso y otros alimentos los cuales pueden ser recogidos como pruebas para la identificación del agresor.

5. UNICIDAD DE LAS MARCAS POR MORDEDURA HUMANAS

Son muchos los estudios los que han dedicado sus esfuerzos al análisis de la unicidad de la dentición y los patrones individualizadores dada su relevancia (77-79). Uno de los primeros trabajos que nos aporta información estadística sobre la unicidad

de la dentición fue en 1974, los autores diferenciaron entre características positivas, tales como la presencia de un diente con algún rasgo individualizador, y características negativas, tales como la ausencia de una pieza dentaria. Centrarón su estudio en los dientes anteriores analizando los rasgos distintivos presentes, como rotaciones, forma y número de dientes. Algunas de éstas características, como la rotación mesio-palatina de los incisivos centrales maxilares, mostraron un alto grado de significación y, por tanto, se consideró un rasgo distintivo individualizador. Además, establecieron que el estudio del sector anterior de la arcada era relevante en el proceso de identificación (80). De igual modo la unicidad de los dientes anteriores ha sido estudiada por otros autores por ser los dientes más comúnmente involucrados en las mordeduras (81, 45).

Existen múltiples estudios en los que se apoya de forma experimental la unicidad de la dentición demostrando la singularidad de la misma. Según Sognaes y cols. (1982), la disposición de los dientes produce un patrón característico incluso entre gemelos homocigóticos. En su estudio obtuvieron los patrones dentales de cinco pares de gemelos de sexo masculino, se sometieron dichos patrones a una comparación computarizada y observaron que, a pesar de poseer un desarrollo y morfología similares, hubo variaciones significativas con respecto a las disposiciones individuales de los dientes anteriores en el arco dental, encontrando dientes con rotaciones claramente diferentes y características diferenciadoras entre ambos (25). Rawson y cols. (1984), estudiaron la unicidad de los dientes anteriores en una muestra de 397 marcas por mordedura seleccionadas de una muestra de 1200 mordeduras generadas por dentistas forenses en los Estados Unidos. Las identaciones de las marcas dentales se llenaron con polvo de zinc, se radiografiaron y se trazaron las superposiciones. Posteriormente, fueron analizadas por medio de una teoría estadística de probabilidad con lo que se determinó el número mínimo de posiciones en el que se puede encontrar cada diente de forma individual y establecieron que la probabilidad de encontrar dos arcadas iguales era de 1.4×10^{13} . De este modo, dedujeron que con cinco coincidencias se podría identificar al autor de una mordedura (26). Cabe destacar que en este estudio se tuvo en cuenta la posición de cada diente

de forma independiente a la disposición del resto, por lo que se deben interpretar los resultados con cautela (82).

Adams (2003), realizó un estudio en el que valoró la utilidad de los registros no radiográficos para establecer una identificación. A partir de odontogramas obtenidos de una amplia base de datos, concluyó que los patrones dentales individuales eran generalmente únicos y que incluso un pequeño número de características dentales comunes pueden producir un patrón dental muy característico, lo cual nos permitiría la identificación mediante registros dentales (34, 35).

Posteriormente, Kieser y cols. (2007), establecieron la singularidad de la dentición en dientes anteriores. Para ello, seleccionaron de forma aleatoria una muestra de 50 modelos dentales ortodónticos pertenecientes a sujetos de entre 17 y 20 años. Se utilizaron técnicas morfométricas geométricas para analizar las distintas variables de las superficies oclusales de los dientes y los datos resultantes del estudio fueron analizados por medio de un análisis estadístico multivariable. Del estudio se dedujo que las arcadas dentarias no sólo se diferencian por la posición relativa de sus dientes, sino también por la forma del arco de las mismas (83).

Martin-de-Las-Heras y cols. (2009), analizaron la diversidad existente entre patrones dentales. El estudio se basó en denticiones completas y parciales con datos procedentes de 3166 adultos de 3 Encuestas de Exámenes de Salud Bucodental correspondientes a los años 1993, 2000 y 2005. Para probar la diversidad general de los patrones dentales en cada conjunto de datos, se realizaron comparaciones por parejas y se generó un número total de coincidencias de patrones. Se calculó la diversidad total y condicional para cada variable y, para probar la homogeneidad de las estimaciones de diversidad entre los seis conjuntos de datos analizados, se utilizó un modelo de efectos aleatorios que requiere una estimación de parámetros junto con su error estándar. Los valores de diversidad total fueron bajos y heterogéneos, sin

embargo, las diversidades condicionales fueron altas y homogéneas, lo que permitió que todos los datos se agruparan en una única base de datos. Una vez reunidos los datos, se obtuvieron altos valores combinados de diversidad (por encima de 0,99) para cada variable. Con lo que dedujeron que el valor de la diversidad condicional derivado de patrones dentales es una herramienta potencialmente valiosa con amplia aplicabilidad para la identificación humana (36).

Más recientemente, Martin-de-Las-Heras y cols. (2013), realizaron un estudio de identificación de patrones y modelos dentales. Se escanearon trece modelos dentales en 3D para generar las superposiciones con el software DentalPrint©. Se creó una matriz para comparar todas las combinaciones posibles de modelos dentales culpables y no culpables de causar la marca por mordedura generada con el software, es decir, 169 combinaciones (13 modelos x 13 mordidas), de los cuales 13 eran culpables. Con los datos obtenidos concluyeron, mediante un análisis estadístico cuantitativo exhaustivo, que la diversidad dental obtenida es lo suficientemente alta para constituirse como un método de identificación humana de base científica con fines forenses (84).

Se ha argumentado que la unicidad o la individualización, es decir que un objeto sea diferente de cualquier otro objeto de su clase, es inalcanzable. Este punto de vista ha sido presentado por varios investigadores en el ámbito forense argumentando, algunos de ellos, que la unicidad no se puede probar ya que es imposible medir cada dentición existente (85-91).

Actualmente, hay una corriente que, además de afirmar la imposibilidad de demostrar la unicidad de la dentición, critica otros campos forenses de correspondencia de patrones tales como la coincidencia en la impresión de patrones de calzado y neumáticos, análisis de armas de fuego, análisis de marcas de herramientas e incluso huellas dactilares, tachando estos de meramente subjetivos (92).

No hay género de duda que las características de la dentición nos permiten identificar a las personas como otros métodos de base científica, sin embargo, el problema que se plantea en el análisis de las huellas por mordeduras es otro, ya que dichas características deben quedar impresas en el sustrato en el que se producen. La dificultad, aun presentándose una marca por mordedura por un agresor con características individualizadoras destacables, viene dada por las características del material donde la huella dental queda impresa. La piel es un sustrato con una capacidad de registro pobre, tanto por sus características visco-elásticas como por la variabilidad entre las distintas zonas (curvatura anatómica, movilidad y adherencia de la piel, tipo y cantidad de tejido subyacente, etc.) (93). Además, las características específicas de la persona tales como la edad, enfermedades y tratamiento con fármacos también influirán en el registro del patrón de mordida (94, 95).

Dada la reciente corriente de críticas en cuanto a la validez del estudio de las marcas por mordedura en identificación humana, los estudios sobre la singularidad de las mismas han ido en aumento en los últimos años. Un estudio muy reciente, investigó la unicidad de la dentición humana en pacientes seleccionados aleatoriamente. Se realizaron un total de 2.013 comparaciones morfológicas en pares. Las comparaciones dentro de los grupos se realizaron cuantificando las diferencias morfológicas entre los archivos digitales de los modelos dentales tridimensionales, observándose diferencias estadísticamente significativas, valores de sensibilidad del 80% y una especificidad entre el 66,7% y el 81,6%. Con lo que se demostró una evidencia positiva de la unicidad de la dentición humana (96).

La mayor parte de los estudios de singularidad de la dentición se basan en técnicas 2D, las cuales analizan sistemas tridimensionales, con el consiguiente sesgo que ello implica. Por esto, es necesario futuros trabajos con el objetivo de mejorar estas técnicas para aplicarlas al estudio de la unicidad en la dentición.

6. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURA HUMANAS

El primer paso en el análisis de las marcas por mordedura es la identificación de la misma. Por norma general debemos sospechar de cualquier marca o contusión redondeada con el patrón típico de dos arcos opuestos con forma de U, separados en sus bases por espacios abiertos, área difusa de hematoma externa y el hematoma central. Sin embargo, hay que prestar atención también a aquellas que no presenten el patrón típico, pues debido a la dinámica de la mordida, la curvatura de la piel, el forcejeo en el momento de la mordida y demás factores (abrasiones, arcos interrumpidos, doble mordida...), pueden aparecer con un patrón modificado y con una mayor dificultad de identificación.

La recogida de las pruebas se debe realizar de acuerdo a un protocolo aceptado, como es el de la Comisión Americana de Odontología Forense (American Board of Forensic Odontology, ABFO, 1986; 1995). Aunque no existe un consenso en cuanto al protocolo en el análisis de las marcas por mordedura, el procedimiento más extendido se describe a continuación:

6.1. Recogida de información y muestras en la víctima y la lesión:

6.1.1. Toma de muestras de saliva sobre la lesión

Las mordeduras van siempre acompañadas del depósito de saliva en la piel. Si las circunstancias lo permiten, pues un lavado de la lesión puede eliminar cualquier rastro de saliva, se debe realizar siempre la recogida de una muestra de saliva.

En algunos casos puede estudiarse la presencia de marcadores polimórficos convencionales de saliva (isoenzimas y proteínas polimórficas) o mediante el empleo

de determinaciones específicas como la del ion tiocianato, el ion nitrito, la fosfatasa alcalina y la amilasa salivar (41, 97-100).

Aunque, el método usado por excelencia, por su elevada capacidad diferenciadora, es el análisis de ADN, ya que en el acto de morder las células descamativas y los leucocitos depositados en la piel permiten el estudio genético molecular (6, 101-106). Dado que la saliva se seca en la piel, para mejorar la recogida de material se usa la técnica del doble hisopo o método húmedo/seco (6). El primer hisopo se sumerge en agua destilada y se aplica sobre la piel realizando movimientos circulares, de este modo se rehidratan las células y quedan más sueltas. Posteriormente se utiliza un segundo hisopo realizando los mismo movimientos circulares. De ambos hisopos se extrae el material genético.

Un aspecto importante al tomar la muestra es el tiempo, ya que en las primeras 24 horas la cantidad de ADN va disminuyendo drásticamente, esta disminución se mantiene más estable entre las 24 y 48 horas posteriores (6).

6.1.2. Toma de fotografías

Para el estudio de las marcas por mordedura es imprescindible realizar fotografías ya que se considera uno de los mejores métodos para su análisis (107), pero debe realizarse siguiendo determinadas pautas que nos permitan recoger la información lo más fiel posible a la realidad (108).

Deben hacerse una serie de fotografías con una elevada resolución, primeramente con un campo de visión más amplio, una proyección que nos permita ubicar la lesión, seguida de fotografías con mayor detalle de la mordedura. Debemos realizar fotografías sin escala y con escala (escala ABFO nº2, Lightning Powder Co., Inc., Salem Oregon) colocada adyacente a la lesión y paralela al plano de la misma. Del mismo modo, colocaremos la cámara sobre la lesión y con el objetivo paralelo al plano

de la piel donde se encuentra la mordedura, con esto minimizaremos parte de la distorsión (109). Realizaremos varias fotografías en color de este modo, con flash desde distintos ángulos para iluminar las distintas áreas de la lesión, preferiblemente con un flash anular, y sin flash. Además de la posición de la cámara fotográfica, es importante la posición de la zona o la extremidad donde se infligió la mordedura. En este sentido, debemos colocar la zona en la misma postura en la que la mordedura fue infligida y así evitar la distorsión postural, ya que las líneas de tensión pueden ser alteradas por la flexión de las articulaciones y la piel puede estirarse o retraerse dependiendo del movimiento, alterando así el patrón resultante de la mordedura (94, 95).

Es recomendable tomar fotografías lo más próximo temporalmente al acto de la mordida. Además, debemos tomar varias fotografías en diferentes intervalos de tiempo, cada 24 h durante un periodo de 3 a 5 días, con el objetivo de recoger lo más fielmente las marcas identificadoras del agresor, ya que la inflamación y eritema de la lesión pueden impedir una correcta visualización en un momento determinado tras la realización de la mordedura.

A pesar de que pongamos todo nuestro empeño en evitar la distorsión fotográfica siguiendo todas las recomendaciones, cierta distorsión estará presente en casi todos los casos. Actualmente se dispone de medios informáticos a través del programa Adobe® Photoshop® que, junto con la escala de la ABFO nº 2, permite corregirla (110, 111).

6.1.3. Toma de impresiones de la lesión

En ocasiones, aunque no es frecuente dado la elasticidad de la piel, quedan registradas indentaciones en la lesión. En caso de que esto ocurra debemos tomar un registro de las mismas. Para ello disponemos de materiales de impresión de gran precisión y estabilidad en el tiempo (vinil-polixilosano de baja y media densidad) (112-

114). El material deberá ser contenido, al igual que cuando se toman las impresiones para la realización de los modelos dentales de escayola, por un soporte rígido y estático, reduciendo así el riesgo de distorsión por a la curvatura de la zona (115). Esta impresión es posteriormente vaciada obteniéndose el positivo de la medida. En 1984, la Comisión Americana de Odontología Forense (ABFO) publicó las directrices para el análisis de las mordeduras , que recomiendan el uso de materiales aprobados por la American Dental Association (ADA) para la confección de impresiones y para la fabricación de modelos dentales (116).

6.1.4. Extirpación del tejido

En los casos en que la lesión se encuentre en un cadáver, cabe la posibilidad de extirpar la sección de piel en la que se localice la marca. Para ello dispondremos de un anillo de plástico que nos mantendrá la forma de la zona de la piel para evitar distorsiones (117). El anillo se adapta a la forma anatómica de la piel, se fija por medio de pegamento de cianocrilato y se sutura (117). Sobre este se vierte el material de impresión que posteriormente será vaciado y se procede a la sección el tejido por la zona externa del anillo, a unos 2 cm, con un grosor suficiente que incluya dermis y el tejido subcutáneo (45). Este fragmento se fija con formaldehído al 4% durante 10 horas para, posteriormente, analizarlo con técnicas de transiluminación (61, 118, 119).

6.2. Recogida de información y muestras en el sospechoso/agresor

Recogeremos toda la información posible y que se nos permita según el grado de cooperación del sospechoso, siendo de especial importancia la realización de una serie de fotografías, tomar los modelos de estudio y recoger muestras de saliva. Procederemos a un examen clínico completo, tanto intraoral como extraoral. En el examen clínico extraoral centraremos la atención en alteraciones, intervenciones y anomalías que distingan al sujeto y nos sirvan en el análisis de las mordeduras tales

como asimetrías, cicatrices, grado de apertura oral y movilidad, tono muscular, etc. En el examen intraoral se realizará un odontograma y periodontograma completo. Anotaremos todos los tratamientos presentes, las características oclusales, movilidad dental que pueda alterar el patrón de mordida en el momento que se realiza la mordedura y analizaremos el tamaño y funcionalidad de la lengua (120).

El examen clínico debe incluir una serie fotográfica intra y extraoral acompañadas de la escala ABFO nº 2. En la serie extraoral tomaremos fotografías de frente y de perfil, y en la intraoral realizaremos fotografías de las arcadas en oclusión, en relación céntrica y en mordida borde a borde, así como de las arcadas dentarias. Para la realización de éstas últimas nos ayudaremos de espejos intraorales (39).

Para la obtención de los modelos dentales se procederá con la técnica convencional usada en la práctica clínica. Usaremos cubetas convencionales del tamaño adecuado, con un material de impresión de elevada precisión (vinil-polixilosano) y se vaciara en yeso duro blanco. Se tomarán dos impresiones, una sobre la que se trabajará y se realizará el estudio y otra que se conservará sin manipular (120). Se tomará una cera de mordida para el registro interoclusal con el que se establecerá la relación entre el modelo superior e inferior. También se tomarán las huellas dentales en cera de mordida por separado, maxilar y mandibular, con una suficiente profundidad para que permita el registro de las caras incisales y oclusales pero sin perforar la galleta de cera. Estas podrán ser radiografiadas, previo pincelamiento con material radiopaco o podrán tomarse impresiones de las mismas.

En los casos en los que hayamos recogido muestras de saliva en la lesión, debemos obtener también muestras salivares del sospechoso para su posterior comparación del ADN. La técnica de recogida es la siguiente, se presiona el vestíbulo derecho e izquierdo con un hisopo y se realizan movimientos circulares con lo que células descamativas y saliva quedan recogidas. Se deja secar el hisopo durante 15 minutos y posteriormente se empaqueta.

6.3. Comparación de la huella por mordedura con las muestras del sospechoso

El proceso más extendido para la identificación por medio de marcas por mordedura es el de la comparación de la fotografía de la lesión y los modelos dentales del sospechoso. En la situación ideal de que existan identaciones, se compara el molde dental con el molde generado de las identaciones, pero tal caso es poco frecuente por las características elásticas de la piel.

En un alto porcentaje de casos de marcas por mordedura contamos únicamente con la fotografía de la lesión, por lo que nos basamos en una muestra bidimensional de estructuras con características tridimensionales, y se compara o superpone con las huellas dentales del sospechoso que quedan registradas de igual forma en un formato bidimensional.

Para el estudio comparativo de la mordedura se procede al análisis métrico de la lesión y de la huella generada con el modelo del sospechoso y, por otro lado, a la superposición de los patrones de la lesión y los dientes del sospechoso como se describe a continuación.

6.3.1 . Análisis métrico

En primer lugar procederemos a inspeccionar la excentricidad de la elipse que deja impresa la mordedura, lo que nos dará una idea tanto de la forma de la arcada como de la cantidad de tejido atrapado en la mordida. De este modo, mordidas con poca cantidad de piel recogida tendrán una forma elíptica y, sin embargo, siendo más circulares aquellas con una mayor cantidad de tejido (1, 7). Seguidamente, identificaremos las arcadas superior e inferior, para lo cual podemos ayudarnos realizando mediciones de las distancias intercaninas, pues la arcada superior suele presentar un mayor tamaño. Posteriormente, identificaremos las líneas medias, lo cual

nos indicará la posición de la mandíbula respecto al maxilar en el momento de la mordedura. A continuación, procederemos al análisis de las huellas de los dientes de forma individual, analizaremos el tamaño mesio-distal, los diastemas, la posición, las rotaciones, las ausencias dentales, si hay piezas en infraoclusión, fracturas, etc. De igual modo, registraremos la distancia intercanina. Estas mediciones, tanto de la lesión como de la huella generada del modelo del sospechoso, nos darán una idea de la concordancia entre ambos.

6.3.2. Análisis comparativo de patrones

Existen varios métodos de asociación de patrones que han ido evolucionando a lo largo de los años. Inicialmente, se usaban métodos directos, en los que se superponía el modelo del sospechoso sobre la fotografía de la lesión. Con los métodos directos el objetivo era visualizar el patrón producido por los dientes en una posición que simula la lesión de la mordedura. Aunque posicionar el modelo directamente sobre la fotografía puede parecer el método más lógico, el procedimiento en sí obstruye la vista del examinador y en los casos en los que se aplica de forma directa a la piel marcada, esta puede ser modificada o alterada, especialmente cuando se realiza la comparación con un modelo dental que no corresponde al culpable.

Los métodos indirectos se han ido extendiendo, siendo los más usados en la actualidad. En estos, se compara la imagen de los bordes incisales del sospechoso en una transparencia en papel de acetato con los de la fotografía de la lesión mediante la superposición de ambos.

Para generar el patrón de mordida de los modelos dentales sobre el papel de acetato se han utilizado diferentes técnicas. Una de las primeras técnicas consistía en adaptar un film de acetato al modelo y trazar sobre él las superficies de los dientes. El patrón se generaba a mano, por lo que no era muy preciso (121). Otro método posterior, consistía en generar una cera de mordida sobre la cual se colocaba el

acetato y se marcaban las elipses dentarias (122). En esta misma cera podía ser introducido un material radiopaco y ser radiografiada, exportando la imagen a un software para su estudio (Adobe®Photoshop®) (123). Otra técnica consistía fotocopiar los modelos dentales, tratar la imagen obtenida mediante ordenador y generar el acetato con las huellas de las elipses dentales (124).

El método indirecto con tecnología 2D más usado consiste en escanear los modelos dentales del sospechoso con un escáner de dos dimensiones, esta imagen se exporta a un software mediante el que se analiza, Adobe® Photoshop®, y se detectan los bordes incisales y oclusales. Con este método se obtiene una mayor precisión y rapidez que con las técnicas anteriores, porque el programa te permite detectar áreas de píxeles similares, con lo que detectamos los bordes incisales de un modo más automático y menos subjetivo (108).

Son varios autores los que han investigado sobre la generación de transparencias de las huellas dentales de los modelos por ordenador usando Adobe® Photoshop® (123, 125-127). Para mejorar ésta técnica diversos estudios se han realizado, con el objeto de disminuir el componente subjetivo y mejorar la precisión del procedimiento.

6.3.3. Técnicas complementarias

Para mejorar la visualización de las imágenes bidimensionales que se obtienen, diversas técnicas complementarias son utilizadas.

- La *fotografía ultravioleta* permite ver un mayor número de detalles debido a su mayor longitud de onda y la posibilidad de observar cambios pigmentarios tras la lesión, invisibles a simple vista. La importancia de su uso también reside en que los cambios apreciables permanecen estables en el tiempo, semanas o meses (128).

- En la *transiluminación* se transmite luz a través de la muestra de tejido. Esta técnica es primordial cuando hay identaciones presentes, abrasiones o en marcas difusas en las que se desconoce la naturaleza del agente que causó la lesión (neumáticos, cuchillo, mordedura, etc.). La transiluminación es útil para confirmar la presencia o ausencia de respuesta inflamatoria (hemorragia e infiltración sanguínea). Además, puede ser de gran ayuda para distinguir las características dentales individuales no vistas en la superficie de la piel, ya que el movimiento en el momento de la mordida, la interposición de ropa, la convexidad de ciertas zonas y el tejido subyacente pueden contribuir a la falta de especificidad dental en la mordedura (45).

- En el *microscopio electrónico de barrido* un haz de electrones es enfocado a la superficie de la muestra, la superficie debe ser eléctricamente conductora, para ello se recubre con una capa conductora delgada (oro pulverizado o carbón evaporado). En función de la morfología y composición del material estudiado obtendremos diferentes imágenes. La principal ventaja es que mediante microscopía electrónica podemos detectar características individuales debido a su alto nivel de resolución (22, 129).

6.3.4. Importancia de las fotografías en el análisis de las marcas por mordedura humana

A menudo los registros fotográficos son la única prueba que disponemos en casos de marcas por mordeduras. Las marcas dentales quedan transferidas a la piel en forma de hematoma y, rara vez, con identaciones que con el transcurso del tiempo desaparecen dada la naturaleza visco-elástica de la piel (130). Aunque, si la mordedura se inflige post-mortem la identificación es más probable que permanezca. La situación ideal se daría cuando una marca por mordedura dejara identaciones, de modo que pudiésemos estudiar la lesión con tecnología en tres dimensiones, y no con fotografías en dos dimensiones, con las que cierta información se pierde, pues trabajamos sobre un sustrato con características tridimensionales. Dado que esta situación es muy poco frecuente y, que en numerosos casos, la marca de la mordedura puede ser la única

evidencia que vincula al sospechoso con el delito, la precisión fotográfica es crucial. Por ello, debemos hacer uso de las técnicas más avanzadas disponibles actualmente, así como promover investigaciones que mejoren las técnicas convencionales (131).

El análisis de una marca por mordedura mediante fotografías 2D se somete a dos tipos de distorsión (94): *Distorsión primaria*, la cual es debida a la dinámica del proceso de mordida y las características de la piel, y *distorsión secundaria*, sobre la que interfieren tres factores: los cambios relacionados con el tiempo, la posición del cuerpo al estudiar la mordedura y la distorsión fotográfica. De estos tres factores, sólo la distorsión fotográfica, específicamente la distorsión angular, puede ser controlada suficientemente para no obstaculizar el análisis. Son varios los autores que han trabajado para disminuir este componente y así minimizar este efecto (111, 127).

El actual "gold standard" para la captura de imágenes y el análisis de una marca de mordedura es el uso de cámaras SLR digitales de dos dimensiones y aplicaciones de software como Adobe®Photoshop®. Para obtener fotografías de alta calidad se debe seguir un protocolo estricto descrito por la Comisión Americana de Odontología Forense (ABFO) y asegurarse de que la cámara está siempre perpendicular (90°) a la lesión (111). Si se mantiene esto, sólo se transmite una cantidad limitada de distorsión angular a la fotografía de la lesión. Aunque hay que tener en cuenta que las mordeduras en superficies altamente curvadas requieren más fotografías desde diferentes ángulos que las superficies planas (45).

La Comisión Americana de Odontología Forense (ABFO) respalda el uso de la regla diseñada por el Dr. Tom Krauss, ABFO nº 2 como la regla recomendada para el uso en fotografía de marcas por mordedura. Esta consta de dos reglas posicionadas en ángulo recto entre sí, con tres círculos equidistantes y una referencia de escala de grises. Los círculos se utilizan para corregir la distorsión angular, mientras que la escala de grises se utiliza para la corrección del color (Figura 17). Al igual que con la toma de fotografías, la importancia de tener la escala en contacto con el tejido y paralela al plano de la película no debe ser exagerada, pues en superficies muy curvas es esencial

tomar imágenes desde varios ángulos, con lo que debemos cambiar la posición tanto de la regla como de la cámara.

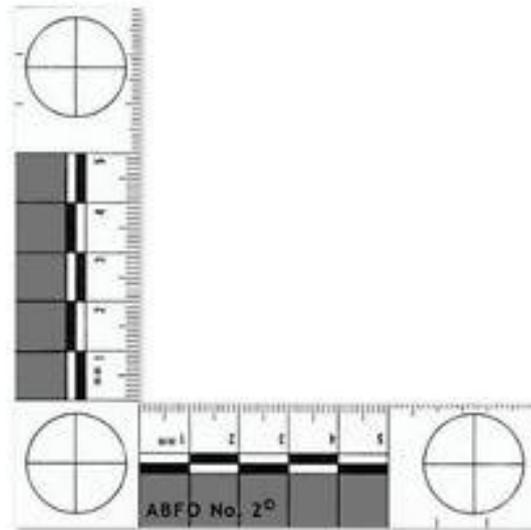


Figura 17. Imagen de la escala ABFO nº 2.

7. TÉCNICAS TRIDIMENSIONALES EN EL ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURA HUMANA

En el estudio de las marcas por mordedura la utilización de las técnicas bidimensionales son, en la práctica forense, las más usadas y extendidas. Sin embargo, existen varias líneas de investigación que están enfocadas al desarrollo y mejora del análisis de las mordeduras por medio de técnicas tridimensionales (23, 43, 84, 132-135). Esto es debido a que el acto de morder es un proceso dinámico con características tridimensionales, por lo que con el estudio mediante métodos bidimensionales se pierde mucha información necesaria para el proceso de identificación.

Por esta razón, varios investigadores iniciaron estudios para el desarrollo de técnicas tridimensionales en el ámbito del análisis de las huellas por mordeduras humanas. Thali y cols. (2003), realizaron una investigación basándose en la fotogrametría forense 3D / CAD y un escáner de superficie 3D. Por medio de un programa informático compararon la imagen tridimensional obtenida del escaneado de los modelos dentales del sospechoso con la fotografía de la lesión digitalizada con técnicas de fotogrametría. De éste modo, compararon la imagen en 3D del modelo dental con las huellas de la lesión en 3D de manera dinámica, con lo que los archivos y el material con el que se llevaba a cabo la comparación no tenían artefactos de distorsión como ocurre con las fotografías con características bidimensionales (23).

El equipo de investigación del Departamento de Medicina Legal y Forense de la Universidad de Granada desarrolló un software, DentalPrint© (2004, Universidad de Granada, Departamento de Medicina Legal y Odontología Forense, Granada), capaz de generar diversos patrones de marcas por mordeduras a partir de imágenes de modelos dentales en 3D. El software es capaz de generar diferentes patrones de mordida en función de la profundidad y angulación, reduciendo así el componente subjetivo del observador (133) (Figura 18). A continuación, realizaron la validación del mismo por medio de un estudio experimental mediante la generación de marcas por mordedura en piel de cerdo, obteniéndose resultados significativos que demostraron que DentalPrint© era una herramienta útil y precisa en el análisis de las mordeduras en el campo forense (134). Posteriormente, demostraron la eficacia y precisión del programa DentalPrint© para analizar las marcas por mordedura en casos en los que hay identaciones dentales presentes (136).

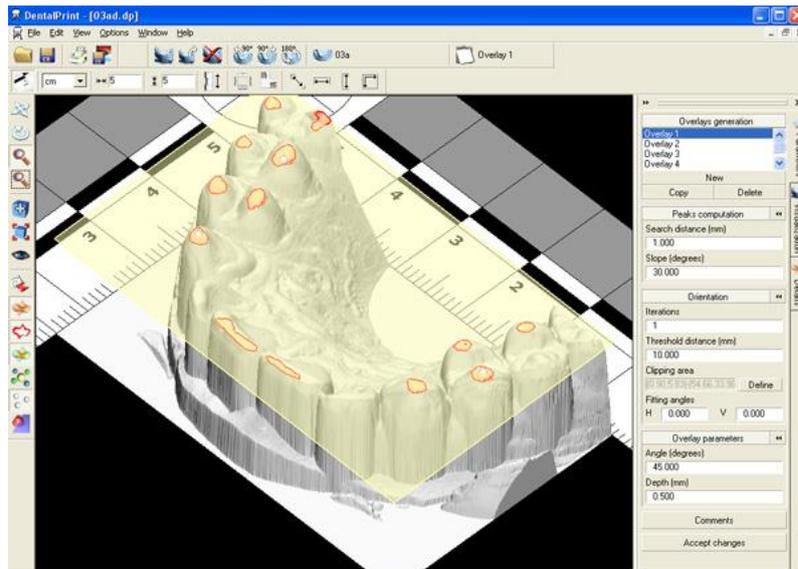


Figura 18. Imagen del programa DentalPrint© con la representación de un plano de mordida en la imagen tridimensional de un modelo dental escaneado mediante un escáner 3D.

Otra técnica desarrollada en este sentido, realizó la comparación de imágenes de una dentición 3D con una marca de mordida en 3D, eliminando la distorsión existente en la fotografía convencional. Se estudió una muestra de 42 modelos dentales y se realizaron las mordeduras de los mismos de forma experimental sobre cera dental acrílica, éstas, posteriormente, se digitalizaron mediante un escáner láser. En las imágenes obtenidas se realizó un análisis cuantitativo de algunas características dentarias. Se utilizaron coordenadas cartesianas de una serie de puntos de referencia para describir las denticiones y las marcas de mordida, y se creó una matriz para comparar todas las combinaciones posibles de coincidencias y no coincidencias, usando técnicas de validación cruzada. A continuación, se desarrolló un algoritmo que estimaba la probabilidad de que una dentición coincidiera con su correspondiente marca dental. Por último, se estableció que la probabilidad de acusar como mordedor a una persona inocente con éste método era de un 15%. (137).

Actualmente, la investigación en esta línea se ha ido extendiendo y son cada vez más los autores que dedican sus esfuerzos a mejorar la técnica tridimensional para el análisis por mordeduras haciendo uso de las nuevas tecnologías (escáneres

ópticos tridimensionales, escáneres superficiales, cámaras intraorales, fotogrametría...), pues se ha demostrado que son métodos fiables y precisos para los estudios forenses (86, 138).

7.1. Tipos de escáneres 3D y sus características

Aunque varias investigaciones se han llevado a cabo para la determinación de la precisión y fiabilidad de los escáneres láser frente a los escáneres de contacto (139, 140), una información muy limitada sobre las diferencias en cuanto a efectividad y eficiencia en su uso en odontología, y en concreto en la rama forense, se ha recogido.

Los escáneres 3D generan una nube de puntos a partir de muestras geométricas que toman de la superficie del objeto. Estas muestras son usadas mediante un proceso de reconstrucción para crear la forma del objeto digitalmente, dada la posición espacial conocida de cada punto analizado.

Para la reconstrucción del objeto se requieren, en la mayoría de los escáneres, múltiples tomas de diferentes posiciones del objeto para obtener información de todos sus lados. Estos escaneos necesitan un sistema de referencia común para que pueda llevarse a cabo la alineación y pasar de los escaneos individuales a un modelo completo mediante la unificación de cada toma. Hay diferentes tipos de escáneres 3D, estos son clasificados atendiendo a si establecen contacto o no con el objeto para obtener la información. Los distintos tipos se describen a continuación:

- Los *escáneres 3D por contacto* (punto a punto o lineal) examinan el objeto mediante un palpador, una punta de acero duro o zafiro, en la superficie del mismo, y son una serie de sensores internos los que permiten determinar la posición espacial del palpador realizando así, a partir de la nube de puntos, la reconstrucción tridimensional del objeto.

- Entre *los escáneres sin contacto* podemos diferenciar los *pasivos* y los *activos*. Los pasivos no emiten ningún tipo de radiación mientras que los activos emiten alguna clase de señal y analizan su retorno para capturar la geometría del objeto.

Dependiendo del método de detección del retorno de dicha señal pueden diferenciarse escáneres basados en tiempo de vuelo (time of flight), diferencia de fase, luz estructurada, luz modulada, holografía conoscópica y triangulación.

En la exploración, el escáner de contacto mantiene el liderazgo en procesos de inspección y control de calidad frente a la tecnología de exploración sin contacto (139). Entre las principales razones, destacan que el proceso de calibración para los escáneres de contacto es bien conocido, así como las incertidumbres de la medición (141-144).

Por otra parte, los sistemas de contacto presentan una serie de desventajas que hacen que aumente el interés por desarrollar y mejorar las técnicas de escaneo sin contacto. La principal desventaja del escáner con contacto es el alto tiempo de funcionamiento requerido para obtener un gran número de puntos en el proceso de inspección, ya que el movimiento físico del brazo del escáner puede ser muy lento. Este tiempo es mayor cuando las superficies a ser digitalizadas son de geometría compleja. El escáner por contacto más rápido puede operar sólo a unos pocos cientos de Hertz, mientras que un sistema de escáner láser puede operar de 10 a 1000 khz. Otra desventaja importante es que requiere el contacto físico con el objeto para ser escaneado, por lo que el proceso de escaneo puede modificarlo o dañarlo.

Poco a poco, los procesos de escaneo sin contacto, en particular los basados en sistemas láser, han alcanzado un buen nivel de confianza entre los usuarios en el campo de la ingeniería inversa (144-146). Esto se debe principalmente a la alta velocidad de adquisición de puntos y la consecuente disminución en el costo de operación. Sin embargo, el hecho de que la incertidumbre de la medición sea desconocida para estos sistemas se convierte en una desventaja importante, lo que supone un impedimento para su uso en el ámbito del control dimensional. Aunque,

dadas las ventajas que pueden suponer, en los últimos años, importantes esfuerzos se han comprometido a aumentar la precisión de los sistemas láser y la aplicación de esta tecnología para las tareas de inspección está creciendo.

8. FIABILIDAD EN LAS MARCAS POR MORDEDURAS HUMANAS

En cuanto al análisis estadístico usado frecuentemente en el campo de la odontología forense para describir la efectividad de las pruebas que se llevan a cabo, es conveniente realizar algunas aclaraciones para su correcto uso (45). Cuando hablamos de **fiabilidad** se hace referencia a la reproductibilidad del método, es decir, si al realizarlo un número indistinto de veces se llega a la misma resolución o conclusión. Hay dos tipos de fiabilidad; fiabilidad intraexaminador, que es una medida de fiabilidad del examinador, es decir, un único examinador al realizar repetidamente la técnica (148), y fiabilidad interexaminador, en la que se evalúa la reproductibilidad del método al usarlo más de un individuo (149). La **precisión** se define como el porcentaje de resultados correctos de determinada prueba. Con frecuencia el término **validez** es confundido con la precisión del método, pero este hace referencia a si la técnica mide lo que se pretende medir, lo cual es de especial importancia en métodos indirectos (148), o si la técnica es la adecuada para evaluar determinado factor (149).

La **sensibilidad** y la **especificidad** son medidas de la validez de una prueba, es decir, la capacidad de una prueba para identificar correctamente a los sujetos culpables y a los sujetos inocentes de crear una marca por mordedura. Cuando los resultados de una determinada técnica se comparan con un "gold standard", pueden darse cuatro resultados:

- Verdadero positivo (VP): los resultados de la prueba son positivos y esto es confirmado por el "gold standard".

- Falso positivo (FP): el resultado de la prueba es positivo pero no se confirma por el "gold standard", por el cual el resultado sería negativo.

- Falso negativo (FN): el resultado de la prueba es negativo pero el "gold standard" indica un resultado positivo.

- Verdadero negativo (VN): el resultado de la prueba y el "gold standard" indican un resultado negativo.

Para comprenderlo usando como ejemplo la identificación a través de marcas por mordeduras, la sensibilidad de una prueba es su capacidad para detectar correctamente a la persona que realizó la mordedura. Una prueba que es 100% sensible identificará a cada culpable mordedor y una prueba altamente sensible dará como resultado muy pocos falsos negativos. La especificidad de una prueba diagnóstica es el porcentaje de individuos inocentes que se muestran como no mordedores con el método. Una prueba que siempre es negativa para sospechosos inocentes tendrá una especificidad del 100%. Una prueba altamente específica produce pocos resultados falsos positivos. Si una prueba muy específica es positiva el sospechoso es casi con toda seguridad el culpable. Con muchas pruebas de diagnóstico, la sensibilidad y la especificidad están inversamente relacionadas: un aumento en uno causará una reducción en el otro.

La prueba conocida como análisis de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) es la representación gráfica de la sensibilidad frente a la especificidad calculada a partir de todos los umbrales posibles (150). La sensibilidad, verdaderos positivos, es la proporción de identificaciones correctas de culpables/mordedores. La especificidad está representada por las identificaciones correctas de la dentición que no hizo la mordedura. En el análisis ROC, los falsos positivos, es decir, la proporción de mordeduras asociadas a un autor incorrecto, es el complemento de la especificidad (1-especificidad). Cuando las respuestas del examinador se expresan como el grado en el que él cree que la mordedura se producirá por una dentición específica, cada grado se puede utilizar como un punto de

corte para crear una matriz de pares de verdaderos positivos / falsos positivos. La curva ROC se construye trazando estos pares, con los falsos positivos en el eje X y los verdaderos positivos en el eje Y. El área bajo la curva ROC (AUC) es un valor que aúna la sensibilidad y la especificidad. Áreas bajo la curva ROC entre 0,5 y 1 indican una relación positiva entre la escala de calificación y la identificación correcta.

II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En el ámbito forense, las mordeduras humanas nos pueden permitir la identificación del autor de las mismas. El elevado número de casos en los que las marcas por mordeduras están implicadas, hace de la identificación forense por marcas por mordedura un proceso de gran relevancia en la resolución de casos prácticos. Por este motivo, las pruebas forenses deben ser sometidas a profundos sistemas de validación para evitar posibles condenas de sujetos inocentes, así como a un continuo desarrollo de nuevos métodos que permitan mejorar la técnica (89).

Hasta el momento presente, la aplicación de técnicas tridimensionales, como el DentalPrint©, han permitido la generación de las huellas dentales a partir de los modelos de los sospechosos. Sin embargo, es necesario el desarrollo de nuevas herramientas que permitan el análisis de la huella de la lesión producida por la mordedura en la piel de un sujeto y la posterior comparación cuantitativa con las huellas dentales de los posibles autores.

El acto de morder es un proceso complejo por lo que su estudio debe ser cuidadoso, además, cuando la mordedura se realiza sobre la piel, la dificultad de su estudio se incrementa, pues ésta posee propiedades visco-elásticas que dan lugar a cierto grado de distorsión. Cabe destacar, que al producirse las mordeduras sobre sujetos vivos existe un movimiento reflejo de la persona mordida que influye en el patrón de mordida resultante.

La identificación de las marcas por mordeduras se centra en gran medida en el estudio de las características de los patrones dentales, así como la generación de los mismos. Para establecer la identificación se compara el patrón dental del presunto autor con el de la fotografía de la lesión por mordedura. Actualmente, existen varios métodos para la generación de las huellas dentales, algunos de ellos la obtienen directamente trazándolas de los modelos, otros utilizan técnicas xerográficas o

radiográficas para su generación. Pero estas técnicas presentan un elevado grado de subjetividad.

Hasta la fecha, el método más extendido en el análisis de las huellas por mordeduras emplea técnicas computerizadas en 2 dimensiones (108, 110). Este método consiste en escanear los modelos dentales en un escáner de dos dimensiones, la imagen digital obtenida es exportada a un programa de análisis de imágenes (Adobe® Photoshop®) con el que se obtiene el patrón de la mordedura correspondiente a ese modelo por medio de la detección de áreas de píxeles similares y, posteriormente, esta huella es comparada con la de la fotografía de la mordedura.

Este método presenta varios inconvenientes, por lo que existe la necesidad de investigar en avances que permitan solventarlos. Al usar tecnología 2D se pierde parte de la información inherente en las estructuras tridimensionales que intervienen en la mordedura, por lo que se requiere de nuevas técnicas que mejoren la objetividad y la precisión de la técnica. Lo ideal es utilizar técnicas tridimensionales para todo el proceso de identificación, pero en la práctica las identificaciones en las lesiones por mordedura no son frecuentes. Sin embargo, en un importante porcentaje de casos solemos contar con las fotografías de la lesión sobre la piel, por lo que se debe perfeccionar la técnica de identificación con el uso de estas pruebas.

Por todo esto, los objetivos del presente trabajo de investigación son los siguientes:

- Objetivo general

Desarrollar nuevas técnicas que permitan analizar de forma semiautomática y objetiva, con un método cuantificable, las marcas por mordedura humanas comparando imágenes tridimensionales de los modelos dentales de los sospechosos con fotografías de las lesiones por mordedura en la piel de la víctima.

- Objetivos específicos

1. Validar los escáneres 3D láser para su uso en la identificación de las marcas por mordedura humanas por medio de la comparación de los mismos con escáneres tridimensionales por contacto.

2. Desarrollar una técnica que nos permita reconocer de una manera objetiva y cuantificable las marcas por mordedura de fotografías sobre la piel humana.

3. Desarrollar un nuevo software que nos permita caracterizar la mordedura por medio de parámetros dentales distintivos de cada sujeto tales como la rotación, la posición angular, la excentricidad y la distancia a la arcada de cada diente, así como la distancia intercanina.

4. Desarrollar una tecnología que permita comparar con el mismo procedimiento las imágenes tridimensionales de los modelos dentales y las fotografías de las mordeduras sobre la piel.

5. Analizar la reproductibilidad y validez del nuevo método para su uso en casos prácticos forenses.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

1. VALIDACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER EN TRES DIMENSIONES

El material informático utilizado para la validación del escáner laser constó de un Intel®Pentium 4CPU PC running a 1.50 GHz, con 524mBRAM, Una tarjeta aceleradora Elsa Gloria II de gráficos Quadro (Elsa Technology Inc., Taiwán, República de China), el sistema operativo Windows Millennium (Microsoft, Redmond, WA), un monitor en color de 17 pulgadas (Trinitron® Color Computer Display, Sony Corp., Tokio, Japón), un Alienware M15x MLK con procesador Intel Core i7 740QM(1,73GHz, 6MB, 4C), con pantalla de 15,6 pulgadas Full HD (1920x 1080) WLED, memoria RAM 8192MB (2x4096), 1333MHz DDR3 Dual Chanel, disco duro 500GB Serial ATA (7200RPM), tarjeta gráfica ATI Mobility RADEON HD 5850 de 1GB y sistema operativo Spanish Genuine Windows 7 Home Premium (64 BIT).

Además, dispusimos de un escáner de contacto en tres dimensiones (PICZA 3DScanner® modelo PIX-3, Roland DG Corp., Japón), y de un escáner láser en tres dimensiones (NextEngine, Desktop 3Dscanner model 2020i, Santa Mónica, CA). Por otra parte, utilizamos los programas 3Dconverter© (2007, Departamento de Medicina Legal y Odontología Forense de la Universidad de Granada, España) y MeshLab (V1.3.1).

Inicialmente, en este trabajo de investigación procedimos con la comparación de precisión y utilidad del escáner 3D láser (NextEngine, Desktop 3Dscanner model 2020i, Santa Mónica, CA) frente al escáner 3D de contacto (PICZA 3DScanner® modelo PIX-3, Roland DG Corp., Japón) cuyo proceso de calibración e incertidumbres de la medición son bien conocidos para el análisis de marcas por mordeduras (141-144).

Para ello se tomaron 20 modelos dentales, correspondientes a 10 individuos. Los modelos seleccionados fueron escaneados en el escáner 3D de contacto (PICZA 3DScanner® modelo PIX-3, Roland DG Corp., Japón). Las arcadas superiores e inferiores

fueron escaneadas por separado. El PIX-3 puede escanear objetos del tamaño de 152,4 mm (ancho, eje X) x 101,6mm (profundidad, eje Y) x40.65mm (altura, el eje Z). El alto rendimiento de PICZA permite un nivel de exploración de 0.025 mm en el eje Z y de 0,05 mm a 1 mm en el eje X e Y.

El escáner PICZA3D viene con su propio software de exploración: el Dr. Picza®. Los ajustes básicos para la digitalización son los campos de exploración de los ejes X e Y y la extensión del escaneado. Para obtener imágenes suficientemente precisas de los modelos dentales, se llevaron a cabo diferentes valores en los ajustes del escaneado. Se obtuvieron imágenes excelentes en 3D con un nivel de exploración 0,1 mm para los ejes X e Y. El tiempo de escaneado para estos parámetros fue de 10 horas por modelo (Figura 19).

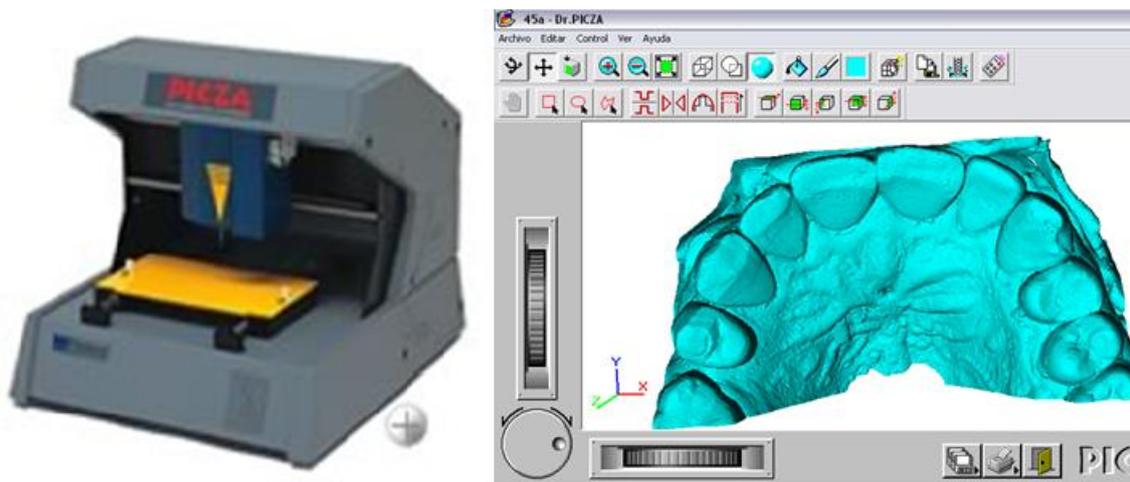


Figura 19. En la imagen de la izquierda se muestra el escáner tridimensional de contacto, a la derecha la imagen tridimensional del modelo dental obtenido con el mismo.

Los mismos modelos dentales fueron escaneados en el escáner 3D láser (NextEngine, Desktop 3Dscanner model 2020i, Santa Mónica, CA). Estos deben colocarse en el soporte móvil, MultiDrive, que permite la modificación de la orientación del modelo de modo automático. Este debe ser fijado en la plataforma

móvil para que queden inmóviles durante el proceso de escaneado, de manera que el plano oclusal quede orientado hacia el escáner.

Previo al escaneo de los modelos, se realizaron ajustes iniciales para obtener unas imágenes precisas y de calidad de los mismos. También se llevó a cabo una calibración que permite al escáner realizar un alineamiento de las diferentes tomas de los modelos de forma automática.

En un primer momento, se realizaron escaneos con las características recomendadas por el fabricante para los modelos dentales de yeso: dos escaneos con 8 tomas cada uno, con una rotación de 360°, el primero con una inclinación de -10° y el segundo de 45°. Por motivos de compatibilidad, dado el gran tamaño de los archivos resultantes, se modificaron estas características de modo que se redujese su tamaño y así el estudio del modelo pudiese llevarse a cabo en otros programas informáticos necesarios para el análisis de las huellas.

Los parámetros resultantes fueron:

- Posicionamiento: Bracket (tres tomas desde ángulos diferentes; izquierda-centro-derecha).
- Número de tomas/divisiones: 16.
- Resolución: HD (points/IN.²)
- Distancia/alcance: Macro.
- Objetivo: para exposición a luz (light).
- Inclinación/tilt: Debe colocarse el modelo de modo que las caras incisales queden paralelas a la cámara del escáner. Esto puede ser controlado en una pantalla que nos muestra el modelo en el momento de ajustar el escaneo. Se debe tener en cuenta la concavidad más acentuada que pueden tener en la zona lingual/palatina algunos incisivos, en cuyo caso deberemos inclinar más el modelo.

- Selección del área del modelo que queremos escanear (incisivos y caninos) mediante el puntero del ratón sobre la imagen del modelo que aparece en pantalla.

Además, el escáner presenta una serie de opciones que permiten realizar el escaneo sin captura de color, y así se hizo en este caso para disminuir el tamaño del archivo resultante.

Para estas características el tiempo de escaneo varió entre 7-10 minutos por modelo, relacionándose esta variación con el mayor o menor tamaño del mismo (Figura 20).

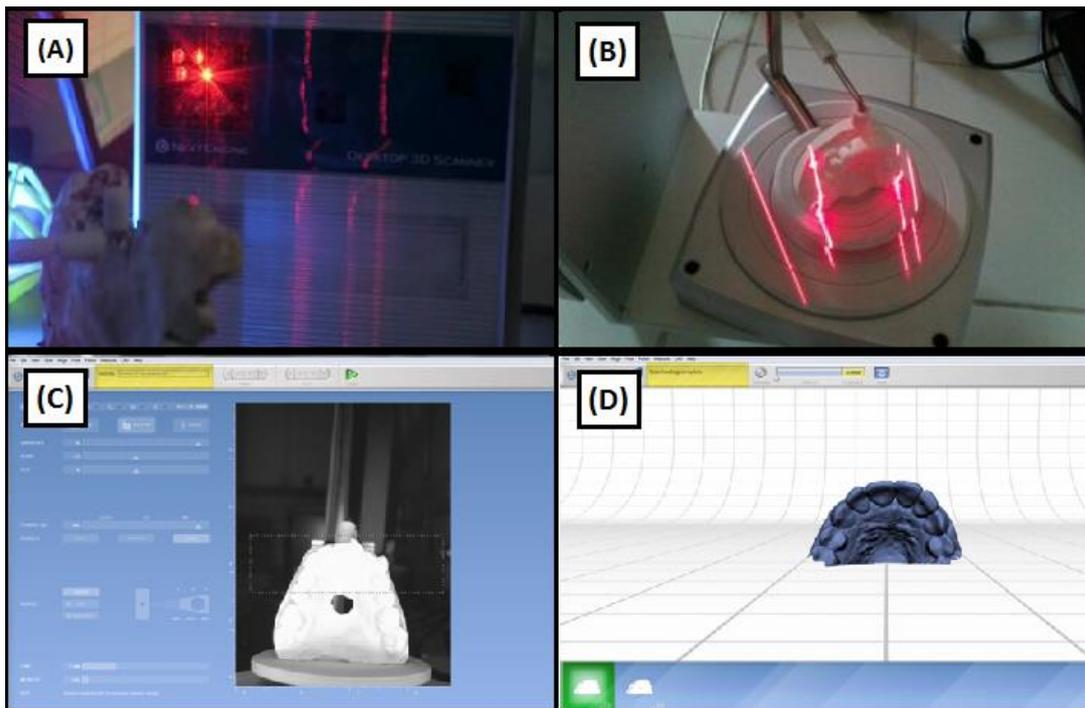


Figura 20. Ejemplo del proceso de escaneo láser tridimensional: (A) Imagen del escáner tridimensional láser; (B) Imagen del escaneo de un modelo dental en la plataforma móvil *multidrive*; (C) Configuración de los parámetros de escaneo; (D) Imagen tridimensional del modelo dental escaneado.

Cada modelo escaneado fue sometido a un proceso de recortado en el que se eliminaban los puntos y áreas no deseadas. El software presenta varias herramientas que permiten tratar la imagen resultante para autocompletar los huecos que puedan aparecer, así como una opción que permite simplificar el escaneado resultante. En nuestro caso, para no falsear la morfología dental, no activamos ninguna de estas opciones.

Tras el tratamiento del modelo se procedió a guardar el archivo en formato PLY y posteriormente fue procesado con el programa MeshLab (V1.3.1) que modificó la información del color y permitió guardar el archivo de nuevo en formato PLY, compatible con el software 3Dconvensor©. Posteriormente, los archivos PLY de los modelos dentales fueron procesados con el programa 3Dconvensor© (2007, Departamento de Medicina Legal y Odontología Forense de la Universidad de Granada, España) (Figura 21).

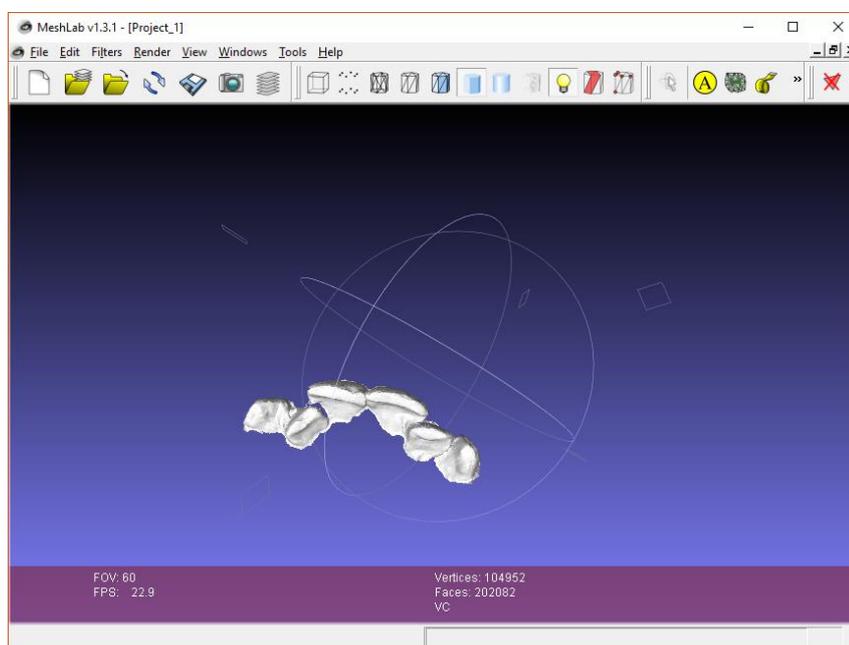


Figura 21. Imagen 3D de un modelo dental procesado con el software MeshLab.

En el programa 3Dconvensor©, el modelo se debe colocar centrado su línea media, dejando a la vista las caras incisales, paralelas a la pantalla, y seleccionar la

opción calcular mapa de alturas. Este programa transformará el formato PLY en PIX quedando preparado para su uso con el software de análisis de las huellas por mordeduras humanas DentalPrint© (2004, Departamento de Medicina Legal y Odontología Forense de la Universidad de Granada, España) (Figura 22).

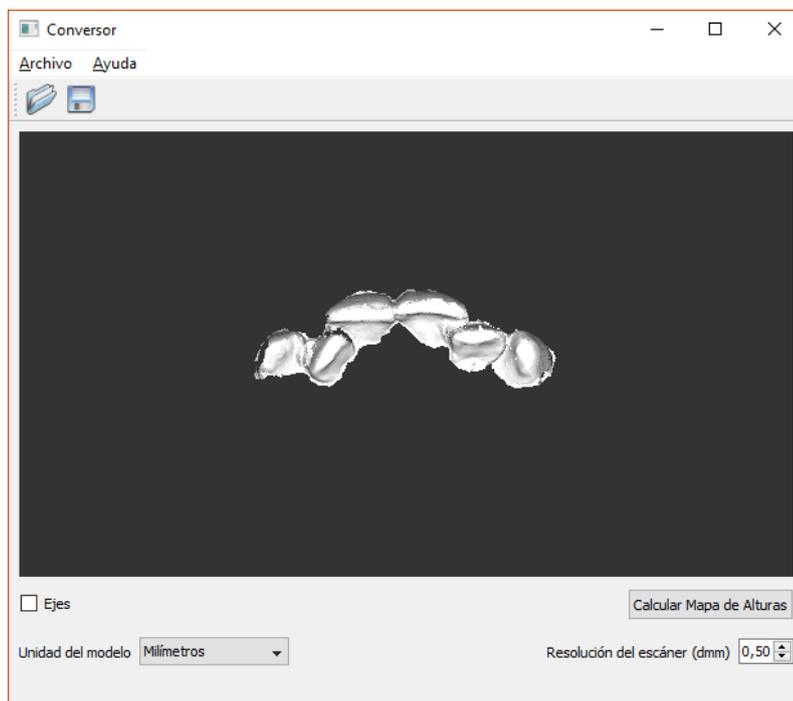


Figura 22. Imagen 3D de un modelo dental procesado con el software 3Dconversor©.

El programa DentalPrint© permite la generación de las huellas dentales a partir de los modelos escaneados en tres dimensiones. El software selecciona los 3 puntos más elevados de entre todos los posibles calculados para pequeñas áreas del modelo dental, y define un plano (plano de contacto) a partir del cual, se generarán las superficies de los dientes implicados en una mordedura de forma automática. Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que el acto de morder es un proceso dinámico. De hecho, el programa DentalPrint© permite generar distintas huellas dentales que representan las diferentes angulaciones que se pueden producir en el acto de mordida. El programa, además, permite crear diferentes huellas dentales dependiendo de la intensidad de la mordedura, ya que puede modificar la profundidad

(altura de corte) a la que se extiende el plano de contacto para generar la huella (Figura 23). La validación de esta herramienta informática, DentalPrint®, para su posible aplicación en casos prácticos forenses ante los tribunales de justicia fue llevada a cabo mediante la comparación de las huellas de modelos dentales con fotografías de lesiones por mordeduras experimentales producidas en piel de cerdo (134).

Hemos generado las huellas dentales de los 20 modelos escaneados en el escáner 3D de contacto y de los 20 mismos modelos escaneados en el escáner 3D láser. Las imágenes 3D de los 40 modelos fueron exportadas al programa DentalPrint® donde se generaron las huellas dentales y calculamos los puntos o cimas más altas de los modelos necesarias para construir el plano de contacto que generaría la huella dental de los mismos (figura 23).

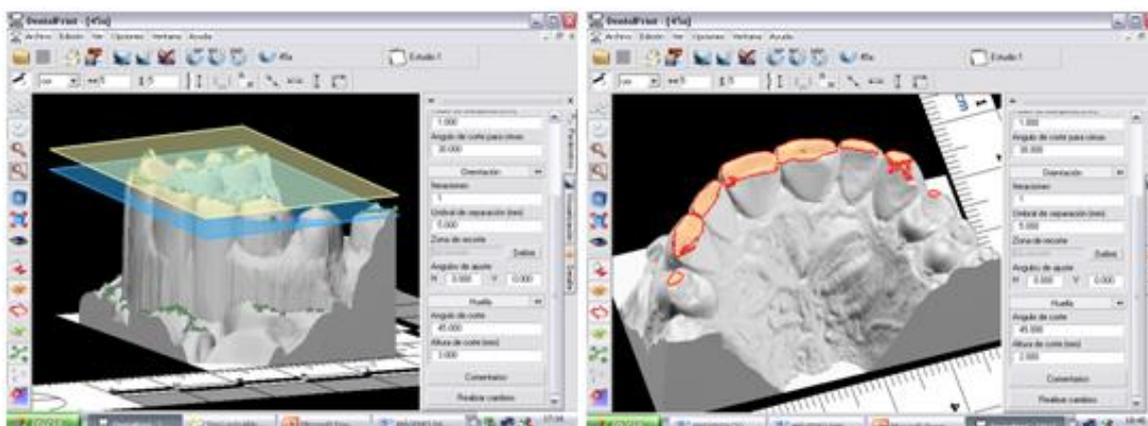


Figura 23. Generación de las huellas dentales a partir de la imagen tridimensional de un modelo dental con el programa DentalPrint®. La imagen de la izquierda muestra el plano de contacto a partir de los tres puntos más altos del modelo (plano amarillo) y el plano de la mordedura con mayor profundidad (plano azul). En la imagen de la derecha se muestra la huella dental generada.

Posteriormente, procedimos a la medición de los diámetros mesio-distales de los incisivos y caninos y la distancia intercanina de las 40 imágenes de los modelos

dentales (20 escaneados en escáner 3D contacto y otros 20 escaneados en escáner 3D láser) y de las 40 huellas dentales generadas.

Para medir la longitud mesio-distal de la zona incisal de caninos e incisivos y la distancia intercanina se usó una herramienta de medición que posee DentalPrint®. Cada medida se repitió tres veces como se recomienda en la guía práctica para la realización de mediciones y así poder determinar la incertidumbre de la medición (151).

Para el cálculo de la incertidumbre se llevaron a cabo tres mediciones de cada diente y de cada huella. La incertidumbre en la medición hace referencia a la duda que existe sobre el resultado de cualquier medición. Ya que para cada medida existe siempre un margen de incertidumbre o error, para el control de la incertidumbre es aconsejable realizar al menos tres mediciones repetidas (151).

En este caso, para el cálculo de la incertidumbre realizamos una evaluación de tipo A, mediante la cual se obtienen los datos para el cálculo de la incertidumbre mediante el análisis estadístico de las mediciones realizadas de forma repetida. Primero se calculó la incertidumbre estándar, esta hace referencia a la incertidumbre del promedio de las mediciones. Posteriormente, se calculó la incertidumbre combinada de las mismas, esta se calcula elevando al cuadrado las incertidumbres, sumándolas y finalmente haciendo la raíz cuadrada del total, dándonos una idea global de la misma.

$$\textit{Combined uncertainty} = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + \dots \textit{etc.}}$$

Mediante la incertidumbre combinada podemos calcular la incertidumbre expandida con una multiplicación de ésta por un factor de cobertura K . Esto permite

escalar la incertidumbre combinada a un nivel de confianza del 95% si multiplicamos la incertidumbre estándar por un factor de cobertura $K=2$.

Los datos obtenidos fueron exportados a una hoja de cálculo de Excel y se calculó la incertidumbre combinada de la medición con un intervalo de confianza del 95% utilizando el programa SPSS versión 20.0 (IBM Inc., Chicago, IL).

Los resultados de cada escáner fueron comparados mediante la prueba T de Student, y se calcularon los coeficientes de correlación intraclase para el maxilar superior y la mandíbula.

2. DESARROLLO DEL PROGRAMA BITEPRINT©

En este trabajo de investigación hemos desarrollado un software, Biteprint©, que permite hacer de modo semiautomático el estudio en la piel de las marcas por mordedura a través de fotografías de los hematomas producidos por un mordedor. El programa, además, analiza las marcas generadas con DentalPrint© de los modelos dentales de los sospechosos, permitiendo una comparación cuantitativa entre ambas imágenes.

El programa informático se ha desarrollado en C++, con el compilador Microsoft Visual Studio 2005 Professional Edition, utilizando la biblioteca Qt 4.3.0, libtiff, QGLViewer, y la biblioteca de gráficos OpenGL. El software ha sido probado con éxito en un PC con procesador Intel Pentium Dual Core CPU T2390 1.86 GHz, 1.75 GB de RAM, con Microsoft Windows XP Professional versión 2002 Service Pack 2. También se probó con éxito en el sistema operativo Windows 7 y Windows 10. Para que funcione

correctamente tienen que ser instalados Microsoft. NET Framework 2.0 y Microsoft Visual J # 2.0 Redistributable Package.

El nuevo software, BitePrint©, es capaz de trabajar con las fotografías de las mordeduras de la piel de la víctima en las que las marcas dentarias son hematomas producidos por los dientes. Para el desarrollo del programa hemos utilizado fotografías de mordeduras de casos forenses reales, con las sentencias judiciales como "gold standard". El programa se ha diseñado para ser capaz de reajustar las marcas por mordedura dejadas en la piel de una víctima, así como para calcular los parámetros característicos de la arcada y de cada diente y, de este modo, establecer las coincidencias con el posible autor de la lesión.

También se ha desarrollado BitePrint© para que represente geoméricamente las huellas dentales de los modelos siguiendo el mismo procedimiento que con las fotografías de las mordeduras.

Mediante Biteprint© cada marca dentaria se ajustó a una elipse y el arco dentario a una semicircunferencia. Esto nos permitió reproducir las marcas por mordedura como un conjunto de coeficientes geoméricos que pueden ser comparados obteniendo un valor numérico que representa sus similitudes. El archivo resultante al generar las huellas con el software DentalPrint©, se importó al programa Biteprint© y procedimos a seleccionar las marcas por mordedura y obtener los parámetros. La técnica consta de varios pasos:

- Selección del sistema de coordenadas:

Para realizar el estudio con las dimensiones ajustadas a escala real tomamos como referencia la regla ABFO N°2 que aparece al generar la huella en DentalPrint©. El observador debe marcar un centímetro en el eje X y un centímetro en Y sobre la

regla ABFO N^o2, selecciona la opción *selección/ sistema de coordenadas*, marca un centímetro en cada eje y guarda las referencias, *selección/ guardar sistema de coordenadas*, así tendremos una referencia correcta del tamaño.

- selección de las elipses dentales:

El observador selecciona la opción *Figuras/dibujar elipse inicial*, marca los ejes mesio-distal y vestibulo-lingual de la elipse dentaria, selecciona *Figuras/calcular elipse* y el programa crea una elipse inicial con ambos ejes. Posteriormente, Biteprint[©] ajusta la elipse inicial, el observador selecciona *Figuras/ajustar elipse inicial* y la elipse queda ajustada automáticamente. Para seguir seleccionando el resto de los dientes, el observador deberá primero guardar la elipse seleccionada, *Figuras/guardar elipse*. Este proceso se repite para cada una de las marcas dentarias (Figura 24).

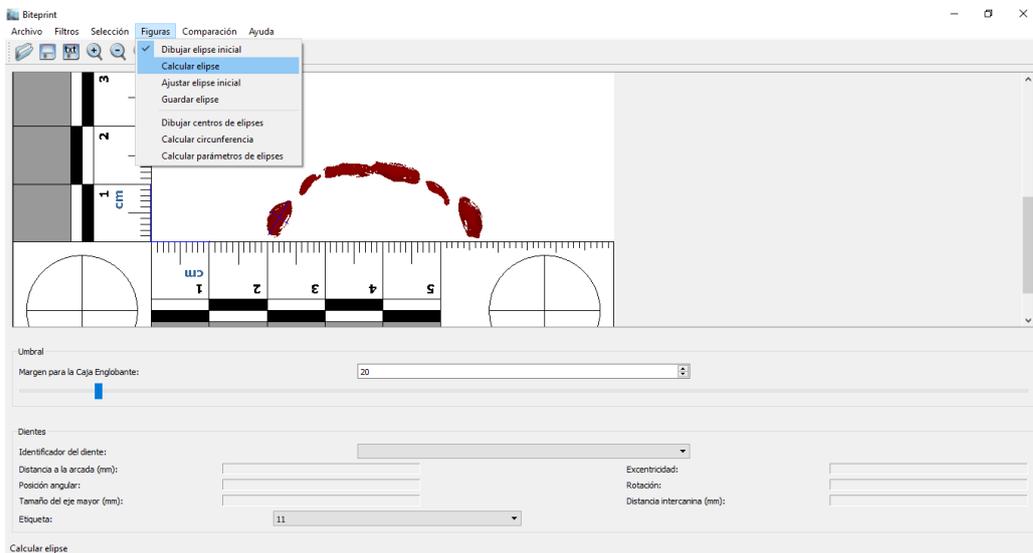


Figura 24. Imagen de la selección de los ejes mesio-distal y vestibulo-lingual de una elipse dental con el software Biteprint[©].

- Generación del arco dentario:

Para que el software genere de forma automática el arco dentario de una huella, deben haber sido seleccionadas al menos tres elipses/marcas dentarias no alineadas. El observador selecciona *Figuras/calcular circunferencia* y el programa genera el arco que más se ajusta a las marcas dentarias.

- Obtención de los parámetros:

A continuación se selecciona *Selección/selección del centro de la arcada*, de este modo el programa ya tiene las referencias necesarias para generar los parámetros de ese modelo dental. Posteriormente, se selecciona *Figuras/calcular parámetros de elipses* y a continuación el observador etiqueta cada marca dentaria con el diente al que corresponde (11, 12, 21...) (Figura 25).

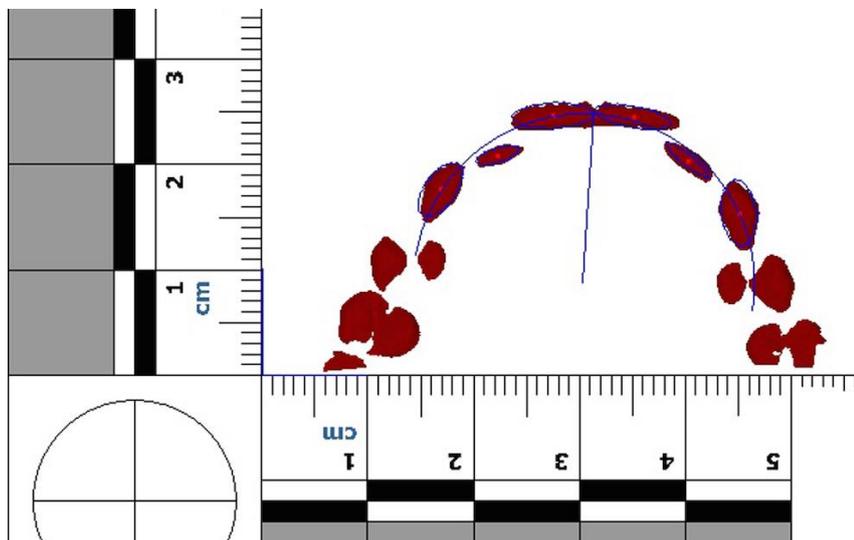


Figura 25. Imagen de una huella dental con las elipses dentarias, el centro de la arcada y la semicircunferencia calculados con el software Biteprint©.

A partir de los datos geométricos obtenidos, el programa nos da información cuantitativa de los parámetros dentales tales como la rotación, la excentricidad, la posición angular y distancia a la arcada de cada diente, así como la distancia intercanina.

La representación geométrica de las mordeduras y las huellas dentales se desarrolla a continuación en una huella dental obtenida con DentalPrint© a partir de un modelo dental en 3D (figura 26):



Figura 26. Huella dental obtenida con Dentalprint© a partir de la imagen 3D de modelo dental escaneado.

El operador marca el diámetro mesio-distal y vestibulo-palatino de las marcas dentales (Figura 27).



Figura 27. Ejes mayor y menor de la elipse inicial que dibujaremos sobre una de las elipses dentales.

A continuación, el programa calcula una elipse inicial y la reajusta a la marca dentaria, creando una imagen binaria y aplicándole un algoritmo genético (Figura 28).



Figura 28. En la imagen de la izquierda se observa la elipse inicial dibujada por el usuario. A la derecha la elipse ajustada.

De este mismo modo calcularemos el resto de las elipses correspondientes a las marcas dentarias de los dientes incisivos y caninos (Figura 29).



Figura 29. En la imagen se observan las elipses de las marcas dentales de los incisivos y los caninos dibujadas en la huella dental.

Posteriormente, el programa Biteprint© genera la circunferencia que más se ajusta a las marcas dentales dibujadas. A continuación, seleccionamos la línea media, de este modo, el programa tendrá un sistema de referencia para calcular los parámetros dentales necesarios para la identificación (Figura 30).



Figura 30. En la imagen de la izquierda se muestra la circunferencia que mejor se ajusta a las elipses dibujadas. A la derecha, se observa la línea media seleccionada y la imagen de la semicircunferencia correspondiente a la arcada.

En la figura 31 se muestra la interfaz del programa Biteprint©.

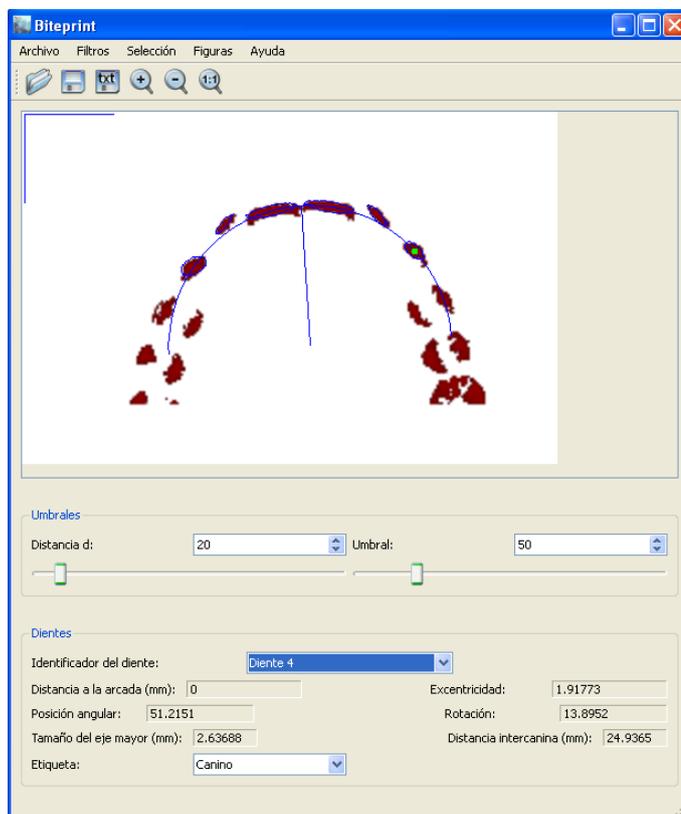


Figura 31. Resultados finales y parámetros correspondientes al Diente 4.

3. REPRODUCTIBILIDAD DEL SOFTWARE BITEPRINT©

Hemos realizado un ensayo interobservador para comprobar la reproductibilidad del método. Para lo cual, se escanearon 7 modelos dentales en el escáner láser en 3 dimensiones (NextEngine, Desktop 3Dscanner model 2020i, Santa Mónica, CA).

Los modelos fueron escaneados con determinadas características para una correcta precisión y un tamaño de archivo que nos permitiera trabajar con los diferentes software. En el escaneo de los modelos para el estudio del BitePrint©, en lugar de configurar el proceso con las características anteriormente mencionadas para la validación del escáner láser con el que procedimos al registro de los modelos, hicimos uso de una opción que presenta el software del escáner láser 3D ScanStudio. Creamos dos grupos/familias para, en un mismo escaneado, tener registro de dos angulaciones del modelo dental. Esto se llevó a cabo con el objeto de registrar la zona palatina de los incisivos cuando existe una mayor concavidad a este nivel y, a su vez, poder tener un registro de la cara vestibular, ya que las marcas por mordedura pueden ser realizadas desde distintos ángulos y a distinta profundidad. Se procedió del siguiente modo:

Family A

- Positioning - Bracket
- Divisions - 16
- Tilt - Family A: modelo dental orientado con las caras palatinas o linguales e incisales hacia la cámara del escáner.
- Points/in² - HD
- Tarjet - Light
- Range - Macro

Seleccionamos el área que se desea escanear con el puntero del ratón sobre la imagen que aparece del modelo (incisivos y caninos).

Family B

- Positioning - Braket
- Divisions - 16
- Tilt - Family B: modelo dental orientado con las caras vestibulares hacia la cámara del escáner.
- Points/in² - HD
- Tarjet - Light
- Range - Macro

Seleccionamos el área que se desea escanear con el puntero del ratón sobre la imagen que aparece del modelo (incisivos y caninos).

Family A y Family B se diferenciaron sólo en la angulación con que se orientaban hacia la cámara del escáner y, de este modo, pudimos registrar la cara vestibular y la cara palatina en un mismo escaneo.

El escaneado de cada modelo con estos ajustes llevó aproximadamente 15 minutos.

Las imágenes tridimensionales de los modelos fueron tratadas previamente como se explica con detalle en el apartado de la validación del escáner láser. Los archivos 3D resultantes del escaneado fueron guardados en formato PLY y pasados por el software MeshLab para modificar los datos de color, ya que no son necesarios y dificultan el manejo de las imágenes resultantes en los distintos programas informáticos.

Posteriormente, los archivos fueron convertidos mediante el software 3Dconvensor© a formato PIX, que nos permite procesar los modelos mediante el programa informático DentalPrint©. A continuación, con este programa, se generaron las huellas dentales con tecnología tridimensional. Las marcas dentales fueron generadas como se mencionó anteriormente para la validación del escáner láser, obteniendo las huellas de los incisivos y los caninos, que fueron procesadas con el programa Biteprint ©.

Dos observadores trabajaron independientemente con estas imágenes, seleccionando las elipses iniciales de los dientes incisivos y caninos que el programa Biteprint© ajusta. A partir de estas, el software generó los parámetros que caracterizan la boca del individuo y se compararon los parámetros obtenidos por ambos observadores.

Obtuvimos los valores de rotación, excentricidad, posición angular y distancia al arco para cada uno de los 6 dientes analizados (incisivos centrales, incisivos laterales y caninos), además obtuvimos el valor de la distancia intercanina. Por tanto, obtuvimos un total de 25 variables que caracterizaron cada arcada, es decir, 50 variables para cada modelo dental. Si tenemos una población total de 7 modelos dentales, estamos trabajando con un total de 350 datos por cada observador que luego se compararon entre sí.

Los parámetros obtenidos por ambos observadores fueron introducidos en una hoja de cálculo de Excel y se calculó el coeficiente de correlación interclase y su un intervalo de confianza al 95% mediante el software SPSS versión 20 (IBM Inc., Chicago, IL).

4. VALIDACIÓN DEL SOFTWARE BITEPRINT©

En el estudio de validación del software para determinar la precisión, se utilizaron 16 fotografías (dos de casos forenses reales y catorce de mordeduras experimentales en piel de cerdo) y 64 modelos dentales. Las fotografías fueron exportadas al software Biteprint© con el que se generaron las huellas dentales y se obtuvieron los parámetros dentales. Por otro lado, los modelos fueron escaneados con un escáner láser 3D, se generaron las huellas dentales con el programa DentalPrint© y se calcularon los parámetros dentales con el software Biteprint© como se ha descrito anteriormente.

Cada fotografía fue comparada con cuatro modelos dentales distintos, entre los cuales se encontraba el modelo dental de la boca que generó la mordida de la fotografía (modelo culpable).

Para cada comparación de los parámetros de una fotografía frente a los de cuatro modelos, se analizaron los datos y se le dio un valor *positivo/modelo culpable* a aquel modelo dental cuyos parámetros dentales se aproximaron más a los observados en la fotografía.

Se utilizó el análisis de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic curve) para determinar la precisión del método. En el análisis ROC se estudia la sensibilidad frente a la especificidad. La sensibilidad, también llamada fracción de verdaderos positivos (FVP), se define como la proporción de identificaciones correctas de denticiones que hicieron la marca por mordedura. La especificidad es la proporción de identificaciones correctas de la dentición que no hicieron la mordedura. En el análisis ROC, la fracción de falsos positivo (FFP), es decir, la proporción de identificaciones incorrectas, es el complemento de la especificidad (1-especificidad). El área bajo la

curva ROC (AUC) combina sensibilidad y especificidad en una sola medida de precisión. Cuando las respuestas del examinador se expresan como el grado en el que cree que la marca por mordedura se ha producido por una dentición específica, cada grado se puede utilizar como un punto de corte para crear una matriz de pares FVP/FFP. La curva ROC se construye trazando estos pares, con FFP en el eje X y FVP en el eje Y. Las áreas bajo la curva ROC entre 0,5 y 1 indican una relación positiva entre la escala de calificación y la identificación correcta. Se calcularon las AUC, valores de sensibilidad y especificidad y los intervalos de confianza al 95% para lo cual se utilizó el software SPSS versión 20 (IBM Inc., Chicago, IL).

IV. RESULTADOS

1. VALIDACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER EN TRES DIMENSIONES

Para la validación del escáner láser 3D procedimos al escaneo de 20 modelos dentales, correspondientes a 10 individuos. Los 20 modelos fueron escaneados, por una parte, con el escáner de contacto (PICZA 3DScanner® modelo PIX-3, Roland DG Corp., Japón) y, por otra, con el escáner 3D láser (NextEngine, Desktop 3Dscanner model 2020i, Santa Mónica, CA). Las arcadas superior e inferior fueron escaneadas por separado. A partir de las 40 imágenes tridimensionales obtenidas con ambos escáneres, generamos las huellas dentales con el software DentalPrint©. Posteriormente, procedimos a la medición de los diámetros mesio-distales de los incisivos y caninos y la distancia intercanina de las 40 imágenes de los modelos dentales (20 escaneados en escáner 3D contacto y otros 20 escaneados en escáner 3D láser) y de las 40 huellas dentales generadas. Con los datos de las mediciones se procedió al cálculo de la incertidumbre combinada, la incertidumbre expandida, el coeficiente de correlación intraclase y se compararon ambos escáneres mediante la prueba T de Student.

Los resultados obtenidos en la comparación del escáner láser en tres dimensiones (NextEngine©) frente al escáner de contacto en tres dimensiones (PICZA 3DScanner®) fueron los siguientes:

1. Modelos del escáner por contacto:

Los datos descriptivos de las medidas realizadas en las piezas dentarias se presentan en la tabla 1. La incertidumbre osciló entre un máximo de 0,0734 mm para la distancia intercanina superior y un mínimo de 0,0070 mm para el diámetro mesio-distal del canino superior izquierdo (diente 23). Por otra parte, las distancias intercaninas tuvieron un valor de incertidumbre mayor que el resto de las medidas,

siendo superior la del maxilar frente a la de la mandíbula. Obtuvimos una incertidumbre combinada de 0,833 mm para los modelos superiores y de 0,660 para los modelos inferiores. Los valores de incertidumbre expandida fueron de 1,666 para el maxilar y de 1,321 para la mandíbula. El índice de correlación intraclase en las mediciones del maxilar fue de 0,9944 y de 0,9934 para la mandíbula (Tabla 1).

2. Modelos del escáner láser:

Los datos descriptivos de las medidas realizadas en las piezas dentarias se presentan en la tabla 2. Se observó una incertidumbre con un valor máximo de 0,0714 mm para la distancia intercanina superior y un mínimo de 0,0108 mm para el diámetro mesio-distal del canino inferior derecho (diente 43). Para las distancias intercaninas existió una incertidumbre mayor que para el resto de mediciones, siendo superior la del maxilar. En el modelo dental en su conjunto, la incertidumbre osciló entre 0,01-0,02 mm, el valor de incertidumbre combinada superior fue de 0,811 mm y de 0,688 mm para el inferior. Los valores de incertidumbre expandida fueron de 1,623 para el maxilar y de 1,376 para la mandíbula. Obtuvimos un coeficiente de correlación intraclase de 0,9951 y de 0,9945 para los modelos superiores e inferiores respectivamente (Tabla 2).

Modelo_contacto					
Diente	Media (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Desv. Típica (mm)	Incertidumbre (mm)
23 ^a	,69460	,651	,731	,022387	,007079
22 ^a	,61530	,540	,656	,035296	,011161
21 ^a	,82170	,747	,957	,072783	,023016
11 ^a	,82000	,748	,937	,067087	,021215
12 ^a	,64960	,596	,729	,034824	,011012
13 ^a	,69750	,623	,765	,051692	,016346
DIC ^b SUP	3,59520	3,143	3,878	,232362	,073479
43 ^a	,62570	,564	,681	,040858	,012920
42 ^a	,56460	,514	,655	,040203	,012713
41 ^a	,53560	,408	,586	,052096	,016474
31 ^a	,53760	,411	,590	,057749	,018262
32 ^a	,57640	,536	,613	,023996	,007588
33 ^a	,59120	,526	,638	,032896	,010403
DIC ^b INF	2,97370	2,538		,180765	,057163
				Valor	
IC ^c Superior					0,833
IC ^c Inferior					0,66
IE ^d Superior					1,666
IE ^d Inferior					1,321
CCI ^e Superior					0,9944
CCI ^e Inferior					0,9934

Tabla 1. Datos descriptivos y valores de incertidumbre de los diámetros mesio-distales de los dientes anteriores y distancia intercanina que se midieron en las imágenes tridimensionales de los modelos dentales escaneados con el escáner 3D contacto. (a) Notación numérica acorde a FDI (Federación Dental Internacional); (b) Distancia Intercanina; (c) Incertidumbre combinada; (d) Incertidumbre expandida; (e) Coeficiente de correlación intraclase.

Modelo_láser					
Diente	Media (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Desv. Típica (mm)	Incertidumbre (mm)
23 ^a	,70530	,638	,756	,037062	,011720
22 ^a	,61450	,552	,666	,034497	,010909
21 ^a	,83210	,769	,943	,063310	,020020
11 ^a	,82650	,777	,940	,046397	,014672
12 ^a	,65500	,596	,726	,036228	,011456
13 ^a	,71400	,552	,788	,069769	,022063
DIC ^b SUP	3,58480	3,120	3,960	,225808	,071407
43 ^a	,62200	,563	,665	,034179	,010808
42 ^a	,57650	,524	,652	,042059	,013300
41 ^a	,53460	,455	,572	,042542	,013453
31 ^a	,52550	,428	,591	,052695	,016663
32 ^a	,59050	,508	,671	,045403	,014358
33 ^a	,60780	,529	,701	,049784	,015743
DIC ^b INF	2,95010	2,487	3,162	,187893	,059417
				Valor	
IC ^c Superior					0,811
IC ^c Inferior					0,688
IE ^d Superior					1,623
IE ^d Inferior					1,376
CCI ^e Superior					0,9951
CCI ^e Inferior					0,9945

Tabla 2. Datos descriptivos y valores de incertidumbre de los diámetros mesio-distales de los dientes anteriores y distancia intercanina que se midieron en las imágenes tridimensionales de los modelos dentales escaneados con el escáner 3D láser. (a) Notación numérica acorde a FDI (Federación Dental Internacional); (b) Distancia Intercanina; (c) Incertidumbre combinada; (d) Incertidumbre expandida; (e) Coeficiente de correlación intraclase.

3. Huellas del escáner por contacto:

Los datos descriptivos de las medidas realizadas en las piezas dentarias se presentan en la tabla 3. La incertidumbre osciló entre un máximo de 0,115 mm para la distancia intercanina superior y un mínimo de 0,0093 mm para el diámetro mesio-distal del incisivo lateral inferior izquierdo (diente 32). Para las distancias intercaninas, las medidas de incertidumbre alcanzaron los valores máximos, siendo mayor el del maxilar superior. Obtuvimos un valor de incertidumbre combinada para el maxilar de 1,361 y de 0,784 para la mandíbula. Los valores de incertidumbre expandida fueron de 2,723 y de 1,568 para el maxilar y la mandíbula respectivamente. El coeficiente de correlación intraclase resultante fue de 0,9845 en el maxilar superior y de 0,9888 en el maxilar inferior (Tabla 3).

4. Huellas del escáner láser:

Los datos descriptivos de las medidas realizadas en las piezas dentarias se presentan en la tabla 4. La incertidumbre osciló entre un máximo de 0,0739 mm para la distancia intercanina superior y un mínimo de 0,0122 mm para el diámetro mesio-distal del incisivo lateral inferior izquierdo (diente 32). Los resultados globales de incertidumbre oscilaron entre 0,01-0,03 mm, observándose los valores máximos para las distancias intercaninas, siendo superior la del maxilar. La incertidumbre combinada en los modelos superiores fue de 0,970 y de 0,811 en los modelos inferiores. Por otro lado obtuvimos una incertidumbre expandida de 1,940 y 1,623 para los modelos superiores e inferiores respectivamente (Tabla 4). Los valores obtenidos para el coeficiente de correlación intraclase fueron de 0,9966 para el maxilar y de 0,9949 para la mandíbula (Tabla 4).

Huella_contacto					
Diente	Media (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Desv. Típica (mm)	Incertidumbre (mm)
23 ^a	,42144	,267	,535	,078739	,026246
22 ^a	,49340	,393	,561	,072471	,022917
21 ^a	,72710	,537	,912	,112577	,035600
11 ^a	,74640	,561	,887	,084362	,026678
12 ^a	,47560	,293	,615	,114541	,036221
13 ^a	,41230	,296	,522	,090361	,028575
DIC ^b SUP	3,46944	2,711	3,884	,345037	,115012
43 ^a	,40520	,259	,586	,126189	,039905
42 ^a	,51300	,425	,567	,043006	,013600
41 ^a	,45670	,376	,539	,064631	,020438
31 ^a	,48830	,373	,579	,067561	,021365
32 ^a	,52490	,482	,564	,029426	,009305
33 ^a	,42610	,213	,559	,123340	,039004
DIC ^b INF	2,79830	2,478	2,985	,137450	,043465
				Valor	
IC ^c Superior					1,361
IC ^c Inferior					0,784
IE ^d Superior					2,723
IE ^d Inferior					1,568
CCI ^e Superior					0,9845
CCI ^e Inferior					0,9888

Tabla 3. Datos descriptivos y valores de incertidumbre de los diámetros mesio-distales de los dientes anteriores y distancia intercanina que se midieron en las huellas dentales de las imágenes tridimensionales de los modelos escaneados en el escáner 3D contacto. (a) Notación numérica acorde a FDI (Federación Dental Internacional); (b) Distancia Intercanina; (c) Incertidumbre combinada; (d) Incertidumbre expandida; (e) Coeficiente de correlación intraclase.

Huella_láser					
Diente	Media (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Desv. Típica (mm)	Incertidumbre (mm)
23 ^a	,48480	,274	,620	,111397	,035227
22 ^a	,55040	,369	,642	,082128	,025971
21 ^a	,79300	,703	,915	,077782	,024597
11 ^a	,78780	,679	,900	,068192	,021564
12 ^a	,54460	,439	,637	,061824	,019551
13 ^a	,53160	,381	,655	,075653	,023924
DIC ^b SUP	3,56880	3,018	3,853	,233971	,073988
43 ^a	,47680	,243	,603	,124457	,039357
42 ^a	,52980	,455	,612	,044246	,013992
41 ^a	,48760	,351	,625	,075412	,023847
31 ^a	,49050	,364	,580	,073532	,023253
32 ^a	,55150	,473	,600	,038799	,012269
33 ^a	,48050	,254	,577	,099091	,031335
DIC ^b INF	2,82910	2,460	3,029	,161445	,051053
				Valor	
IC ^c Superior					0,97
IC ^c Inferior					0,811
IE ^d Superior					1,94
IE ^d Inferior					1,623
CCI ^e Superior					0,9966
CCI ^e Inferior					0,9949

Tabla 4. Datos descriptivos y valores de incertidumbre de los diámetros mesio-distales de los dientes anteriores y distancia intercanina que se midieron en las huellas dentales de las imágenes tridimensionales de los modelos escaneados en escáner 3D láser. (a) Notación numérica acorde a FDI (Federación Dental Internacional); (b) Distancia Intercanina; (c) Incertidumbre combinada; (d) Incertidumbre expandida; (e) Coeficiente de correlación intraclase.

En general, se observó que los valores medios de las mediciones del escáner láser fueron ligeramente superiores que en el escáner de contacto, pero su error típico fue menor. También se observó que los valores medios del error típico fueron mayores para los maxilares superiores que para los inferiores en ambos escáneres.

Los resultados de cada escáner fueron comparados mediante la prueba T de Student, realizada para los modelos dentales y no para las huellas ya que estas últimas pueden presentar variaciones en su diseño y las diferencias observables podrían ser debidas a esto y no al proceso de escaneado. Dicha prueba presentó unos resultados positivos para la utilización del escáner láser como método de escaneo de modelos ya que entre las mediciones de ambos tipos de escáner no se observaron resultados estadísticamente significativos.

2. SOFTWARE BITEPRINT©

Hasta el momento, el proceso de identificación de las marcas por mordedura dejadas en la piel de la víctima tras una agresión era realizado por un experto en la materia, este generaba las marcas dentales del modelo del sospechoso para, a continuación, comprobar si coincidían con la fotografía de la lesión de la víctima mediante técnicas en 2D con el programa de análisis de imágenes Adobe® Photoshop® (110).

En este trabajo hemos desarrollado un software, Biteprint©, que consigue obtener las marcas dentales de las fotografías de las mordeduras semiautomáticamente y, a partir de éstas, puede obtener la arcada dental. Además, es posible calcular una serie de parámetros de importancia para fines forenses. Biteprint© nos facilita el cálculo de la distancia intercanina, la rotación, la excentricidad, la posición angular y la distancia a la arcada de cada marca dental, estos parámetros son de una elevada relevancia para la identificación (152) (Figura 32).



Figura 32. Reconocimiento semiautomático de una marca por mordedura humana con BitePrint©. (a) Fotografía de una marca por mordedura humana con la escala ABFO nº2; (b) Interfaz del software BitePrint© utilizando una fotografía de una marca por mordedura humana; (c) Tres elipses calculadas por BitePrint© correspondientes a las marcas de los dos incisivos centrales y un incisivo lateral. También se calculó la semi-circunferencia correspondiente al arco dental. Los detalles del procedimiento se describen en Material y Métodos; (d) Parámetros dentales calculados a partir de las tres marcas dentales (distancia al arco, excentricidad, posición angular y tamaño del eje mayor de las elipses).

BitePrint © también puede procesar las imágenes binarias de las marcas por mordedura generadas con el software DentalPrint © a partir de imágenes 3D de los modelos dentales (Figura 33). La huella dental se obtiene digitalizando un modelo con un escáner 3D y generando la huella de la mordida que provocaría esa dentadura

sobre un plano, con las consiguientes características tridimensionales de la misma, en lugar de usar un acetato en 2 dimensiones.

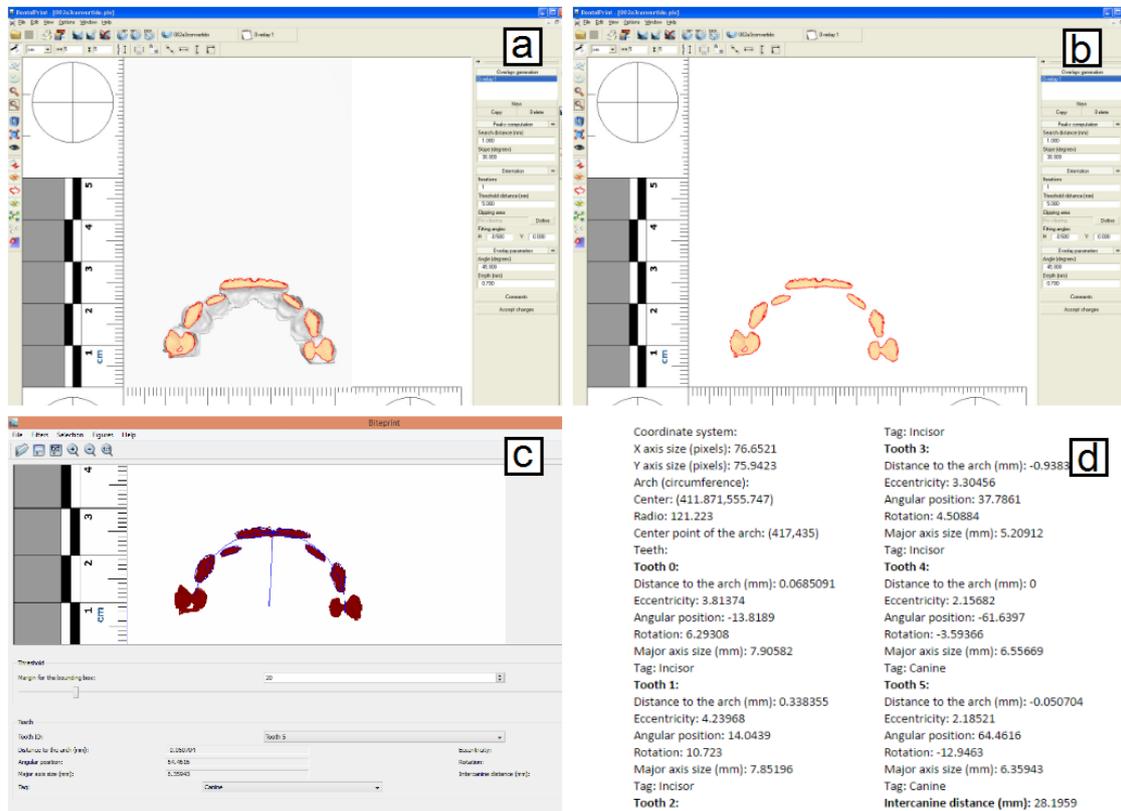


Figura 33. Reconocimiento semiautomático de las marcas por mordedura a partir de imágenes 3D de modelos dentales usando BitePrint®. (a) Generación de los bordes incisales de una marca dental de un modelo 3D obtenida con DentalPrint® (133, 134); (b) Bordes incisales generados con DentalPrint®; (c) Seis elipses calculadas con BitePrint®, correspondientes a las marcas de dos incisivos centrales, dos incisivos laterales y dos caninos. También se calculó una semi-circunferencia correspondiente al arco dental. Los detalles del procedimiento se describen en Material y Métodos; (d) Parámetros dentales calculados de las seis marcas dentales (distancia al arco, excentricidad, posición angular, tamaño del eje mayor de las elipses y distancia intercanina).

Las huellas obtenidas de los modelos dentales con DentalPrint© conservan las características tridimensionales y dinámicas de la mordedura (84, 133-136, 153), estas pueden ser exportadas al nuevo software Biteprint©, mediante el cual podemos generar las elipses dentales semiautomáticamente y calcular los parámetros representativos de la arcada de un individuo. Con esto, hemos logrado extraer la información necesaria para la identificación a partir de una fotografía de la mordedura de la piel (Figura 32) y un modelo dental 3D (Figura 33).

2.1. Diseño del software Biteprint© y análisis de las marcas por mordedura con el nuevo programa

Hemos diseñado un programa informático desarrollado en C++, con el compilador Microsoft Visual Studio 2005 Professional Edition, utilizando la biblioteca Qt 4.3.0, libtiff, QGLViewer, y la biblioteca de gráficos OpenGL. El software ha sido probado con éxito en un PC con procesador Intel Pentium Dual Core CPU T2390 1.86 GHz, 1.75 GB de RAM, con Microsoft Windows XP Professional versión 2002 Service Pack 2. También se probó con éxito en el sistema operativo Windows 7 y Windows 10. Para que funcione correctamente tienen que ser instalados Microsoft .NET Framework 2.0 y Microsoft Visual J # 2.0 Redistributable Package.

El programa consta de varias fases por las cuales es capaz de calcular los distintos parámetros característicos de una marca por mordedura (rotación, excentricidad, distancia intercanina...), a continuación se describen con detalle cada una de las fases (154).

- Selección del sistema de coordenadas

Inicialmente, para un correcto estudio, debemos seleccionar un sistema de coordenadas en la propia imagen. Tomamos como referencia la regla ABFO N°2, por tanto, al abrir un archivo de una imagen debemos elegir la opción Selección / Sistema de coordenadas. A continuación, el usuario deberá marcar un centímetro en el eje X y un centímetro en el eje Y sobre la escala ABFO N°2 (o un centímetro en cualquiera de los ejes en el caso de que no aparezca alguno de los mismos, ya que el programa generará automáticamente el eje que falta).

El cálculo del sistema de coordenadas se hace del siguiente modo:

- El usuario pincha con el botón izquierdo del ratón sobre un punto de la imagen, que será marcado como origen del sistema de coordenadas.
- A continuación, marca un segundo punto, que indicará al programa el tamaño en píxeles de 1 cm en el eje X (o del primer eje, en caso de que sólo se vea uno de ellos), el usuario puede hacer dos cosas:
 - Desplazar el ratón hacia donde se desee situar el segundo punto, pinchar con el botón izquierdo del ratón y soltar. Esto hará que se dibuje una línea que vaya desde el primer al segundo punto: el eje X.
 - Tras pinchar para marcar el primer punto, volver a pinchar con el botón izquierdo para marcar un segundo punto pero, sin soltar el botón, arrastrar el ratón hasta la posición donde se desee situar el segundo punto. De este modo, veremos dibujado el eje X sobre la marcha, actualizándose según se va moviendo el ratón. Cuando tengamos el eje X como queramos, soltamos el botón izquierdo del ratón.
- Para dibujar el segundo eje (eje Y), bastará con señalar sobre la imagen un tercer punto (ya que el origen del sistema de coordenadas es el primer punto

marcado por el usuario, es decir, el mismo origen que para el eje X). Pero en este caso podemos encontrar dos posibilidades:

- Se ven ambas partes de la regla, la horizontal y la vertical (es decir, tenemos en la imagen los tamaños de cada eje): en este caso, tenemos ya un eje dibujado, y el segundo eje sabemos que debe ser perpendicular al primero, independientemente de dónde sitúe el usuario sobre la imagen el tercer punto. Para que el eje Y sea perpendicular al eje X:
 - Calculamos la pendiente del eje X como variación en Y dividido entre variación en X.
 - La variación en X se calculará como coordenada en X del segundo punto menos coordenada en X del primer punto marcados por el usuario.
 - La variación en Y se calculará como coordenada en Y del segundo punto menos coordenada en Y del primer punto marcados por el usuario.
 - Calculamos la pendiente del eje Y: para ello, puesto que es perpendicular al eje X, se usa la fórmula que relaciona las pendientes de dos rectas perpendiculares: $\text{pendiente}_y = -1 / \text{pendiente}_x$.
 - En el caso de que la pendiente del eje X fuera infinita, el eje X sería perpendicular a la horizontal de la imagen. En este caso, sabemos que el eje Y es paralelo a la horizontal de la imagen (su pendiente vale 0). En este caso:

- En el eje Y, todos los puntos tendrán la misma coordenada Y, que coincidirá con la coordenada Y del origen del sistema de coordenadas.
- En el eje Y, la coordenada X del tercer punto será la coordenada X del punto donde el usuario ha pinchado con el ratón.
- El programa se salta los dos siguientes puntos del algoritmo (ni se calcula la ordenada en el origen ni el punto de corte sobre la recta del eje Y), porque ya hemos calculado directamente el tercer punto.
 - En el caso de que la pendiente del eje Y fuera infinita, significaría que la pendiente del eje X es 0. En este caso:
 - En el eje Y todos los puntos tendrán la misma coordenada x, que coincidirá con la coordenada x del origen del sistema de coordenadas.
 - En el eje Y, la coordenada y del tercer punto será la coordenada y del punto donde el usuario ha pinchado con el ratón.
- El programa se salta los dos siguientes puntos del algoritmo (ni se calcula la ordenada en el origen ni el punto de corte sobre la recta del eje Y), porque ya hemos calculado directamente el tercer punto.
 - Cuando la pendiente de los ejes no es ni 0 ni infinita, seguimos por aquí. Calculamos la ordenada en el origen (b) de la recta perpendicular según la fórmula de la ecuación de las rectas ($y=mx+b$) puesto que necesitamos la ecuación completa de la recta del eje Y.

- Calculamos el punto sobre la recta del eje Y que está más cercano a donde ha pinchado el usuario, para poder dibujar, así, dicho eje con el tamaño adecuado. Para ello, calculamos el punto de corte de la recta del eje Y con una recta paralela al eje X que pase por el punto donde ha pinchado el usuario con el ratón (recta R). La recta R tendrá la misma pendiente que el eje X (puesto que es paralela al mismo). Para obtener el punto de corte entre ambas rectas, resolvemos el sistema de dos ecuaciones formado por las ecuaciones de la recta R y del eje Y.
- Se ha explicado cómo funciona el algoritmo matemáticamente pero, a nivel de usuario, para marcar el tercer punto con el ratón, hay dos posibilidades:
 - El usuario desplaza el ratón hacia donde desee situar el tercer punto, pincha con el botón izquierdo del ratón y suelta. De este modo, se dibujará una línea perpendicular al eje X (el eje Y), que irá desde el origen de coordenadas hasta aquel punto perteneciente al eje Y más cercano a donde ha pinchado el usuario.
 - El usuario pincha con el botón izquierdo del ratón donde desee y, sin soltar, arrastra el ratón hasta que el eje Y tenga el tamaño deseado por el usuario. El eje Y será perpendicular al X y se dibujará en cada momento como una línea perpendicular al eje X que va desde el origen de coordenadas hasta aquel punto perteneciente al eje Y más cercano a donde el ratón está situado en ese momento.
- Se ve sólo una parte de la regla, o la horizontal o la vertical (es decir, nos falta uno de los tamaños de cada eje en la imagen). En este caso, sólo marcaremos los dos primeros puntos (que nos dibujarán el primer eje)

y, a continuación, pulsaremos con el botón derecho del ratón en la parte de la imagen hacia donde queramos que se dibuje el segundo eje. Al pinchar, se dibujará una línea que vaya desde el origen del sistema de coordenadas hasta un punto situado sobre la línea perpendicular al primer eje y que esté a una distancia tal que el tamaño de ambos ejes sea el mismo. De este modo, tendremos dibujados los dos ejes. Para calcular ese punto:

- La línea perpendicular al primer eje se calcula tal y como se ha explicado arriba teniendo en cuenta las pendientes. Al igual que antes, podemos encontrarnos con pendientes infinitas e iguales a 0. Este problema se resuelve del siguiente modo:
 - En el caso de que la pendiente del primer eje fuera infinita, el primer eje sería perpendicular a la horizontal de la imagen. En este caso, sabemos que el segundo eje es paralelo a la horizontal de la imagen (su pendiente vale 0). En este caso:
 - En el segundo eje todos los puntos tendrán la misma coordenada y , que coincidirá con la coordenada y del origen del sistema de coordenadas.
 - En el segundo eje, la coordenada x del tercer punto será la coordenada x del origen de coordenadas $+ / -$ el tamaño del primer eje. El programa sumará o restará el tamaño del primer eje en función de en qué parte de la imagen pinche el usuario, de forma que dibujará el segundo eje hacia la zona de la imagen donde el

usuario haya pinchado (pero siempre perpendicular al primer eje).

- El programa se salta el siguiente punto del algoritmo (no hay que resolver ningún sistema de ecuaciones), porque ya hemos calculado directamente el tercer punto.
- En el caso de que la pendiente del segundo eje fuera infinita, significaría que la pendiente del primer eje es 0. En este caso:
 - En el segundo eje todos los puntos tendrán la misma coordenada x , que coincidirá con la coordenada x del origen del sistema de coordenadas.
 - En el segundo eje, la coordenada y del tercer punto será la coordenada y del origen de coordenadas $+ / -$ el tamaño del primer eje. El programa sumará o restará el tamaño del primer eje en función de en qué parte de la imagen pinche el usuario, de forma que dibujará el segundo eje hacia la zona de la imagen donde el usuario haya pinchado (pero siempre perpendicular al primer eje).
- Cuando la pendiente de los ejes no es ni 0 ni infinita, seguimos por aquí. Para calcular el punto hasta el que debe llegar la longitud del segundo eje (punto que se encontrará sobre la línea perpendicular al primer eje y a una distancia igual al tamaño del primer eje), resolveremos un sistema de ecuaciones formado

por la ecuación de la recta que representa el eje de coordenadas que falta y la ecuación $d = \sqrt{(x - \text{orig}_x)^2 + (y - \text{orig}_y)^2}$, siendo del tamaño del primer eje, x e y las incógnitas, y orig el origen de coordenadas (es decir, la ecuación nos dice que la distancia del punto x, y al origen de coordenadas debe ser d).

- Si en cualquier momento queremos cancelar el sistema de coordenadas que estamos dibujando y crear uno nuevo, podemos pinchar con el botón derecho del ratón. Esto nos borrará el eje que haya dibujado y nos permitirá volver a empezar con el dibujado de ejes.
 - En el caso de que hayamos dibujado el primer eje, si pinchamos una vez con el botón derecho, tal y como se explica arriba aparecerá dibujado un segundo eje del mismo tamaño que el primero (el programa interpretará que en la imagen falta una parte de la regla). Pero si lo que el usuario quería era comenzar de nuevo con el dibujado del sistema de coordenadas, simplemente debe volver a pinchar con el botón derecho.

Es interesante saber que una vez que hayamos seleccionado un sistema de coordenadas definitivo no podremos seleccionar otro. Para aceptar un sistema de coordenadas como definitivo habrá que marcar la opción Selección /Guardar sistema de coordenadas. Una vez marcada esta opción por el usuario, no podrá volver a seleccionar un sistema de coordenadas.

El algoritmo presentado va a tomar siempre el primer eje que se dibuje como eje X y el segundo eje como eje Y. En el caso de que estén en la imagen las dos partes de la regla, es importante tenerlo en cuenta para que se calculen bien los tamaños, puesto que ambos ejes pueden tener tamaños en píxeles distintos, pero en el caso de que sólo haya una parte de la regla no será relevante, el tamaño de ambos ejes se supone el mismo (el eje que el programa considere como X o Y es irrelevante en este caso).

- Cálculo de la elipse de una marca dentaria

En una marca por mordedura hay diferentes dientes marcados en la piel. Una elipse se aproximará a cada marca dentaria. La descripción de cada marca se compone de los siguientes datos:

- El centro de la elipse.
- Los puntos finales de los ejes de la elipse.
- El tamaño de ambos ejes, utilizando la distancia euclídea.
- El ángulo entre el eje mayor y el horizontal obtenido con la siguiente fórmula:

$$\arctangent\left(\frac{end_major_axis.y - ellipse_center.y}{end_major_axis.x - ellipse_center.x}\right)$$

El cálculo de la elipse tiene dos fases:

1. La elipse inicial dibujado por el usuario.
2. La transformación de la fotografía de la elipse inicial en una imagen binaria y ajuste mediante el uso de un algoritmo genético.

El odontólogo forense marca los ejes mesio-distal y vestíbulo-lingual de la marca dentaria y el programa crea una elipse inicial con ambos ejes (el software asegura automáticamente que los dos ejes son perpendiculares, de la misma manera que se hizo para los ejes del sistema de coordenadas). Posteriormente, Biteprint© ajusta automáticamente la elipse inicial creando una imagen binaria de la elipse y aplicándole un algoritmo genético. Para la creación de la imagen binaria el programa calcula una elipse mayor (20% mayor) a la elipse inicialmente dibujada por el operador y calcula la media del color de la elipse inicial y la del mayor tamaño. Posteriormente, determina el

color en cada uno de los puntos de ambas elipses, calcula un promedio de color dentro de las dos elipses, para cada punto de cualquiera de las dos elipses, el software comprueba si el color se parece más a la media de la elipse ampliada o de la media de la elipse inicial. Si el color es más parecido al de la elipse inicial lo incluye y le da un color rojo, si es más parecido a la zona ampliada de la elipse lo descarta y le da un color blanco. De esta manera, convierte la elipse en una imagen binaria y se ajusta aplicándole un algoritmo (Figura 34).

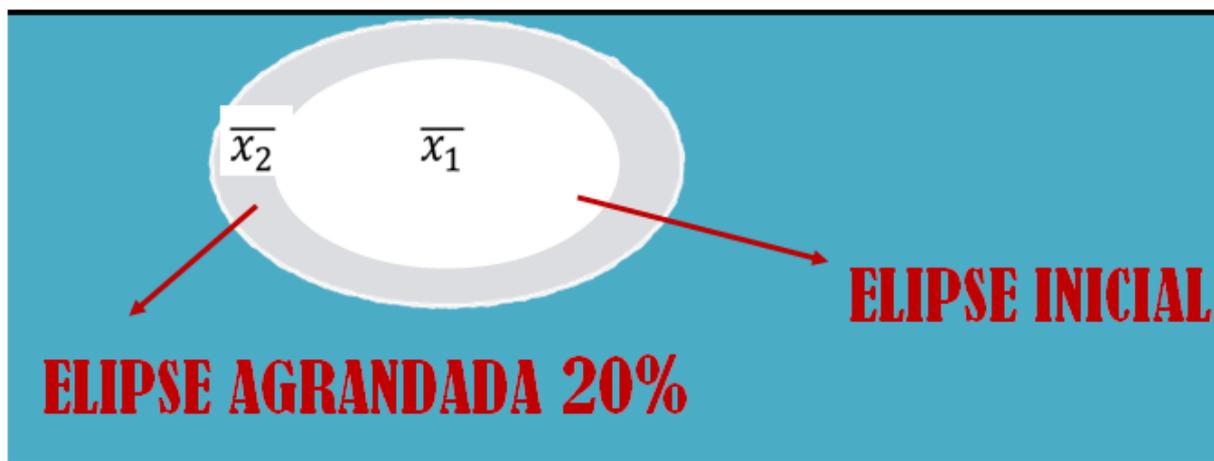


Figura 34. En la imagen, en color blanco, se muestra la elipse inicial seleccionada por el operador, en color gris se muestra la elipse agrandada un 20% de forma automática por el software Biteprint©. Mediante el cálculo del promedio de color de la elipse inicial (\bar{x}_1) y el promedio de color de la elipse agrandada (\bar{x}_2) el programa ajusta la elipse.

Una vez que la elipse inicial se ha dibujado y la fotografía se ha transformado en una imagen binaria, el software ajusta la elipse inicial a la marca dental. Para ello, hemos desarrollado un algoritmo genético en el cual un individuo es una elipse, una población es un conjunto de elipses, y cada individuo tiene cinco cromosomas:

- Posición x en el centro de la elipse.
- Posición Y en el centro de la elipse.
- Longitud del eje mayor.
- Longitud del eje menor.
- Ángulo de rotación del eje mayor horizontal.

Para el algoritmo generado, una población inicial de 35 individuos se crea de la elipse inicial dibujada. Posteriormente, los siguientes pasos se repitieron 200 veces:

- La población inicial se enfrentó en un torneo binario teniendo en cuenta su coste.
- Se cruzaron los ganadores del torneo binario.
- 25% de la población se mutó: el resultado es una nueva población inicial para la siguiente iteración del algoritmo.

Después de repetir el algoritmo anterior 200 veces, los mejores individuos son elegidos como la elipse más ajustada.

El coste de la elipse se calculó a sabiendas de que en un entorno ideal, todos los puntos fuera de la elipse deben ser de color blanco (lo que significa que están en el lado externo de la marca del diente) y todos los puntos dentro de la elipse debe ser de color (es decir, que pertenecen a la marca dental). El coste de una elipse se calcula de la siguiente manera: (puntos de color dentro de la elipse) - (puntos blancos dentro de la elipse) - (puntos de color fuera de la elipse). Es decir, cuanto mayor es el coste de una elipse, mejor será el ajuste.

En resumen, una vez que el usuario ha dibujado los ejes, el programa exhibe la elipse inicial correspondiente a estos dos ejes, y ajusta automáticamente la elipse, calculando la imagen binaria de la zona y ejecutando el algoritmo genético (Figura 35).

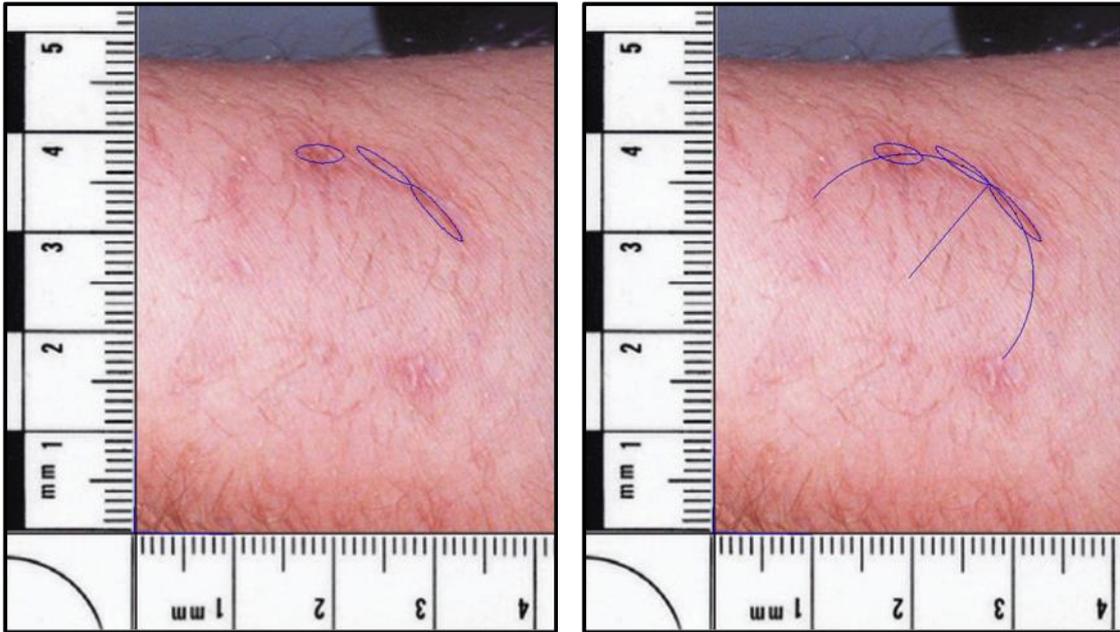


Figura 35. Fotografía de una mordedura analizada con el programa Biteprint©, en la que se aprecia el ajuste de 3 elipses a las marcas dentarias, y la semicircunferencia junto con la línea media calculadas a partir de dichas elipses.

- Cálculo de la arcada dental

El arco dental se calcula mediante el ajuste de una circunferencia a las marcas dentales, representadas en este punto por elipses. Se necesita un mínimo de tres elipses no alineadas para el cálculo. El software ajustará la circunferencia que mejor se adapte a todas las elipses calculadas pasando por el centro de las mismas.

Hemos desarrollado un algoritmo de fuerza bruta, teniendo en cuenta que el número de dientes de una marca por mordedura es siempre bajo. El algoritmo genera

todos los posibles tres grupos de dientes con los centros de las elipses ajustados, y calcula la circunferencia que pasa por tres puntos con la suma mínima de errores.

Una vez calculada la circunferencia, el usuario marca un punto entre los incisivos correspondiente a la línea media y el software entonces dibuja una línea desde el centro del arco al centro de los incisivos (Figura 35). Esta línea es necesaria para calcular el parámetro de posición angular que se describe a continuación.

- Cálculo de los parámetros dentales

El software que hemos desarrollado calcula automáticamente los parámetros que caracterizan la mordedura, tanto de los dientes como del arco dental. Estos parámetros son (Figura 36):

- Distancia a la arcada (mm): distancia desde el centro de la circunferencia (el arco de la marca por mordedura) hasta el centro de la elipse (el diente).
- Posición angular ($^{\circ}$): el ángulo entre el centro del arco y el radio; que va desde el centro de la circunferencia al centro de la elipse.
- La excentricidad: relación entre el eje mayor de la elipse y el eje menor.
- Rotación ($^{\circ}$): ángulo entre el eje mayor de la elipse y la tangente a la circunferencia que pasa por el centro de la elipse (o a través de la proyección del centro de la elipse en la circunferencia si el centro de la elipse no es un punto de la circunferencia). Debe estar entre -90 y 90 grados.
- Distancia intercanina (mm): Cada elipse está etiquetada como Desconocido por defecto, pero el usuario puede identificar la elipse y dar el número correspondiente al diente que dejó la marca; 11, 23,.. Si el usuario ha elegido dos etiquetas para los caninos, el programa calcula automáticamente la distancia intercanina como la

distancia entre los dos centros de las dos elipses correspondientes a los mismos. La distancia intercanina maxilar ha demostrado ser muy precisa para el procedimiento de identificación de marcas de mordeduras humanas (84).

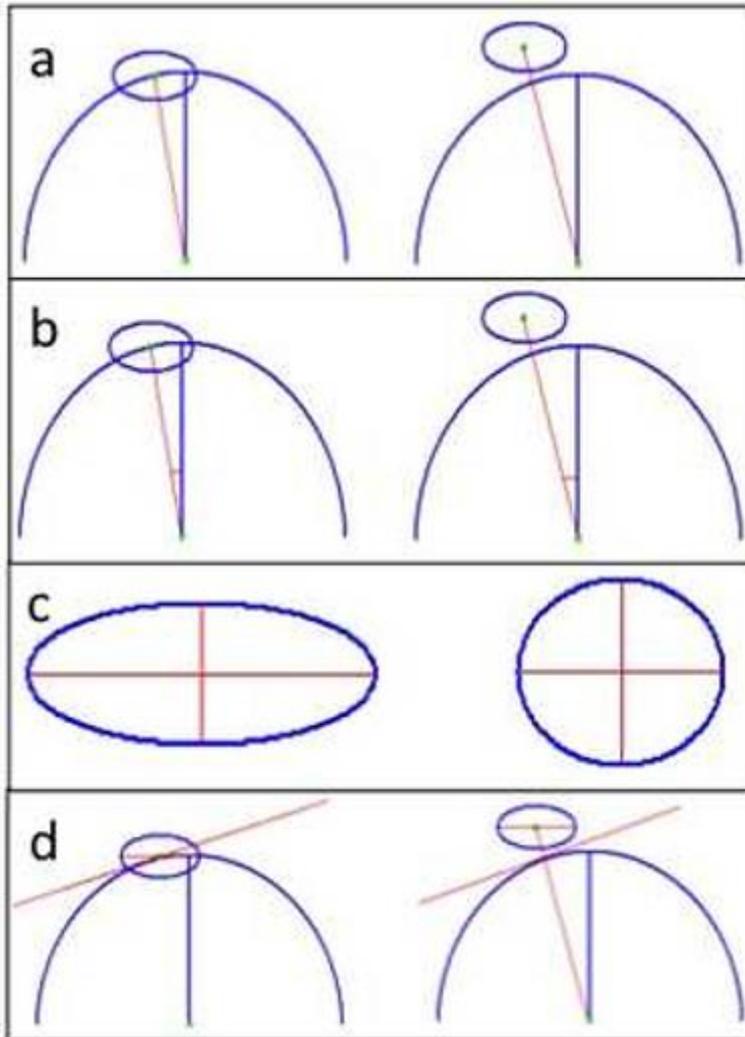


Figura 36. Esquema explicativo de los parámetros dentales calculados con Biteprint®. (a) Distancia a la arcada. (b) Posición angular. (c) excentricidad. (d) Rotación.

Finalmente, después de calcular todos los parámetros, el usuario puede exportar todas las medidas a un archivo de texto para realizar las comparaciones.

2.1.1. Procesamiento con Biteprint© de las huellas dentales de las imágenes de los modelos 3D obtenidas por DentalPrint ©

Para comparar las marcas de dentales de una fotografía con las marcas por mordedura a partir de un modelo dental obtenido con DentalPrint©, es necesario desarrollar el mismo proceso en ambas imágenes. Las marcas por mordedura obtenidas con DentalPrint© ya son imágenes binarias, por lo BitePrint© funciona del mismo modo que lo hace con una fotografía de la marca por mordedura. Por lo tanto, el proceso para obtener parámetros dentales es el mismo tanto si trabajamos con una fotografía como si se hace con una huella obtenida con DentalPrint© (Figura 37).

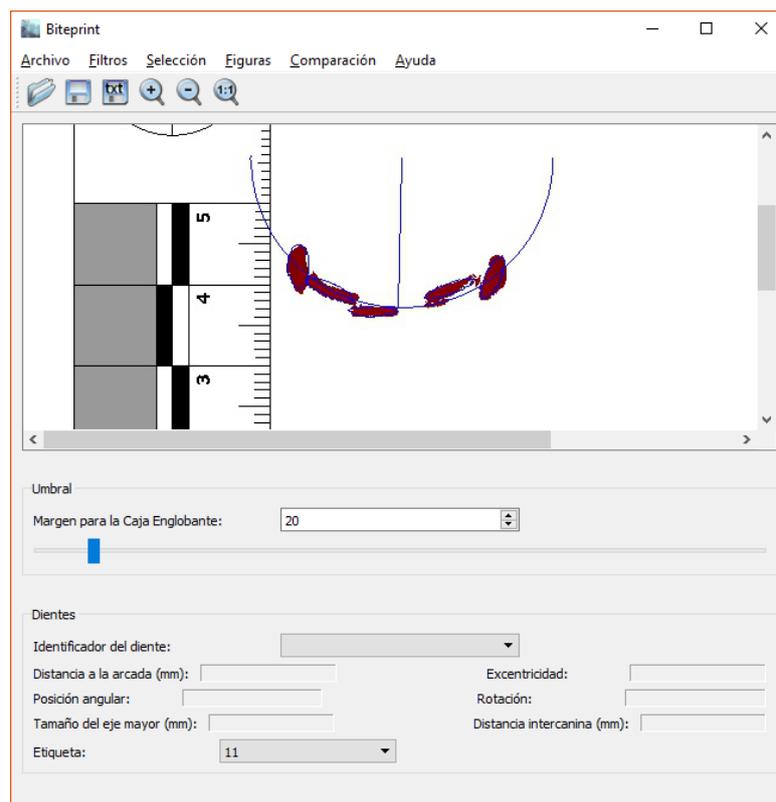


Figura 37. Imagen de la interfaz de Biteprint© con el cálculo de las elipses dentales, el arco dental y la semicircunferencia a partir de una imagen de una huella generada con el software DentalPrint©.

4. REPRODUCTIBILIDAD Y VALIDACIÓN DEL SOFTWARE BITEPRINT©

Para comprobar la reproductibilidad del método realizamos un ensayo interobservador. Para lo cual, se escanearon 7 modelos dentales en el escáner láser en 3 dimensiones (NextEngine, Desktop 3Dscanner model 2020i, Santa Mónica, CA).

Dos observadores trabajaron independientemente con las huellas dentales obtenidas a partir de los modelos escaneados tridimensionalmente. Cada operador seleccionó las elipses iniciales de los dientes incisivos y caninos que, posteriormente, el programa ajustó. A partir de estas el software generó los parámetros representativos de la boca del individuo tales como la rotación, la excentricidad, la posición angular, la distancia al arco de cada diente y la distancia intercanina. Posteriormente, se procedió a la compararon los parámetros obtenidos por ambos observadores, para lo cual se exportaron los datos a una hoja de cálculo de Excel y se calculó el coeficiente de correlación interclase y su intervalo de confianza al 95% mediante el software SPSS 20 (IBM Inc., Chicago, IL).

Los resultados obtenidos en el ensayo interobsevador para determinar la reproductibilidad del método fueron los siguientes:

La reproducibilidad interobservador de los parámetros dentales obtenidos con el nuevo software se evaluó mediante el cálculo del Coeficiente de Correlación Interclase (CCI) y su Intervalo de Confianza (IC) (Tabla 5 y 6). Dado que el CCI fue superior a 0,75 para la mayoría de los parámetros dentales, la reproducibilidad del método puede considerarse como excelente (155). La reproducibilidad fue mayor en los modelos dentales superiores que en los modelos inferiores, los cuales presentaron más parámetros dentales sin el CCI estadísticamente significativo. El parámetro dental más reproducible fue la posición angular.

Parámetros Dentales	Coeficiente de correlación interclase (intervalo de confianza 95%)					
	13 ^a	12 ^a	11 ^a	21 ^a	22 ^a	23 ^a
Distancia al arco	n.s ^b	0.997 (0.983-0.999)	0.980 (0.889-0.997)	0.852 (0.366-0.973)	0.992 (0.943-0.999)	n.s ^b
Posición Angular	0.996 (0.975-0.999)	0.994 (0.964-0.999)	0.928 (0.643-0.987)	0.928 (0.644-0.987)	0.974 (0.828-0.996)	0.990 (0.944-0.998)
Eccentricidad	0.924 (0.627-0.987)	0.896 (0.516-0.981)	0.976 (0.866-0.996)	0.860 (0.390-0.974)	0.948 (0.680-0.993)	0.882 (0.465-0.979)
Rotación	n.s ^b	0.978 (0.880-0.996)	0.898 (0.524-0.688)	0.710 (0.006-0.943)	0.950 (0.690-0.993)	0.962 (0.795-0.993)
Distancia intercanina	0.990 (0.945-0.998)					

Tabla 5. Coeficientes de correlación interclase e intervalos de confianza para los modelos dentales superiores. (a) Notación numérica acorde a FDI (Federación Dental Internacional); (b) No significativo.

Parámetros Dentales	Coeficiente de correlación interclase (intervalo de confianza 95%)					
	43 ^a	42 ^a	41 ^a	31 ^a	32 ^a	33 ^a
Distancia al arco	n.s ^b	n.s ^b	n.s ^b	0.836 (0.317-0.970)	0.960 (0.789-0.993)	n.s ^b
Posición Angular	0.989 (0.937-0.998)	0.973 (0.854-0.995)	0.893 (0.506-0.981)	0.952 (0.749-0.992)	0.970 (0.837-0.995)	0.991 (0.949-0.998)
Eccentricidad	0.837 (0.318-0.970)	n.s ^b	0.612 (-0.166-0.921)	0.855 (0.373-0.973)	n.s ^b	n.s ^b
Rotación	n.s ^b	n.s ^b	0.985 (0.916-0.997)	0.985 (0.918-0.997)	0.605 (-0.178-0.919)	0.986 (0.922-0.998)
Distancia intercanina	0.942 (0.704-0.990)					

Tabla 6. Coeficientes de correlación interclase e intervalos de confianza para los modelos dentales inferiores. (^a) Notación numérica acorde a FDI (Federación Dental Internacional); (^b) No significativo.

Para la validación del software que hemos desarrollado, Biteprint©, se utilizaron 16 fotografías (dos de casos forenses reales y catorce de mordeduras experimentales en piel de cerdo) y 64 modelos dentales. Las fotografías fueron exportadas al software Biteprint© con el que se dibujaron las elipses de cada marca dental y se obtuvieron los parámetros característicos de las mismas. Por otro lado, los modelos fueron escaneados con el escáner láser 3D, se generaron las huellas dentales con el programa DentalPrint© y se calcularon los parámetros dentales con el software Biteprint©.

Cada fotografía fue comparada con cuatro modelos dentales distintos, entre los cuales se encontraba el modelo dental de la boca que generó la mordida de la fotografía (modelo culpable). Para cada comparación se analizaron los datos y se le dio un valor *positivo/modelo culpable* a aquel modelo dental cuyos parámetros se aproximaron más a los observados en la fotografía.

Para determinar la precisión del método, se utilizó el análisis de la curva ROC (receiver operating characteristic curve) y se determinó el área bajo la misma (área bajo la curva ROC: AUC).

Los resultados en la validación del software Biteprint© mediante la comparación de fotografías y modelos fueron los siguientes:

El área bajo la curva ROC (AUC) mostró un valor de 0,770 para la exactitud del método, con un error estándar de 0,075 y un Intervalo de Confianza del 95% de 0,623-0,917 (figura 38).

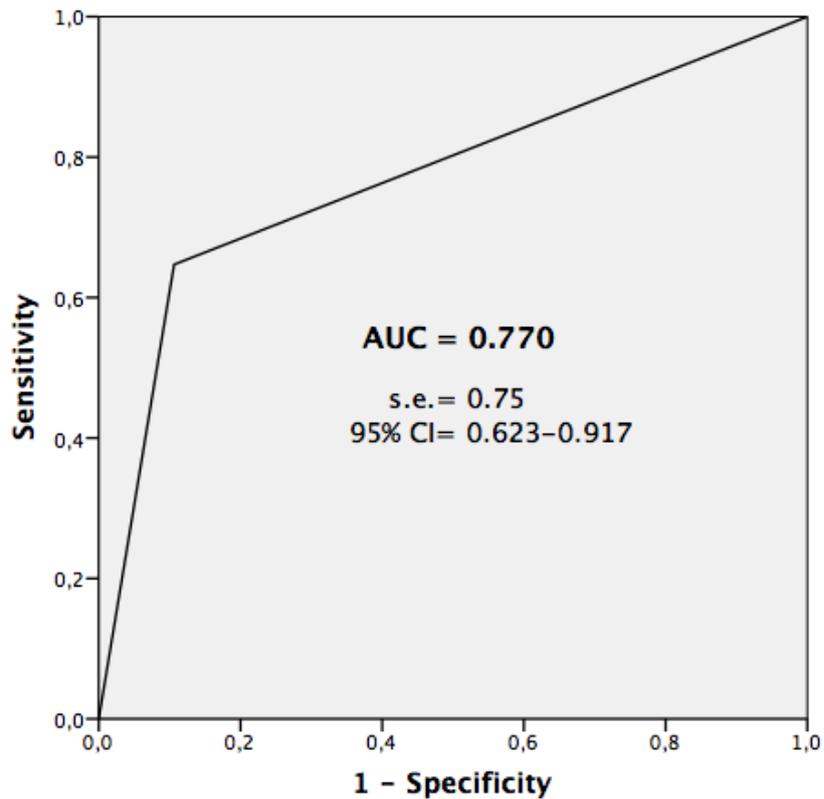


Figura 38. Imagen del gráfico del área bajo la curva ROC (AUC) resultante en la validación del software Biteprint©. (CI) Intervalo de Confianza; (s. e.) Error estándar.

V. DISCUSIÓN

1. ANÁLISIS DE LOS ESCANERES 3D POR CONTACTO Y LÁSER EN EL ESTUDIO DE LAS HUELLAS POR MORDEDURA HUMANAS

El análisis de las marcas por mordedura es de elevada relevancia en el ámbito médico-legal, ya que puede aportar una gran cantidad de información clave para resolver determinados casos en el campo forense. En este sentido, la contribución más importante está relacionada con la posibilidad de identificar al autor de una mordedura concreta, lo cual hace de la identificación forense a través de las marcas por mordedura una herramienta clave en un importante porcentaje de casos judiciales.

Para la resolución de estos casos, es fundamental el uso de una técnica comparativa minuciosa. La generación de la huella por mordedura a partir de los modelos del sospechoso con una técnica precisa es de vital importancia. El proceso de morder es considerado como un acto único en el que intervienen varios elementos móviles y tridimensionales como son los maxilares del agresor, el sustrato en el que se produce la mordedura y la reacción evasiva de la víctima. Es por esto por lo que es fundamental el uso de tecnologías 3D para el análisis de las mismas y, de este modo, evitar la pérdida de información que se da con las técnicas en 2 dimensiones sobre las características individualizadoras de la dentición del autor de la mordedura.

Se han publicado varios estudios sobre la exactitud de diferentes escáneres 3D y tecnologías digitales en odontología clínica, especialmente para su utilización en el diseño de restauraciones y prótesis fijas (156-162). Sin embargo, el desempeño de estos escáneres en el ámbito de la ciencia forense ha recibido muy poca atención, a pesar de la importancia potencial de sus resultados en la determinación de la inocencia o la culpabilidad de un individuo. La exactitud y fiabilidad de cualquier procedimiento diagnóstico debe ser validada para los diferentes contextos, dadas las posibles diferencias en su aplicación (163). Los escáneres láser, hasta la fecha, no habían sido validados para el estudio forense de las marcas por mordedura. Por este motivo, y

dadas las ventajas que presenta frente a otros métodos de registro tridimensionales, procedimos a evaluarlos para, de este modo, poder hacer una mejora en el registro de los modelos dentales para el estudio forense de las marcas por mordeduras.

En los últimos años, las tecnologías tridimensionales basadas en tecnología láser han sido mejoradas, esto se debe a las ventajas que presentan frente a los métodos por contacto, aunque la extensión de su uso frente a la técnica de dos dimensiones aún se espera. La exploración 3D por contacto es una técnica validada que sirve como referencia en los estudios de validación (139), pero tiene algunos inconvenientes que han aumentado el interés en los métodos sin contacto (145-147). El principal defecto de la exploración por contacto es el tiempo necesario para obtener un número adecuado de puntos debido al movimiento lento del brazo del escáner, especialmente cuando la superficie escaneada tiene una geometría compleja. El escáner de contacto más rápido sólo puede funcionar a unos pocos cientos de Hertz, mientras que un escáner láser puede funcionar a 10-1000 kHz, de este modo, el tiempo que se requiere para el escaneado del modelo dental es de unas 10 horas para el escáner de contacto frente a los 10 minutos para el escáner láser.

El escáner por contacto, a diferencia del escáner láser, no es capaz de escanear las concavidades que pueda presentar el modelo y las áreas verticales son escaneadas con mayor dificultad por la sonda. A esto se le suma el hecho de que el escáner PICZA 3DScanner® establece contacto con el objeto a escanear siendo posible la alteración o deterioro del mismo, un hecho que hay que tener en especial consideración en odontología forense.

Las ventajas de la exploración con tecnología tridimensional láser han llevado a grandes esfuerzos en la mejora de la precisión para las diferentes aplicaciones. Sin embargo, la falta de datos sobre la incertidumbre de los resultados obtenidos por los escáneres láser 3D ha sido una limitación en su utilización en el campo del control dimensional.

Dado que las técnicas tridimensionales por contacto poseen un margen de error conocido para el procedimiento de digitalización (139), es posible comparar la incertidumbre de medición entre los escáneres 3D de contacto y 3D láser (164). El conocimiento del posible error en el escaneado 3D de los modelos dentales y las marcas por mordedura que estos generan es especialmente relevante para los análisis métricos en las comparaciones entre denticiones y mordeduras.

En la comparación de ambos escáneres encontramos valores de incertidumbre alrededor de 0,1-0,3 mm para las medidas lineales simples, aunque se observaron valores más altos para las distancias intercaninas. Este aumento en la media global de las incertidumbres es debido a que son distancias mayores a medir, lo que hace que el error en la medición pueda ser más alto. Además, observamos que la distancia intercanina superior tiene un error mayor que la inferior. Sin embargo, la mayor incertidumbre para una distancia mayor supone en proporción un error similar que para distancias menores. Los valores de incertidumbre calculados para subconjuntos de medidas en los maxilares fueron mayores que para los mandibulares en ambos tipos de escáner, tanto para los modelos como para las huellas dentales.

En el escáner 3D láser hay menos variación entre los valores de incertidumbre de las diferentes medidas que en el escáner de contacto. Por otro lado, en las mediciones de las huellas dentales existe un error mayor que para las mediciones de los modelos en el escáner de contacto y existe un ligero aumento en el valor de las medias para la medición de las huellas en el escáner laser.

Dadas las ventajas de la tecnología en tres dimensiones láser y la incertidumbre que se presenta en cuanto a su precisión, que es muy similar a la obtenida con el escáner 3D de contacto, podemos afirmar que, si bien en el estudio de los modelos el resultado en ambos es similar, el escáner láser presenta mejoras para el estudio de las huellas dentales. Por esto el presente estudio valida la utilidad del método de escaneo

sin contacto para ser utilizado en el análisis tridimensional de las huellas por mordedura humana.

En el presente estudio, no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre el escáner por contacto y los escáneres láser en los valores de incertidumbre para las imágenes 3D de los modelos dentales o para los patrones por mordedura tridimensionales generados a partir de los mismos. Por lo tanto, podemos afirmar que el escáner láser 3D NextEngine es útil y fiable en el escaneado de modelos dentales para el estudio forense de las huellas por mordedura humanas.

2. ANÁLISIS DEL NUEVO SOFTWARE DESARROLLADO, BITEPRINT ©

Hasta la fecha, sólo unas pocas investigaciones han estudiado el componente 3D de las marcas por mordedura (30, 52, 84, 136, 137, 153). Varios estudios han analizado la identificación del autor de la mordedura por medio de la comparación de los modelos dentales en 3D con las marcas dentales 3D en la piel (84, 137). En el acto dinámico de morder puede existir cierta distorsión, la piel es altamente visco-elástica y se deforma durante el proceso de mordida adaptándose a la morfología de los dientes, sin embargo, a menos que la mordedura sea severa, la piel recupera su forma original y en la marca resultante no quedan registradas las indentaciones (94, 95), por lo que las fotografías son una herramienta todavía clave para la identificación en la práctica forense (107). Dado que raramente podemos encontrar lesiones por mordedura con marcas tridimensionales en profundidad en la piel, hemos centrado nuestro estudio en el desarrollo de nuevas técnicas fotográficas para analizar los hematomas causados por una mordedura humana. El software que hemos desarrollado en nuestro estudio ofrece la capacidad de reconocer marcas de dientes de la fotografía de una mordedura en la piel humana (Figura 35) y medir los parámetros dentales para la identificación objetiva de la misma (Figura 32). Los hematomas proporcionan suficiente poder discriminativo para su utilización en casos forenses y son relevantes en el proceso de identificación (30, 84, 136, 137).

Estudios recientes han demostrado que el registro de las marcas de los dientes es más preciso usando la tecnología tridimensional frente a la de dos dimensiones (23, 84, 137). En 2003, Thali y cols. (23), describieron un método basado en la fotogrametría forense 3D / CAD usando un escáner de superficie 3D y expusieron resultados prometedores. Los principales inconvenientes de su técnica fueron su alto coste y portabilidad limitada (165).

Otro estudio experimental reciente de las marcas por mordeduras fue diseñado para cuantificar la probabilidad de establecer la identificación del mordedor. La investigación se centró en un método semiautomático para comparar las huellas 2D obtenidas de los modelos dentales, con las huellas de las imágenes de la marca de la mordedura, se basó en el cálculo de la distancia de error entre la marca de la mordida y los contornos del modelo dental obteniéndose muy buenos resultados. Sin embargo, en este trabajo usaron mordeduras experimentales sobre muñecas por lo que los autores reconocieron que se requiere un registro más realista de marcas por mordedura (166, 167). Por contra, en nuestro trabajo, la muestra para el desarrollo del nuevo software, BitePrint©, se ha basado en fotografías de la piel de víctimas y en los modelos tridimensionales de los autores de casos forenses reales, con la sentencia judicial como "gold standard".

Otra investigación se centró en la reducción del elemento subjetivo utilizando una tecnología de percepción de imagen que representa una imagen 2D como pseudo-3D, mejorando la visualización mediante la coloración de áreas con intensidades iguales. La fotografía de la marca por mordedura era coloreada artificialmente y, posteriormente, se comparaba con la dentición del sospechoso superponiendo ambos patrones (168). Los autores concluyeron que son necesarias más investigaciones en este campo, pues, hasta la fecha, son escasos los trabajos dedicados al desarrollo de técnicas que permitan hacer del proceso de identificación un método cuantificable (167). En el presente estudio, el software que hemos desarrollado, Biteprint©, permite calcular los parámetros característicos de un sujeto de forma cuantitativa.

Por todas estas razones, existe la necesidad de desarrollar nuevas técnicas que permitan el reconocimiento automático de las marcas dentales en las fotografías de las mordeduras en la piel. La automatización del proceso permitirá mejorar la objetividad del método de análisis, lo cual ha sido objeto de crítica en los procedimientos anteriores (110, 123, 126, 169). Este fue uno de los objetivos a conseguir en nuestro trabajo de investigación.

El software que hemos desarrollado, BitePrint©, trabaja con la fotografía original de la marca de la mordedura, detecta las marcas dentarias semiautomáticamente y calcula parámetros dentales necesarios para realizar una comparación cuantitativa en la identificación forense de las marcas por mordedura. Cierta distorsión de la lesión en la piel después de una mordedura es inevitable. La cicatrización de los hematomas puede causar cierto grado de difusión y un posible movimiento de la contusión (94). La concordancia de una marca por mordedura con la dentición sospechosa se basa en una comparación diente a diente y arco a arco, utilizando parámetros de tamaño, de forma, y de alineación.

Existe una corriente que critica la veracidad de la unicidad de la dentición y niegan la validez de la misma pero reconocen la individualidad de la dentición (86-88). Se han descrito, aproximadamente, 14 casos en los que se ha producido un error en la identificación por medio de las marcas por mordedura (31, 32). En este sentido, una cuestión importante es la aplicación inadecuada de una prueba validada, es decir, no importa cuán efectiva sea una comparación, sólo debe aplicarse en aquellos casos que demuestren un nivel suficiente de significación forense, que estén libres de artefactos y hayan sido apropiadamente recolectados y documentados (4). Incluso en los casos en los que no hay un número suficiente de características individuales para poder identificar al autor de la mordedura, es decir, con pocas características, si se trata de un caso con una lista cerrada de posibles autores, la marca por mordedura puede ser clave para la resolución del caso. Por otra parte, el análisis de la ubicación y la orientación de la mordedura y las características dentales pueden permitir discriminar si la presunta víctima es la autora de la misma, es decir, si es una mordedura auto-

infligida (45). Además, otra herramienta con la que contamos es el análisis de la saliva depositada en el lugar de la mordedura, lo cual podría confirmar la identidad del agresor con una muestra de ADN.

La unicidad depende de la cantidad de características dentarias consideradas. Existe una menor probabilidad de encontrar denticiones características si se analizan menos variables dentales, no todos los casos son adecuados para el análisis en el campo de la identificación de las marcas por mordedura (170), por lo que no se debe menospreciar el uso de las mordeduras, sino que se debe adiestrar a los profesionales para un correcto uso del método.

Para aquellos que niegan la unicidad de la dentición, podría ser más coherente considerar la dentición humana determinando su similitud con otra dentición, en lugar de poner sus esfuerzos en demostrar la inexistencia de la unicidad. Por tanto, buscar una tasa de coincidencia basada en un umbral de resolución puede ser un enfoque más práctico para el campo de la ciencia forense (45). En este sentido nuestro software permite una mejora en el procedimiento de caracterización de las mordeduras.

El programa que hemos desarrollado, BitePrint©, es capaz de reconocer automáticamente marcas dentales y los parámetros dentales de las mismas a partir de una fotografía de una marca por mordedura en la piel. Nuestro software permite el reconocimiento semiautomático de las marcas dentales, aproximando cada marca a una elipse y el arco dental a una semicircunferencia. El usuario selecciona inicialmente los ejes mesio-dital y vestíbulo-lingual de la marca de cada diente y BitePrint© muestra una elipse inicial. A partir de estos dos ejes ajusta automáticamente la elipse, calculando la imagen binaria del área y ejecutando un algoritmo genético que permite diferenciar el color perteneciente a la marca dental respecto a la piel intacta. La naturaleza semiautomática del procedimiento minimiza el factor subjetivo en la interpretación de las pruebas. Además, el programa es capaz de calcular el arco dental de la arcada a partir de un mínimo de tres elipses dentarias no alineadas. Este nuevo

software también puede calcular algunos parámetros dentales que pueden permitir caracterizar la mordedura, tales como la distancia intercanina, la rotación, la excentricidad, la posición angular y la distancia a la arcada de cada marca dental (Figura 32). Estos datos nos dan importantes características individualizadoras del sujeto para poder establecer una identificación (152). Además, la generación de estos parámetros mediante esta técnica es muy valiosa, ya que permite cuantificar variables que caracterizan a un sujeto en concreto y hace del proceso de identificación un análisis objetivo y cuantificable.

BitePrint © también puede procesar las imágenes de las marcas por mordedura generadas a partir de imágenes 3D de modelos dentales obtenidas con DentalPrint© (ver figura 33), conservándose, de este modo, las características dinámicas de la mordedura (84, 133-136, 153). Hasta la fecha, esta es la primera vez que se utiliza la misma tecnología computacional semiautomática para el análisis de fotografías de mordeduras y para las imágenes 3D de modelos dentales, completando así todo el proceso de análisis de las huellas por mordedura humana (Figura 39).

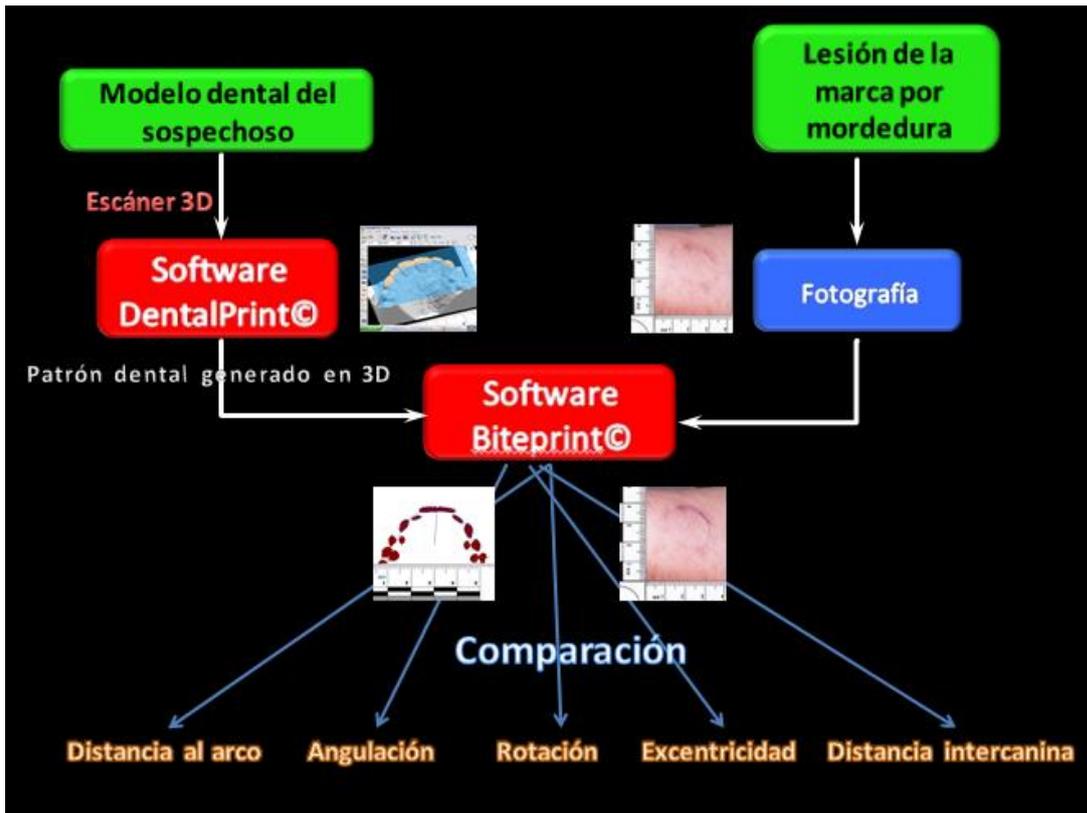


Figura 39. Esquema explicativo del proceso comparativo a través de los modelos dentales del presunto autor de la mordedura y la fotografía de la lesión por mordedura. Por un lado, el modelo dental es escaneado con tecnología tridimensional láser, posteriormente, se genera el patrón de la mordedura correspondiente al mismo con el software DentalPrint© y este es exportado al nuevo programa que hemos desarrollado, Biteprint©. Por otro lado, la fotografía de la mordedura en la piel también es exportada al software Biteprint©. Este permite calcular los parámetros dentales de ambos patrones de mordida de forma semiautomática y facilita el proceso de comparación de forma cuantitativa.

Para analizar la reproducibilidad interobservador del software que hemos desarrollado se calculó el Coeficiente de Correlación Interclase (CCI) y su Intervalo de Confianza (IC) (Tabla 5 y 6). Para el análisis de los mismos, se escanearon 7 modelos dentales en el escáner láser en 3 dimensiones, se generaron las huellas dentales de los 6 dientes anteriores con el programa DentalPrint© y, cada uno de los observadores, de forma independiente, calculó los parámetros para cada arcada con el nuevo software Biteprint©. Los valores de rotación, excentricidad, posición angular, la distancia al arco y

la distancia intercanina obtenidos por cada observador para cada arcada fueron introducidos en una hoja de cálculo de Excel y se calcularon el CCI y el IC al 95%. Dado que el CCI fue superior a 0,75 para la mayoría de los parámetros dentales, la reproducibilidad del método puede considerarse como excelente (171).

Para determinar la validez del método se usó el análisis de las curvas ROC (Receiver Operating Characteristic). Las curvas ROC combinan los conceptos de sensibilidad y especificidad en una única medida. La sensibilidad hace referencia, en el caso de las marcas por mordedura, a la proporción de identificaciones positivas correctas (Fracción de Verdaderos Positivos), es decir, el observador identifica correctamente al autor de la mordedura, y la especificidad representa la proporción de identificaciones negativas correctas, es decir, el observador es capaz de determinar si un sujeto no realizó la mordedura. Se define como Fracción de Falsos Positivos al porcentaje de identificaciones incorrectas en las que el observador identificó como autor de la mordedura a un sujeto inocente, esta es el complemento de la especificidad (1-especificidad). La curva ROC se construye creando una matriz de pares relacionando los verdaderos positivos con los falsos positivos. La curva ROC se construye trazando estos pares, con los falsos positivos en el eje X y los verdaderos positivos en el eje Y.

Las medidas de las curvas ROC vienen definidas por el área existente bajo la curva (AUC), que es una representación gráfica de la sensibilidad frente a la especificidad. Esta medida nos dará información sobre la precisión del método. El área bajo la curva ROC puede tener valores desde 0 a 1, Swets (1988), clasificó los métodos diagnósticos en función del valor del área bajo la curva ROC. De este modo, los valores superiores a 0.9 se consideran “de alta precisión”, los valores entre 0.7 y 0.9 se consideran “de utilidad para determinados propósitos” y para valores de área bajo la curva ROC entre 0.5 y 0.7 se consideran de “precisión pobre” (171). El área bajo la curva ROC es un parámetro objetivo de la precisión del método y nos ofrece una información más veraz que si estudiáramos los valores de sensibilidad y especificidad de forma aislada.

En el estudio de validación del software Biteprint©, se utilizaron un total de 16 fotografías (dos de casos forenses reales y catorce de mordeduras experimentales en piel de cerdo) y 64 modelos dentales. Los modelos fueron escaneados con un escáner 3D láser, para posteriormente generar las huellas de los mismos con el programa DentalPrint©. Las imágenes de las huellas generadas y las fotografías de las mordeduras se exportaron al software Biteprint© y, posteriormente, se procedió a dibujar las elipses de cada diente obteniéndose los parámetros dentales de cada fotografía y cada modelo. Cada fotografía fue comparada con cuatro modelos dentales distintos, entre los cuales se encontraba el modelo dental que generó la mordida de la fotografía (modelo culpable). Para cada comparación de los parámetros se analizaron los datos y se le dio un valor *positivo/modelo culpable* a aquel modelo dental cuyos parámetros dentales se aproximaron más a los parámetros obtenidos en el análisis de la fotografía.

El análisis del área bajo la curva ROC para el programa Biterprint© (Figura 38), mostró un valor de 0,770 para la precisión del método, con un error estándar de 0,075 y un IC del 95% de 0,623-0,917, los cuales son considerados relativamente altos (171) y confirman que este método puede ser utilizado en casos prácticos de identificación de mordeduras con fines forenses.

Una limitación del procedimiento semiautomático BitePrint© es que el experto sigue involucrado en dos momentos del proceso: el usuario debe dibujar la elipse inicial de cada diente y etiquetar el tipo de diente para cada marca dental. Este paso inicial es, actualmente, inevitable y no existen perspectivas de que la participación del experto en ambas fases pueda ser suprimida.

Dados los resultados positivos obtenidos con el presente estudio, nos planteamos la necesidad de realizar nuevos trabajos futuros desarrollando ensayos experimentales para comparar las fotografías de las marcas por mordeduras en piel frente a las marcas dentales de los posibles autores utilizando bases de datos amplias que permitan realizar búsquedas y comparaciones sistemáticas. Actualmente, estamos

trabajando con el fin de demostrar que los parámetros dentales obtenidos después del procesamiento de imágenes son suficientemente representativos de una dentadura y que, por tanto, permiten identificar al autor de una mordedura. En este sentido, queremos saber qué parámetros de los analizados permiten caracterizar la dentadura y la mordedura.

Para ello, ya hemos obtenido los parámetros dentales a partir de las huellas por mordedura de 16 fotografías (dos de casos forenses reales y catorce de mordeduras experimentales en piel de cerdo) y 64 modelos dentales en una base de datos. De todas las huellas por mordedura generadas, hemos obtenido 25 variables para cada arcada, es decir, que cada individuo estará caracterizado por 50 parámetros. Estos parámetros han sido introducidos en una base de datos y nos encontramos en la fase del análisis estadístico de los mismos. Realizaremos un análisis estadístico de los parámetros que el programa extrae, de esta forma analizaremos cuáles tienen una mayor relevancia en el proceso de comparación, es decir, qué parámetros son representativos del individuo y cuáles no. Asimismo, analizaremos qué variables de estos datos pueden ser individualizadoras cuando una gran variación del valor cuantitativo está presente, como por ejemplo podría ser una rotación acusada. Además veremos qué parámetros, existiendo una variación mínima cuantitativa, pueden caracterizar al individuo.

El desarrollo de nuestro nuevo software, Biteprint©, tiene como objetivo final maximizar la objetividad y la automatización de las técnicas de identificación forense, y hacerlo con un programa que nos permita utilizar herramientas que se ajusten a las características tridimensionales de las mordeduras y que pueda analizar correctamente las fotografías en la piel, pues estas últimas son las pruebas que disponemos con mayor frecuencia en los casos de mordeduras.

Idealmente, las técnicas tridimensionales deberían usarse para todo el proceso de identificación de las marcas por mordedura cuando quedan registradas identificaciones en la piel, pero esta situación no es frecuente. Nuestro nuevo método se puede utilizar para comparar semiautomáticamente la fotografía de una marca de

mordida con los bordes incisales de un modelo dental, reduciendo pero no eliminando la participación del experto en el proceso.

Actualmente, los tribunales buscan métodos periciales cuantitativos para aceptar pruebas científicas más que el análisis descriptivo simple de las mismas. El análisis de las marcas por mordedura tiene que cumplir con este requisito, por lo tanto, se necesitan más investigaciones para validar los métodos para las comparaciones cuantitativas entre las marcas dentales y la dentición del sospechoso. Por ello, hemos desarrollado un nuevo software, Biteprint©, que permite la identificación semiautomática de las marcas dentales de fotografías de las mordeduras humanas en la piel. BitePrint© genera elipses de las marcas dentales seleccionadas por el experto en la fotografía y genera datos cuantitativos sobre los parámetros dentales requeridos para la identificación (por ejemplo, la distancia intercanina, la rotación, la excentricidad, la posición angular y distancia al arco de cada marca dental). BitePrint© también representa los bordes incisales de modelos dentales como un conjunto de coeficientes geométricos, ofreciendo un análisis mensurable y semiautomático. Este nuevo software minimiza el componente subjetivo en el análisis de la marca de mordida humana y puede aplicarse en casos forenses prácticos en los que están implicados marcas por mordedura humana.

VI. CONCLUSIONES

Primera. Hemos desarrollado un nuevo software, Biteprint©, que permite trabajar con fotografías de mordeduras humanas en la piel y reconocer semiautomáticamente las marcas dentales en la imagen de la lesión.

Segunda. En este trabajo de investigación, hemos validado los escáneres 3D láser para el registro de los modelos dentales y las huellas en la identificación de las marcas por mordedura humana.

Tercera. El nuevo software, Biteprint©, permite la detección semiautomática de las marcas por mordedura de fotografías. Biteprint© aproxima cada marca dental a una elipse y la arcada a una semicircunferencia calculando parámetros individualizadores de la mordedura.

Cuarta. El programa informático que hemos desarrollado permite obtener y calcular parámetros dentales que caracterizan las mordeduras humanas, tales como la distancia intercanina, la rotación, la excentricidad, la posición angular y la distancia al arco de cada marca dental.

Quinta. Hemos desarrollado, por primera vez, una técnica que permite analizar con la misma tecnología, las fotografías de las marcas por mordedura humana y las imágenes tridimensionales de los modelos dentales, aunando en un mismo procedimiento la comparación entre ambos.

Sexta. Hemos analizado la reproductibilidad y la validez de esta nueva tecnología con resultados estadísticos significativos. El análisis interobservador mostró una reproductibilidad del método que puede considerarse como excelente y, por otro lado, el área bajo la curva ROC mostró valores que nos permiten considerar la técnica

como un método de utilidad en el análisis de las huellas por mordedura humana con fines forenses.

Séptima. Con la tecnología desarrollada en este trabajo de investigación, hemos mejorado el análisis de las huellas por mordedura humanas con una nueva metodología más objetiva y mensurable que puede ser utilizada en casos prácticos forenses.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. MacDonald DG. Bite mark recognition and interpretation. *J Forensic Sci Soc.* 1974;14(3):229-33.
2. Whittaker DK, MacDonald DG. A color atlas of forensic dentistry. Ipswich, England: Wolfe Medical Publications Ltd; 1989. 108 p.
3. Stimson PG, Mertz CA. *Forensic Dentistry.* United States of America: CRC Press; 1997. 320 p.
4. Sweet D, Pretty IA. A look at forensic dentistry--Part 2: teeth as weapons of violence--identification of bitemark perpetrators. *Br Dent J.* 2001;190(8):415-8.
5. Pierce LJ, Strickland DJ, Smith ES. The case of Ohio v. Robinson. An 1870 bite mark case. *Am J Forensic Med Pathol.* 1990;11(2):171-7.
6. Sweet DJ, Lorente JA, Valenzuela A, Lorente M, Villanueva E. PCR-based DNA typing of saliva stains recovered from human skin. *J Forensic Sci.* 1997;42:447-51.
7. Jakobsen JR, Keiser-Nielsen S. Bite mark lesions in human skin. *Forensic Sci Int.* 1981;18(1):41-55.
8. Clark MA¹, Sandusky GE, Hawley DA, Pless JE, Fardal PM, Tate LR, et al. Fatal and near-fatal animal bite injuries. *J Forensic Sci.* 1991;36(4):1256-61.
9. Kizer KW. Epidemiologic and clinical aspects of animal bite injuries. *JACEP.* 1979;8(4):134-41.
10. Jaffe AC. Animal bites. *Pediatric Clin North Am.* 1983;30(2):405-13.
11. Earley MJ, Bardsley AF. Human bites: a review. *Br J Plast Surg.* 1984;37(4):458-62.
12. Karazulas CP. The presentation of bite mark evidence resulting in the acquittal of a man after serving seven years in prison for murder. *J Forensic Sci.* 1984; 29(1): 355-8.
13. Rawson RD, Koot A, Martin C, Jackson J, Novosel S, Richardson A, et al. Incidence of bite marks in a selected juvenile population: a preliminary report. *J Forensic Sci.* 1984;29(1): 254-9.

14. Schweich P, Fleisher G. Human bites in children. *Pediatr Emerg Care.* 1985;1(2):51-3.
15. Goldstein EJ, Richwald GA. Human and animal bite wounds. *J Pract Nurs.* 1987;37(4):16-9.
16. Gold MH, Roenigk HH, Smith ES, Pierce LJ. Evaluation and treatment of patients with human bite marks. *Am J Forensic Med Pathol* 1989;10(2):140-3.
17. Gold MH, Roenigk HH, Smith ES, Pierce LJ. Human bite marks. Differential diagnosis. *Clin Pediatr.* 1989;28(7):329-31.
18. Epstein JB, Scully C. Mammalian bites: risk and management. *Am J Dent.* 1992;5(3):167-71.
19. Bernitz H, Piper SE, Solheim T, Van Niekerk PJ, Swart TJ. Comparison of bitemarks left in foodstuffs with models of the suspects' dentitions as a means of identifying a perpetrator. *J Forensic Odontostomatol.* 2000;18(2):27-31.
20. Webster G. A suggested classification of bite marks in foodstuffs in forensic dental analysis. *Forensic Sci Int.* 1982;20(1):45-52.
21. Layton JJ. Identification from a bite mark in cheese. *J Forensic Sci Soc.* 1966;6(2):76-80.
22. Solheim T, Leidal TI. Scanning electron microscopy in the investigation of bite marks in foodstuffs. *Forensic Sci.* 1975;6(3):205-15.
23. Thali MJ, Braun M, Markwalder TH, Brueschweiler W, Zollinger U, Malik NJ, et al. Bite mark documentation and analysis: the forensic 3D/CAD supported photogrammetry approach. *Forensic Sci Int.* 2003;135(2):115-21.
24. Keiser-Nielsen S. Person identification by means of the teeth. John Wright & Sons. Bristol: England, 1980;59-72.
25. Sognaes RF, Rawson RD, Gratt BM, Nauyen NB. Computer comparison of bitemark patterns in identical twins. *J Am Dent Assoc.* 1982;105(3):449-51.
26. Rawson RD, Ommen RK, Kinard G, Johnson J, Yfantis A. Statistical evidence for the individuality of the human dentition. *J Forensic Sci.* 1984;29(1):245-53.

27. West MH, Hayne S, Barsley RE. Uniqueness of wound patterns, American Society of Forensic Odontology newsletter 1992;4:6-7.
28. Pretty IA. A web-based survey of odontologist's opinions concerning bitemark analyses. J Forensic Sci. 2003;48(5):1117-20.
29. Holtkötter H, Sheets HD, Bush PJ, Bush MA. Effect of systematic dental shape modification in bitemarks. Forensic Sci Int. 2013;228(1-3):61-9.
30. Pretty IA. The barriers to achieving an evidence base for bitemark analysis. Forensic Sci Int. 2006;159(1): 110–120.
31. The Innocence Project. Cases where DNA revealed that bite mark analysis led to wrongful arrests and convictions. 1992. <http://www.innocenceproject.org>. Accessed 2014.
32. Clement JG, Blackwell SA. Is current bite mark analysis a misnomer?. Forensic Sci Int. 2010;201(1-3):33-7.
33. Avon SL, Victor C, Mayhall JT, Wood RE. Error rates in bite mark analysis in an *in vivo* animal model. Forensic Sci Int. 2010;201(1-3):45-55.
34. Adams BJ. Establishing personal identification based on specific patterns of missing, filled, and unrestored teeth. J Forensic Sci. 2003;48(3):487-96.
35. Adams BJ. The diversity of adult dental patterns in the United States and the implications for personal identification. J Forensic Sci. 2003;48(3):497-503.
36. Martin-de-las-Heras S, Valenzuela A, Luna Jde D, Bravo M. The utility of dental patterns in forensic dentistry. Forensic Sci Int. 2010;195(1-3): 166.
37. Avon SL. Forensic odontology: the roles and responsibilities of the dentist. J Can Dent Assoc. 2004;70(7):453-8.
38. Whittaker DK, Brickley MR, Evans L. A comparison of the ability of experts and non-experts to differentiate between adult and child human bite marks using receiver operating characteristic (ROC) analysis. Forensic Sci Int. 1998;92(1):11-20.
39. LeRoy H, Sweet DJ. Human Bite Marks. Victim Evidence Recognition and Recovery. RCMP Gazette. 1993;55:4-7.

40. Bernitz H, van Niekerk PJ. Bungled bite mark evidence collection: a proposed protocol for the prevention thereof. *SADJ*. 2003;58(1):16-9.
41. DeForest PR, Gaensslen RE, Lee HC. *Forensic science-an introduction to criminalistics*. Nueva York: McGraw-Hill; 1983. 377 p.
42. Levine LJ. Bitemark evidence. In *Outline of forensic dentistry*. Chicago: J. A. Cottone and S. M. Standish. Year Book Medical Publishers;1982:112–127.
43. Tafur Elbaz D, Martín de las Heras S (dir), Bravo Pérez M (dir). *Aplicación del programa informático DentalPrint© en el análisis de las huellas por mordeduras humanas [tesis doctoral en internet]*. [Granada]: Universidad de Granada; 2010. Recuperado a partir de: <http://hdl.handle.net/10481/15394>
44. Ciapparelli L, Hughes P. Bite marks in tissue and inanimate objects: analysis and comparison. En: Derek H. Clark, eds. *Practical Forensic Odontology*. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1992:149-77.
45. Dorion RBJ. *Bitemark Evidence: A Color Atlas andText*, 2nd Edition. United States of America: CRC Press; 2011. 674 p.
46. Jensen E, Kai-jen Yen P, moorrees CF, Thomsen SO. Mesiodistal crown diameters of the deciduous and permanent teeth in individuals. *J Dent Res*. 1957;36(1):39-47.
47. Sperber ND. Lingual markings of anterior teeth as seen in human bite marks. *J Forensic Sci*. 1990;35(4):838-44.
48. Barsley RE, Lancaster DM. Measurement of arch widths in a human population: relation of anticipated bite marks. *J Forensic Sci*. 1987;32(4):975-82.
49. Ash MM, Nelson SJ. *Wheeler's dental anatomy, physiology and occlusion*, 8th ed.. Philadelphia: W. B. Saunders Company; 2003: 75, 101–102, 160, 168, 181, 188.
50. Butcher SJ, Pugh PD. A study of marks made by bolt cutters. *J Forensic Sci Soc*. 1975;15(2):115-26.
51. Sweet DJ, LeRoy H.A. Human bitemarks victim evidence recognition and recovery. *RCMP gazette*. 1993;55:9-12.

52. Pretty IA. Development and validation of a human bite mark severity and significance scale. *J Forensic Sci.* 2007;52(3):687-91.
53. Lowry TM. The surgical treatment of human bites. *Ann Surg.* 1936;104(6):1103-6.
54. Spiers RF. Prevention of human bite infections. *Surg Gynecol Obstet.* 1941;72:619-21.
55. Levine LJ. Bite mark evidence. In *The dental clinics of North America—Symposium on forensic dentistry: Legal obligations and methods of identification for the practitioner.* Philadelphia: S. M. Standish and P. G. Stimson; 1977:145–158.
56. Pretty, IA, Sweet D. Anatomical location of bite marks and associated findings in 101 cases from the United States. *J Forensic Sci.* 2000;45(4):812-4.
57. Freeman AJ, Senn DR, Arendt DM. Seven hundred seventy eight bite marks: analysis by anatomic location, victim and biter demographics, type of crime, and legal disposition. *J Forensic Sci.* 2005;50(6):1436-43.
58. Harvey W. *Dental identification and forensic odontology.* London: Henry Kimpton Publishers; 1976: 88–140.
59. Vale GL. Bite mark evidence in the investigation of crime. *CDA J.* 1986;14(3):36-42.
60. Cottone JA, Standish SM. *Outline of forensic dentistry.* Chicago: Yearbook Medical Publishers; 1982:125.
61. Dorion RBJ. Bite mark evidence. *J Can Dent Assoc.* 1982;48:795-8.
62. Johnson LT, Cadle D. Bite mark evidence. Recognition, preservation, analysis and courtroom presentation. *N Y State Dent J.* 1989;55(3):38-41.
63. Sperber ND. Bite marks, oral and facial injuries—harbingers of severe child abuse?. *Pediatrician.* 1989;16(3-4):207-11.

64. Rothwell BR, Thien AV. Analysis of distortion in preserved bite mark skin. *J Forensic Sci.* 2001;46(3):573-6.
65. Sweet DJ. Human bite marks-examination, recovery and analysis. Colorado Springs: Manual of forensic odontology.: American Society of Forensic Odontology; 1995.
66. Vale GL. Dentistry, bite marks and the investigation of crime. *J Calif Dent Assoc.* 1996;24(5):29-34.
67. Sobel MN, Perper JA. Self-inflicted bite mark on the breast of a suicide victim. *Am J Forensic Med Pathol.* 1985;6(4):336-9.
68. Luntz LL, Luntz P. Handbook for dental identification: Techniques in forensic dentistry. Philadelphia: J. B. Lippincott Company; 1973:148–162
69. Walter RA. An examination of the psychological aspects of bite marks. *Am J Forensic Med Pathol.* 1984;5(1):25-9.
70. Whittaker DK. Bite marks--the criminal's calling cards. *Br Dent J.* 2004;196(4):237.
71. Webb DA, Pretty IA, Sweet DJ. Bitemarks: a psychological approach. *Proceedings of the AAFS.* 2000;6: 147.
72. Walter RD. Anger biting. The hidden impulse. *Am J Forensic Med Pathol.* 1985;6(3):219-21.
73. Murphy JM, Welbury RR. The dental practitioner's role in protecting children from abuse. 1. The child protection system. *Br Dent J.* 1998;184(1):7-10.
74. Welbury RR, Murphy JM. The dental practitioner's role in protecting children from abuse. 2. The orofacial signs of abuse. *Br Dent J.* 1998;184(2):61-5.
75. Fenton SJ, Bouquot JE, Unkel JH. Orofacial considerations for pediatric, adult, and elderly victims of abuse. *Emerg Med Clin North Am.* 2000;18(3):601-17.

76. American Academy of Pediatric Dentistry. Clinical guideline on oral and dental aspects of child abuse and neglect. *Pediatr Dent*. 2004;26(7):63-6.
77. Al-Talabani N, Al-Moussawy ND, Baker FA, Mohammed HA. Digital analysis of experimental human bitemarks: application of two new methods. *J Forensic Sci*. 2006;51(6): 1372-5.
78. Bernitz H, van Heerden WF, Solheim T, Owen JH. A technique to capture, analyze, and quantify anterior teeth rotations for application in court cases involving tooth marks..*J Forensic Sci*. 2006;51(3):624-9.
79. Metcalf RD. Yet another method for marking incisal edges of teeth for bitemark analysis.*J Forensic Sci*. 2008;53(2):426-9.
80. MacFarlane TW, MacDonald DG, Sutherland DA. Statistical problems in dental identification.*J Forensic Sci Soc*. 1974;14(3):247-52.
81. Franco A, Willems G, Souza PH, Bekkering GE, Thevissen P. The uniqueness of the human dentition as forensic evidence: a systematic review on the technological methodology. *Int J Legal Med*. 2015;129(6):1277-83.
82. Pretty IA. Reliability of bitemark evidence. En: DorionRBJ. *Bitemark evidence*. New York: Marcel Dekker; 2005:531–63.
83. Kieser JA, Bernal V, Neil Waddell J, Raju S. The uniqueness of the human anterior dentition: a geometric morphometric analysis. *J Forensic Sci*. 2007;52(3):671-7.
84. Martin-de-Las-Heras S, Tafur D, Bravo M. A quantitative method for comparing human dentition with tooth marks using three-dimensional technology and geometric morphometric analysis. *Acta Odontol Scand*. 2014;72(5):331-6.
85. Sheets HD, Bush PJ, Brzozowski C, Nawrocki LA, Ho P, Bush MA. Dental shape match rates in selected and orthodontically treated populations in New York State: a two-dimensional study. *J Forensic Sci*. 2011;56(3):621-6.

86. Sheets HD, Bush PJ, Bush MA. Patterns of variation and match rates of the anterior biting dentition: characteristics of a database of 3D-scanned dentitions. *J Forensic Sci.* 2013;58(1):60-8.
87. Bush MA, Bush PJ, Sheets HD. Statistical evidence for the similarity of the human dentition. *J Forensic Sci.* 2011;56(1):118-23.
88. Bush MA, Bush PJ, Sheets HD. Similarity and match rates of the human dentition in three dimensions: relevance to bitemark analysis. *Int J Legal Med.* 2011;125(6):779-84.
89. Saks MJ, Koehler JJ. The coming paradigm shift in forensic identification science. *Science.* 2005;309(5736):892-5.
90. Faigman DL, Saks MJ, Sanders J, Kaye DH, Cheng EK. *Modern scientific evidence: Forensics.* Tampa: Thompson West; 2006.
91. Saks MJ, Koehler JJ. The individualization fallacy in forensic science evidence. *Vanderbilt Literature Review.* 2008;61:199–219.
92. Committee on Identifying the Needs of the Forensic Sciences Community, National Research Council. *Strengthening forensic science in the United States: A path forward.* Washington: National Academies Press; 2009.
93. Hendriks FM. *Mechanical behaviour of human skin in vivo: a literature review.* Koninklijke Philips Electronics: Nat. Lab. Unclassified Report; 2001:1–46.
94. Sheasby DR, MacDonald DG. A forensic classification of distortion in human bite marks. *Forensic Sci Int.* 2001;122(1):75-8.
95. Bush MA, Miller RG, Bush PJ, Dorion RB. Biomechanical factors in human dermal bitemarks in a cadaver model. *J Forensic Sci.* 2009;54(1):167-76.
96. Franco A, Willems G, Souza PH, Tanaka OM, Coucke W, Thevissen P. Three-dimensional analysis of the uniqueness of the anterior dentition in orthodontically treated patients and twins. *Forensic Sci Int.* 2017;273:80-87.

97. Gaensslen RE. Sourcebook in forensic serology, immunology and biochemistry. Washington: National Institute of Justice; 1983.
98. Whitehead PH, Kipps AE. The significance of amylase in forensic investigations of body fluids. *Forensic Sci.* 1975;6(3):137-44.
99. Kipps AE, Quarmby VE, Whitehead PH. The detection of mixtures of blood and other body secretions in stains. *J Forensic Sci Soc.* 1978;18(3-4):189-91.
100. Rushton C, Kipps A, Quarmby V, Whitehead PH. The distribution and significance of amylase-containing stains on clothing. *J Forensic Sci Soc.* 1979;19(1):53-8.
101. Gill P, Jeffreys AJ, Werrett DJ. Forensic application of DNA 'fingerprints'. *Nature.* 1985;318(6046):577-9.
102. Kanter E, Baird M, Shaler R, Balazs I. Analysis of restriction fragment length polymorphisms in deoxyribonucleic acid(DNA) recovered from dried bloodstains. *J Forensic Sci.* 1986;31(2):403-8.
103. Hochmeister MN, Budowle B, Borer UV, Eggmann U, Comey CT, Dirnhofer R. Typing of deoxyribonucleic acid (DNA) extracted from compact bone from human remains. *J Forensic Sci.* 1991;36(6):1649-61.
104. Walsh PS, Varlaro J, Reynolds R. A rapid chemiluminescent method for quantitation of human DNA. *Nucleic Acids Res.* 1992;20(19):5061-65.
105. Hopkins B, Williams NJ, Webb MB, Debenham PG, Jeffreys AJ. The use of minisatellite variant repeat-polymerase chain reaction (MVR-PCR) to determine the source of saliva on a used postage stamp. *J Forensic Sci.* 1994;39(2):526-31.
106. Sweet DJ, Hildebrand D. Saliva from cheese bite yields DNA profile of burglar: a case report. *Int J Legal Med.* 1999;112(3):201-3.
107. Robinson E, Wentzel J. Tonline bite mark photography. *J Forensic Sci.* 1992;37(1):195-207.

108. Bowers CM, Johansen RJ. Digital analysis of bite marks and human identification. *Dent Clin North Am.* 2001;45(2):327-42.
109. Rawson RD, Vale GL, Herschaft EE, Sperber ND, Dowell S. Analysis of photographic distortion in bite marks: a report of the Guidelines Committee. *J Forens Sci.* 1986;31:1261-8.
110. Johansen RJ, Bowers CM. Digital analysis of bite mark evidence. 1^a ed. California: Forensic Imaging Services; 2000.
111. Bowers CM, Johansen RJ. Photographic evidence protocol: The use of digital methods to rectify angular distortion and create life size reproductions of bite mark evidence. *J Forensic Sciences.* 2002;47(1):178-85.
112. Ciesco JN, Malone WRP, Sandrik JL, Mazur B. Comparison of Elastomeric Impression Materials. II. Polyether, Polysulfides, and Polyvinylsiloxane. *J Prosthet Dent.* 1981;45(1):88-94.
113. Lacy AM, Fukui H, Bellman T, Jendresen MD. Time-Dependent Accuracy of Elastomer Impression Materials. II. Polyether, Polysulfides, and Polyvinylsiloxane. *J Prosthet Dent.* 1981;45(3):329-33.
114. Dailey JC, Shernoff AF, Gelles JH. An improved Technique for Bite mark impressions. *J Prosthet Dent.* 1989;61(2):153-5.
115. Sperber ND. Chewing gum-an unusual clue in a recent homicide investigation. *Int J Orthod.* 1981;19(2):7-8.
116. American Board of Forensic Odontology. ABFO guidelines and standards. In *Manual of forensic odontology*, 3rd ed. in C. M. Bowers and G. L. Bell. Colorado Springs, CO: American Society of Forensic Odontology; 1997:338-341.
117. Sweet DJ, Bastien RB. Use of an acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) plastic ring as a matrix in the recovery of bite mark evidence. *J Forensic Sci.* 1991;36(5):1565-71.

118. Dorion RBJ. Preservation and fixation of skin for ulterior scientific evaluation and courtroom presentation. *J Can Dent Assoc.* 1984;50(2):129-30.
119. Dorion RBJ. Transillumination in bite mark evidence. *J Forensic Sci.* 1987;32(3):690-7.
120. American Board of Forensic Odontology. ABFO bitemark analysis guidelines, Diplomate reference manual (www.abfo.org).
121. Cameron J, Sims BG. Bite marks. En: Cameron J, Sims BG. Edinburgh: Churchill Livingstone:Forensic Dentistry; 1974:129-45.
122. Luntz LL, Luntz P. A case in forensic odontology: a bite-mark in a multiple homicide. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1973;36(1):72-8.
123. Sweet DJ, Bowers CM. Accuracy of bite mark overlays: a comparison of five common methods to produce exemplars from a suspect's dentition. *J Forensic Sci.* 1998;43(2):362-7.
124. Dailey JC. A practical technique for the fabrication of transparent bite mark overlays. *J Forensic Sci.* 1991;36(2):565-70.
125. Sweet D, Parhar M, Wood RE. Computer based production of bite mark comparison overlays. *Journal of Forensic Sciences* 1998;43(5):1050–1055.
126. Pretty IA, Sweet D. Digital bite mark overlays-An analysis of effectiveness. *J Forensic Sci.* 2001;46(6):1385–1391.
127. Bowers CM, Johansen RJ. Digital analysis of bitemark evidence. Santa Barbara: Forensic Imaging Services;2000:59–76.
128. David TJ, Sobel MN. Recapturing a five-month-old bite mark by means of reflective ultraviolet photography. *J Forensic Sci.* 1994;39(6):1560-7.
129. Vale GL, Sognaes RF, Felando GN, Noguchi TT. Unusual three-dimensional bite mark evidence in a homicide case. *J Forensic Sci.* 1976;21(3):642-52.

130. Wilkes GL, Brown IA, Wildnauer RH. The biomechanical properties of skin. *CRC Crit Rev Bioeng.*1973;1(4):453–495.
131. Golden GS. Standards and practices for bite mark photography. *J Forensic Odontostomatol.* 2011;29(2):29-37.
132. Lasser AJ, Warnick AJ, Berman GM. Three-Dimensional Comparative Analysis of Bitemarks. *J Forensic Sci.* 2009;54(3):3.
133. Martin-de-las-Heras S, Valenzuela A, Ogayar C, Valverde AJ, Torres JC. Computer-based production of comparison overlays from 3D-scanned dental casts for bite mark analysis. *J Forensic Sci.* 2005;50(1):127-33.
134. Martin-de-las-Heras S, Valenzuela A, Valverde AJ, Torres JC, Luna-del-Castillo JD. Effectiveness of comparison overlays generated with DentalPrint software in bite mark analysis. *J Forensic Sci.* 2007;52(1):151-156.
135. Valverde Moreno AJ, Valenzuela Garach A (dir), Martín de las Heras S (dir). Aportación de nuevas tecnologías en tres dimensiones para el análisis de las huellas por mordeduras humanas [tesis doctoral en internet]. [Granada]: Universidad de Granada; 2006. Recuperado a partir de: <http://hdl.handle.net/10481/919>
136. Martin-de-las-Heras S, Tafur D. Comparison of simulated human dermal bitemarks possessing three-dimensional attributes to suspected biters using a proprietary three-dimensional comparison. *Forensic Sci Int.* 2009;190(1-3):33-7.
137. Blackwell SA, Taylor RV, Gordon I, Ogleby CL, Tanijiri T, Yoshino M, et al. 3-D imaging and quantitative comparison of human dentitions and simulated bite marks. *Int J Legal Med.* 2007;121(1):9-17.
138. Naether S, Buck U, Campana L, Breitbeck R, Thali M. The examination and identification of bitemarks in foods using 3D scanning and 3D comparison methods. *Int J Legal Med.*2012;126(1):89–95.

139. Martínez S, Cuesta E, Barreiro J, Alvarez B. Methodology for comparison of laser digitizing versus contact systems in dimensional control. *Opt Laser Eng*. 2010;48(12):1238-1246.
140. Park JS, Jang WJ, Lee SB, Park C. Acquisition model for 3D shape measurement data. *Int J Precis Eng Man*. 2008;9(4):16–21.
141. Santolaria J, Guillomía D, Cajal C, Albajez JA, Aguilar JJ. Modelling and calibration technique of laser triangulation sensors for integration in robot arms and articulated arm coordinate measuring machines. *Sensors*. 2009;9(9):7374-96.
142. American Society of Mechanical Engineers. Methods for performance evaluation of coordinate measuring machines, ASME B89.4.1.: an American National Standard: engineering drawing and related documentation practices. New York, NY: American Society of Mechanical Engineers; 1997.
143. Verband Deutscher Ingenieure/Verband Deutscher Electrotechniker. Accuracy of coordinate measuring machines, characteristics and their testing, CMM with multiple probing systems. Düsseldorf, Germany: VDI/VDE; 2008.
144. International Organization for Standardization. ISO 10360-1. Geometrical product specifications (GPS), acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM). Part 1: vocabulary. Geneva, Switzerland: ISO; 2000.
145. Seokbae S, Hyunpung P, Kwan HL. Automated laser scanning system for reverse engineering and inspection. *Int J Mach Tool Manu*. 2002;42(8):889–97.
146. Cuesta E, Fernández P, Rico JC, Alvarez B, Blanco D. Aplicaciones metrológicas y de ingeniería inversa de los láseres por triangulación. *Deform Met*. 2005;284:59–73.

147. Son S, Park H, Lee KH. Automated laser scanning system for reverse engineering and inspection. *Int J Mach Tool Manu.* 2002;42(8):889–97.
148. Pretty IA, Maupome G. A closer look at diagnosis in clinical dental practice: Part 1. Reliability, validity, specificity and sensitivity of diagnostic procedures. *J Can Dent Assoc.* 2004;70(4):251-5.
149. Brunette D. *Critical thinking.* London: Quintessence Books; 1998.
150. Swets, JA, Pickett RM. *Evaluation of diagnostic systems: Method gnal detection theory.* New York: Academic Press; 1982.
151. Bell S. *Measurement good practice guide. A beginner’s guide to uncertainty of measurement.* Middlesex, UK: National Physical Laboratory; 2001.
152. American Board of Forensic Odontology, Inc. ABFO Bitemark Analysis Guidelines. *Manual of Forensic Odontology 3rd ed.* in Bowers CM, Bell GL. Saratoga Springs: American Society of Forensic Odontology; 1997:299-357.
153. Martin-de-Las-Heras S, Tafur D. Validity of a dichotomous expert response in bitemark analysis using 3-D technology. *Sci Justice.* 2011;51(1):24-7.
154. Ramos Ontiveros B, Torres Cantero JC (dir), Martín de las Heras S (dir). *Reconocimiento semiautomático de marcas dentales [trabajo fin de máster].* [Granada]: Universidad de Granada; 2013.
155. Fleiss JL. *The design and analysis of clinical experiments.* Nueva York: John Wiley & Sons; 1986.
156. Karlsson S. The fit of Procera titanium crowns. An in vitro and clinical study. *Acta Odontol Scand.* 1993;51(3):129–34.
157. Oden A, Andersson M, Krystek-Ondracek I, Magnusson D. Five-year clinical evaluation of Procera AllCeram crowns. *J Prosthet Dent.* 1998;80(4):450–6.
158. Besimo C, Jeger C, Guggenheim R. Marginal adaptation of titanium frameworks produced by CAD/CAM techniques. *Int J Prosthodont.* 1997;10(6):541–6.

159. Persson M, Andersson M, Bergman B. The accuracy of a high-precision digitizer for CAD/CAM of crowns. *J Prosthet Dent.* 1995;74(3):223–9.
160. Hewlett ER, Orro ME, Clark GT. Accuracy testing of three-dimensional digitizing systems. *Dent Mater.* 1992;8(1):49–53.
161. Luthardt RG, Sandkuhl O, Herold V, Walter MH. Accuracy of mechanical digitizing with a CAD/CAM system for fixed restorations. *Int J Prosthodont.* 2001;14(2):146–51.
162. Benz C, Schwarz P. How precise is the optical Cerec impression?. *Dtsch Zahnarztl Z.* 1991;46(9):632–4.
163. Sackett DL. A primer on the precision and accuracy of the clinical examination. *JAMA.* 1992;267(19):2638–44.
164. Verband Deutscher Ingenieure/Verband Deutscher Electrotechniker. VDI/VDE-2617. Accuracy of coordinate measuring machines. Characteristic parameters and their checking—measurement task specific measurement uncertainty length measurement uncertainty. Berlin, Germany: Beuth; 1986.
165. Evans S, Plassmann P. 3D image capture for the analysis of bite mark injuries. *JBC.* 2011;37(2-3):36–42.
166. Flora G, Tuceryan M, Blitzer H. Forensic bite mark identification using image processing methods. New York: Proceedings of the 2009 ACM Symposium on Applied Computing; 2009:903–907.
167. Tuceryan M, Li F, Blitzer HL, Parks ET, Platt JA. A framework for estimating probability of a match in forensic bite mark identification. *J Forensic Sci.* 2011;56(1):83-9.
168. Van-der-Velden A, Spiessens M, Willems G. Bite mark analysis and comparison using image perception technology. *J Forensic OdontoStomatol.* 2006;24(1):14–17.

169. McNamee AH, Sweet DJ. Adherence of forensic odontologists to the ABFO guidelines for victim evidence collection. *J Forensic Sci.* 2003;48(2):382-5.
170. R. Barsley, A. Freeman, R. Metcalf, D. Senn, F. Wright. Bitemark analysis. *J Am Dent Assoc.* 2012 May;143(5):444, 446; author reply 446, 448.
171. Swets JA. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 1988;240(4857):1285-93.